

*А. Г. Григоренко
М. И. Киселёв*

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

для техникумов

*издательство
Высшая
Школа*

А. Г. Григоренко
М. И. Киселев

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Издание второе,
переработанное
и дополненное

Допущено
Управлением руководящих кадров
и учебных заведений Министерства строительства
предприятий тяжелой индустрии СССР
в качестве учебного пособия для строительных техникумов
по специальностям № 1202
«Промышленное и гражданское строительство»



МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
1983

ББК 26.12

Г83

УДК 528

Рецензент:

канд. техн. наук, доц. В. Ф. Лукьянов (Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева)

Григоренко А. Г., Киселев М. И.

Г83 Инженерная геодезия: Учеб. пособие для строит. техникумов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Вышш. шк., 1983. — 256 с., ил.

В пер.: 85 к.

В учебном пособии изложены вопросы инженерной геодезии, изучаемые при подготовке техников-строителей и монтажников. В общей части даны сведения о предмете, методах угловых и линейных измерений, создании опорных геодезических сетей и производстве геодезических съемок. Специальная часть посвящена инженерно-геодезическим работам, проводимым при изысканиях, проектировании и строительстве инженерных сооружений. Второе издание (1-е вышло в 1975 г.) значительно переработано. Дополнительно включены задачи, позволяющие учащимся закрепить теоретические положения. В конце каждой главы даны вопросы для самопроверки, что делает пособие полезным для самостоятельного обучения.

Г 1902020000—146 230—82
001(01)—83

ББК 26.12

912

© Издательство «Высшая школа», 1975

© Издательство «Высшая школа», 1983, с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса «Геодезия» для средних специальных учебных заведений по специальности «Промышленное и гражданское строительство», утвержденной Управлением руководящих кадров и учебных заведений Министерства строительства предприятий тяжелой индустрии СССР.

При изложении учебного материала учтены требования индустриализации, стандартизации и унификации в строительномонтажном производстве. Эти требования в значительной мере повышают роль геодезических работ по увеличению долговечности и надежности зданий и сооружений. В настоящее время уже ни одна строительная площадка не может обойтись без четко налаженного геодезического обслуживания всех циклов и видов строительномонтажных работ, а при возведении уникальных зданий и сооружений и монтаже высокоточного оборудования возникает необходимость в разработке специальных приборов, устройств и методов выполнения геодезических разбивочных работ.

Второе издание книги «Инженерная геодезия» значительно переработано. Так, вторая часть «Геодезические работы в строительномонтажном производстве» написана практически заново. В настоящее издание включены вопросы для самоконтроля, а также практические примеры и задачи, что делает его полезным учащимся при самостоятельной проработке учебного материала.

При подготовке данного издания учтены предложения и замечания канд. техн. наук, доц. Ю. В. Визирова, рецензия которого на книгу была опубликована в 1976 г. в журнале «Среднее специальное образование», за что авторы выражают ему искреннюю благодарность.

Авторы также глубоко признательны канд. техн. наук, доц. В. Ф. Лукьянову, взявшему на себя труд по научному редактированию данной книги.

Все замечания и пожелания по улучшению указанного издания просим направлять по адресу: Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

Авторы

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Современное строительство характеризуется непрерывным подъемом уровня его индустриализации. Монтаж сооружений из конструкций и крупнообъемных элементов заводского изготовления, развитие скоростных методов строительного-монтажных операций, внедрение сетевых графиков — все это привело к повышению роли геодезических работ в общем комплексе строительного-монтажного производства.

Геодезические измерения, выполняемые в период топографических съемок и изысканий площадок под строительство, при выносе проектов в натуру и особенно детально-разбивочные работы, проводимые в процессе строительного-монтажных операций, сейчас должны производить с высокой точностью, чтобы обеспечить выполнение всех геометрических условий проекта в пределах установленных допусков. Многочисленные предложения по усовершенствованию технологии строительного-монтажных работ оказались тесно связанными с разработкой геодезического обеспечения. При оценке качества строительного-монтажных работ существенное место заняла исполнительная съемка.

Все эти новые требования должны найти свое отражение в геодезической подготовке техников-строителей.

Настоящая книга охватывает все основные вопросы программы подготовки учащихся строительных и монтажных специальностей техникумов в области геодезии и состоит из трех частей: «Общая часть», «Геодезические измерения» и «Геодезические работы в строительстве». Вместе с тем авторы включили в него некоторые вопросы, выходящие за рамки программы, но с которыми в настоящее время уже сталкиваются строители в условиях современной строительной площадки. Это обстоятельство позволяет надеяться, что данная книга будет полезна также для практического использования в сфере строительного-монтажного производства.

Авторы благодарны доц. А. И. Артасову и преподавателю Московского топографического политехникума Л. И. Ковалеву за тщательное рецензирование рукописи.

Авторы выражают искреннюю благодарность проф. Л. С. Хренову, взявшему на себя труд по научному редактированию рукописи, а также проф. Г. Ф. Глотову за ценные замечания, способствовавшие улучшению качества рукописи.

Авторы

Геодезия* — наука об измерениях на земной поверхности, проводимых для определения формы и размеров Земли, изображения земной поверхности в виде планов, карт и профилей, а также для создания различных инженерных сооружений.

В процессе своего развития геодезия разделилась на ряд самостоятельных научных дисциплин — высшую геодезию, геодезию, инженерную геодезию, картографию, фототопографию и космическую геодезию.

Высшая геодезия занимается изучением вида и размеров Земли, а также определением геодезических координат отдельных точек земной поверхности.

Геодезия, часто называемая топографией, изучает изображения сравнительно небольших участков земной поверхности.

Инженерная геодезия призвана решать геодезические задачи, связанные с построением опорной геодезической основы для проведения съемочных и разбивочных работ; составлением крупномасштабных планов и профилей для проектирования инженерных сооружений; производством разбивочных работ в плане и по высоте при строительстве зданий и сооружений; текущим обслуживанием строительно-монтажных операций; составлением исполнительных чертежей возведенных объектов и исследованием их деформаций в процессе строительства и эксплуатации.

Космическая геодезия изучает геометрические соотношения между точками земной поверхности с помощью искусственных спутников Земли.

Геодезия при решении стоящих перед нею задач широко использует достижения целого ряда наук: математики, физики, астрономии, географии, геоморфологии, фотографии, механики и др. В геодезии широко используют современные математические методы и средства вычислений, в том числе различные счетные машины — клавишные и электронные.

Геодезия имеет огромное значение в различных отраслях народного хозяйства. Особенно велика ее роль при картографировании страны и изучении ее природных богатств. Широкое развитие землеустроительных работ, направленных на наиболее рациональное использование земли, учет качества сельскохозяйственных земель, проведение оросительных и осу-

* «Геодезия» — греч. «землеразделение».

шительных мероприятий — все это невозможно без геодезических измерений.

Геодезические работы ведут при планировке, озеленении и благоустройстве населенных мест, при лесоустройстве и т. д. Развитие тяжелой индустрии, все возрастающее производство электроэнергии, металла, топлива и других отраслей промышленности ставят все новые задачи перед инженерной геодезией. Комплексная механизация и автоматизация строительномонтажных операций невозможна без высокой точности геодезических измерений.

В инженерной геодезии все более широкое применение находят новые методы фотограмметрической съемки, усовершенствованные автоматические, оптико-механические и электронные приборы и радиогеодезические системы. Исследования деформаций инженерных сооружений в период их эксплуатации также проводят на основе новейших достижений инженерной геодезии.

Исключительно велика роль геодезии в обороне страны: «карта — глаза армии». Карту используют при разработке стратегических планов и проведении военных операций.

Дальнейшее развитие народного хозяйства выдвигает новые задачи и перед геодезической наукой, которая должна более активно способствовать развитию всех отраслей промышленности, строительства, транспорта и обороны нашей Родины.

Геодезические работы предшествуют и сопутствуют инженерным изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации инженерных сооружений. Все промышленные и гражданские здания и сооружения строят по заранее разработанным преимущественно типовым проектам. При использовании типовых проектов раньше применяли двустадийное проектирование: проектное задание и рабочие чертежи. В настоящее время в соответствии с указаниями Госстроя СССР осуществляется переход на одностадийное проектирование, предусматривающее разработку рабочего проекта.

При проектировании вертикальной планировки строительной площадки и подготовке выноса проектов зданий и сооружений в натуру составляют специальные разбивочные чертежи, на которых указывают линейные и угловые величины, определяющие положение на местности зданий и сооружений. Геодезические разбивочные работы обеспечивают соблюдение всех геометрических требований проекта и должны предусматриваться в технологических схемах возведения зданий и сооружений. В процессе возведения объектов выполняют контрольные геодезические измерения. После окончания строительства производят исполнительную съемку законченных объектов и составляют исполнительный генеральный план, используемый при эксплуатации зданий и сооружений. При

эксплуатации сооружений ведут систематические геодезические наблюдения за их устойчивостью и прочностью.

Постановлением от 26 июня 1970 г. № 70 Госстрой СССР утвердил «Положение о геодезическо-маркшейдерской службе в строительно-монтажных организациях», которое введено в действие с 1 октября 1970 г. Положение распространяется на геодезическую службу строительно-монтажных организаций независимо от их ведомственной подчиненности.

Положение определяет комплекс геодезических работ на строительно-монтажных площадках, а именно: приемка от заказчика геодезической и проектной документации на строительный объект, составление проектов производства геодезических работ (ППГР) для строительных объектов, производство основных геодезических работ в развитие и дополнение геодезических сетей строительной площадки, производство основных и детальных разбивочных работ, геодезический контроль точности производства строительно-монтажных работ, наблюдение за сохранностью всех геодезических пунктов и знаков, организация и производство геодезических наблюдений за деформациями зданий и сооружений в период строительства, производство исполнительных съемок законченных строительством объектов или отдельных их частей и составление исполнительной документации.

В Положении указывается, что выполнение функций работниками геодезической службы не снимает с производственного линейного персонала строительно-монтажных организаций их ответственности за качество строительно-монтажных работ, а также за выполнение простых детальных разбивок, проверочных нивелировок и замеров объемов выполненных работ.

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Геодезические измерения

ГЛАВА I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

§ 1. Понятие о форме и размерах Земли

Физическая поверхность Земли, состоящая из суши и водной поверхности, имеет сложную форму. Суша представляет сочетание низменностей и возвышенностей, высоты которых над уровнем моря достигают 8—9 км.

Задача определения формы и размеров Земли делится на: *установление формы и размеров некоторой типичной фигуры — математической поверхности Земли, изучение отступлений физической поверхности Земли от ее математической поверхности.*

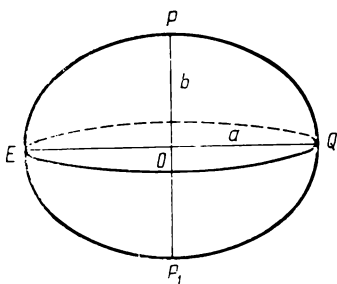


Рис. 1. Земной сфероид

За математическую поверхность Земли принимают уровенную поверхность, которая представляет поверхность воды океанов в ее спокойном состоянии, мысленно продолженную под материками. Уровенная поверхность обладает свойством: в каждой данной точке ее поверхность перпендикулярна отвесной линии, проходящей через эту точку. В общем уровенная поверхность

Земли не совпадает с поверхностью ни одной математической фигуры и представляет собой неправильную форму, которая называется геоидом.

В качестве первого приближения Землю принимают за шар. Более точные исследования показали, что математическая форма Земли ближе подходит к поверхности эллипсоида, получающегося от вращения эллипса вокруг его малой оси (рис. 1).

В 1946 г. под руководством проф. Ф. Н. Красовского вычислены размеры земного эллипсоида; большая полуось $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м и сжатие

$$\alpha = (a - b)/a = 1:298,3.$$

Такой эллипсоид называют референц-эллипсоидом Красовского. Его поверхность отклоняется от уровенной на величину не более 150 м.

§ 2. Метод проекций в геодезии

Пусть многоугольник $ABCDE$ (рис. 2) представляет часть земной поверхности. Возьмем плоскость PQ и опустим из каждой вершины многоугольника перпендикуляры на эту плоскость. Основания этих перпендикуляров обозначим соответственно через a, b, c, d, e . Полученные на плоскости точки называются ортогональными (прямоугольными) проекциями точек пространства; линии

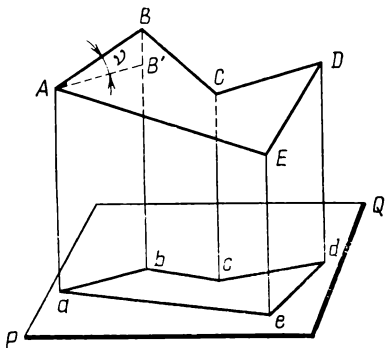


Рис. 2. Ортогональная проекция

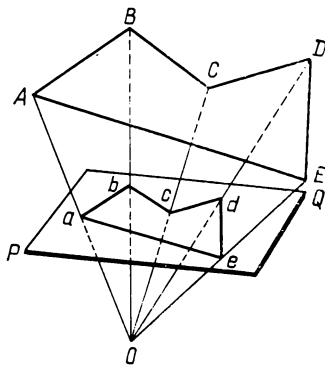


Рис. 3. Центральная проекция

ab, bc, \dots называются ортогональными проекциями линий AB, BC, \dots , а углы abc, bcd, \dots — ортогональными проекциями углов ABC, BCD, \dots . Плоский многоугольник $abcde$ является ортогональной проекцией пространственного многоугольника $ABCDE$.

Другая имеющая весьма важное значение в геодезии проекция называется центральной. Суть ее заключается в следующем. Возьмем произвольную точку O (рис. 3) и соединим ее со всеми вершинами многоугольника $ABCDE$, находящегося на земной поверхности. Полученные в пересечении с горизонтальной плоскостью PQ точки $abcde$ и будут центральными проекциями точек $ABCDE$.

Плоский многоугольник $abcde$ называется центральной проекцией многоугольника $ABCDE$.

§ 3. Определение положения точек на земной поверхности

Положение точек на земной поверхности может быть определено в различных системах координат.

Системы географических и геодезических координат. Система географических координат является единой системой для всех точек Земли. При этом уровенная поверхность принимается за поверхность сферы. За начало отсчета в географической системе координат принимают начальный меридиан PM_0P_1 , проходящий через

центр Гринвичской обсерватории на окраине Лондона, и плоскость экватора EQ (рис. 4, а).

Положение всякой точки M на сфере в этой системе координат определяется углом φ , образованным радиусом-вектором MO с плоскостью экватора и углом λ , составленным плоскостью меридиана PM данной точки с плоскостью начального меридиана.

Угол φ , называемый географической широтой, отсчитывается от плоскости экватора к северу и к югу от 0 до 90° . Широты точек, расположенных в северном полушарии, называют северными, а в южном — южными.

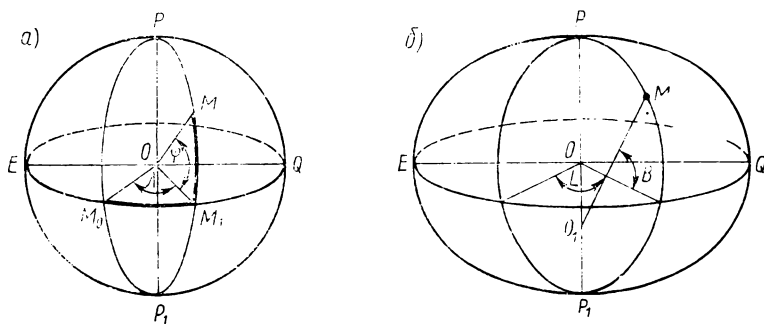


Рис. 4. Географическая и геодезическая системы координат

Угол λ , называемый географической долготой, отсчитывается от плоскости начального меридиана к востоку и западу от 0 до 180° . Точки, расположенные восточнее начального меридиана, имеют восточные долготы, а западнее — западные.

Система геодезических координат определяет положение точек на поверхности эллипсоида вращения (рис. 4, б).

Под геодезической широтой B точки M понимают угол между нормалью MO_1 к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора, а под геодезической долготой L — двугранный угол между начальным меридианом и меридианом данной точки.

Если широта и долгота отнесены к уровенной поверхности Земли, то такую систему называют астрономической. В геодезических работах различия между астрономическими и геодезическими координатами не пренебрегают. Более того, эти различия являются предметом особого изучения.

Зональная система прямоугольных координат Гаусса. Чтобы установить связь между географическими координатами любой точки Земли и прямоугольными той же точки на плоскости, применяют способ проектирования поверхности земного шара на плоскость по частям, которые называются зонами. При этом весь земной шар делят меридианами на шести- или трехградусные зоны (рис. 5). Счет зон ведется на восток от Гринвичского меридиана.

Прежде чем спроектировать такую зону на плоскость, ее вначале проектируют на поверхность цилиндра, который располагают

так, чтобы его ось проходила через центр земного шара и находилась в плоскости земного экватора. При этом земной шар должен касаться цилиндра по среднему меридиану данной зоны. После этого цилиндр развертывают на плоскости и получают на ней изображение проекции данной зоны. Такая проекция называется проекцией Гаусса.

В такой системе начало координат для всех зон принимается в точке пересечения осевого меридиана на данной зоне с экватором. Координаты являются соответственно осью абсцисс и осью ординат (рис. 6). Абсциссы, отсчитываемые от экватора к северному полюсу, считаются положительными, к южному — отрицательными; значения ординат от осевого меридиана на восток — положительными, на запад — отрицательными. Точка A_1 (рис. 6) будет иметь координаты: абсциссу x_a и ординату y_a .

Так как территория СССР расположена в северном полушарии, то все абсциссы для всех ее точек положительны. Чтобы избежать отрицательных значений ординат, ординату осевого меридиана зо-

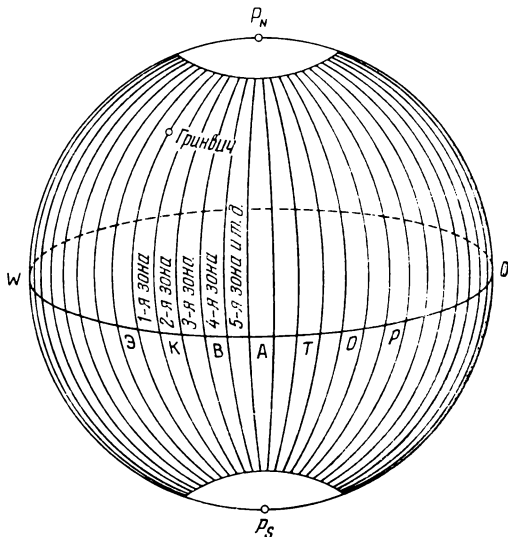


Рис. 5. Деление земного шара на зоны

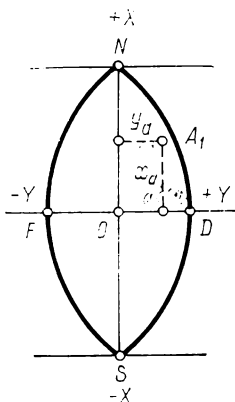


Рис. 6. Зональная система координат

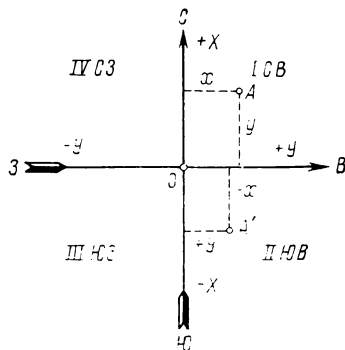


Рис. 7. Система прямоугольных координат

ны принимают не за нуль, а за 500 км, т. е. начало координат в каждой зоне перемещают на запад на 500 км. При этом принята следующая система записи ординат: например, запись 7 382 000 указывает на то, что точка находится в седьмой зоне и ее ордината равна — 118 000 м (382 000—500 000).

Система прямоугольных координат. В геодезической практике часто положение точек определяют плоскими прямоугольными координатами. В этой системе плоскость координат совпадает с плоскостью горизонта в данной точке O , являющейся началом этих

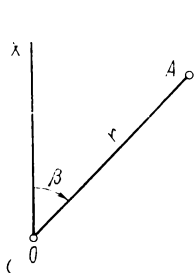


Рис. 8. Полярная система координат

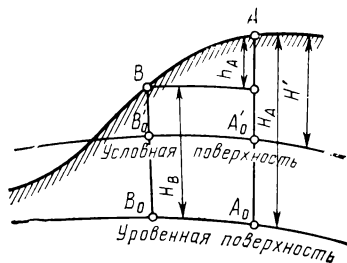


Рис. 9. Абсолютные и условные отметки

координат; ось X всегда направлена на север, а ось Y — на восток. Северное направление оси абсцисс считается положительным (+), южное — отрицательным (—); направление оси ординат считается положительным на восток и отрицательным на запад.

Оси координат делят плоскость чертежа на четыре части, которые называются четвертями: I — СВ, II — ЮВ, III — ЮЗ, IV — СЗ (рис. 7).

Полярная система координат. В полярной системе координат (рис. 8) положение любой точки A на плоскости определяется радиусом-вектором r , исходящим из точки O , называемой полюсом, и углом β , отсчитываемым по ходу часовой стрелки от линии OX — полярной оси — до радиуса-вектора. Положение полярной оси на плоскости можно выбирать произвольно; иногда его совмещают с направлением меридиана, проходящего через полюс O .

Абсолютные и условные высоты. Спроектируем точку A (рис. 9) физической поверхности Земли по направлению отвесной линии на уровенную поверхность. Высота H_A этой точки, измеряемая от уровня моря, называется абсолютной, а H'_A , измеряемая от произвольной уровенной поверхности, — условной. Относительной высотой точки или превышением называется высота ее над другой точкой земной поверхности; она обозначается через h . Например, превышение точки A над точкой B составит: $h_A = H_A - H_B$. Для определения высоты уровня моря на его берегу надежно закрепляют в вертикальном положении рейку с делениями — футшток и периодически фиксируют уровень моря относительно этой рейки.

В СССР высоты точек физической поверхности Земли приведены к нулю Кронштадтского футштока (черта на медной доске, установленной в гранитном устое моста через Обводной канал в Кронштадте).

Числовые значения высот точек называются отметками.

В случае выполнения геодезических работ на больших площадях приходится учитывать несовпадение поверхностей референц-эллипсоида и геоида (рис. 10). Поэтому различают высоты геодезические, измеряемые от поверхности эллипсоида, и ортометрические, измеряемые от поверхности геоида.

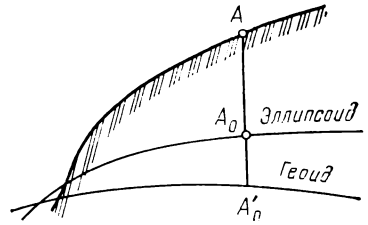


Рис. 10. Система высот

§ 4. Влияние кривизны Земли на измерение горизонтальных и вертикальных расстояний

В практике геодезических работ на незначительных по размерам участках уречную поверхность принимают за плоскость. Это влечет за собой появление погрешностей в определении расстояний и высот точек, которые возрастают с увеличением площадей участков.

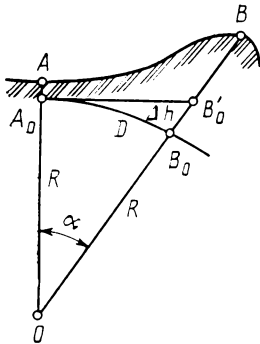


Рис. 11. К определению горизонтальных и вертикальных расстояний

Пусть точки A_0 и B_0 (рис. 11) — горизонтальные проекции точек A и B поверхности Земли на уречную поверхность, принимаемую за сферу радиуса R . В точке A_0 проведем касательную плоскость до пересечения ее с прямой BB_0 в точке B'_0 . Тогда замена уречной поверхности A_0B_0 горизонтальной плоскостью $A_0B'_0$ повлечет за собой погрешность:

в горизонтальном расстоянии

$$\Delta D = A_0B'_0 - A_0B_0, \quad (1)$$

в вертикальном расстоянии

$$\Delta h = OB'_0 - OB_0. \quad (2)$$

Рабочие формулы для вычисления этих погрешностей имеют вид

$$\Delta D = R\alpha^3/3 = D^3/(3R^2), \quad (3)$$

$$\Delta h = R\alpha^2/2 = D^2/(2R). \quad (4)$$

Приняв $R=6371$ км и $D=10$ км, по формуле (3) получим $\Delta D=1$ см, или

$$\Delta D/D = 1/1\,000\,000.$$

Такая погрешность считается допустимой при самых точных геодезических работах. Поэтому, *если изображаемый участок земной поверхности не выходит за пределы круга диаметром 20 км, то соответствующую ему часть уровенной поверхности можно принять за плоскость.* С увеличением D погрешность ΔD растет очень быстро, так как она пропорциональна кубу расстояний.

Подставляя в формулу (4) различные числовые значения D , получим значения Δh :

D , км	0,1	1	2	3	10
Δh , см	0,078	7,8	31	71	780

Поэтому *при измерении вертикальных расстояний необходимо определять величину Δh для данных условий и, сообразуясь с требованиями к точности, учитывать или пренебрегать влиянием кривизны Земли.*

Вопросы для самопроверки

1. Что такое физическая и уровенная поверхности Земли?
2. Обоснуйте понятие ортогональной и центральной проекций в геодезии.
3. Что называется географической широтой и долготой?
4. Что называется геодезической широтой и долготой?
5. Какие системы координат применяются в геодезии? Дайте характеристику каждой из них.
6. Что называется абсолютной и условной высотой точки на земной поверхности?
7. Что называется относительной высотой точки на земной поверхности?
8. Что называется отметкой точки на земной поверхности?
9. Что называется геодезической и ортометрической высотой точки на земной поверхности?
10. Назовите границы, при которых уровенную поверхность можно считать за плоскость при измерении расстояний.
11. Укажите границы, при которых уровенную поверхность можно считать за плоскость при измерении превышений.

ГЛАВА II. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ. ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ НА ПЛОСКОСТИ

§ 5. Азимуты. Дирекционные углы. Сближение меридианов. Склонение магнитной стрелки. Румбы

Ориентированием линии называется определение ее направления на местности относительно некоторого направления, принятого за начальное. За начальные принимаются направления истинного меридиана N , магнитного меридиана N_m и направление N_0 , параллельное осевому меридиану зоны или оси X зональной системы прямоугольных координат (рис. 12).

Направление истинного меридиана в данной точке определяется с помощью астрономических наблюдений, магнитного — с помощью

магнитной стрелки, которая под действием земного магнетизма устанавливается в направлении магнитного меридиана.

Угол γ , отсчитываемый от северного направления истинного меридиана N до параллели осевому меридиану N_0 , называется зональным сближением меридианов. Если параллель осевого меридиана располагается восточнее истинного меридиана, то сближение называется восточным и величине γ приписывается знак плюс. Если сближение меридианов западное, то величине γ приписывается знак минус.

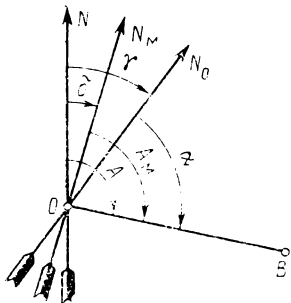


Рис. 12. Ориентирование линий на местности:

N , N_0 , N_m — соответственно истинный, осевой и магнитный меридианы

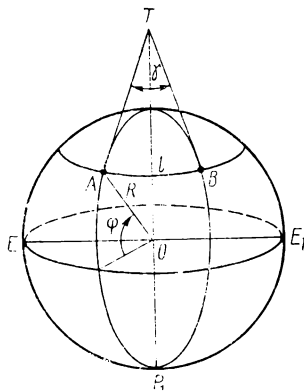


Рис. 13. К определению сближения меридианов

Угол δ , отсчитываемый от северного направления истинного меридиана N до магнитного меридиана N_m , называется склонением магнитной стрелки. Если магнитный меридиан располагается восточнее истинного меридиана, то склонение называется восточным и величине δ приписывается знак плюс. Западному склонению приписывается знак минус.

Для ориентирования линий на местности служат азимуты, дирекционные углы и румбы.

Азимутом линии называется угол, отсчитываемый от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии. Азимуты могут иметь значения от 0 до 360° . Азимут A называют истинным, если он отсчитывается от истинного меридиана N , и магнитным A_m , если он отсчитывается от магнитного меридиана N_m .

Дирекционным углом α называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана зоны или от линии, ему параллельной, до ориентируемой линии. Дирекционные углы могут принимать значения от 0 до 360° .

Сближение меридианов. Пусть l — расстояние между точками A и B , расположенными на параллели с широтой φ (рис. 13). Проведя в точках A и B касательные к меридианам, проходящим через эти точки, в пересечении получим точку T . Линии AT и BT называются полуденными, а угол γ между ними — углом сближения меридианов или сближением меридианов в точках A и B .

При небольшом значении угла γ расстояние l можно принять за дугу радиуса TA . Рассматривая сектор ATB и треугольник OAT , можно записать

$$\gamma = l/AT, \quad AT = R \operatorname{tg} (90^\circ - \varphi) = R/\operatorname{tg} \varphi.$$

Следовательно,

$$\gamma = (l/R) \operatorname{tg} \varphi.$$

Выражая γ в минутах, получим

$$\gamma' = (l/R) \operatorname{tg} \varphi \cdot 3438'. \quad (5)$$

При $R = 6371$ км и $l = 1$ км имеем

$$\gamma' \approx 0,54 \operatorname{tg} \varphi, \quad (6)$$

т. е. приближенно сближение меридианов на 1 км (выраженное в минутах) равно половине тангенса широты точек, для которых определяется сближение меридианов. Если известны долготы меридианов, проходящих через точки A и B , то сближение меридианов можно определить по формуле

$$\gamma \approx \Delta\lambda \sin \varphi, \quad (7)$$

где $\Delta\lambda$ — разность долгот меридианов, проходящих через точки A и B .

Если один из меридианов является осевым, а другой располагается в пределах той же зоны, то сближение называется зональным.

Зависимости между дирекционным углом, истинным и магнитным азимутами линии. Рассмотрим зависимость между истинным азимутом A линии OB и дирекционным углом α этой же линии (см. рис. 12). Если N_0 — параллель осевому меридиану зоны, а γ — сближение меридианов, то

$$A = \alpha + \gamma. \quad (8)$$

Зональное сближение меридианов γ приводится на топографических картах местности или может быть вычислено по формуле (7).

Рассмотрим зависимость между истинным и магнитным азимутами. Пусть A — истинный азимут линии OB , A_m — магнитный азимут той же линии, а δ — склонение магнитной стрелки (см. рис. 12). Тогда

$$A = A_m + \delta. \quad (9)$$

Магнитное склонение для данной местности можно получить на ближайшей метеорологической станции, по топографической карте или по специальной карте склонений.

Для получения зависимости между дирекционным углом и магнитным азимутом приравняем правые части равенства (8) и (9)

$$\alpha + \gamma = A_m + \delta \text{ или } \alpha = A_m + \delta - \gamma.$$

Прямые и обратные дирекционные углы и азимуты. Рассмотрим зависимость между прямым α_{AB} и обратным α_{BA} дирекционными углами линии AB . Из рис. 14 имеем

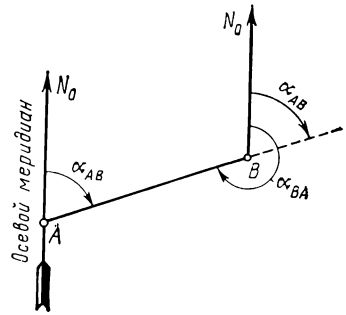


Рис. 14. Зависимость между прямыми и обратными дирекционными углами

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ. \quad (10)$$

Для определения зависимости между истинными азимутами линий AB и BA воспользуемся рис. 15. Если γ — сближение меридианов между точками A и B , то

$$A_{BA} = A_{AB} + 180^\circ - \gamma. \quad (11)$$

Зависимость между горизонтальными углами и дирекционными углами сторон хода. Пусть имеем две стороны хода AB и BC

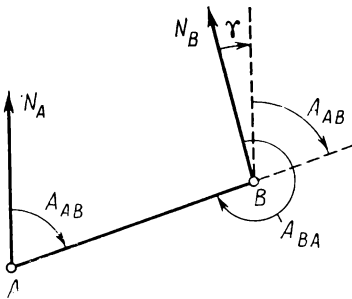


Рис. 15. Зависимость между прямыми и обратными истинными азимутами

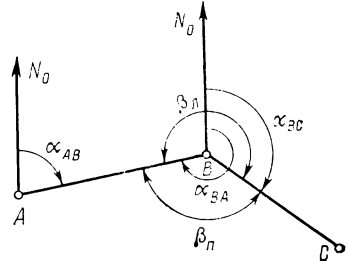


Рис. 16. Зависимость между дирекционными углами сторон хода

(рис. 16). Дирекционный угол α_{AB} стороны AB будем считать известным. Если правый по ходу угол обозначить через β_n , то

$$\alpha_{BC} = \alpha_{BA} - \beta_n.$$

Подставляя значение α_{BA} из формулы (10), получим

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180^\circ - \beta_n. \quad (12)$$

Если бы мы имели при точке B не правый, а левый угол β_n , то получили бы формулу

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180^\circ + \beta_n. \quad (13)$$

Румбы. Румбом (r) называется горизонтальный угол (острый), отсчитываемый от ближайшего (северного или южного) направления меридиана до ориентируемой линии. Следовательно, румбы могут принимать значения только от 0 до 90°. Для того чтобы

Таблица 1

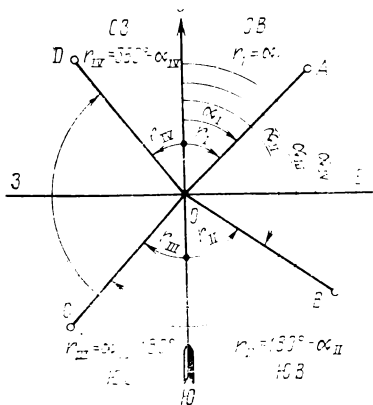


Рис. 17. Зависимость между дирекционными углами и румбами

Румб четверти	Интервал изменения дирекционного угла	Название румба	Связь дирекционного угла с румбом
I	$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	СВ	$\alpha - r = 0^\circ$
II	$90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	ЮВ	$\alpha + r = 180^\circ$
III	$180^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	ЮЗ	$\alpha - r = 180^\circ$
IV	$270^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	СЗ	$\alpha + r = 360^\circ$

определить румбом направление данной линии относительно меридиана, необходимо кроме его числового значения указать название той четверти, в которой эта линия находится. Румбы, как и азимуты, бывают истинные (r) и магнитные (r_m).

Зависимость между дирекционными углами и румбами показана на рис. 17, а формулы для перехода приведены в табл. 1.

§ 6. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости

Прямая задача. Пусть AB (рис. 18) — линия на местности, для которой известны ее горизонтальное проложение (проекция линии на горизонтальную плоскость) d , дирекционный угол α и координаты начальной точки $A(x_1, y_1)$. Требуется определить координаты второй точки $B(x_2, y_2)$. Из рис. 18 видим

$$x_2 - x_1 = \Delta x; \quad y_2 - y_1 = \Delta y.$$

Разности Δx и Δy координат точек последующей и предыдущей называют приращениями координат.

Из прямоугольного треугольника ABC имеем

$$\Delta x = d \cos \alpha; \quad \Delta y = d \sin \alpha. \quad (14)$$

Знаки Δx и Δy зависят от знаков $\cos \alpha$ и $\sin \alpha$. Для различных значений α знаки Δx и Δy можно получить из табл. 2.

С помощью румбов Δx и Δy можно получить по формулам

$$\Delta x = d \cos r; \quad \Delta y = d \sin r. \quad (15)$$

Тогда искомые координаты точки B будут

$$x_2 = x_1 + \Delta x; \quad y_2 = y_1 + \Delta y. \quad (16)$$

Таблица 2

Приращения	Значения Δx и Δy для четверти, в которую направлена линия			
	СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ
Δx	+	-	-	+
Δy	+	+	-	-

Обратная задача. По данным координатам точек A и B найти горизонтальное проложение d и дирекционный угол α (рис. 18).

Из прямоугольного треугольника ABC имеем

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta y / \Delta x, \quad (17)$$

$$d = \Delta x / \cos \alpha = \Delta y / \sin \alpha. \quad (18)$$

При работе на вычислительных машинах формулу (18) удобнее привести к виду

$$d = \Delta x \operatorname{sec} \alpha = \Delta y \operatorname{cosec} \alpha. \quad (19)$$

Формула (19) дает более точные результаты, чем формула (18), так как $\operatorname{sec} \alpha$ и $\operatorname{cosec} \alpha$ имеют больше значащих цифр, чем $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$ при одном и том же числе десятичных знаков у этих функций.

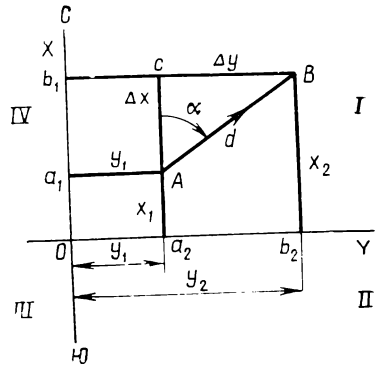


Рис. 18. К решению прямой и обратной задач на плоскости

Вопросы для самопроверки

1. Что называется ориентированием линии на местности?
2. Что называется азимутом линии?
3. В чем заключается разница между истинным и магнитным азимутами?
4. Что называется дирекционным углом и в каких пределах он изменяется?
5. Что называется румбом и в каких пределах он изменяется?
6. Что называется сближением меридианов?
7. Что называется склонением магнитной стрелки?
8. Как перейти от дирекционных углов к румбам и обратно?
9. Прямая геодезическая задача на плоскости.
10. Обратная геодезическая задача на плоскости.
11. Вычислить сближение меридианов, если $\varphi = 60^\circ$ и разность долгот составляет $30'$.
12. Определить горизонтальный угол по обратным дирекционным углам его сторон.

13. Вычислить дирекционный угол и румб стороны BC (см. рис. 16), если $\alpha_{AB} = 48^\circ 20'$ при $\beta_{\Pi} = 243^\circ 14'$ и при $\beta_{\Pi} = 104^\circ 07'$.

14. Вычислить плоские прямоугольные координаты точек B и C (см. рис. 16), если координаты точки A : $X_A = 4175,243$ м, $Y_A = 2181,152$ м; горизонтальные расстояния: $S_{AB} = 54,123$ м, $S_{BC} = 46,143$ м; дирекционный угол $\alpha_{AB} = 65^\circ 20'$ и горизонтальный угол, измеренный в точке B , $\beta_{\Pi} = 148^\circ 13'$.

15. Вычислить горизонтальное расстояние $AB = d$ и дирекционный угол α_{AB} (см. рис. 18), если координаты точек A и B соответственно равны $X_A = 5271,245$ м, $Y_A = 3825,148$ м, $X_B = 4728,101$ м и $Y_B = 4002,025$ м.

ГЛАВА III. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ, КАРТЫ И ЧЕРТЕЖИ

§ 7. Понятие о геодезических планах, картах и чертежах

Планом местности называется чертеж, представляющий собой уменьшенное и подобное изображение ее проекции на горизонтальную плоскость.

На плане длины линий, углы и площади контуров участков местности не искажаются, а степень уменьшения ее линейных элементов (масштаб изображения) постоянна для всех частей плана. Планы, на которых изображена только ситуация местности, называются ситуационными или контурными. Планы, на которых кроме предметов местности изображен еще и рельеф, называются топографическими.

Картой называется построенное по определенным математическим законам уменьшенное обобщенное изображение на плоскости всей Земли или значительных ее частей с учетом кривизны уровня поверхности.

Карты в зависимости от масштаба условно делят на крупномасштабные — 1:100 000 и крупнее, среднемасштабные — от 1:200 000 до 1:1 000 000, мелкомасштабные — мельче 1:1 000 000.

При выполнении геодезических работ, входящих в комплекс строительно-монтажного производства, для составления планов применяют масштабы 1:200, 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000.

При создании карт прежде всего строят сетку меридианов и параллелей, которая называется картографической сеткой. Кроме того, на многих картах изображают километровую сетку квадратов, вершины углов которой имеют координаты, кратные целому числу километров (одному, двум и т. д.), а стороны — параллельны осям абсцисс и ординат.

Профилем местности называется изображенное в уменьшенном виде сечение вертикальной плоскостью поверхности Земли по заданному направлению. Профили местности используют для строительства и монтажа надземных и подземных инженерных сооружений и сетей.

Топографические планы применяют для проектирования генеральных планов строительных площадок. На таком плане изображают весь комплекс подземных и надземных сооружений. В зависимости от размеров и назначения предприятия рабочий проект генерального плана строительной площадки оставляют в масштабе 1:500—1:1000, а на отдельные объекты в зависимости от их сложности — в масштабе 1:200.

В процессе ведения строительно-монтажных работ на строительной площадке и по их завершению выполняют исполнительные

съемки и составляют так называемый исполнительный генеральный план, на котором показывают все построенные по проекту здания и сооружения.

§ 8. Масштабы

Масштабом называется отношение длины линии на плане (профиле) к соответствующей проекции этой линии на местности. Следовательно, масштаб есть число отвлеченное — правильная дробь. Для удобства пользования и сравнения все масштабы имеют однообразный вид: числителем дроби всегда является единица; при этом знаменатель непосредственно выражает степень уменьшения. Такой масштаб называется численным. Например, $\frac{1}{500}$, $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{10\,000}$, $\frac{1}{50\,000}$ и т. д.

Численный масштаб дает общую характеристику степени уменьшения и не всегда удобен для практических целей. Для построения планов или определения длины отрезков, взятых с плана, применяют линейный или поперечный масштабы.

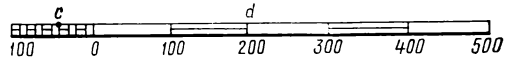


Рис. 19. Линейный масштаб

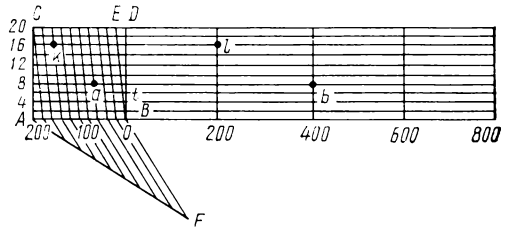


Рис. 20. Поперечный масштаб

Для построения линейного масштаба (рис. 19) на прямой несколько раз откладывают один и тот же отрезок, называемый основанием масштаба. Крайний левый отрезок делят обычно на 10 равных частей. Тогда отрезки, отложенные от нулевой точки вправо, например, в масштабе $1 : 10\,000$, представляют на местности 100, 200, 300, 400 и 500 м, а влево — 10, 20, 30, ..., 100 м. Если отрезок линии на плане оказался равным cd (рис. 19), то на местности ему соответствует отрезок линии длиной 240 м. Наименьший отрезок в таком масштабе соответствует 10 м на местности.

Для более точного построения плана или определения длин отрезков пользуются поперечным масштабом (рис. 20). За основание такого масштаба обычно принимают отрезок $AB = 2$ см и делят его на 10 равных частей. Для этого под произвольным углом к основанию проводят прямую AF и на ней от точки A откладывают 10 произвольных, но равных частей; соединив точки B и F , проводят через все точки линии AF прямые, параллельные BF , которые и разделяют основание на 10 равных частей. Дальше, на линии AC , перпендикулярной AB , откладывают 10 произвольных, но равных между собой отрезков и через полученные точки проводят линии, параллельные AB . Отрезки между наклонными линиями, параллельными BE , равны десятым долям основания AB , т. е. $ED = AB/10$.

Отрезки, заключенные между перпендикуляром BD и наклонной BE , равны сотым долям основания, т. е. $t = ED/10 = AB/10 \cdot 10 = AB/100$. Такой масштаб называют еще нормальным поперечным масштабом.

Цифры, написанные внизу масштаба, изображенного на рис. 20, соответствуют численному масштабу $1 : 10\,000$. Тогда основание AB для такого масштаба соответствует на местности 200 м, а наименьшее деление будет $t = 200/10 \cdot 10 = 2$ м. Отрезки ab и kl для данного случая будут соответствовать 468 и 356 м.

Обычно считают, что $0,1$ мм — наименьшее расстояние, различаемое непосредственно глазом. Точностью масштаба называют горизонтальное расстояние на местности, соответствующее в данном масштабе $0,1$ мм плана. Так, для масштабов $1 : 500$, $1 : 1000$, $1 : 5000$, $1 : 10\,000$ и $1 : 25\,000$ точность соответственно будет: $0,05$; $0,1$; $0,5$; $1,0$ и $2,5$ м; отрезки, меньше указанных, не будут изображаться на плане данного масштаба. Зная размеры предметов местности, которые необходимо изобразить на плане, можно установить соответствующий масштаб плана.

§ 9. Номенклатура карт и планов

В инженерной геодезии чаще всего пользуются топографическими картами. Их составляют в масштабах $1 : 10\,000$, $1 : 25\,000$, $1 : 50\,000$ и $1 : 100\,000$. Границами листов таких карт служат меридианы и параллели.

Номенклатурой называется система обозначений (нумераций) отдельных листов топографических карт (планов). В основу номенклатуры топографических карт различных масштабов положена карта масштаба $1 : 1\,000\,000$. Для получения одного листа карты этого масштаба весь земной шар делят (рис. 21) меридианами и параллелями на колонны и ряды (пояса). Меридианы проводят через каждые 6° на восток и на запад, начиная от Гринвичского меридиана, а параллели — через каждые 4° к северу и югу, начиная от экватора. В результате этого размеры каждого листа такой карты будут равны 4° по широте (ряды) и 6° по долготе (колонны). Номенклатура каждого листа карты $1 : 1\,000\,000$ состоит из двух индексов: большой буквы латинского алфавита, которая определяет широтный ряд — пояс, и числа, соответствующего номеру колонны. Так, Москва находится на листе $N-37$ (рис. 21).

Для получения карты масштаба $1 : 500\,000$ лист миллионной карты делят на четыре части и обозначают прописными буквами русского алфавита $A, B, B, Г$ (рис. 22). Лист карты масштаба $1 : 200\,000$ получают делением листа миллионной карты на 36 частей: $I—XXXVI$. Для получения листа карты масштаба $1 : 100\,000$ каждый лист карты масштаба $1 : 1\,000\,000$ делят на 144 части: $1—144$.

Листы карт масштабов $1 : 50\,000$, $1 : 25\,000$ и $1 : 10\,000$ получают из листа карты масштаба $1 : 100\,000$ последовательным делением листа карты предыдущего более мелкого масштаба на четыре час-

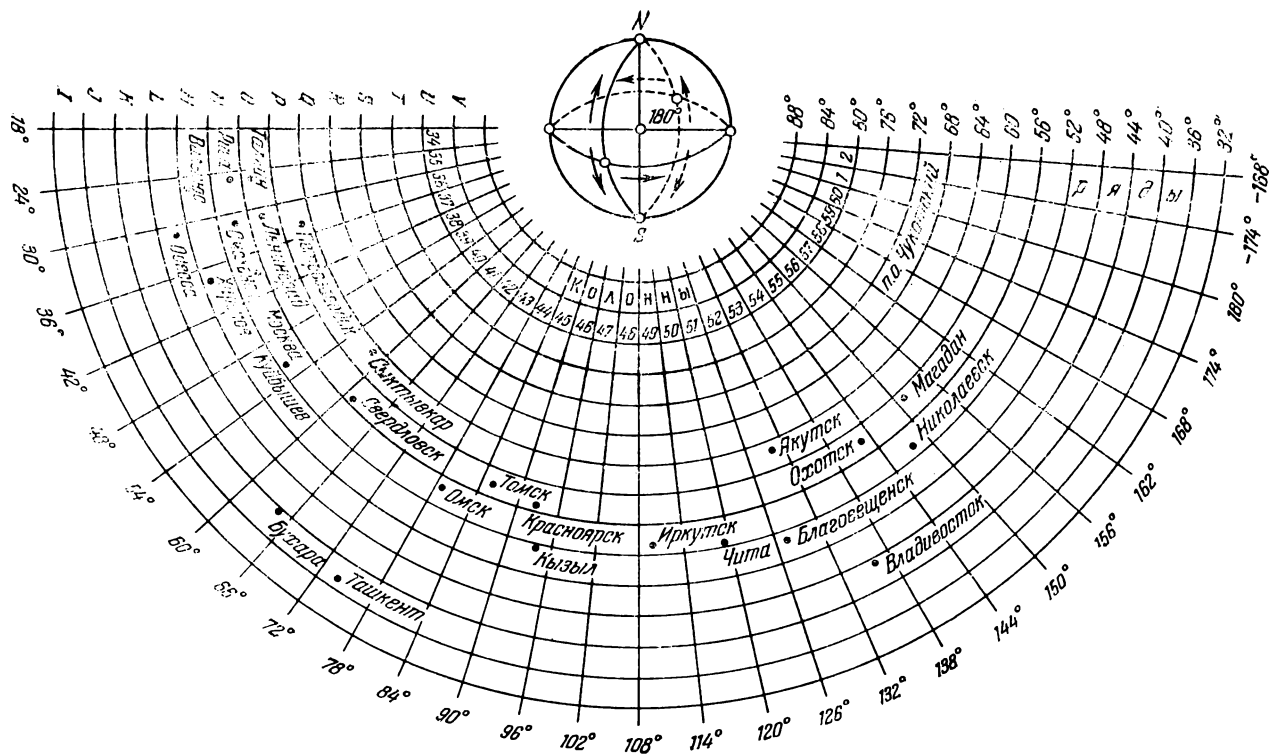


Рис. 21. Номенклатура карт

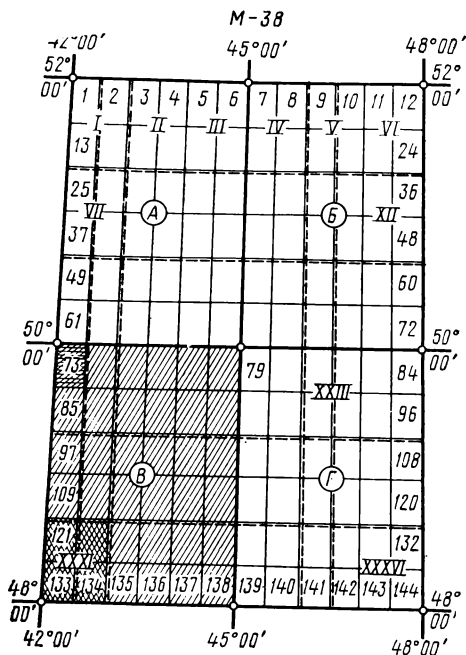


Рис. 22. Образование листов карт масштаба 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 100 000

ем в скобках порядкового номера трапеции масштаба 1 : 5000, например М-38-5 (232); номенклатура трапеции масштаба 1 : 2000 получается из названия трапеции 1 : 5000 с добавлением в скобках соответствующей буквы трапеции масштаба 1 : 2000, например М-38-5 (232-6).

Согласно инструкции* для топографических планов, создавае-

Таблица 3

Масштаб	Номенклатура листа	Размеры по	
		широте	долготе
1 : 1 000 000	М-38	4°	6°
1 : 500 000	М-38-В	2°	3°
1 : 200 000	М-38-XXXI	40'	60'
1 : 100 000	М-38-73	20'	30'
1 : 50 000	М-38-73-Б	10'	15'
1 : 25 000	М-38-73-Б-6	5'	7'30"
1 : 10 000	М-38-73-Б-6-2	2'30"	3'45"

* Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. М., 1973.

А-38-73'

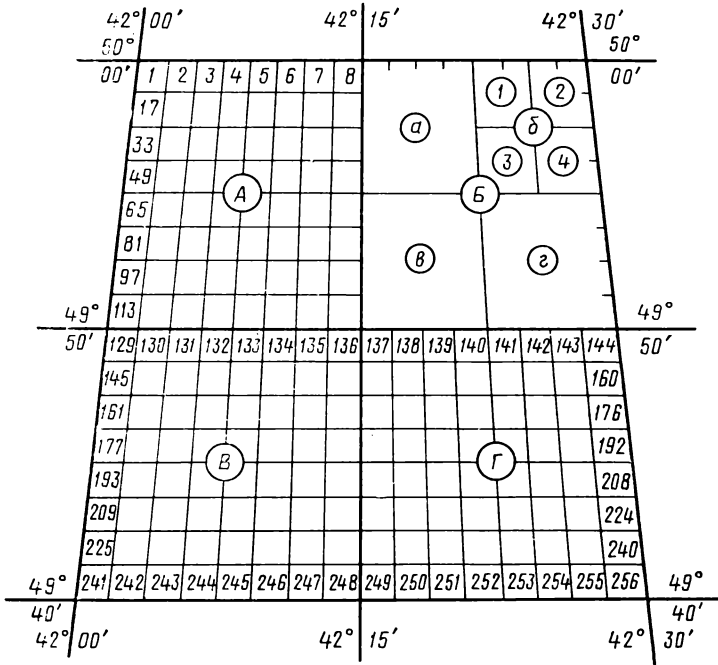


Рис. 23. Образование листов карт масштаба 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000 и 1 : 5 000

мых на участках площадью менее 20 км², применяется, как правило, прямоугольная разграфка. В основу этой разграфки положен планшет 1 : 5000 с размерами рамок 40×40 см, обозначаемый арабскими цифрами (рис. 24). Ему соответствуют 4 листа 1 : 2000, каждый из которых обозначается присоединением к номеру масштаба 1 : 5000 одной из первых четырех заглавных букв русского алфавита (А, Б, В, Г), например 4-Б.

Листу масштаба 1 : 2000 соответствуют 4 листа масштаба 1 : 1000, обозначаемых римскими цифрами (I, II, III, IV), и 16 листов масштаба 1 : 500, обозначаемых арабскими цифрами 1, 2, 3, 4, ..., 16.

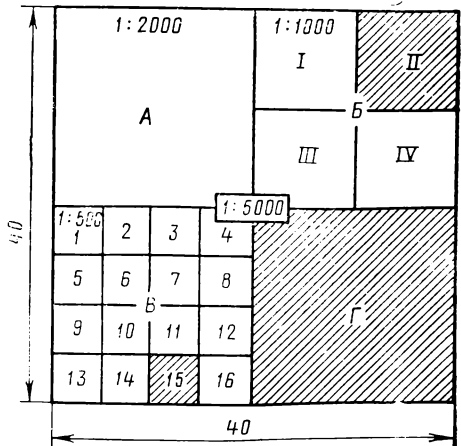


Рис. 24. Разграфка топографических планов

Таблица 4

Масштаб	Номенклатура планшета	Размеры рамок, см
1 : 5000	4	40×40
1 : 2000	4-Б	50×50
1 : 1000	4-Б-11	50×50
1 : 500	4-Б-15	50×50

Номенклатура листов масштабов 1 : 1000 и 1 : 500 складывается из номенклатуры листа масштаба 1 : 2000 и соответствующей римской цифры для листа масштаба 1 : 1000 или числа из арабских цифр для листа масштаба 1 : 500.

Для отдельных площадок обозначение листов топографических планов масштабов 1 : 1000 и 1 : 500 устанавливается в программе работ.

Номенклатура листов масштабов 1 : 5000 — 1 : 500 и размеры их рамок приведены в табл. 4.

§ 10. Условные знаки на планах, картах, геодезических и строительных чертежах

Для обозначения на планах и картах различных предметов местности применяют специально разработанные условные знаки. Для облегчения пользования планом или картой очертания условных знаков напоминают вид изображаемых элементов местности. Условные знаки для топографических планов и карт являются едиными для всего Советского Союза. В основу создания условных знаков положено единство их начертания, поэтому для чтения планов и карт достаточно изучить условные знаки одного какого-нибудь масштаба.

Некоторую особенность представляют собой условные знаки разбивочных и исполнительных чертежей, которые применяются при проектировании генеральных планов сооружаемых объектов. Условные знаки принято делить на контурные, или масштабные, и внемасштабные.

Масштабными называют такие условные знаки, которыми предметы местности изображают с соблюдением масштаба карты или плана. Они дают возможность определить по плану или карте не только местоположение предмета, но и его размеры.

Внемасштабными называют такие условные знаки, которыми предметы местности изображают без соблюдения масштаба карты или плана. Предметы, обозначаемые такими условными знаками, занимают на плане или карте больше места, чем это следовало бы по масштабу.

На рис. 25, а, б представлены некоторые условные знаки для топографических планов, геодезических и строительных чертежей.

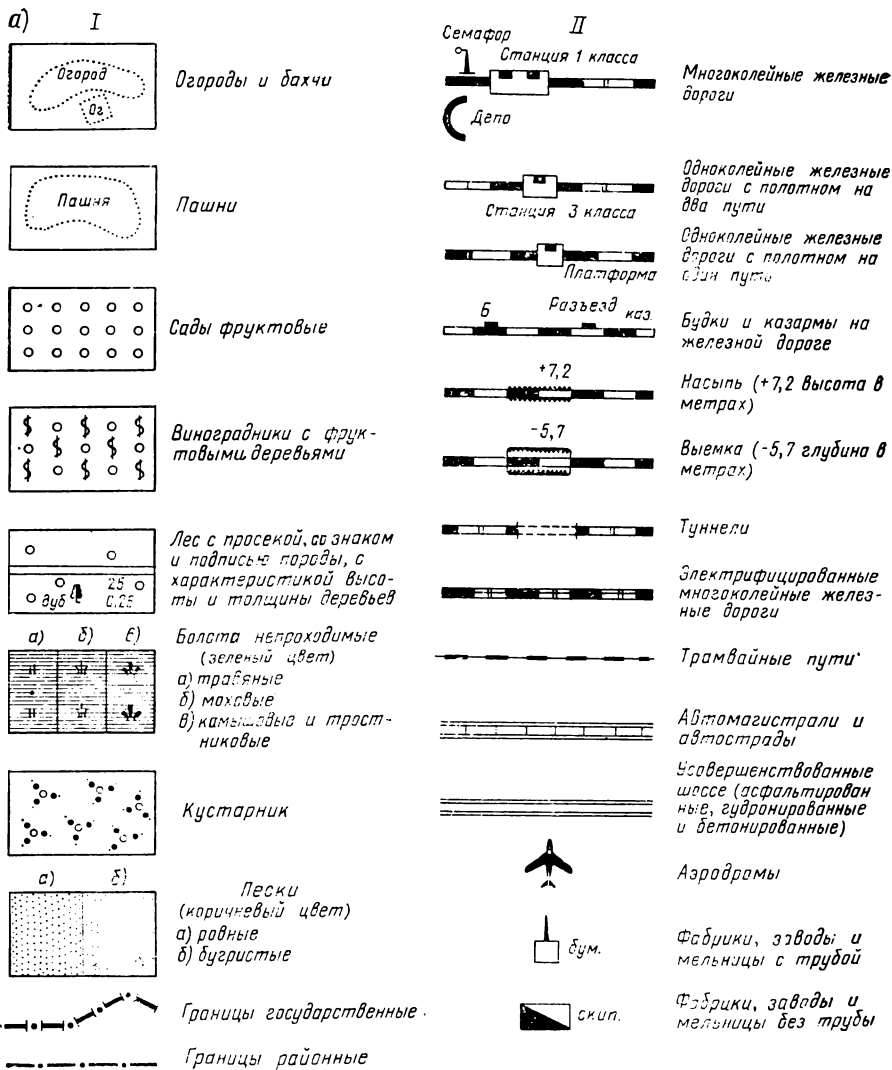





Рис. 25. Условные знаки:


а — для топографических планов (I — масштабные, II — внемасштабные); б — для геодезических и строительных чертежей

 **II**
Уз. Шахты, штольни,
шурфы действующие

 Медн. Рудники, прииски


 Склады горячего,
автоколонки


 Электростанции

 Элеваторы

 Метеорологические
станции


 кам. Каменоломни

 гл. Места добычи глины

 пес. Места добычи песка

 астр. Астрономические
пункты

 91,6 Пункты государ-
ственной геодези-
ческой сети

 71,9 Нивелирные марки
и реперы (грунта-
вые)

 Пункты полигона-
метрии

 347,1 Отметки команд-
ных высот

 Дама лесников

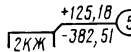
  К-дбища

б)  147,17

Капитальное здание и отметка
пола 1 этажа



Капитальное здание

 +125,18
2кж -382,51 ⑤

Номера и координаты точки

Отметки угла здания:

красная

черная

Отметки вертикальной планировки
вершин квадратов нивелирной сетки:

рабочая

красная

черная

Объем, м³, земли насыпи или выемки
внутри квадрата сетки

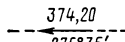
⑥9



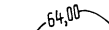
Кантур выемки



Кантур насыпи

 374,20
276°35'

Расстояние по оси проектируемого
проезда, азимут направления оси

 64,00

Черная горизонталь и ее отметка

 61,25

Красная (проектная) горизонталь и ее
отметка (при сечении через 0,25м)

 40
20,00

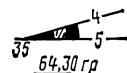
Уклон, выраженный в тысячных долях,
его направление и протяженность, м

 64,00
64,35

Отметки переламных точек
проектируемых углов:

черная

красная

 35 4 5
64,30 гр

Оси, номера железнодорожных путей,
номер стрелки и марка крестовины

Отметка головки рельса
железнодорожного пути

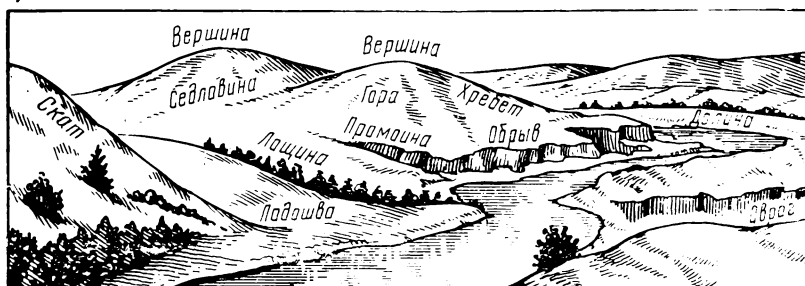
Рис. 25. Условные знаки (продолжение)

§ 11. Рельеф местности и способы его изображения

Рельефом местности называется совокупность неровностей физической поверхности земли. В зависимости от характера рельефа местность делят на горную, холмистую и равнинную. Все это разнообразие рельефа местности можно свести к следующим типовым его формам (рис. 26, а).

Гора — куполообразная или коническая возвышенность земной поверхности. В ней выделяют вершину, представляющую собой самую высокую часть; скаты или склоны, которые расходятся от вер-

а)



б)



Рис. 26. Формы рельефа местности:

а — основные формы рельефа; б — изображение горизонталями

шины во все стороны; основание возвышенности, называемое подошвой. Небольшая гора называется холмом или сопкой, а искусственный холм — курганом.

Котловина — чашеобразное замкнутое со всех сторон углубление, в ней различают: дно — самую низкую часть; щеки — боковые покатости и окраину — то место, где котловина переходит в окружающую равнину.

Хребет — возвышенность, вытянутая в одном направлении и образованная двумя противоположными скатами. Линия встречи скатов называется осью хребта, водоразделом или водораздельной

линией. Наиболее низкие места водоразделов называются перевалами.

Лощина — вытянутое в одном направлении желобообразное углубление с наклоном в одну сторону. Склоны лощины пересекаются по линии, называемой осью лощины или водосливной линией. Широкая лощина с пологим дном называется долиной, а узкая с крутыми склонами — балкой; в горной местности узкая лощина называется ущельем.

Седловина — понижение между двумя соседними горными вершинами или возвышенностями.

Для изображения рельефа местности пользуются различными способами: перспективным изображением, штриховкой, отмывкой, горизонталями.

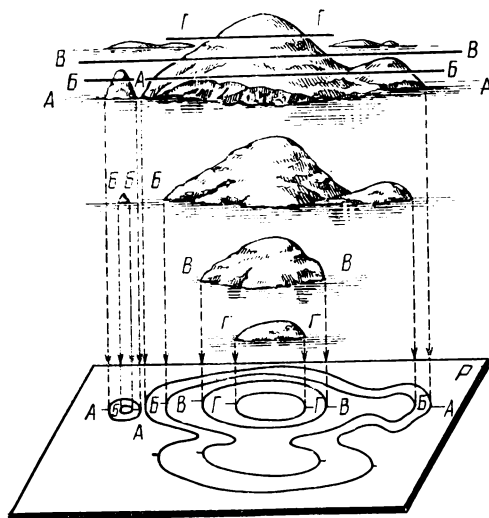


Рис. 27. Образование горизонталей

На крупномасштабных планах и картах, служащих для нужд строительства, рельеф изображается горизонталями.

Горизонталью называется замкнутая кривая линия, все точки которой имеют одну и ту же высоту над поверхностью, принятой за начальную.

Пусть некоторая возвышенность постепенно заливается водой (рис. 27). Представим, что в начальный момент вода находилась на уровне точек А. Проектируя эту береговую линию на плоскость Р, получим замкнутую кривую АА. Допустим теперь, что уровень воды поднялся на 1 м и образовал

береговую линию в точках В. Спроектировав ее на ту же плоскость Р, получим вторую замкнутую кривую ВВ. Продолжая подъем воды в такой же последовательности выше, на плоскости Р получим изображение возвышенности с помощью горизонталей.

Для большей наглядности направление понижения скатов показывается черточками, называемыми бергштрихами. Для указания высот горизонталей их отметки подписывают в разрывах горизонталей, располагая верх цифр по направлению верха ската. Для большей выразительности рельефа, как правило, пятая, а иногда десятая горизонталь утолщаются.

Разность высот двух соседних горизонталей называется высотой сечения рельефа.

Расстояние между двумя смежными горизонталями на плоскости называется заложением.

Горизонталы обладают следующими свойствами: а) все точки, лежащие на одной и той же горизонтали, имеют одинаковую высоту; б) все горизонталы должны быть непрерывными; в) горизонталы не могут пересекаться или раздваиваться; г) расстояния между горизонталями в плане характеризуют крутизну ската — чем меньше расстояния (заложение), тем круче скат; д) кратчайшее расстояние между горизонталями соответствует направлению наибольшей крутизны ската; е) водораздельные линии и оси лошин пересекаются горизонталями под прямыми углами; ж) горизонталы, изображающие наклонную плоскость, имеют вид параллельных прямых.

Часто для уточнения форм рельефа применяют дополнительные горизонталы, которые изображаются штрихпунктирными линиями и называются полугоризонталями. Обычно полугоризонталы принято проводить в тех случаях, когда расстояние между горизонталями на плане превышает 2 см. На рис. 26, б показано изображение горизонталями отдельных элементов местности.

§ 12. Уклон линии. График заложений

Уклоном i линии называется отношение превышения h к ее заложению d . Уклон i является мерой крутизны ската.

Пусть линия местности AB , называемая скатом, наклонена под углом ν к горизонту AA' (рис. 28). Тогда

$$i = h/d = \operatorname{tg} \nu. \quad (20)$$

Следовательно, уклон линии есть тангенс угла наклона ее к горизонту.

Например, при $h=1$ м и $d=20$ м по формуле (20) имеем $i=1/20=0,05$. Уклоны линий выражают в процентах или в промиллях. Полученный уклон соответственно будет $i=5,0\%$, или $i=50\text{‰}$.

Из формулы (20) следует, что при данной высоте сечения крутизна ската тем больше, чем меньше заложение d .

Так, например, при $h=1$ м $i=1/d$, откуда $id=1$, т. е. произведение уклона на заложение для данного плана есть величина постоянная.

Обычно крутизну ската и уклоны определяют графически. Для этого на планах строят графики заложений. Из формулы (20) следует, что $d = h \operatorname{ctg} \nu$.

Подставляя в эту формулу натуральные значения $\operatorname{ctg} \nu$ для углов 1, 2, 3° и т. д., вычисляют соответствующие им заложения при одной и той же высоте сечения (постоянной для данного плана).

На горизонтальной прямой OB (рис. 29, а) откладывают произвольной величины равные отрезки и подписывают величины углов.

Углы наклона, град	1	2	3	4	5	10	15	20	25
Заложения	57,3	28,7	19,1	14,3	11,5	5,7	3,8	2,8	2,2

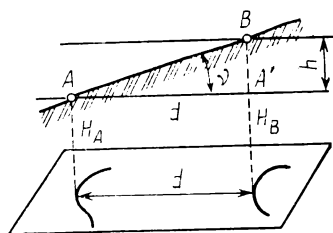


Рис. 28. К определению уклона линии

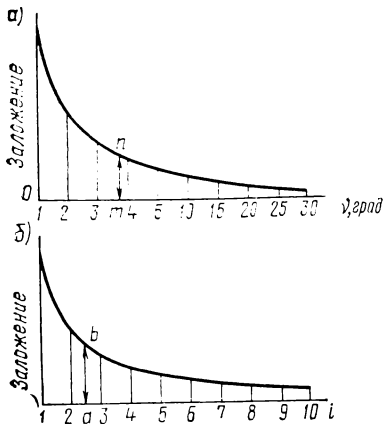


Рис. 29. Масштабы заложений:
 а — по углам наклона; б — по уклонам

крутизна ската, или уклон линии, $i = 3^\circ 40'$.

Для построения графика заложений по уклонам величину заложения d определяют по формуле

$$d = h/i. \quad (21)$$

Если в эту формулу последовательно подставить величины уклонов i , равные 0,001; 0,002; 0,003 и т. д., то при известной для данного плана высоте сечения $h = 1$ м можно получить соответствующие данным уклонам заложения:

Уклоны	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
Заложения	1000	500	333	250	200	167	143	125	111

График заложений по уклонам, показанный на рис. 29, б, строят подобно графику заложений по углам наклона, но только в этом случае по горизонтальной прямой в произвольном масштабе откладывают уклоны, а по вертикали — соответствующие этим уклонам заложения в масштабе плана. Пользуются графиком заложений по уклонам так же, как и графиком заложений по углам наклона. Так, например, для линии ab уклон $i = 0,0025$.

§ 13. Ориентирование на местности с помощью карты

Ориентировать карту на местности — это значит расположить ее в горизонтальной плоскости таким образом, чтобы линии карты стали параллельны соответствующим линиям местности. Ориентировать карту можно по местным предметам, с помощью буссоли (по магнитному меридиану) и, в исключительных случаях, по истинному меридиану, направление которого предварительно должно

быть определено тем или иным способом. Для ориентирования карты по местным предметам необходимо вначале опознать на карте точку, в которой расположился наблюдатель. Затем наметить направление AB , имеющееся на местности, и повернуть карту так, чтобы эти направления совпали. Для этой цели обычно применяют визирную линейку. При ориентировании карты по магнитному меридиану необходимо учитывать соответственно магнитное склонение и сближение меридианов.

Если карта ориентирована правильно, то все точки местности должны находиться в направлениях, соответствующих точкам на карте.

§ 14. Способы измерения площадей на планах и картах

На планах и картах площади можно определить аналитическим, геометрическим или механическим способами.

Аналитический способ. Пусть дан четырехугольник $ABCD$ (рис. 30), координаты вершин которого известны. Непосредственно из рисунка можно записать

$$S_{ABCD} = S_{ABba} + S_{BCdb} - S_{CcdD} - S_{DcaA}.$$

Представив площадь каждой трапеции как произведение полусуммы параллельных сторон на высоту и удвоив полученные результаты, найдем

$$2S = (x_1 + x_2)(y_2 - y_1) + (x_2 + x_3)(y_3 - y_2) - \\ - (x_3 + x_4)(y_3 - y_4) - (x_4 + x_1)(y_4 - y_1).$$

Преобразовывая, получим

$$2S = x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3).$$

Эту формулу для случая n -угольника в общем виде можно записать

$$2S = \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (22)$$

или

$$2S = \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}). \quad (23)$$

Точность определения площади таким способом зависит от точности определения координат точек. Так, при точности измерения углов $\pm 1'$ и линий $1:2000$ ошибка в определении площади составит около $1:1500$.

Геометрический способ. Этот способ заключается в разбивке данной на плане или карте фигуры на ряд простейших геометрических фигур. Тогда площадь всей фигуры будет равна сумме пло-

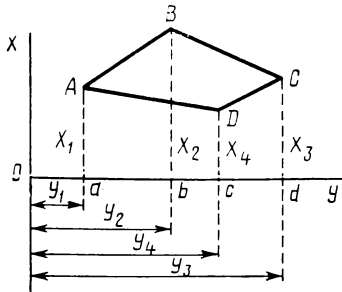


Рис. 30. К определению площади участка

щадей элементарных фигур. Частным случаем этого способа является применение различных палеток, нанесенных на прозрачном материале.

Механический способ. Этот способ основан на применении специального прибора — планиметра. Наибольшее распространение получил полярный планиметр (рис. 31).

Перед измерением площади определяют цену одного деления счетного механизма планиметра. Для этого выбирают участок, площадь S которого легко получить геометрически (например, один из квадратов сетки плана), и обводят его. При этом берут отсчеты по счетному механизму n_1 до обводки участка и n_2 — после обводки. Тогда цена одного деления счетного механизма будет

$$C = S / (n_2 - n_1). \quad (24)$$

При этом $n_2 > n_1$, если участок обводят по ходу часовой стрелки, и $n_2 < n_1$ — при обводе участка против хода часовой стрелки. Зная цену одного деления планиметра, можно определить площадь лю-

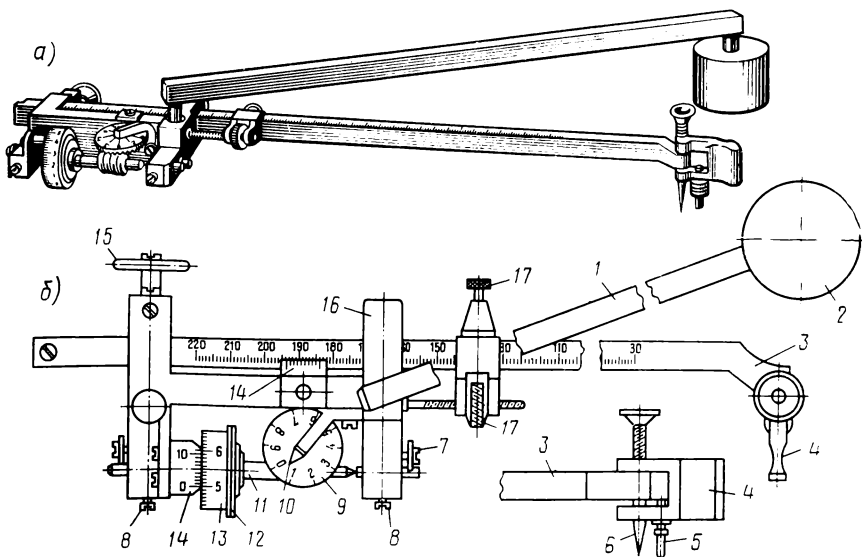


Рис. 31. Полярный планиметр:

a — общий вид; *b* — основные части: 1 — полюсный рычаг; 2 — груз полюса; 3 — обводной рычаг; 4 — ручка; 5 — стержень (упор); 6 — иголка; 7 — закрепительный винт оси; 8 — закрепительные винты; 9 — циферблат; 10 — стрелка; 11 — горизонтальная ось счетного ролика; 12 — колесо счетного ролика; 13 — барабан; 14 — верньеры; 15 — колесо каретки; 16 — каретка; 17 — закрепительный и наводящий винты каретки 16

бого участка. Для этого необходимо произвести два отсчета n_0 и n до и после обвода этого участка планиметром; значение площади получают по формулам

$$S = C(n - n_0) \quad (25)$$

или

$$S = C(n - n_0) + Q, \quad (26)$$

где Q — постоянное число планиметра.

Формулу (25) используют в том случае, когда полюс планиметра находится вне обводимого контура, а формулу (26) — когда полюс внутри контура. Постоянное Q планиметра определяют по формуле

$$Q = S/C - n',$$

где S — известная площадь участка, например площадь квадрата, вычисленная геометрически; C — цена деления планиметра (должна быть известна); $n' = n - n_0$.

Цену деления C можно изменять путем перемещения счетного механизма по обводному рычагу. Допустим, что цена деления равна некоторому числу C_0 и этому числу соответствует длина рычага R_0 , тогда

$$R_0 = C_0 R / C. \quad (27)$$

Точность определения площади планиметром характеризуется относительной ошибкой порядка 1 : 300.

§ 15. Решение задач на топографических планах (картах)

Определение координат точки. Пусть точка A (рис. 32) находится в квадрате, абсциссы и ординаты вершин которого x_1, x_2 и y_1, y_2 . Проведя через точку A прямые, параллельные осям координат, и измерив с помощью измерителя и масштабной линейки расстояния a, a_1 и b, b_1 , получим

$$x_A = x_1 + \frac{\Delta x}{a + b} a = x_2 - \frac{\Delta x}{a + b} b, \quad (28)$$

$$y_A = y_1 + \frac{\Delta y}{a_1 + b_1} a_1 = y_2 - \frac{\Delta y}{a_1 + b_2} b_1, \quad (29)$$

где $\Delta x = x_2 - x_1$, $\Delta y = y_2 - y_1$.

Определение отметки точки. Если точка лежит на горизонтали, то ее отметка равна отметке этой же горизонтали.

Пусть точка A (рис. 33) лежит между горизонталями с отметками H_1 и H_2 , причем $H_1 < H_2$. Проведя через точку A кратчайшую линию между горизонталями и измерив с помощью измерителя и масштабной линейки расстояния d, a и b , получим

$$H_A = H_1 + ha/d = H_2 - hb/d, \quad (30)$$

где h — высота сечения рельефа горизонталями.

Определение направления и крутизны ската. Построим линии tn и mk , проведя их между горизонталями с отметками H_1 и H_2 (рис. 33). Длина линии tn меньше mk , а вертикальное расстояние между горизонталями (высота сечения рельефа) одно и то же. Следовательно, линия, соответствующая заложению tn , круче линии, соответствующей заложению mk . Отсюда можно сделать вывод, что самому короткому расстоянию между двумя соседними горизонталями соответствует самая крутая линия на местности. Направление этой линии принимается за направление ската, а уклон этой линии служит мерой его крутизны.

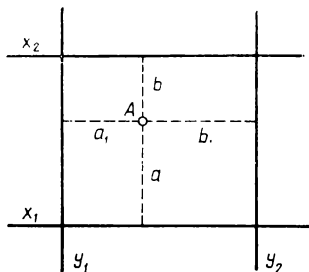


Рис. 32. К определению координат точки

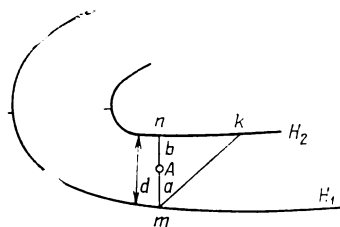


Рис. 33. К определению отметки точки

Определение уклона линии. Пусть имеются две точки A и B (см. рис. 28), горизонтальное расстояние между которыми равно d , а отметки их равны H_A и H_B . Тогда согласно формуле (20) уклон линии AB будет

$$i_{AB} = (H_B - H_A) / d, \quad (31)$$

а уклон линии BA

$$i_{BA} = (H_A - H_B) / d. \quad (32)$$

Абсолютные значения i_{AB} и i_{BA} равны, но противоположны по знаку.

Определение горизонтальных расстояний. Пусть даны на карте (плане) точки A и B , расстояние между которыми неизвестно. Зная масштаб карты (плана), расстояние AB можно определить измерителем и масштабной линейкой. Более точно расстояние AB определяют путем решения обратной задачи на координаты. Для этого вначале по формулам (28), (29) и (17) определяют координаты точек A и B и дирекционный угол направления AB , а затем по формуле (18) вычисляют горизонтальное расстояние AB .

Построение по горизонталям профиля местности. Пусть требуется построить профиль по направлению AB (рис. 34). Для этого на листе бумаги проводят прямую ab и на ней откладывают расстояния $I-II, II-III, \dots$, равные соответствующим расстояниям между горизонталями, определяемыми по направлению AB . В полученных точках восстанавливают перпендикуляры, на которых в выбранном масштабе откладывают высоты точек I, II, \dots, VII .

Соединив концы перпендикуляров прямыми, получают профиль местности по направлению AB . Для построения профиля вертикальный масштаб принимают крупнее горизонтального в десять раз.

Проведение линии заданного уклона. Допустим, требуется через точки M (рис. 35) и N провести кратчайшую линию так, чтобы ук-

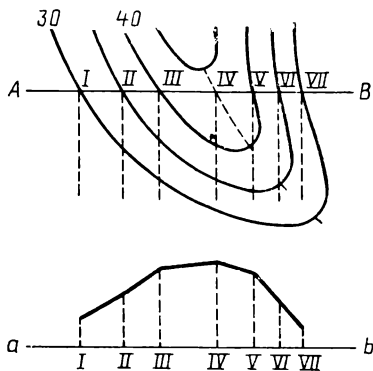


Рис. 34. Построение профиля местности

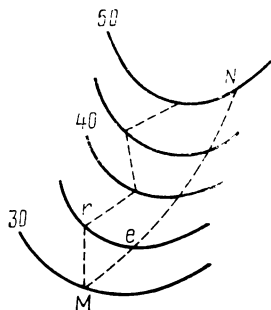


Рис. 35. Проведение линии заданного уклона

лоны ее отдельных участков не превышали заданного уклона i_0 . Подставив в формулу (21) вместо h высоту сечения рельефа для данной карты (плана), а вместо i уклон i_0 , получим кратчайшее расстояние d между горизонталями, которое и будет соответствовать уклону i_0 . Взяв циркулем в масштабе карты (плана) расстояние d , засекают этим радиусом из точки M следующую горизонталь в точках r и e . Из этих точек тем же радиусом засекают следующую горизонталь и т. д. Следовательно, получают два варианта решения задачи. Направление MeN , как более короткое, принимают за искомое.

§ 16. Копирование и размножение планов и карт

Если основа оригинала (карты или плана) прозрачна, то копию можно снять с помощью стола со стеклянной крышкой, под которой расположен источник света. Если же основа непрозрачна, то лучше снять копию на восковку, которую можно использовать для светопечатания. План с любым соотношением оригинала и копии можно получить геометрическим, фотомеханическим или механическим способами.

Геометрический способ заключается в вычерчивании на копии сетки квадратов с сохранением требуемого соотношения масштабов и в последующей перерисовке оригинала по отдельным квадратам.

Фотографический способ заключается в получении копий с требуемым соотношением масштабов фотографическим путем.

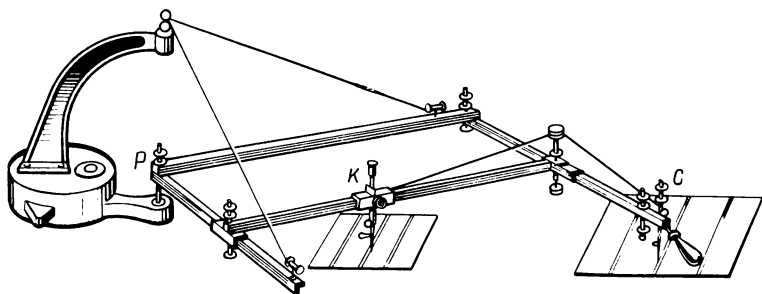


Рис. 36. Пантограф

Механический способ заключается в получении копий с заданным соотношением масштабов с помощью специального прибора, называемого пантографом (рис. 36). Идея работы такого прибора основана на том, что точки P , K и C все время находятся на одной прямой. При этом отношение отрезков $PK:PC$ должно равняться заданному отношению масштабов планов — оригинала и копий.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется планом?
2. Что называется картой?
3. Что называется профилем местности?
4. Что называется масштабом?
5. Что представляют собой численный, линейный и поперечный масштабы?
6. Построить линейный масштаб, если численный масштаб равен $1:200$.
7. Определить цену наименьшего деления поперечного масштаба, если его основание равно 2 см, число делений на основании 10 и по высоте — 5 , а численный масштаб $1:500$.
8. Определить точность масштаба $1:100\,000$.
9. С какой точностью измеряют длины линий на плане масштаба $1:1000$?
10. Записать номенклатуру любого листа карты масштаба $1:300\,000$.
11. Возможна ли номенклатура карты $N-37-XXXVII$?
12. В чем заключается разница между масштабными и внес масштабными условными знаками?
13. Что называется рельефом местности?
14. Какие основные типовые формы рельефа вы знаете?
15. Что называется горизонталью и какие ее основные свойства?
16. Что такое высота сечения рельефа?
17. Что называется заложением?
18. Что называется уклоном линии?
19. Что является мерой крутизны ската?
20. Что понимается под ориентированием карты на местности?
21. Вычертить для плана в масштабе $1:5000$ масштаб заложений по углам наклонов и по уклонам, если $h=0,5$ м.
22. В чем сущность аналитического, геометрического и механического способов определения площадей на планах и картах?
23. Как определить координаты и отметки точек на планах (картах)?
24. Как определяется направление и крутизна ската?

25. Определить уклон линии AB , если известно, что $H_A=121,75$ м, $H_B=92,03$ м и $d=121,71$ м.

26. Как построить по горизонталям профиль местности?

27. Как провести линию заданного уклона на плане (карте)?

28. В чем сущность геометрического, фотографического и механического способов копирования планов и карт?

ГЛАВА IV. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 17. Общие понятия об измерениях

В решении задач геодезии важнейшая роль отводится различного рода измерениям.

Измерением называется процесс сравнения некоторой физической величины с другой одноименной величиной, принятой за единицу меры.

Единица меры — значение физической величины, принятой для количественной оценки величин того же рода.

За единицу измерения углов в СССР принят градус, получаемый путем деления прямого угла на 90 равных частей. При этом $1^\circ = 60'$, $1' = 60''$. Система СИ в качестве единицы измерения плоских углов рекомендует радиан — центральный угол, опирающийся на дугу, равную радиусу. Значение радиана в градусах, минутах и секундах соответственно равно $\rho^\circ = 57^\circ,3'$; $\rho' = 3438'$; $\rho'' = 206265''$.

Иногда углы при измерениях получают в децибальной системе мер. В этой системе прямой угол делят на 100 равных частей, каждая из которых называется градусом (1^g). Один градус содержит 100 градовых минут ($1^g = 100^c$); градовая минута — 100 градовых секунд ($1^c = 100^{cc}$).

Единицей измерения длины является метр. В 1875 г. Международным бюро мер и весов был изготовлен 31 метр — прототип в виде платино-иридиевых жезлов. России достались 2 метра — прототипа — № 11, хранящийся в АН СССР и № 28, хранящийся во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии, которые используются в СССР как эталоны длины. Для надежного хранения установленной длины метра XI Международная конференция по мерам и весам в 1960 г. постановила выразить метр через длину световых волн. Установлено, что метр есть длина, равная 1 650 763,73 длины волны излучения в вакууме атома криптона-86 в определенном участке спектра (между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$).

За единицу измерения площади принят квадратный метр; массы — килограмм (кг), температуры — градус по шкале Кельвина (К); времени — секунда (с); давления — паскаль (Па); частоты периодических (модулированных) световых (электромагнитных) колебаний — герц (Гц).

Геодезические измерения позволяют определять относительное расположение точек земной поверхности. Различают следующие виды измерений.

1. Линейные, в результате которых получают наклонные и горизонтальные расстояния между заданными точками. Для этой цели применяют мерные ленты, рулетки, проволоки, оптические, световые и радиодальномеры.

2. Угловые, определяющие величины горизонтальных и вертикальных углов. Для выполнения таких измерений применяют угломерные инструменты: теодолиты, буссоли, эклиметры.

3. Высотные, в результате которых получают разности высот отдельных точек. Для производства этих измерений применяют нивелиры, теодолиты-тахеометры, барометры и др.

Измерения бывают непосредственные и косвенные. Непосредственными называют такие измерения, когда определяемую величину получают в результате непосредственного сравнения с единицей измерения. Примером такого метода измерений является определение длины стола обычной линейкой. Косвенными называют такие измерения, при которых определяемую величину получают как функцию других непосредственно измеренных величин. Например, длина окружности $S = 2\pi r$, где измерен радиус данной окружности.

Полученные в процессе измерений данные заносят в специальные журналы. При этом процесс измерений в большинстве случаев сопровождается составлением на местности схематических чертежей, которые называются абрисами.

Перечисленные выше виды измерений составляют содержание полевых геодезических работ.

Значительное место в геодезии занимают также камеральные работы, заключающиеся в математической обработке полученных результатов полевых измерений, а также в построении чертежа (плана, карты, профиля) с соблюдением установленных условных знаков.

§ 18. Погрешности измерений

Всякое измерение производят при наличии факторов: 1) объект измерения; 2) субъект измерения — наблюдатель; 3) мерный прибор; 4) метод измерений — совокупность правил и действий при измерениях; 5) внешняя среда, в которой производят измерение.

В зависимости от условий измерения могут быть равноточными и неравноточными. Если в процессе измерений сохраняются неизменными все пять факторов, то такие измерения называют равноточными. При неодинаковых условиях, т. е. когда изменяется хотя бы одно из пяти условий (например, наблюдатели были разной квалификации), производимые измерения будут неравноточными.

Каждый из перечисленных факторов в процессе измерений порождает целый ряд элементарных погрешностей. Суммарное дейст-

вие элементарных погрешностей образует погрешность результата измерений, в связи с чем результат измерений никогда не совпадает с истинным значением измеряемой величины.

Различают три основных вида погрешностей: грубые, систематические и случайные.

Грубые ошибки* резко отклоняют результат измерения от истинного значения измеряемой величины. Примером грубых ошибок могут быть просчеты по измерительным приборам, неверные записи и т. д. Такие ошибки обнаруживают и устраняют путем проведения повторных наблюдений.

Систематические погрешности входят в каждый результат измерений по строго определенному закону; их делят на постоянные— неизменные по знаку и величине, и переменные — изменяющие свою величину от одного измерения к другому по определенному закону. Источником систематических погрешностей могут быть неправильная длина мерного прибора, отклонение визирного луча от горизонтали при нивелировании, личная погрешность наблюдателя. Такие погрешности должны быть обнаружены, изучены и исключены из результатов наблюдений путем введения соответствующих поправок.

Случайные погрешности носят случайный характер, их возникновение не подчиняется определенным математическим законам, они связаны между собой статистической закономерностью, т. е. проявляются в массовых явлениях.

В дальнейшем будем считать, что результаты измерений свободны от грубых ошибок и систематических погрешностей и содержат только случайные погрешности.

§ 19. Свойства случайных погрешностей измерений

Случайной погрешностью Δ называют разность между измеренным значением l величины и ее истинным значением X , т. е.

$$\Delta = l - X. \quad (33)$$

Приняв это условие, основные свойства случайных погрешностей можно сформулировать следующим образом:

при данных условиях измерений случайные погрешности не могут превосходить по абсолютной величине определенного предела; малые по абсолютной величине погрешности в данном ряду проявляются чаще больших;

одинаковые по абсолютной величине положительные и отрицательные погрешности в данном ряду равновозможны;

среднее арифметическое из всех случайных погрешностей данного ряда равнозначных измерений одной и той же величины при нео-

* Термин «ошибка» будем относить только к тем результатам измерений, которые содержат промахи в процессе измерений или вычислений.

границенном возрастании числа измерений стремится к нулю, т. е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i = 0 \quad (i=1, 2, 3, \dots, \infty). \quad (34)$$

При этом условии (34) следует понимать в статистическом смысле, т. е. среднее арифметическое из случайных погрешностей при увеличении числа измерений n будет то уменьшаться, то возрастать, однако при неограниченном увеличении n оно в общем будет стремиться к нулю.

§ 20. Принцип арифметической середины

Вначале будем рассматривать только равноточные измерения. Пусть некоторая величина, истинное значение которой равно X , измерена n раз. При этом получены значения l_1, l_2, \dots, l_n . На основании определения (33) имеем:

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

Суммируя левые и правые части, найдем

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = \sum_{i=1}^n l_i - nX,$$

откуда

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

Учитывая условие (34), окончательно получаем

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i, \quad (35)$$

где \bar{x} — среднее арифметическое.

Из этого выражения следует, что при бесконечно большом числе измерений средняя арифметическая величина будет равна истинному значению, а при конечном числе измерений она является вероятнейшим значением искомой величины.

Таким образом, *за вероятнейшее значение измеряемой величины при равноточных наблюдениях следует принимать среднюю арифметическую величину из ряда результатов измерений: ее называют арифметической серединой.*

§ 21. Средняя квадратическая погрешность

При выборе критерия для оценки наблюдений необходимо иметь в виду, что на практике результат считается одинаково ошибочным, будет ли он больше истинного значения или меньше. Поэтому стараются установить такой критерий для оценки точности наблюдений, который не зависел бы от знаков отдельных погрешностей и на котором наличие сравнительно крупных отдельных погрешностей было бы заметнее отражено. Таким требованиям удовлетворяет средняя квадратическая погрешность.

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n). \quad (36)$$

По этой формуле, которую называют формулой Гаусса, определяют среднюю квадратическую погрешность отдельного результата измерений, когда истинное значение X измеряемой величины известно. Если же истинное значение измеряемой величины неизвестно, то среднюю квадратическую погрешность отдельного результата измерений определяют через отклонения от арифметической середины по формуле

$$m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (37)$$

где $\delta_i = l_i - \bar{x}$.

Формулу (37) часто называют формулой Бесселя.

Для определения средней квадратической погрешности арифметической середины представим формулу (35) в виде

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

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

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

Принимая во внимание, что наблюдения равноточны, можно положить, что

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

Тогда $M^2 = m^2/n$, откуда

$$M = m/\sqrt{n}. \quad (38)$$

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

Таблица 5

Измеренное значение линии, м	δ , см	δ^2 , см ²
56,25	+1	1
56,23	-1	1
56,24	0	0
56,26	+2	4
56,23	-1	1
56,23	-1	1
$\bar{x}=56,24$	$\Sigma=0$	$\Sigma=8$

Пример. В результате шести измерений длины линии на местности получены данные, приведенные в табл. 5.

По формуле (35) имеем $\bar{x}=56,24$ м. Затем составляем разности δ между каждым из измерений и арифметической серединой, возводим их в квадрат и суммируем. По формулам (37) и (38) получаем

$$m = \pm \sqrt{\frac{8}{6-1}} = \pm 1,26 \text{ см}; M = \pm \frac{1,26}{\sqrt{6}} = \pm 0,52 \text{ см.}$$

§ 22. Предельная, абсолютная и относительная погрешности

Предельная погрешность. Применительно к конкретным условиям измерений указывают критерий отбраковки результатов наблюдений. В качестве такого критерия принимают предельную погрешность $\Delta_{\text{пр}}$, которая при более ответственных измерениях равна

$$\Delta_{\text{пр}} = 2m. \quad (39)$$

Для менее ответственных измерений такая погрешность равна

$$\Delta_{\text{пр}} = 3m. \quad (40)$$

Абсолютные и относительные погрешности. Погрешность, определяемая по формуле (33), называется абсолютной. В практике геодезических измерений точность наблюдений принято характеризовать не только абсолютным значением погрешности (истинной, средней квадратической), но и относительной ее величиной. В качестве относительной погрешности принимают отношение абсолютной погрешности к значению измеряемой величины:

$$\Delta_{\text{отн}} = m/L = 1/(L/m), \quad (41)$$

где L — значение измеряемой величины.

Пример. Дано $m = \pm 0,11$ м; $L = 212,43$ м. По формулам (39) и (41) имеем

$$\Delta_{\text{пр}} = \pm 0,22 \text{ м}, \quad \Delta_{\text{отн}} = 0,11/212,43 \approx 1/2000.$$

§ 23. Средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин

Пусть дана функция

$$z = x + y, \quad (42)$$

где x и y — независимые слагаемые. Через Δz , Δx и Δy обозначим соответствующие случайные погрешности величин x , y , z при одно-

кратном их измерении. При этих условиях $z + \Delta z = (x + \Delta x) + (y + \Delta y)$, откуда

$$\Delta z = \Delta x + \Delta y. \quad (43)$$

Если каждое слагаемое измерить n раз, то можно написать n равенств вида (43). Если каждое из них возвести в квадрат, сложить левые и правые части и разделить затем обе части равенства на n , то получим

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta z_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta y_i^2 + \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \Delta y_i.$$

Здесь $\sum_{i=1}^n \Delta x_i \Delta y_i$ представляет собой сумму произведений случайных независимых погрешностей, а поэтому при достаточно большом числе n последний член этого равенства мал и им можно пренебречь. Приняв во внимание формулу (36), получим

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2. \quad (44)$$

Эта формула справедлива и для функции $z = x - y$.

При $m_x = m_y = m$ формула (44) принимает вид

$$m_z = m \sqrt{2}. \quad (45)$$

Если дана функция $z = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n$, то, обозначив через $m_z, m_1, m_2, \dots, m_n$ средние квадратические погрешности этой функции и аргументов, получим

$$m_z^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2. \quad (46)$$

При $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$ будем иметь

$$m_z = m \sqrt{n}. \quad (47)$$

Рассмотрим теперь функцию общего вида

$$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (48)$$

В теории погрешностей измерений доказывается, что если x_1, x_2, \dots, x_n — независимые величины, то

$$m_z^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 m_n^2, \quad (49)$$

где $\frac{\partial f}{\partial x_1}; \frac{\partial f}{\partial x_2}; \dots; \frac{\partial f}{\partial x_n}$

представляют частные производные данной функции, вычисленные для соответствующих значений аргументов.

Пример. Определить среднюю квадратическую погрешность превышения по формуле

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

где горизонтальное проложение $d = 143,5$ м; угол наклона линии визирования к горизонту $v = 2^\circ 30'$. Определены они со средними квадратическими погрешностями $m_d = 0,5$ м и $m_v = 1'$.

Вычисляем частные производные

$$\frac{\partial h}{\partial d} = \operatorname{tg} v, \quad \frac{\partial h}{\partial v} = \frac{d}{\cos^2 v}.$$

По формуле (49) получаем

$$\begin{aligned} m_h &= \sqrt{\operatorname{tg}^2 v m_d^2 + \frac{d^2}{\cos^4 v} \frac{m_v^2}{\rho^2}} = \\ &= \sqrt{0,0442 \cdot 0,5^2 + \frac{143,5^2}{0,9992} \frac{12}{34382}} = \pm 4,8 \text{ см.} \end{aligned}$$

§ 24. Двойные измерения

Пусть имеем ряд двойных равноточных измерений некоторой величины

$$x_1, x_2, \dots, x_n,$$

$$y_1, y_2, \dots, y_n.$$

При этом будем считать, что систематические погрешности в полученных результатах измерений отсутствуют.

Составим разности

$$d_1 = x_1 - y_1,$$

$$d_2 = x_2 - y_2,$$

$$\dots \dots \dots$$

$$d_n = x_n - y_n.$$

По этим разностям определяют среднюю квадратическую погрешность отдельного результата измерений

$$m = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n d_i^2}. \quad (50)$$

Если ряд двойных наблюдений имеет систематические погрешности, то для определения m пользуются формулой

$$m = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (d_i - \theta)^2}, \quad (51)$$

где

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (52)$$

представляет среднее значение систематической погрешности в наблюдениях.

Пример. В результате измерения отрезка AB на местности двумя 20-метровыми лентами получены данные, приведенные в табл. 6.

Вычислив разности $d_i = x_i - y_i$, возведем их в квадрат и сложим. Пользуясь формулой (50), получим

$$m = \pm \sqrt{\frac{35}{2(5-1)}} \approx \approx \pm 2,1 \text{ см.}$$

Таблица 6

$x_i, \text{ м}$	$y_i, \text{ м}$	$d_i, \text{ см}$	d_i^2
124,46	124,49	-3	9
124,52	124,50	2	4
124,48	124,51	-3	9
124,50	124,47	3	9
124,49	124,47	2	4
			$\Sigma = 35$

§ 25. Понятие о весе измерения. Общая арифметическая средина

Понятие о весе измерения вводят для обработки результатов неравноточных измерений. Вес определяет степень надежности результатов измерений. Чем надежнее результат, тем больше его вес. Следовательно, вес связан с точностью измерений.

За вес результата измерения p_i принимают величину, обратно пропорциональную квадрату средней квадратической погрешности, т. е.

$$p_i = c/m_i^2, \quad (53)$$

где c — некоторая постоянная величина. Обозначив через p вес одного результата измерения, а через P — вес арифметического среднего из n таких измерений, получим

$$P/p = m^2/M^2 = m^2/(m^2/n) = n, \quad (54)$$

т. е. вес арифметической средины в n раз больше веса одного результата измерения. Условимся, что результат, полученный из одного приема, имеет вес, равный единице, а результат, найденный из n таких приемов, имеет вес, равный n .

Пусть величина X измерена n раз в различных условиях. При этом получены значения x_1, x_2, \dots, x_n с весами p_1, p_2, \dots, p_n .

Тогда без доказательств формула весового среднего или общей арифметической средины, учитывающая вес измерений, будет

$$x_0 = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}. \quad (55)$$

Средняя квадратическая погрешность μ , соответствующая результату измерения, вес которого принят равным единице, или так

называемая средняя квадратическая погрешность единицы веса определяется по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n p_i \sigma_i^2}, \quad (56)$$

где $v_i = x_i - x_0$.

Средняя квадратическая погрешность M_0 весового среднего или общей арифметической середины

$$M_0 = \mu / \sqrt{P}. \quad (57)$$

Пример. Требуется определить весовое среднее, среднюю квадратическую погрешность единицы веса и среднюю квадратическую погрешность весового среднего по данным табл. 7.

Таблица 7

Значение измеренного угла	Число измерений n	$p = n/3$	v	v^2	$p v^2$
73°08'10"	3	1	+6	36	36
73°08'06"	9	3	+2	4	12
73°08'08"	6	2	+4	16	32
73°08'00"	15	5	-4	16	80
73°08'04"	12	4	0	0	0
73°08'04"		$\Sigma = 15$			$\Sigma = 160$

Подставляя данные табл. 7 в формулу (55), получим

$$a_0 = 73^\circ 08' + \frac{10'' \cdot 1 + 6'' \cdot 3 + 8'' \cdot 2 + 0'' \cdot 5 + 4'' \cdot 4}{1 + 3 + 2 + 5 + 4} = 73^\circ 08' 04''.$$

Здесь для упрощения общая часть 73°08' вынесена за знак операций, а веса получали делением на 3.

По формулам (56) и (57) имеем

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{160}{5-1}} = \pm 6'', 3; \quad M_0 = \pm \frac{6'', 3}{\sqrt{15}} = \pm 1'', 6.$$

§ 26. Понятие о правилах и технике геодезических вычислений

При выполнении геодезических вычислений очень важно придерживаться правил, выработанных практикой, соблюдение которых экономит труд вычислителя и позволяет рационально использовать имеющуюся вычислительную технику и вспомогательные средства. Прежде всего необходимо разработать подробную вычислительную схему, точно указывающую порядок действий и дающую возможность получить искомый результат наиболее простым и быстрым путем.

Второе, на что нужно обратить серьезное внимание, — это контроль вычислений. Без проверки вычисление не может считаться законченным.

Третий важный момент — аккуратность и четкость записи чисел в вычислительных бланках. Практика показывает, что нечеткая и небрежная запись чисел часто приводит к ошибкам.

В настоящее время при массовых геодезических вычислениях используют совершенную вычислительную технику. Широкое применение получают электронные вычислительные машины (ЭВМ). Эти машины обладают большим набором элементарных арифметических и логических операций, емкими запоминающими устройствами для хранения исходной информации, программ, промежуточных и окончательных результатов.

Широкое распространение в повседневной инженерной практике в настоящее время нашли микрокалькуляторы, отличающиеся малыми размерами и сравнительно большим числом производимых математических операций.

Наряду с такой современной вычислительной техникой для геодезических вычислений используются различного рода таблицы и вычислительные номограммы.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется измерением?
2. Какие измерения называют равноточными, а какие — неравноточными?
3. Виды геодезических измерений на местности и единицы мер, применяемые в геодезии.
4. Что такое грубые, систематические и случайные погрешности измерений?
5. Каковы основные свойства случайных погрешностей измерений?
6. Как определяется вероятнейшее значение измеряемой величины при равноточных и неравноточных измерениях?
7. Что называется предельной, абсолютной и относительной погрешностью?
8. Что такое средняя квадратическая погрешность и как она определяется?
9. Как определяется средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин?
10. Что такое вес измерения?
11. Сколько необходимо сделать измерений, чтобы получить среднюю квадратическую погрешность, не превышающую 2 см, если средняя квадратическая погрешность отдельного измерения равна 5 см?
12. Определить вероятнейшее значение измеряемой величины и дать оценку точности измерений, выполненных в примерно одинаковых условиях, если $x_1 = 86,214$ м; $x_2 = 86,217$ м; $x_3 = 86,208$ м; $x_4 = 86,204$ м.
13. Определить вероятнейшее значение измеряемой величины и дать оценку точности измерений, если $\beta_1 = 72^\circ 13' 30''$; $\beta_2 = 72^\circ 13' 45''$; $\beta_3 = 72^\circ 14' 00''$; $\beta_4 = 72^\circ 13' 20''$; $\beta_5 = 72^\circ 14' 10''$, веса которых равны $p_1 = 0,4$; $p_2 = 1,0$; $p_3 = 0,7$; $p_4 = 0,5$; $p_5 = 0,8$.
14. Определить среднюю квадратическую погрешность значения $h = S \sin \beta$, если S определяли четыре раза со средней квадратической погрешностью 2 см, а угол β измеряли пять раз со средней квадратической погрешностью $40''$.

§ 27. Схема измерения горизонтального угла

Сущность измерения горизонтального угла заключается в следующем. Пусть на местности имеются три точки A , B и C (рис. 37), расположенные на разных высотах. Необходимо измерить горизонтальный угол при вершине B между направлениями BA и BC . Этот угол определяется проекцией aBc угла ABC на горизонтальную

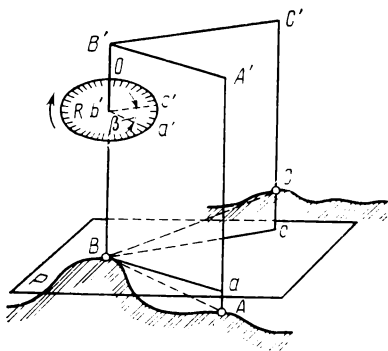


Рис. 37. К измерению горизонтальных углов

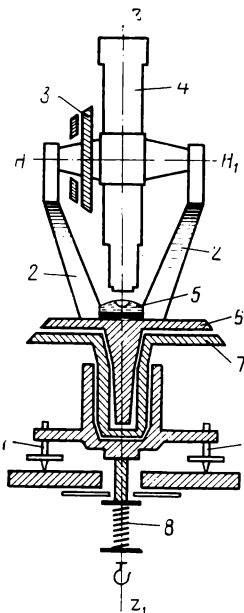


Рис. 38. Схема устройства теодолита

плоскость P . Проекция aBc служит мерой двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями $AA'B'B$ и $CC'B'B$.

Расположим над вершиной измеряемого угла параллельно горизонтальной плоскости градуированный круг R , центр которого совместим с произвольной точкой отвесной линии BB' . Тогда угол β между радиусами $b'a'$ и $b'c'$ — сечениями круга вертикальными плоскостями $AA'B'B$ и $CC'B'B$ — выразит измеряемый горизонтальный угол. Если деления на круге подписаны по ходу часовой стрелки, а a' и c' — отсчеты по градуированной окружности круга, тогда

$$\beta = a' - c'.$$

Описанная геометрическая схема измерения горизонтального угла осуществляется в угломерном инструменте, называемом теодолитом.

Теодолит (рис. 38) имеет металлический или стеклянный круг,

называемый лимбом 7, по скошенному краю которого нанесены деления от 0 до 360° . Счет делений идет по ходу часовой стрелки. Центр лимба устанавливается на отвесной линии, проходящей через вершину B (см. рис. 37) измеряемого угла. На плоскость лимба проектируются стороны BA и BC измеряемого угла. При измерении угла лимб неподвижен и горизонтален.

Над лимбом помещена вращающаяся вокруг отвесной линии верхняя часть теодолита, содержащая алидаду b и зрительную трубу 4. При вращении зрительной трубы вокруг горизонтально устанавливаемой на подставках 2 оси HH_1 воспроизводятся вертикальные плоскости $B'C'sB$ и $B'A'aB$ (см. рис. 37), называемые коллимационными. Оси лимба и алидады должны совпадать, причем ось ZZ_1 (рис. 38) вращения алидады называется основной или вертикальной осью инструмента. На алидаде имеется индекс, позволяющий фиксировать ее положение на шкале лимба, который для повышения точности отсчета сопровождается специальным устройством — отсчетным приспособлением. Лимб и алидада закрыты прикрепленным к алидаде металлическим кожухом.

Основная ось теодолита устанавливается в отвесное положение (а плоскость лимба — в горизонтальное) по цилиндрическому уровню 5 с помощью трех подъемных винтов 1. Зрительная труба может быть повернута на 180° вокруг горизонтальной оси, т. е. переведена через зенит. На одном из концов оси вращения трубы укреплен вертикальный круг 3, который наглухо соединен с осью и вращается вместе с ней. Вертикальный круг принципиально устроен так же, как и горизонтальный; он служит для измерения вертикальных углов (углов наклона). Вертикальный круг может располагаться справа или слева от зрительной трубы, если смотреть со стороны окуляра.

Первое положение называется «круг право» (КП), второе — «круг лево» (КЛ).

В комплект теодолита входят буссоль, штатив и отвес. Буссоль служит для измерения магнитных азимутов и румбов. Штатив представляет собой треногу с металлической головкой. Теодолит крепится к головке штатива с помощью станového винта 8. Отвес служит для центрирования инструмента над точкой, т. е. для установления центра лимба над вершиной измеряемого угла.

Вращающиеся части теодолита снабжены зажимными винтами для закрепления их в неподвижное состояние и микрометренными (наводящими) для медленного и плавного вращения.

Для измерения горизонтального угла при неподвижном лимбе вращением алидады последовательно наводят зрительную трубу на точки A и C местности (см. рис. 37); при этом коллимационная плоскость последовательно проходит через стороны BA и BC измеряемого угла, т. е. совмещается с плоскостями $B'C'sB$ и $B'A'aB$. В обоих случаях с помощью отсчетного приспособления делаются отсчеты по лимбу. Разность отсчетов дает значение измеряемого угла β .

§ 28. Зрительная труба

В современных геодезических инструментах применяют зрительные трубы с внутренней фокусировкой (рис. 39, а). Оптическая схема такой трубы показана на рис. 39, б.

При производстве работ обычно визируют на предметы, значительно удаленные от инструмента, поэтому предмет AB всегда на-

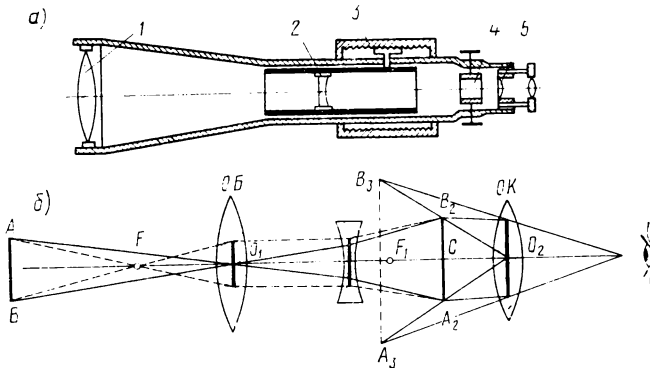


Рис. 39. Зрительная труба:

1 — объектив; 2 — фокусирующая линза; 3 — кремальера; 4 — сетка нитей; 5 — окуляр

ходится вне фокусного расстояния O_1F объектива, а изображение A_2B_2 предмета, полученное через объектив, будет действительным и обратным. Чтобы увеличить это изображение, в трубу вводят окуляр.

Окуляр устанавливают таким образом, чтобы расстояние O_2C было меньше фокусного расстояния O_2F_1 . В таком случае изображение A_3B_3 получится мнимым и увеличенным.

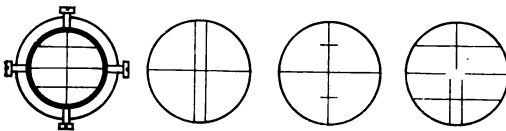


Рис. 40. Виды сеток нитей

Между объективом и окуляром ставится двояковогнутая линза, перемещаемая внутри трубы с помощью кремальеры. Изменение положения этой линзы меняет положение фокуса объектива, поэтому она называется фокусирующей линзой.

В окулярной части зрительной трубы, в том месте, где получается действительное изображение предмета A_2B_2 , помещается диафрагма в отверстие которой вставлена стеклянная пластинка с нанесенной на ней сеткой нитей. Различные системы сеток нитей, применяемых в современных геодезических инструментах, показаны на рис. 40.

Зрительная труба имеет три оси: визирную, оптическую и геометрическую.

Прямая, соединяющая оптический центр объектива с центром сетки нитей, называется визирной осью трубы. Прямая, соединяющая оптические центры объектива и окуляра, называется оптической осью трубы. Прямая, проходящая через центры поперечных сечений объективной части трубы, называется геометрической осью трубы.

Установка зрительной трубы для наблюдений. Перед наведением трубы на предмет окуляр должен быть установлен по глазу, а изображение предмета совмещено с плоскостью сетки нитей. Для установки окуляра по глазу трубу наводят на светлый фон и пере-

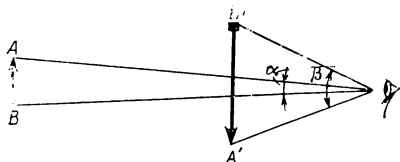


Рис. 41. К определению увеличения трубы

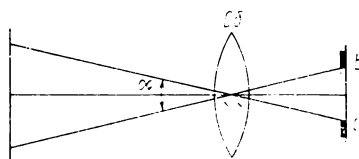


Рис. 42. К определению поля зрения трубы

двигают окулярную трубочку до тех пор, пока нити сетки будут видны резко очерченными.

Совмещение изображения предмета с плоскостью сетки нитей, т. е. фокусировку, производят перемещением фокусирующей линзы в трубе с помощью кремальеры; при этом добиваются такого положения, чтобы изображение предмета получилось резким. Если изображение предмета не совпадает с плоскостью сетки нитей, то при перемещении глаза относительно окуляра точка пересечения нитей сетки будет проектироваться на разные точки изображения. Такое явление называется параллаксом. Параллакс сетки нитей устраняется небольшим поворотом кремальеры.

Увеличение трубы. Увеличением трубы v называется отношение угла β , под которым изображение предмета видно в трубу, к углу α , под которым предмет виден невооруженным глазом (рис. 41), т. е.

$$v = \beta / \alpha. \quad (58)$$

Практически увеличение трубы принимается равным отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра:

$$v = f_{об} / f_{ок}. \quad (59)$$

Трубы геодезических инструментов имеют увеличение от 15 до 50 и более крат.

Поле зрения трубы. Пространство, видимое в трубу при неподвижном ее положении, называется полем зрения. Поле зрения определяют углом α (угол зрения) (рис. 42), вершина которого находится в оптическом центре объектива, а стороны опираются на

диаметр ab сеточной диафрагмы. Величину поля зрения определяют по формуле

$$\alpha = 38^\circ, 2/v. \quad (60)$$

Из формулы (60) следует, что чем больше увеличение трубы, тем меньше ее поле зрения. В геодезических инструментах поле зрения трубы обычно колеблется в пределах от $30'$ до 2° .

Точность визирования зрительной трубой. Разрешающая способность* глаза человека примерно равна одной минуте. Поэтому ошибка визирования невооруженным глазом принимается равной $\pm 60''$.

При рассмотрении изображения предмета в зрительную трубу ошибка визирования уменьшается пропорционально увеличению трубы v и будет равна

$$m_v = 60''/v. \quad (61)$$

В последнее время в геодезических инструментах применяются трубы с зеркально-линзовыми объективами системы Д. Д. Максудова. Применение таких объективов позволяет при большом диаметре выходного отверстия освободиться от влияния искажений предметов. Кроме того, такие трубы имеют малую длину (около 210 мм) и большое увеличение (до 65 крат).

§ 29. Уровни и их устройство

В геодезических инструментах применяются уровни двух типов: цилиндрические и круглые.

Цилиндрический уровень (рис. 43, а) представляет собой стеклянную трубку, верхняя внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге определенного радиуса. Радиус кривизны в зависимости от назначения уровня бывает от 3,5 до 200 м. Стеклянная трубка заполняется нагретым до 60°C спиртом или эфиром и запаивается. После охлаждения жидкость сжимается, и в трубке образуется небольшое пространство, заполненное парами спирта или эфира, которое называют пузырьком уровня. Трубка помещается в металлическую оправу. Для регулировки уровня снабжен исправительным

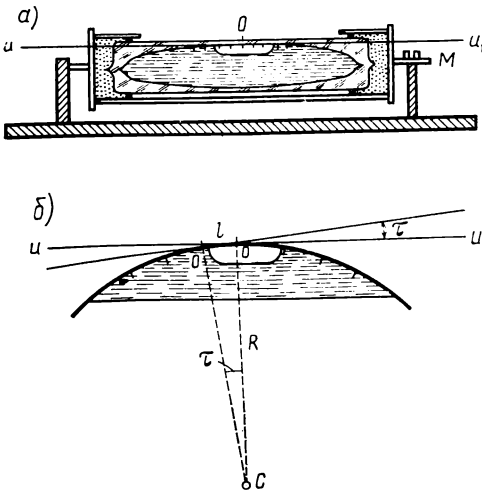


Рис. 43. Цилиндрический уровень

* Разрешающая способность — предельно малый угол, при котором глаз наблюдателя еще воспринимает раздельно две точки.

винтом M . На наружной поверхности трубки нанесены штрихи. Согласно ГОСТ 2386—73 расстояние между соседними штрихами равно 2 мм. Точка O в средней части ампулы называется нульпунктом уровня.

Прямая $ии_1$, касательная к внутренней поверхности уровня в его нульпункте, называется осью уровня.

Пузырек уровня всегда стремится занять наивысшее положение, поэтому когда концы пузырька расположены симметрично относительно нульпункта, ось уровня занимает горизонтальное положение. Этим свойством пользуются для приведения отдельных частей инструмента в горизонтальное положение.

Уровни различают в зависимости от цены деления, чувствительности и конструкции.

Ценой деления уровня τ (рис. 43, б) называют угол, на который наклонится ось уровня, если пузырек сместится на одно деление, т. е.

$$\tau = l\rho/R. \quad (62)$$

Линейная величина одного деления данного уровня OO постоянна, поэтому его цена зависит от радиуса R дуги внутренней поверхности трубки. Чем больше радиус, тем цена деления уровня меньше и тем уровень чувствительнее, и наоборот. Под чувствительностью уровня понимают наименьший угол, на который необходимо наклонить его ось, чтобы пузырек переместился на едва заметную невооруженным глазом величину. Чувствительность должна соответствовать точности инструмента. В технических теодолитах цена деления уровней колеблется в пределах 15—60".

Для более точной установки пузырька в нульпункт, а также для большего удобства в работе применяются контактные уровни. В них над уровнем устанавливается система призм, через которую изображение концов пузырька передается в поле зрения глаза наблюдателя. При перемещении пузырька к нульпункту изображения его концов движутся навстречу друг другу (рис. 44, а). Когда пузырек уровня будет находиться в нульпункте, изображения его концов совместятся (рис. 44, б). Точность установки пузырька в нульпункт в контактном уровне в 5—6 раз выше, чем у обычных*.

Для регулирования длины пузырька на одном из концов уровня имеется запасная камера, в которую можно перегонять часть жидкости из ампулы, и наоборот.

Круглый уровень (рис. 45, а) представляет собой стеклянную ампулу, помещенную в оправу, отшлифованную по внутренней сферической поверхности определенного радиуса. За нульпункт O круглого уровня (рис. 45, б) принимают центр окружности, выгравированной в середине ампулы. Ось круглого уровня является нормалью $ии_1$, проходящая через нульпункт O перпендикулярно плоскости, касательной внутренней поверхности уровня в его нульпункте. Круглый уровень имеет, как правило, небольшую чувствительность и

* Товчигречко С. С. Уровни и методы их исследования. М., 1965.

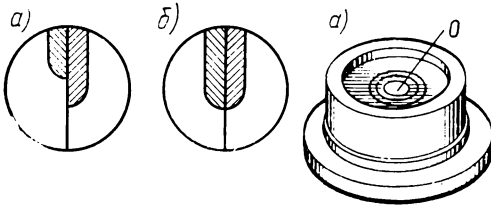


Рис. 44. Контактный уровень

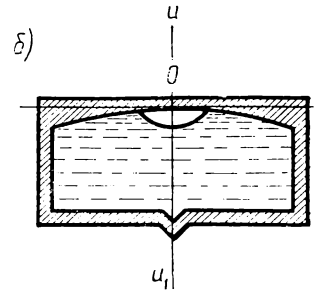


Рис. 45. Круглый уровень

применяется там, где не требуется большая точность, а также для предварительной установки инструмента.

§ 30. Отсчетные приспособления

Отсчетные приспособления служат для оценки долей делений лимба. В качестве отсчетных приспособлений используют верньеры, штриховые и шкаловые микроскопы, микроскопы-микрометры и оптические микрометры. Рассмотрим устройство первых трех типов, обычно используемых в теодолитах малой и средней точности.

Верньер устроен следующим образом. Возьмем на лимбе (рис. 46) дугу AB , равную n делениям. Перенесем ее на алидадный круг и разделим на $n+1$ частей. Полученная таким образом на алидаде шкала и называется верньером. Угловая величина дуги, равная одному делению на алидаде, называется ценой деления алидады v , а на лимбе — ценой деления лимба l . Разность t между ценой деления лимба и ценой деления алидады называется точностью верньера, т. е.

$$t = l - v. \quad (63)$$

Величина дуги AB на лимбе равна ln , а величина дуги CD на алидаде $v(n+1)$. По построению $AB = CD$, следовательно, $ln = v(n+1)$, отсюда $v = ln/(n+1)$. Подставляя выражение для v в формулу (63), получим

$$t = l - \frac{ln}{n+1} = \frac{l(n+1) - ln}{n+1}$$

или

$$t = l/(n+1), \quad (64)$$

т. е. точность верньера равна цене деления лимба, деленной на число делений верньера. Индексом верньера служит его нулевой штрих.

Рассмотрим порядок отсчитывания по лимбу с помощью верньера. Положим, что первый штрих верньера совпадает с одним из штрихов лимба (например, со штрихом 52) (рис. 47, а), тогда отсчет по лимбу будет

$$A_1 = 51^\circ + t. \quad (65)$$

Если совпадает второй штрих верньера, то из рис. 47, б

$$A_2 = 51^\circ + 2t.$$

При совпадении третьего штриха (рис. 47, в)

$$A_3 = 51^\circ + 3t.$$

Следовательно, общая формула отсчета по лимбу будет

$$A_i = A^\circ + it, \quad (66)$$

где A° — значение ближайшего (младшего) штриха лимба; i — номер совпадающего штриха верньера; t — точность верньера.

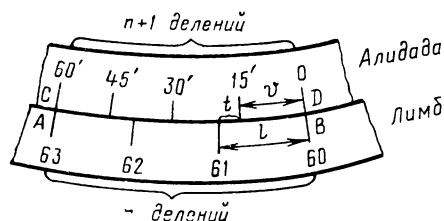
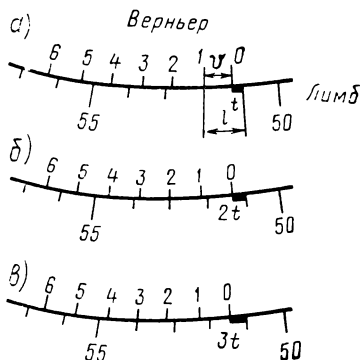


Рис. 46. Верньер

Рис. 47. Отсчитывание по верньеру



Таким образом, чтобы произвести отсчет, надо сначала отсчитать число целых делений на лимбе, предшествующих нулевому штриху верньера, и к нему прибавить произведение порядкового номера совпадающего штриха верньера на точность верньера.

Вместо порядковых номеров штрихов верньера подписывают произведения этих номеров на точность верньера. Штрихи верньера имеют оцифровку, возрастающую в направлении увеличивающихся надписей делений лимба. Так, в приведенном нами примере (см. рис. 46) точность верньера

$$t = l / (n + 1) = 60' / 4 = 15';$$

соответственно этому сделаны и надписи штрихов верньера. В употребляемых в инженерной практике верньерных теодолитах t равна $30''$ или $1'$. Соответственно для теодолита 30-секундной точности $l = 20'$ и $n = 39$; для теодолита одноминутной точности $l = 20'$, $n = 19$.

На рис. 48, а показано поле зрения штрихового микроскопа с изображением штриха и лимба с ценой деления $10'$. Оценивая десятые доли деления лимба на глаз, можно сделать отсчет по штриху микроскопа с точностью до $1'$.

Большую точность отсчета дают шкаловые микроскопы. На рис. 48, б представлено поле зрения шкалового микроскопа с

ценой деления лимба $20'$. Длина шкалы, нарезанной на стекле, равна одному делению лимба. Шкала разделена на 10 частей, следовательно, цена одного деления равна $2'$; оценивая десятые доли деления шкалы на глаз, можно взять отсчет по шкале с точностью $0', 2$.

В современных инструментах применяют преимущественно штриховые и шкаловые микроскопы и оптические микрометры.

Эксцентриситет алидады. В теодолите ось вращения алидады должна совпадать с центром кольца делений лимба. Однако при

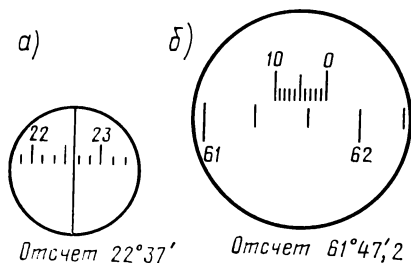


Рис. 48. Поле зрения микроскопов

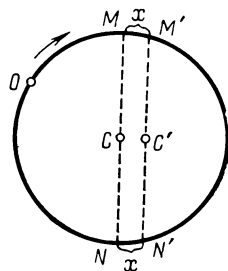


Рис. 49. К определению эксцентриситета алидады

изготовлении инструментов это условие часто бывает нарушено, что вызывает изменение отсчетов по лимбу. Несовпадение центра алидады с центром кольца делений лимба называется эксцентриситетом алидады.

Пусть на рис. 49 C — центр лимба, а C' — центр алидады, M и N — отсчеты по диаметрально противоположным отсчетным приспособлениям, когда оси лимба и алидады совпадают; разность отсчетов по этим верньерам равна 180° . Если центры лимба и алидады не совпадают, то в этом случае отсчеты M и N будут ошибочны на некоторую величину x . Из рис. 49 видно, что правильные отсчеты будут $M = M' - x$, $N = N' + x$, откуда

$$(M + N)/2 = (M' + N')/2.$$

Следовательно, среднее из отсчетов по двум диаметрально расположенным отсчетным приспособлениям дает результат, свободный от влияния эксцентриситета алидады.

§ 31. Типы теодолитов

Теодолиты различают по точности, назначению, материалам изготовления кругов, конструктивным особенностям и др.

Согласно ГОСТ 10529—79 теодолиты различают по точности, которая характеризуется средней квадратической погрешностью однократного (одним приемом) измерения угла в лабораторных условиях. Например, шифр теодолита, позволяющего измерить угол одним приемом с инструментальной погрешностью $\pm 30''$ — Т30.

ГОСТом предусмотрено в дальнейшем изготовление только оптических теодолитов со следующими шифрами: высокоточных Т1; точных Т2, Т5; технических — Т15, Т30, Т60. По назначению выделяют теодолиты маркшейдерские, проектировочные и др.

По материалам изготовления кругов и устройству отсчетных приспособлений теодолиты подразделяют на две группы: с металлическими лимбами; со стеклянными лимбами (оптические теодолиты).

По конструкции теодолиты делят на повторительные и простые. У повторительных теодолитов лимб и алидада имеют независимое и совместное вращение; это дает возможность производить измерение угла путем последовательного его откладывания n раз на лимбе. Лимб повторительного теодолита имеет закрепительный и наводящий винты. У простых теодолитов лимб может поворачиваться, но совместного с алидадой вращения не имеет.

Теодолит, имеющий вертикальный круг, устройство для измерения расстояний (дальномер) и буссоль, называется теодолитом тахеометром. Выпускаемые в настоящее время технические теодолиты являются тахеометрами.

Некоторые типы теодолитов имеют накладной уровень, устанавливаемый на ось вращения трубы для более точного приведения ее (оси) в горизонтальное положение.

Теодолиты с металлическими лимбами. В настоящее время теодолиты с металлическими лимбами не выпускаются. Однако учитывая простоту их устройства с точки зрения изучения принципиальной схемы и отдельных частей, а также то, что они еще находят в отдельных случаях применение в практике, рассмотрим некоторые типы таких теодолитов. Схема теодолита с металлическим лимбом приведена на рис. 38. Технические характеристики теодолитов с металлическими лимбами приведены в табл. 8.

Таблица 8

Характеристики	Типы теодолитов		
	ТТ-50	ТТ-5, ТН, ТТП	ТМ-1
Увеличение зрительной трубы	25,3 [×]	25,2 [×]	18 [×]
Поле зрения трубы	1°10'	1°25'	2°
Фокусное расстояние объектива, мм	253	200	145
Коэффициент нитяного дальномера	100	100	100
Пределы фокусирования	От 2 м до ∞		
Цена деления лимбов	20'	10'	20'
Точность верньеров	30"	30"	1'
Диаметр горизонтального круга, мм	130	100	80
Диаметр вертикального круга, мм	80	72	60
Цена деления уровня горизонтального круга	40—60"	35—55"	50—70"
Цена деления уровня вертикального круга	20—40"	25—35"	50—70"
Масса теодолита с треножником, кг	5,2	3,2	2,2

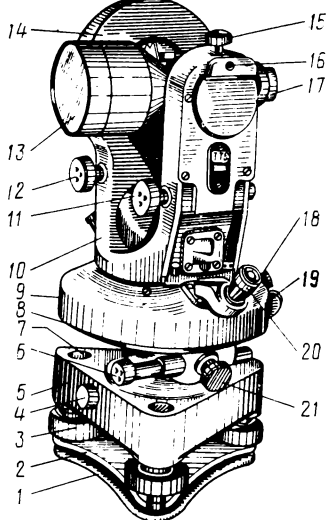


Рис. 50. Теодолит ТТ-5:

1 — пластинка для упора подъемных винтов; 2 — пружинящая пластинка; 3 — подъемный винт; 4 — закрепительный винт; 5 — трегер; 6 — наводящий винт лимба; 7 — гайка подъемного винта; 8 — лимб; 9 — кожух; 10 — подставка горизонтальной оси зрительной трубы; 11 — наводящий винт зрительной трубы; 12 — наводящий винт алидады вертикального круга; 13 — объектив зрительной трубы; 14 — вертикальный круг; 15 — закрепительный винт зрительной трубы; 16 — отверстие для крепления коробки ориентир-буссели; 17 — окуляр; 18 и 19 — закрепительный и наводящий винты алидады горизонтального круга; 20 — неподвижная лупа; 21 — закрепительный винт лимба

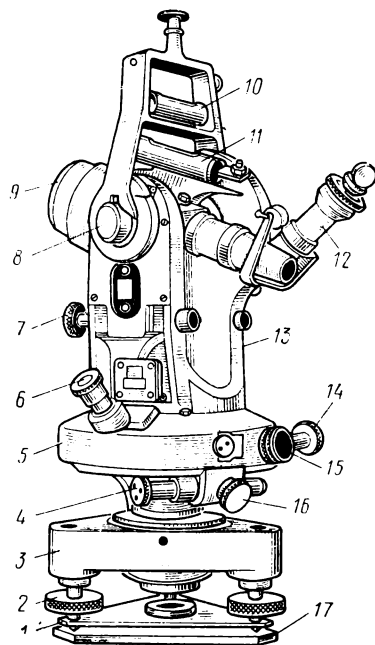


Рис. 51. Теодолит ТТП:

1 — пружинящая пластинка с втулкой для станочного винта; 2 — подъемный винт; 3 — трегер; 4 — наводящий винт лимба горизонтального круга; 5 — кожух; 6 — неподвижная лупа горизонтального круга; 7 — наводящий винт горизонтального круга; 8 — горизонтальная ось; 9 — объектив зрительной трубы; 10 — накладной цилиндрический уровень; 11 — цилиндрический уровень; 12 — окуляр; 13 — подставка зрительной трубы; 14, 15 — наводящий и закрепительный винты алидады горизонтального круга; 16 — закрепительный винт лимба горизонтального круга; 17 — пластинка для упора подъемных винтов

Теодолит-тахеометр ТТ-5 (рис. 50) является усовершенствованной моделью ТТ-50; ТТ-5 по сравнению с ТТ-50 имеет меньшую массу и размеры, современную форму и большую надежность в эксплуатации. Деления на лимбах нанесены через $10'$, оцифрованы через $5''$. Верньер имеет 20 делений. Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом не превышает $15''$.

На базе теодолита ТТ-5 сконструирован теодолит-тахеометр проекторочный ТТП (рис. 51). В отличие от ТТ-5 он снабжен окулярной насадкой, позволяющей визировать при большом наклоне трубы, а также накладным уровнем с ценой деления $15''$, устанавливаемым на горизонтальную ось вращения трубы. Теодолитом ТТП можно производить геометрическое нивелирование и, имея накладной уровень, более точно проектировать высокие

точки на горизонтальную плоскость и строить отвесные линии. Его целесообразно использовать при строительстве высоких сооружений и проведении геодезических работ в глубоких котлованах, т. е. тогда, когда точки визирования расположены на существенно различных высотах.

Таблица 9

Наименование основных параметров	Типы теодолитов					
	Т05	Т1	Т2	Т5	Т15	Т30
Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла из одного приема в секундах дуги (")	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 3,0$	$\pm 7,0$	$\pm 15,0$	$\pm 30,0$
Длина зрительной трубы, мм	390	300	185	185	150	140
Диаметр свободного отверстия объектива зрительной трубы, мм	60	50	35	35	30	25
Угол поля зрения объектива зрительной трубы	40'	1°	1°30'	1°30'	1°30'	2°
Увеличение зрительной трубы	35 [×] 50 [×] 60 [×]	30 [×] 40 [×]	25 [×]	25 [×]	25 [×]	18 [×]
Цена деления шкал лимбов, гор./верт.	10'	10'	20'	1°	1°	10'
Цена деления шкал: микроскопа	—	—	—	1'	1'	1'
микрометра	1"	1"	1"	—	—	—
Коэффициент нитяного дальномера	—	—	100	100	100	100
Наименьшее расстояние визирования, м	5	5	2	2	1,2	1,2
Диаметры кругов, мм: горизонтального	200	140	100	100	80	72
вертикального	130	90	72	72	72	72
Номинальная цена деления ампулы уровня на 2 мм в секундах дуги ("):						
при алидаде горизонтального круга	10	10	15	30	60	60
при алидаде вертикального круга на трубе	10	15	20	25	45	—
	—	—	20	20	30	30
Масса теодолита, кг	22,0	11,0	5,5	4,0		2,2

Оптические теодолиты. В оптических теодолитах применяются прозрачные стеклянные лимбы и оптические системы, позволяющие производить отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам с помощью одного микроскопа, расположенного рядом с окуляром зрительной трубы. Оптические теодолиты удобны в эксплуатации, обеспечивают более высокую производительность работ, меньше утомляют наблюдателя в процессе работы.

Остановимся на некоторых типах оптических теодолитов отечественной конструкции (табл. 9).

Теодолит Т30 — это оптический повторительный теодолит. Основание теодолита 1 (рис. 52), с которым скреплена подставка 9, одновременно служит дном футляра. Это не только снижает мас-

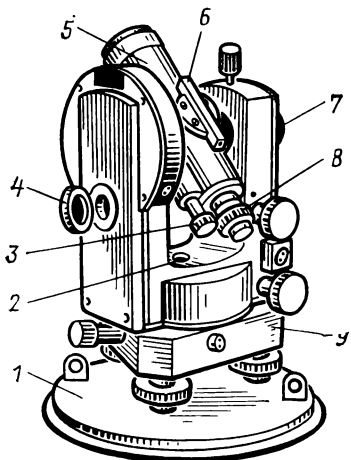


Рис. 52. Теодолит Т30

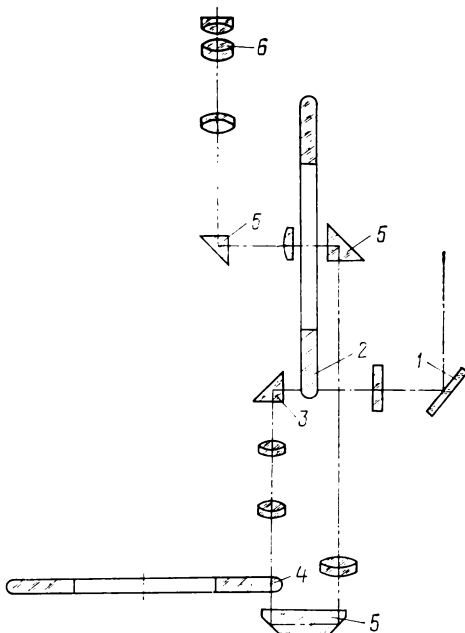


Рис. 53. Оптическая схема отсчетного приспособления теодолита Т30:

1 — зеркало подсветки; 2 — лимб вертикального круга; 3 — призма; 4 — лимб горизонтального круга; 5 — призмы; 6 — объектив микроскопа

су инструмента, но и создает дополнительные удобства в эксплуатации, так как позволяет закрывать прибор футляром, не снимая его со штатива при переходе с точки на точку.

Зрительная труба 5 снабжена оптическим визиром 6 для приближенного наведения трубы на наблюдаемый предмет. Фокусирование зрительной трубы осуществляется вращением кремальеры 7. Установку зрительной трубы по глазу осуществляют вращением диоптрийного кольца 8.

Теодолит Т30 не имеет уровня при вертикальном круге. Его заменяет уровень при горизонтальном круге, расположенный перпендикулярно оси вращения трубы.

Для центрирования теодолита используют зрительную трубу, которая устанавливается вертикально (объективом вниз) и через отверстие 2 визируется на знак закрепления вершины угла.

Зрительную трубу можно переводить через зенит обоими концами.

Рядом с окуляром зрительной трубы расположен микроскоп 3. Для освещения отсчетного приспособления используют зеркало подсветки 4. Оптическая схема отсчетного приспособления (рис. 53) устроена таким образом, что в поле зрения отсчетного приспособления одновременно видны изображения штрихов вертикального и горизонтального кругов, изготовленных из стекла.

В теодолите Т30 оценка доли деления угломерного круга производится по неподвижному индексу. Такой способ отсчитывания является наиболее простым и позволяет оценивать десятые доли наименьшего интервала.

На рис. 54 показано поле зрения отсчетного микроскопа. В верхнюю часть поля зрения, отмеченную буквой В, проецируются штрихи вертикального круга, а в нижнюю, отмеченную буквой Г, —

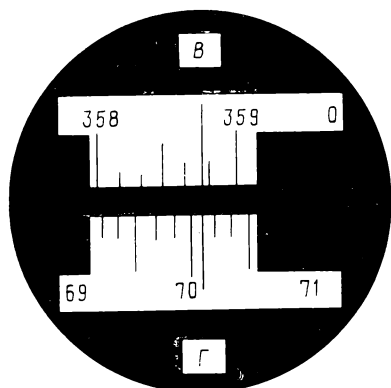


Рис. 54. Поле зрения микроскопа теодолита Т30

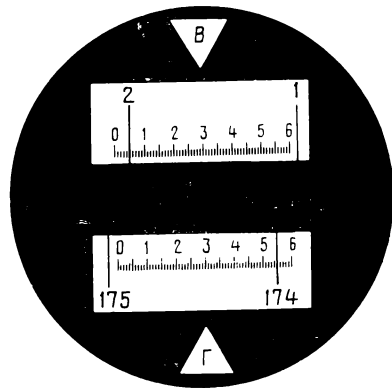


Рис. 55. Поле зрения микроскопа теодолита Т15

штрихи горизонтального круга. Штрихи обоих кругов разделены перемычкой.

Отсчет по вертикальному кругу по рис. 54 равен $358^{\circ}48'$, отсчет по горизонтальному кругу равен $70^{\circ}05'$.

Теодолит Т15 — оптический шкаловой теодолит с повторительной цилиндрической вертикальной осью. Отсчитывание по угломерным кругам производят с помощью микроскопа по одной стороне угломерного круга. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов из одного приема составляет $15''$, а вертикальных — $20''$. В поле зрения микроскопа видны одновременно изображения штрихов обоих угломерных кругов (рис. 55). Угломерные круги разделены через 1° , каждый штрих оцифрован. В верхней и нижней половинах поля зрения микроскопа находятся две шкалы, имеющие по 60 основных делений и по 2 дополнительных. Каждое деление шкалы соответствует $1'$. Доли деления оцениваются на глаз. Погрешность отсчитывания по шкалам составляет около $0',1$ ($6''$).

На рис. 55 отсчет по горизонтальному кругу равен $174^{\circ}55',0$, а по вертикальному — $2^{\circ}05',2$.

На базе теодолита Т15 разработан теодолит Т15К, который является более производительным прибором благодаря самоустанавливающемуся оптическому компенсатору, заменившему уровень при алидаде вертикального круга, зрительной трубе прямого изоб-

ражения и секторной оцифровке вертикального круга. Секторная оцифровка позволяет брать отсчет по шкале, соответствующей величине измеряемого угла наклона, не прибегая к дополнительным вычислениям.

В настоящее время при строительстве уникальных сооружений и монтаже высокоточного оборудования широко используют точные теодолиты Т2, Т5, 2Т2, 2Т5 и др.

§ 32. Инструментальные погрешности

Под инструментальными погрешностями подразумевают отклонения, существующие в реальном инструменте или его частях, от идеальной (теоретической) их схемы.

По своему происхождению инструментальные погрешности могут быть разделены на две группы: 1) погрешности, вызванные неточностью изготовления и сборки инструментов и их частей; 2) погрешности как результат неправильного взаимного расположения отдельных частей и осей инструмента, вызывающий несоблюдение геометрической схемы теодолита.

К первой группе относятся: погрешности нанесения штрихов на лимбе; отклонение формы внутренней поверхности ампулы уровня от сферической; недостаточное качество изготовления оптики зрительной трубы; несовпадение центров лимба и алидады (эксцентриситет алидады); отклонение действительной точности отсчетных приспособлений от точности, заданной конструктивно; плохая работа зажимных и микрометрических винтов и т. п. Инструментальные погрешности такого рода, как правило, не могут быть устранены в теодолите в процессе его эксплуатации. Исправляют их, как правило, на заводах или в специальных мастерских.

Величины инструментальных погрешностей указанного характера и постоянные прибора определяются при исследовании инструмента. Влияние некоторых источников таких погрешностей может быть в значительной степени ослаблено или исключено применением соответствующих методов работы с инструментом (например, влияние эксцентриситета алидады исключается в среднем из отсчетов по двум диаметрально расположенным отсчетным приспособлениям).

В точных работах исследования теодолитов производят со всей тщательностью. В инструментах малой точности при современном уровне их изготовления влиянием этих погрешностей обычно пренебрегают.

Вторая группа инструментальных погрешностей выявляется в результате специально производимых проверок инструмента и устраняется путем его последующей юстировки или регулировки. Остаточное влияние этих погрешностей исключается надлежаще установленным методом работы с инструментом.

Производство измерений без предварительного выполнения проверок и, если это необходимо, юстировки инструмента — недопустимо.

В отдельных случаях, преимущественно в точных измерениях, определяют величины, характеризующие погрешности инструмента, по которым вводят поправки в результат измерений.

§ 33. Поверки и юстировка теодолита

Основные геометрические условия, которые должны быть соблюдены в теодолите, вытекают из принципиальной схемы измерения горизонтального угла и заключаются в следующем: вертикальная ось инструмента должна быть отвесна; плоскость лимба должна быть горизонтальна, а визирная плоскость — вертикальна.

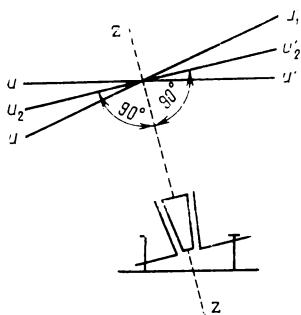


Рис. 56. К поверке цилиндрического уровня

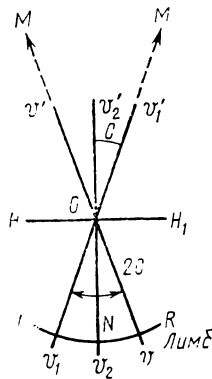


Рис. 57. К определению коллимационной погрешности

Для соблюдения этих условий выполняются следующие проверки теодолита.

1. *Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна основной оси инструмента.*

Положим, что ось цилиндрического уровня uu' не перпендикулярна основной оси инструмента zz_1 (рис. 56).

Повернем алидаду на 180° вокруг оси zz_1 ; тогда ось уровня займет положение u_1u_1' , т. е. отклонится от правильного положения u_2u_2' на тот же угол, но в противоположную сторону. Изменение наклона оси уровня, которое может быть выражено разностью отсчетов по уровню при двух его положениях, даст удвоенное значение угла между правильным положением уровня u_2u_2' и неправильным uu' (или u_1u_1'). Следовательно, для устранения рассматриваемой неперпендикулярности ось уровня относительно оси zz_1 следует изменить (наклонить) на половину угла, соответствующего упомянутой разности отсчетов по уровню.

Практически поступают так: ставят уровень параллельно двум подъемным винтам, с помощью которых пузырек уровня приводят на середину; середина уровня будет в центре его шкалы; взаим-

ное положение осей уровня и вращения алидады остается неизменным. После поворота алидады на 180° исправляют положение оси уровня на половину дуги отклонения пузырька от середины шкалы при втором его положении; это делается с помощью специального исправительного винта уровня M (см. рис. 43). Поверку повторяют до полного выполнения требуемого условия.

Приведение основной оси в отвесное положение (инвелирование теодолита). В отвесное положение основную ось теодолита приводят следующим образом. Устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и пузырек приводят на середину трубки. Алидаду поворачивают на 90° и пузырек снова приводят на середину третьим подъемным винтом. Такие действия повторяются до тех пор, пока пузырек уходит от середины не более чем на одно деление.

2. *Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения трубы.*

Угол отклонения визирной оси трубы от перпендикуляра к горизонтальной оси вращения называется коллимационной погрешностью трубы (рис. 57). Для проверки данного условия выбирают удаленную, находящуюся на горизонте ясно видимую точку M , визируют на нее, например, при положении КП и делают отсчет R по лимбу. Затем переводят трубу через зенит, визируют на точку M при положении КЛ и снова берут отсчет L по лимбу. При отсутствии коллимационной погрешности

$$L - R \pm 180^\circ = 0. \quad (67)$$

Если коллимационная погрешность имеет место (рис. 56), то при первом наведении трубы (КП) визирная ось займет положение uv' , а правильный отсчет N по лимбу будет

$$N = R + c. \quad (68)$$

При втором наведении (КЛ) визирная ось займет положение v_1v_1' , а правильный отсчет по лимбу составит

$$N = L - c \pm 180^\circ. \quad (69)$$

Сравнивая формулу (68) с (69), видим, что коллимационная погрешность влияет на отсчеты по лимбу с разными знаками, следовательно,

$$N = (R + L \pm 180^\circ)/2, \quad (70)$$

т. е. среднее из отсчетов свободно от влияния коллимационной погрешности.

Для определения коллимационной погрешности вычтем (68) из (69):

$$L - R \pm 180^\circ - 2c = 0 \text{ или } L - R \pm 180^\circ = 2c,$$

отсюда

$$c = (L - R \pm 180^\circ)/2. \quad (71)$$

Для исключения влияния коллимационной погрешности устанавливают на лимбе средний отсчет N . Центр сетки нитей при этом

сойдет с точки M . С помощью исправительных винтов сетки передвигают ее до совмещения центра сетки нитей с изображением точки M . Эту поверку повторяют несколько раз до тех пор, пока коллимационная погрешность не будет превышать двойной точности инструмента.

3. *Горизонтальная ось вращения трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси инструмента.*

Установив теодолит в 30—40 м от стены какого-либо здания и приведя лимб в горизонтальное положение, центр сетки нитей наводят на некоторую высоко расположенную точку A стены (рис. 58). При закрепленной алидаде наклоняют трубу примерно до горизонтального положения ее визирной оси и отмечают карандашом на стене точку a_1 , в которую проектируется центр сетки нитей. Переводят трубу через зенит, открывая алидаду и при втором положении трубы снова наводят центр сетки нитей на точку A и далее аналогично намечают точку a_2 . При совпадении точек a_1 и a_2 условие считается выполненным. В противном случае ось вращения трубы будет не перпендикулярна основной оси инструмента. Эта погрешность вызвана неравенством подставок, на которых располагается труба. Среднее из отсчетов по лимбу, взятых после наведения на точку A при двух положениях трубы (КП и КЛ), свободно от влияния данной погрешности. В современных конструкциях инструментов подставки трубы не имеют исправительных винтов, с помощью которых можно было бы на месте ликвидировать погрешность, поэтому приходится устранять ее в заводских условиях или мастерских.

4. *Одна из нитей сетки должна быть горизонтальна, другая вертикальна.*

После выполнения описанных выше поверок и юстировки наводят центр нитей сетки на какую-нибудь точку и медленно поворачивают алидаду вокруг ее оси вращения, наблюдая за положением точки. Если при перемещении алидады изображение точки не будет сходиться с горизонтальной нитью, то условие выполнено. В противном случае производят исправление положения сетки нитей путем ее поворота. После выполнения этой поверки необходимо повторить поверку перпендикулярности визирной оси горизонтальной оси вращения трубы.

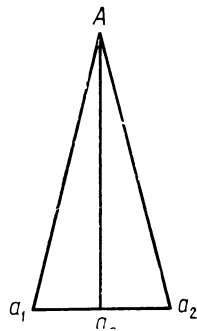


Рис. 58. К определению перпендикулярности горизонтальной оси вращения трубы к оси теодолита

§ 34. Центрирование теодолита. Приведение измеренных направлений к центрам знаков

Перед измерением горизонтальных углов теодолит должен быть центрирован, т. е. его вертикальная ось совмещена с отвесной ли-

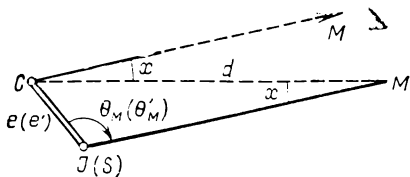


Рис. 59. К определению погрешности центрирования

оси теодолита J с вершиной C измеряемого угла (рис. 59). Линейную величину несовпадения центра инструмента J с центром знака C обозначим через e , а угол при J между C и наблюдаемым пунктом M (по ходу часовой стрелки) — через θ_M .

В результате измерений нужно получить направление CM , а фактически измеряем JM , следовательно, из-за неточности центрирования направление CM будет ошибочно на величину x .

Из треугольника CJM получим

$$x'' = \frac{e\rho''}{d} \sin \theta_M. \quad (72)$$

Совершенно аналогичное влияние оказывает несовпадение визирной цели с отвесной линией, проходящей через центр наблюдаемого пункта. В этом случае на рис. 59 точку J обозначим через S , понимая под ней точку визирования, а e и θ_M — через e' и θ'_M . Тогда

$$x'' = \frac{e'\rho''}{d} \sin \theta'_M. \quad (73)$$

В этом случае x следует рассматривать как ошибку направления с пункта M .

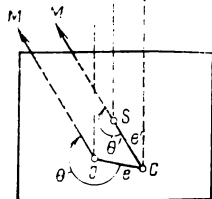
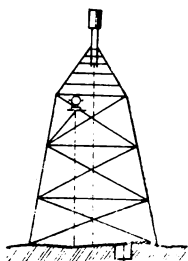


Рис. 60. Элементы приведения

нией, проходящей через знак, фиксирующий в натуре вершину измеряемого угла (центр, кол, вежа и т. п.).

Установим требования к точности центрирования теодолита. Предварительно получим выражение, определяющее погрешность измеряемого с пункта C на пункт M направления от несовмещения

При угловых измерениях на пунктах государственной геодезической сети, как правило, не добиваются тщательного центрирования инструмента, а визирной цели над центром пункта, а производят определение величин e , θ и e' , θ' и вводят в результаты измерения поправки.

Поправка за внецентренное положение инструмента называется поправкой за центрировку и обозначается через c , она вычисляется по формуле (72).

Поправка за внецентренное положение визирной цели называется поправкой за редукцию и обозначается через r , она вычисляется по формуле (73).

Введение указанных поправок называется приведением наблюдений к центрам знаков. Величины e , θ и e' , θ' называются элементами центровки

и редукации, а в совокупности — элементами приведения; они показаны на рис. 60.

В инженерной практике центрирование производится с помощью нитяного или оптического отвеса. Точность центрирования — 0,1—1,0 см.

При точных угловых измерениях в строительстве допускаемые ошибки центрирования иногда характеризуются сотыми долями миллиметра; в этом случае обеспечивают точное непосредственное центрирование с использованием дополнительных приспособлений.

§ 35. Измерение горизонтальных углов

Будем считать, что поверки и юстировка теодолита произведены. Работу по измерению углов на станции выполняют в следующем порядке:

1) установка теодолита в рабочее положение: центрирование инструмента; приведение его оси в отвесное положение (нивелирование инструмента); установка трубы для визирования;

2) измерение горизонтальных углов (направлений); обработка журнала наблюдений и контроль измерений на станции.

Для измерения горизонтальных углов применяют преимущественно способ приемов при измерении одного угла, способ круговых приемов при измерении на станции углов между тремя и более направлениями.

Способ приемов. Для измерения угла ACB (рис. 61) теодолит устанавливают в вершине угла C и, закрепив лимб, наводят на заднюю точку A . Закрепив алидаду, производят отсчет a_1 по горизонтальному кругу. Далее открепляют алидаду, визируют на переднюю точку B и делают отсчет a_2 . Величина измеряемого угла $\beta = a_1 - a_2$.

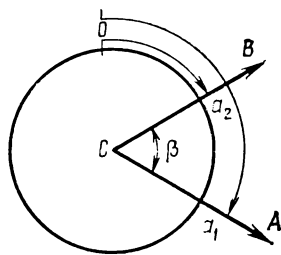


Рис. 61. К измерению горизонтальных углов.

Такое измерение угла называется полуприемом. Для контроля и ослабления влияния инструментальных погрешностей угол измеряют при втором положении вертикального круга, сместив лимб на 5—10° для оптических теодолитов, и приблизительно по 90° — для теодолитов с двумя отсчетными приспособлениями.

Измерение угла во втором полуприеме производится при другом положении вертикального круга теодолита. Два таких измерения составляют прием.

Из результатов измерений в полуприемах вычисляют среднее значение измеряемого угла.

Способ круговых приемов. Установив теодолит над точкой, визируют последовательно на все направления по ходу часовой стрелки и производят отсчеты. Последнее наведение делают на начальное направление, чтобы убедиться в неподвижности лимба. Эти действия составляют первый полуприем.

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

§ 36. Точность измерения горизонтальных углов

На точность измерения горизонтальных углов техническими теодолитами влияют главным образом инструментальные погрешности, погрешности визирования, установки инструмента и вех и погрешности отсчетов*.

В современных теодолитах при условии надлежащей юстировки инструмента и применения соответствующей методики измерений инструментальные погрешности малы. Например, погрешность визирования, определяемая по формуле (61) при $v=20''$, будет равна $3''$.

При тщательной установке инструмента и вех, а также при ограничении минимальных длин сторон влияние погрешностей за центрировку и редукцию можно свести к минимуму. Погрешность отсчета принимается равной половине точности отсчетного приспособления, т. е. $m_0 = t/2$.

Таким образом, главное влияние на точность измерения углов теодолитами с металлическими лимбами оказывают погрешности отсчетов по лимбу. Учитывая это и считая, что другие погрешности измерений не оказывают существенного влияния на точность измерения угла, определим в качестве примера среднюю квадратическую погрешность измерения угла теодолитами с металлическими лимбами. При этом примем, что отсчет по второму отсчетному приспособлению не повышает точности отсчитывания, а лишь исключает погрешность за эксцентриситет алидады.

При измерении угла после наведения на точки делают отсчеты по лимбу со средней квадратической погрешностью $m_0 = t/2$. Эту погрешность можно принять за погрешность направления измеряемого угла, так как другие виды погрешностей, как мы условились, не оказывают существенного влияния. Погрешность угла как разности двух направлений будет $m_\beta = m_0 \sqrt{2} = t/2 \sqrt{2}$. Средняя квадратическая погрешность угла, измеренного одним приемом:

$$m_\beta = (t/2) (\sqrt{2}/\sqrt{2}) = t/2.$$

Предельная (утроенная погрешность)

$$m_{\beta_{\text{пред}}} = 3m_\beta = 3t/2 = 1,5t. \quad (74)$$

Средняя квадратическая погрешность разности двух значений угла в полуприемах

$$m_d = m_\beta \sqrt{2} = \frac{t}{2} \sqrt{2} \sqrt{2} = t.$$

* В точных угловых измерениях на результаты существенное влияние оказывают систематические погрешности, зависящие от внешних условий и неточностей в изготовлении и установке инструмента.

За предельную погрешность обычно принимают удвоенную величину средней квадратической погрешности

$$m_{d_{\text{пред}}} = 2m_d = 2t. \quad (75)$$

Следовательно, расхождение между двумя значениями угла в полуприемах не должно превышать двойной точности отсчетного приспособления.

§ 37. Измерение вертикальных углов

Измерение вертикальных углов — углов наклона производят с помощью вертикального круга. Вертикальный круг 1 (рис. 62) жестко скреплен с осью трубы и вращается вместе с ней. Алидада 2 расположена на оси вращения трубы, но не скреплена с ней и при вращении трубы остается неподвижной. Алидада имеет два верньера

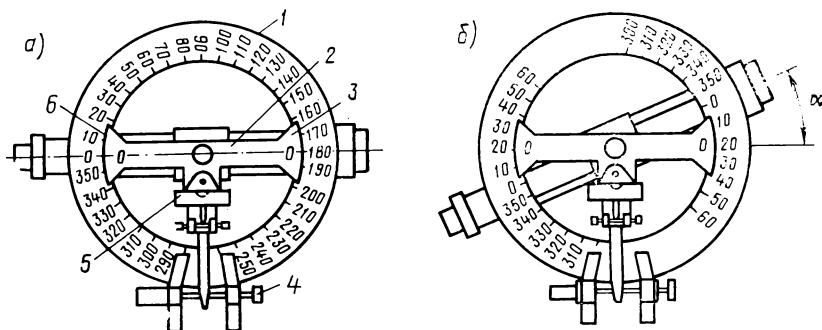


Рис. 62. К измерению вертикальных углов

ра 3 и 6 и снабжена цилиндрическим уровнем 5 для приведения нулевой линии верньера в определенное положение относительно горизонта. Приведение пузырька уровня на середину трубки осуществляется с помощью наводящего винта 4 при алидаде.

Теодолиты-тахеометры имеют две системы надписей делений вертикальных кругов. При системе надписей, показанной на рис. 62, а, деления подписаны через каждые 10° от 0 до 360° по ходу часовой стрелки. Отсчеты, взятые по двум верньерам, отличаются друг от друга на 180° , и поэтому градусы отсчитываются по верньеру, расположенному ближе к окуляру трубы, а минуты — по обоим верньерам.

При другой системе надписей (рис. 62, б) деления наносят от 0 до 60° по ходу часовой стрелки и от 0 (360°) до 300° против хода часовой стрелки. Такая система надписей наиболее удобна, так как отсчеты градусов получаются одинаковыми по обоим верньерам.

Для удобства вычисления вертикальных углов ставится условие: когда визирная ось зрительной трубы и ось уровня при алидаде горизонтальны, нулевые деления алидады должны совпадать с ну-

левыми делениями вертикального круга. В действительности это условие нарушается и визирная ось трубы может занимать горизонтальное положение, пузырек находится в нульпункте, а отсчет по вертикальному кругу не равен нулю.

Отсчет по вертикальному кругу, когда визирная ось трубы горизонтальна, а пузырек уровня при алидаде находится в нульпункте, называется местом нуля вертикального круга и обозначается $МО$.

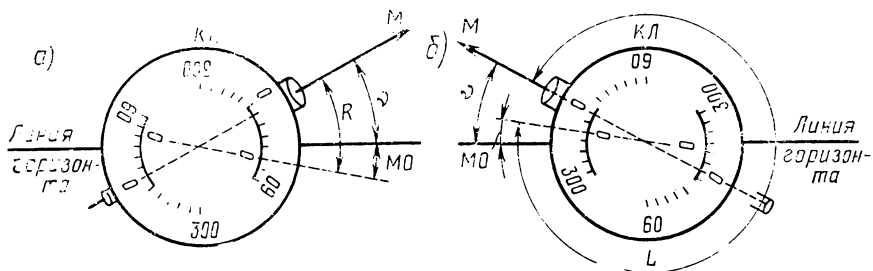


Рис. 63. К определению места нуля

Рассмотрим, как измеряют углы наклона. Зрительную трубу при КП наводят на некоторую точку M и после приведения пузырька уровня на середину* берут отсчеты R по вертикальному кругу. Этот отсчет, как видно на рис. 63, а, будет больше угла наклона ν на величину $МО$. Следовательно,

$$\nu = R - МО. \quad (76)$$

Аналогичные действия выполняются при КЛ. Отсчет L , как видно из рис. 63, б, также будет завышен на величину $МО$. Угол наклона в этом случае

$$\nu = 360^\circ - L + МО$$

или

$$\nu = МО - L. \quad (77)$$

Решив уравнения (76) и (77) относительно $МО$ и ν , найдем

$$МО = (R + L)/2; \quad (78)$$

$$\nu = (R - L)/2. \quad (79)$$

При вычислениях углов наклона и $МО$ по формулам (76) — (79) следует к малым отсчетам (от 0 до 60°) прибавлять 360° .

Для оптического теодолита Т30 формулы вычисления углов наклона имеют вид

$$\nu = \frac{L - R - 180^\circ}{2} = L - МО = МО - R - 180^\circ; \quad (80)$$

$$МО = \frac{R + L + 180^\circ}{2}. \quad (81)$$

* В теодолите Т30 перед отсчетом по вертикальному кругу приводят на середину пузырек уровня при горизонтальном круге.

Приведение МО вертикального круга к 0°. Для удобства вычисления вертикальных углов место нуля должно быть близко к нулю. Для выполнения этого условия несколько раз определяют значение места нуля путем наведения горизонтальной нити сетки зрительной трубы на ряд точек при двух положениях вертикального круга. Если вычисленное по формуле (78) значение места нуля превышает двойную точность верньера, то его нужно уменьшить следующим образом. С помощью наводящего винта при алидаде вертикального круга устанавливают пузырек уровня на середину. Действуя наводящим винтом трубы, ставят на вертикальном круге отсчет, равный среднему вычисленному значению места нуля. Визирная ось трубы в этом случае будет занимать горизонтальное положение.

Теперь необходимо так повернуть алидаду, чтобы при горизонтальном положении оси уровня и визирной оси трубы отсчет по верньеру был равен 0°. Для этого наводящим винтом алидады совмещают нули верньера и вертикального круга (пузырек уровня, естественно, сместится с середины). Действуя исправительными винтами уровня, пузырек приводят на середину. Для контроля поверка повторяется.

При исправлении места нуля теодолита Т30 при двух положениях вертикального круга определяют угол наклона ν . Не смещая трубы с наблюдаемой точки при «круге лево», наводящим винтом трубы устанавливают отсчет, равный ν . При этом горизонтальная нить сетки сместится с наблюдаемой точки. Действуя вертикальными исправительными винтами сетки, совмещают нить с наблюдаемой точкой.

Порядок измерения вертикальных углов. Установив инструмент в рабочее положение, зрительную трубу при КЛ наводят на наблюдаемую точку. Приводят пузырек уровня на середину, берут отсчеты по вертикальному кругу. Затем трубу переводят через зенит и все действия повторяют при КП.

Правильность измерения вертикальных углов контролируется постоянством МО, колебания которого в процессе измерений не должны превышать двойной точности отсчетного приспособления.

Точность измерения вертикальных углов в основном характеризуется погрешностью отсчета. Средняя квадратическая погрешность измерения вертикального угла принимается равной половине точности отсчетного приспособления.

§ 38. Экер и его применение

Экеры применяют для построения на местности прямых углов.

Они бывают зеркальные и призмальные. На рис. 64, а, б представлены двухзеркальный экер и его оптическая схема. Он состоит из коробки с двумя гранями, к которым прикреплены плоские зеркала z_1 и z_2 . Над зеркалами в обеих гранях вырезаны окна F_1 и F_2 . Коробка скреплена с ручкой, которая оканчивается крючком для подвешивания отвеса.

Луч от вехи A (рис. 64, б) падает на зеркало z_1 под углом α ($MK \perp z_1$) и, отразившись от него под тем же углом, падает в точке E на зеркало z_2 под углом β ($LE \perp z_2$). Отражившись далее от зеркала z_2 , луч пересекается в точке C с первоначальным лучом AK под углом ϵ . Таким образом, глаз наблюдателя G увидит в зеркале z_2 изображение E вехи A .

Так как угол ϵ является внешним углом треугольника KEC , то

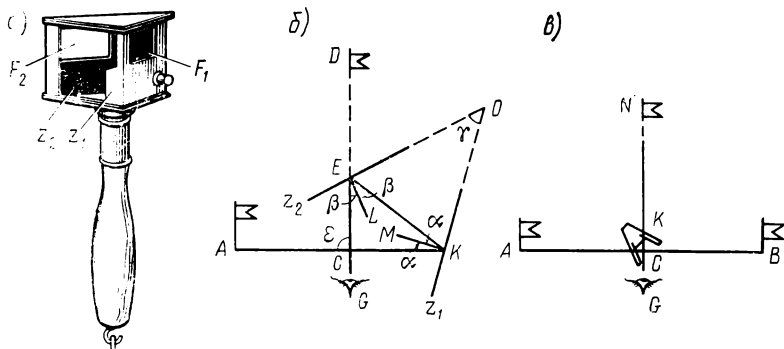
$$\epsilon = 2\alpha + 2\beta = 2(\alpha + \beta).$$


Рис. 64. Экер:

a — общий вид; b — принципиальная схема; c — восстановление перпендикуляра

Из треугольника EOK следует, что

$$\gamma = 180^\circ - (90^\circ - \alpha) - (90^\circ - \beta) = \alpha + \beta.$$

Из этих двух равенств получаем

$$\epsilon = 2\gamma. \quad (82)$$

Так как в двухзеркальных экерах угол между зеркалами $\gamma = 45^\circ$, следовательно, $\epsilon = 90^\circ$. Если теперь, глядя в окно F_2 экера, выставить в створе CE веху D , то угол ACD на местности будет прямой. Точка C намечается отвесом экера.

Если требуется из точки местности N (рис. 64, в) опустить перпендикуляр на линию AB , то наблюдатель становится с экером в створе этой линии лицом к точке N и держит в руке экер так, чтобы получить в нем изображение K вехи B . Наблюдая далее в окно экера по створу CK , наблюдатель передвигается по линии AB вправо или влево до тех пор, пока точка N не окажется в створе CK . Полученная точка C и будет основанием перпендикуляра, опущенного из точки N на линию AB .

Исправленный экер дает погрешность в построении прямого угла, не превышающую $\Delta_\epsilon = \pm 5'$. Поверку экера выполняют следующим образом. Встав с экером в точке C (рис. 65), восстанавливают к ней перпендикуляры CN_1 и CN_2 , пользуясь последовательно вехами A и B . Если при этом точки N_1 и N_2 совпадут, то экер ис-

правен. В противном случае определяют погрешность в построении прямого угла. Из треугольника CN_1N_2 имеем

$$\frac{N_1N_2}{CN} = \frac{2\Delta_\epsilon}{\rho} = \frac{10'}{3438'} \approx \frac{1}{350}. \quad (83)$$

Если теперь погрешность в построении прямого угла окажется больше вычисленной по формуле (83), то экер юстируют имеющимися у одного из его зеркал исправительными винтами.

Направления CN_1 и CN_2 должны совпасть со средним направлением CN .

Призмный экер имеет прямоугольную трехгранную призму, два других угла которой равны по 45° . Его применяют и поверяют так же, как и двухзеркальный экер. Исправительных винтов призмный экер не имеет, и обнаруженные неисправности могут быть устранены в мастерской.

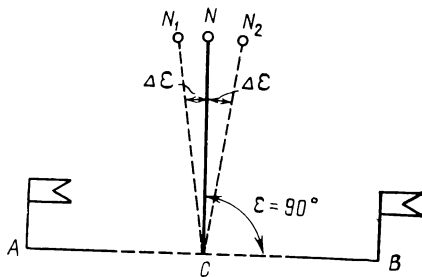


Рис. 65. К поверке экера

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается сущность измерения горизонтального угла?
2. Объяснить причину расхождения отсчетов на двух противоположных отсчетных приспособлениях и причину расхождения значений углов, измеряемых при КП и КЛ.
3. Для чего смещают горизонтальный круг между полуприемами и приемами при измерении отдельного горизонтального угла?
4. Для чего измеряют горизонтальный угол при КП и КЛ?
5. Как определяется МО вертикального круга?
6. Как определить чувствительность уровня?
7. В чем особенность конструкции оптических теодолитов?
8. Как привести основную ось вращения теодолита в отвесное положение?
9. Как определить коллимационную погрешность?
10. Как определить погрешность за центрирование теодолита?
11. Объяснить порядок измерения горизонтальных углов способом приемов и круговых приемов.
12. Какие основные погрешности влияют на точность измерения горизонтальных углов?
13. Вычислить МО и вертикальный угол, если $КП = 349^\circ 27' 20''$ и $КЛ = 14^\circ 17' 40''$.
14. От чего зависит точность визирования?
15. Как обнаружить и устранить параллакс сетки нитей?

§ 39. Общие сведения о линейных измерениях

Расстояния между точками местности можно определить непосредственно или косвенно. Непосредственные линейные измерения производят с помощью рулеток, лент или проволок. Их изготавливают из стали или инвара (сплав: 64% железа и 36% никеля). Инварные мерные приборы обладают очень малым коэффициентом линейного расширения. Стальные мерные приборы позволяют измерять расстояния с относительной погрешностью порядка $1 : 1000 \div 1 : 25\,000$, а инварные — $1 : 25\,000 \div 1 : 1\,000\,000$.

В настоящее время для измерения расстояний широкое распространение получают оптические дальномеры (нитяные и двойного изображения), свето- и радиодальномеры. Относительные погрешности определения расстояний при измерении их оптическими дальномерами находятся в пределах от $1 : 200$ до $1 : 5000$, а свето- и радиодальномерами — от $1 : 10\,000$ до $1 : 250\,000$.

§ 40. Обозначение точек и вешение линий на местности

Подлежащие измерению отрезки линий местности должны быть закреплены. В зависимости от назначения и условий местности их закрепляют по-разному. Если точки необходимо сохранить на не-

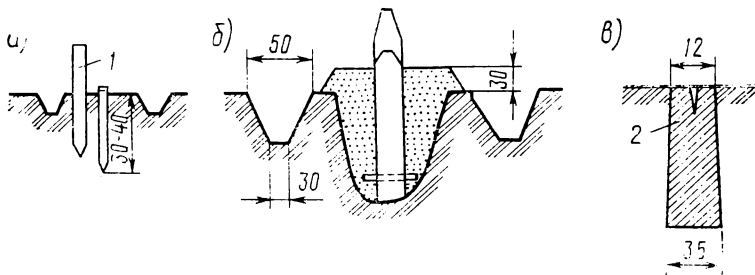


Рис. 66. Закрепление точек на местности:

1 — сторожок; 2 — монолит

большой период, то их закрепляют вбитыми в землю колышками или железными трубками длиной 30—40 см (рис. 66, а), а при необходимости сохранения на более длительный срок — столбами (рис. 66, б) или железобетонными монолитами (рис. 66, в). Иногда точки закрепляют обрезками рельсов или труб, которые бетонируют в заранее пробуренных скважинах. На участках с твердым покрытием рабочие центры съемочной сети закрепляют дюбель-гвоздями (рис. 67) с помощью строительно-монтажных пистолетов.

Для обеспечения видимости с точки на точку на них устанавли-

вают раскрашенные (в красный и белый цвета) вешки длиной 2—2,5 м с насаженными на конце металлическими наконечниками.

Если подлежащая измерению линия слишком длинная, то ее необходимо предварительно провешить. Вешением линии называют установку вешек в вертикальной плоскости, проходящей через конечные точки данной линии. Такую вертикальную плоскость называют створом. Вешение линий можно производить на глаз или с помощью теодолита.

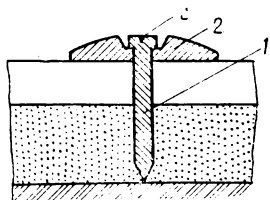


Рис. 67. Рабочий центр на участке с твердым покрытием:

1 — дюбель-гвоздь; 2 — диск; 3 — отверстие \varnothing 2 мм

Если взаимная видимость между точками A и B (рис. 68, а) имеется, то наблюдатель становится на продолжении линии AB в нескольких метрах (2—3 м) от вехи (A или B), а рабочий по его указанию выставляет вешки 1, 2, 3... так, чтобы они находились в створе линии AB .

Если между точками A и B (рис. 68, б) нет взаимной видимости, то вблизи от створа AB первый рабочий ставит веху в точке d_1 так, чтобы была видна точка A ; другой рабочий по указанию первого ставит веху в створ линии d_1a (в точке c_1) так, чтобы из точки c_1 была видна точка B . Далее первый рабочий по указанию второго ставит вешку в створе c_1b и т. д.

до тех пор, пока будет видно из точки C , что веха D находится в створе линии CB , а из точки D — что веха C находится в створе линии DA .

При вешении прямой AB (рис. 68, в), пересекающей овраг, сначала устанавливают вехи по створу у берегов оврага, а затем по склонам и дну его. Вешение линий нужно производить в направлении «на себя», что дает более точные результаты, так как при этом ранее выставленные вехи не закрывают последующих.

Если линию вешат инструментально, то после установки теодолита над точкой A визируют трубой в точку B и рабочий по указанию наблюдателя ставит вешки так (рис. 68, а), чтобы на них проектировалась вертикальная нить сетки зрительной трубы.

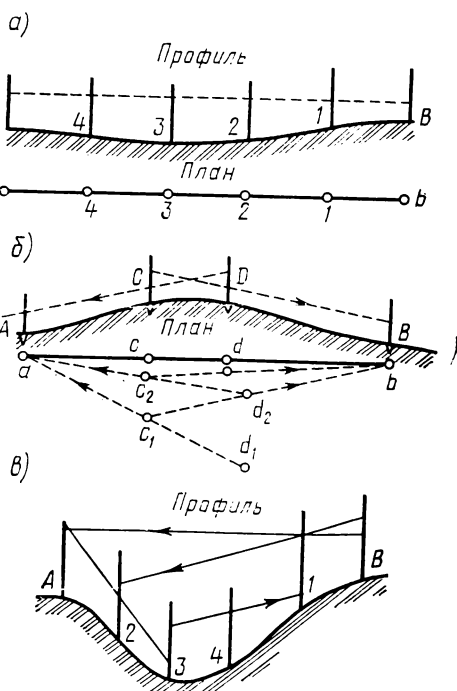


Рис. 68. Вешение линий

§ 41. Приборы для непосредственного измерения расстояний

Для непосредственного измерения расстояний используются мерные ленты, рулетки и проволоки. Наиболее часто при линейных измерениях для инженерных целей применяются мерные ленты со шпильками. Длины мерных лент равны 20, 24 или 50 м. Существуют рулеточные мерные ленты длиной 20, 24, 50 и 100 м. Толщина лент находится в пределах от 0,3 до 0,5 мм. Различают ленты

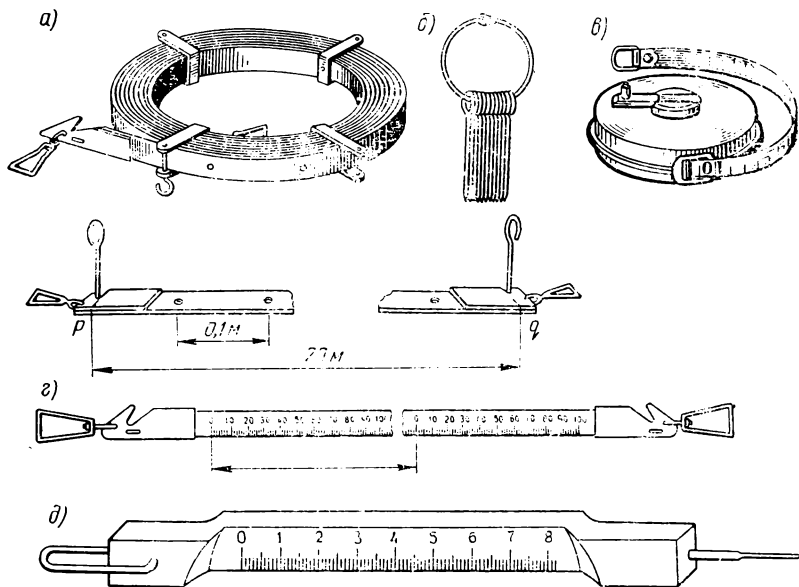


Рис. 69. Приборы для линейных измерений:

а — штриховая лента; *б* — шпильки; *в* — рулетка; *г* — шкаловая лента; *д* — шкала мерных проволок

штриховые (рис. 69, *а*), длина которых равна расстоянию между штрихами, нанесенными у концов ленты против середины вырезов для шпилек, и шкаловые (рис. 69, *г*), у концов которых нанесены миллиметровые и сантиметровые деления; их применяют для измерения расстояний с повышенной точностью.

Каждая штриховая лента разделена на метры и дециметры. Отдельные метры на ленте обозначены пластинками с выбитыми на них порядковыми номерами; полуметры отмечены круглыми наклейками; дециметры — отверстиями диаметром 2 мм. Отрезки линий меньше дециметра отсчитывают по ленте на глаз. При перевозке и хранении ленту наматывают на железное кольцо (рис. 69, *а*). К ленте прилагается комплект из 10 (иногда из 5) железных шпилек (рис. 69, *б*) для фиксации концов ее при измерении.

В строительной практике широко применяют рулетки металлические и тесьмяные длиной 5, 10, 20, 30 и 50 м (рис. 69, в). В нерабочем состоянии рулетки наматываются на катушку, заключенную в футляр. В соответствии с ГОСТ 7502—69 с 1970 г. изготавливают следующие типы металлических рулеток: РС — рулетки самосвертывающиеся, РЖ — рулетки желобчатые, РВ и РК — рулетки из углеродистой стали и др.

Для производства точных линейных измерений применяют инварные проволоки (рис. 69, д) длиной 24 и 48 м. Проволоки в процессе измерений подвешивают на специальных станках.

Перед началом линейных измерений определяют действительную длину мерного прибора путем сравнения с другим прибором, длина которого заранее известна. Такое сравнение длины мерного прибора с другим контрольным называется *компарированием*.

Разность Δl_k между фактической длиной l мерного прибора и длиной l_0 контрольного прибора называется *поправкой за компарирование*, т. е.

$$\Delta l_k = l - l_0. \quad (84)$$

Компарирование мерных приборов производится на специальных устройствах — *компараторах*. Компараторы бывают стационарные и полевые. На стационарных компараторах имеются образцовые инварные жезлы, с помощью которых определяют длину компаратора с высокой точностью, а затем сравнением его длины с длиной мерного прибора находят длину последнего. Полевой компаратор представляет закрепленный на местности базис длиной около 120 м, измеренный с высокой точностью. Этот базис измеряют компарируемым прибором 4—5 раз с учетом температуры. Разность между средним значением из результатов измерений и точным значением длины базиса, деленная на количество уложенных в данном базисе лент, и даст величину поправки за компарирование.

Таким образом, фактическая длина l рабочей ленты, которой производят измерения, будет

$$l = l_0 + \Delta l_k. \quad (85)$$

При этом Δl_k считается положительной, если рабочая лента длиннее номинальной, а в противном случае — отрицательной.

Если при линейных измерениях предполагается учитывать температуру, то следует измерить температуру t_0 , при которой производилось компарирование.

§ 42. Измерение расстояний стальной лентой

Расстояния обычно измеряют два мерщика в следующем порядке. Передний мерщик берет в руку ручку ленты и десять шпилек и разматывает ее вдоль измеряемого отрезка линии, а задний, совместив начальный штрих с точкой A (рис. 70), направляет переднего мерщика в створ линии AB . Передний мерщик, встряхнув

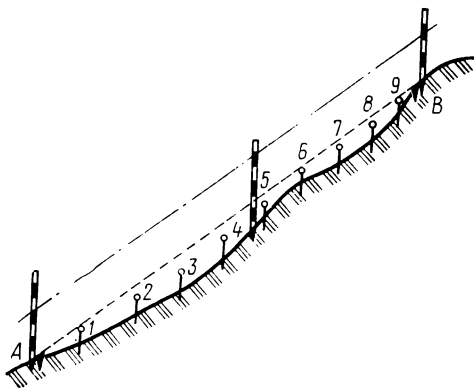


Рис. 70. Измерение линий

ленту, натягивает ее и фиксирует конец шпилькой. Затем ленту протягивают на один пролет; задний конец ее цепляют крючком за первую шпильку и повторяют все действия, которые производились при измерении первого пролета.

Таким образом процесс измерения линии продолжается; при этом число установленных передним мерщиком шпилек будет равно числу отложенных лент.

Если передний мерщик израсходовал все шпильки, а расстояние еще не изме-

рено до конца, задний передает ему десять шпилек, удерживая конец ленты у точки, где была последняя шпилька. Передачи шпилек фиксируются в журнале измерений. После этого процесс измерения продолжается. В конце линии между последней шпилькой и точкой *B* измеряют остаток *r*. Для этого ленту цепляют задним крючком за последнюю шпильку, протягивают ее через точку *B* и против конечной точки линии производят отсчет с точностью до сантиметра.

Длину линии *D* определяют по следующей формуле:

$$D = 20n + r, \quad (86)$$

где *n* — число отложений ленты, равнос числу шпилек, имеющих у заднего мерщика, включая передачи; *r* — остаток.

Если температура *t*, при которой производились измерения, отличается от температуры *t*₀ компарирования на величину, превышающую (8—10)°С, то в измеренную длину отрезка линии вводят поправку за температуру, определяемую по формуле

$$\Delta D_t = D\alpha(t - t_0), \quad (87)$$

где α — линейный коэффициент расширения стали ($12,5 \cdot 10^{-6}$). Температуру ленты, как правило, измеряют термометром — *п р а щ е м*.

Для составления плана необходимо знать не наклонные отрезки линий, а их проекция на горизонтальную плоскость (горизонтальные продолжения). Горизонтальные продолжения отрезков линий можно получить, измерив углы наклона ν их к горизонту. Эти углы обычно измеряют теодолитом или эклиметром. Эклиметр (рис. 71, а) состоит из круглой металлической коробки 2, внутри которой на оси, проходящей через центр круга, вращается кольцо с грузиком, и пустотелой трубки 1 с двумя диоптрами: предметным и *г л а з н ы м*.

На цилиндрической поверхности кольца нанесены градусные деления в обе стороны от 0 до 60°. В коробке против глазного диоптра имеется окошко, через которое в лупу 3 видны градусные деления.

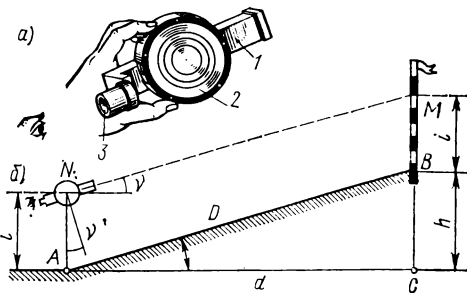


Рис. 71. Эклиметр

Для измерения угла наклона линии AB (рис. 71, б) на одном ее конце становятся с эклиметром, а на другом ставят вежу с меткой на высоте глаза наблюдателя.

Через прорезь глазного диоптра наводят нить предметного диоптра на метку вежи и нажимают на стопорную кнопку кольца. Когда круг с делениями под действием силы тяжести грузика успокоится и его нулевой диаметр займет горизонтальное положение, кнопку отпускают и через лупу производят отсчет градусов по кольцу с точностью до $\pm 0^{\circ},25$. Это будет угол наклона v .

Приведение наклонных отрезков линий к горизонту. Если измеренный на местности отрезок $AB = D$ (рис. 71, б) составляет с горизонтом угол наклона v , то из прямоугольного треугольника ABC горизонтальное положение

$$d = D \cos v, \quad (88)$$

а разность, называемая поправкой за наклон к горизонту,

$$\Delta D_v = D - d. \quad (89)$$

Подставив в (89) вместо d его значение из (88), получим

$$\Delta D_v = D (1 - \cos v)$$

или

$$\Delta D_v = 2D \sin^2 \frac{v}{2}. \quad (90)$$

Горизонтальное проложение $d = D - \Delta D_v$.

По формуле (90) составлены таблицы (см. приложение 1).

Пример. Пусть $D = 169,73$ м и $v = 4^{\circ}15'$.

По формуле (88) имеем

$$d = 169,73 \cdot \cos 4^{\circ}15' = 169,26 \text{ м}; \quad \cos 4^{\circ}15' = 0,99725.$$

По таблице поправок за наклон линий (см. приложение 1) имеем:

D , м	ΔD , мм
100	280
60	165
9	25
0,73	2

$$\Sigma = 169,73$$

$$\Sigma = 472$$

По формуле (89) получаем $d = 169,73 \text{ м} - 0,47 \text{ м} = 169,26 \text{ м}$.

Если угол наклона ν меньше 1° , то поправку Δd ввиду ее малого значения обычно не учитывают. Если измеряемая линия на разных своих участках имеет разные углы наклона, то следует определить длину линии и углы наклона по отдельным участкам и каждый из них приводить к горизонту, а общее горизонтальное положение можно получить путем суммирования горизонтальных проложений отдельных участков. Если известна h — разность отметок точек A и B , то согласно рис. 42

$$h^2 = D^2 - d^2 = (D - d)(D + d). \quad (91)$$

Учитывая формулу (89) и принимая приближенно $D + d \approx 2D$, получим

$$\Delta D_\nu = h^2 / (2D). \quad (92)$$

Вычисление длины линий. При вычислении длины линии в ее измеренное значение D вводят поправки: на компарирование мерного прибора ΔD_k , за температуру ΔD_t и за приведение к горизонту ΔD_ν .

Поправка за компарирование вычисляется по формуле

$$\Delta D_k = D \Delta l_k / 20 \quad (93)$$

и вводится в результат измерения со знаком Δl_k .

Поправка за температуру ΔD_t вычисляется по формуле (87), за приведение к горизонту ΔD_ν — по формулам (89, 90). Поправка ΔD_ν всегда вводится в результат измерений со знаком минус.

Окончательно длина линии будет

$$D_{\text{выч}} = D_{\text{изм}} + \Delta D_k + \Delta D_t + \Delta D_\nu. \quad (94)$$

§ 43. Точность измерения расстояний стальной лентой

На точность измерения расстояний лентой оказывают влияние неровности местности и характер грунта, погрешности определения длины мерного прибора и неточного укладывания ленты в створе линии, погрешности за непостоянство натяжения и влияние температуры и т. д. Некоторые из этих погрешностей носят случайный характер, другие — систематический.

Так как длина линии D есть сумма n отложений ленты l [см. (86)], то средняя квадратическая погрешность m_1 одного отложения ленты согласно формуле (46) будет возрастать пропорционально \sqrt{n} , а систематическая m_2 — пропорционально числу n . Квадрат полной погрешности равен сумме квадратов погрешностей ее составляющих, т. е.

$$m_D^2 = m_1^2 n + m_2^2 n^2,$$

так как

$$n = D/l, \text{ то}$$

$$m_D^2 = \frac{m_1^2}{l} D + \frac{m_2^2}{l^2} D^2.$$

Обозначив

$$m_1/\sqrt{l}=\mu, \quad m_2/l=\lambda,$$

получим

$$m_D^2=\mu^2D+\lambda^2D^2, \quad (95)$$

где μ — коэффициент случайного влияния (для стальных лент он колеблется от 0,004 до 0,006); λ — коэффициент систематического влияния (λ в 20—30 раз меньше μ).

Относительная погрешность результатов измерения лентой не превышает 1 : 3000 при благоприятных условиях; 1 : 2000 при средних условиях и 1 : 1000 при неблагоприятных условиях.

При измерении отрезков линии в прямом и обратном направлениях вычисляют разность $\Delta D = D_1 - D_2$. Приняв в качестве предельной относительную погрешность 1 : 2000, получим

$$|\Delta D|/D \leq 1/2000. \quad (96)$$

Если условие (96) не выполняется, то линию необходимо перемерить. При выполнении этого условия за окончательный результат принимают среднее значение

$$D = (D_1 + D_2)/2.$$

§ 44. Дальномерные определения расстояний

Идея оптических дальномеров основана на решении параллактического треугольника (рис. 72, а), в котором по малому (параллактическому) углу β и противолежащему ему катету (базису) b определяют расстояние D по формуле

$$D = b \operatorname{ctg} \beta. \quad (97)$$

Одну из величин (b или β) принимают постоянной, другую измеряют. В зависимости от этого различают оптические дальмеры с постоянным базисом и переменным углом или с постоянным углом и переменным базисом.

Нитяной дальномер. Наиболее распространенным является нитяной дальномер с постоянным параллактическим углом. На рис. 72, б схематически показан ход лучей в зрительной трубе, проходящих через точки пересечения вертикальной нити сетки с тремя горизонтальными. Крайние горизонтальные нити — дальномерные, они служат для измерения расстояний. Пусть требуется определить расстояние d от точки N , над которой центрирован инструмент, до точки M (рис. 72, б), в которой установлена дальномерная рейка-брус с нанесенными равными между собой делениями.

На рис. 72, б имеем

$$d = d' + f + \delta, \quad (98)$$

где d' — расстояние от переднего фокуса объектива до рейки; f — фокусное расстояние объектива зрительной трубы; δ — расстояние от объектива до основной оси теодолита.

Лучи, идущие от дальномерных нитей a' и b' , пройдут через объектив и пересекут рейку в точках A и B . Обозначив расстояние между дальномерными нитями $a'b'$ через p , а количество делений на рейке между точками A и B через l , из подобия треугольников ABF и abF получим

$$d' = fl/p.$$

Отношение f/p называется коэффициентом дальномера и обозначается через K , а сумма $(f + \delta)$ — постоянная дальномера, обозначается через c . Тогда формула (98) с учетом введенных обозначений примет вид

$$d = Kl + c. \quad (99)$$

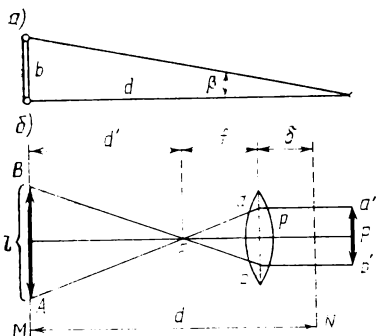


Рис. 72. К определению расстояния нитяным дальномером

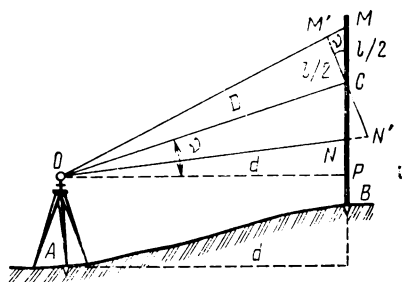


Рис. 73. Измерение расстояний нитяным дальномером

Дальномерные нити наносятся так, чтобы при сантиметровых делениях на рейке $K=100$. Для труб с внутренней фокусировкой величина c оказывает влияние лишь при измерении малых расстояний. Для расстояний более 50 м она может не учитываться.

Приведение к горизонту расстояний, измеренных дальномером.

При выводе формулы (99) предполагалось, что визирная ось горизонтальна, а дальномерная рейка установлена перпендикулярно ей. Однако на практике в большинстве случаев визирная ось имеет некоторый угол наклона и вследствие этого вертикально установленная рейка не будет перпендикулярна визирной оси.

Пусть в точке A установлен теодолит, а в точке B — рейка (рис. 73). Если бы рейка была перпендикулярна визирной оси OC , то, взяв по ней отсчет $l' = M'N'$ между дальномерными нитями, получили бы

$$OC = D = Kl' + c. \quad (100)$$

В действительности вместо отсчета l' берут отсчет по рейке $l = MN$.

Из прямоугольного треугольника MCM' получим

$$\frac{l'}{2} = \frac{l}{2} \cos \nu \text{ или } l' = l \cos \nu$$

и равенство (100) примет вид

$$D = Kl \cos \nu + c. \quad (101)$$

Из прямоугольного треугольника OSP имеем

$$d = D \cos \nu = Kl \cos^2 \nu + c \cos \nu \text{ или} \\ d = (Kl + c/\cos \nu) \cos^2 \nu. \quad (102)$$

Наибольшее значение c может быть равно 0,3 м, а $\cos \nu$ даже при $\nu = 25^\circ$ равен 0,9, поэтому можно допустить, что

$$c/\cos \nu \simeq c,$$

тогда равенство (102) будет

$$d = (Kl + c) \cos^2 \nu. \quad (103)$$

Если измеряемые расстояния больше 50 м, то можно положить $c = 0$ и формула (103) примет вид

$$d = Kl \cos^2 \nu. \quad (104)$$

Поправку $\Delta d = D - d$ определяют по формуле

$$\Delta d = Kl \sin^2 \nu. \quad (105)$$

Для вычисления d и Δd по формулам (104) и (105) составлены специальные таблицы. При углах ν до $2-3^\circ$ поправки Δd находятся в пределах точности измерений и не учитываются.

Точность измерения расстояний нитяным дальномером характеризуется относительной погрешностью в пределах $1/300-1/400$.

Определение коэффициента K и постоянной c дальномеров для зрительных труб с внутренней фокусировкой производят путем измерений дальномером отложенных на местности расстояний 50, 100 и 200 м. Для таких расстояний можно записать три уравнения

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= Kl_1 + c, \\ d_2 &= Kl_2 + c, \\ d_3 &= Kl_3 + c. \end{aligned} \right\} \quad (106)$$

Решение этой системы и даст искомые величины K и c .

Для определения расстояний дальномерами применяют специальные дальномерные рейки различной разграфки (рис. 74, $a-d$).

Дальномеры двойного изображения. Оптические дальномеры двойного изображения изготовляют как самостоятельные приборы или в виде насадок к зрительным трубам теодолитов.

В настоящее время выпускается несколько типов дальномеров двойного изображения. В качестве примера рассмотрим дифференциальный дальномер ДД-3. Этот прибор с постоянным параллактическим углом и переменным базисом состоит из насадки к зрительной трубе теодолита и дальномерной рейки. Его принципиальная схема (рис. 75, a) заключается в следующем. Перед объективом зрительной трубы теодолита помещают оптический клин (призму) таким образом, чтобы он закрывал только половину ее

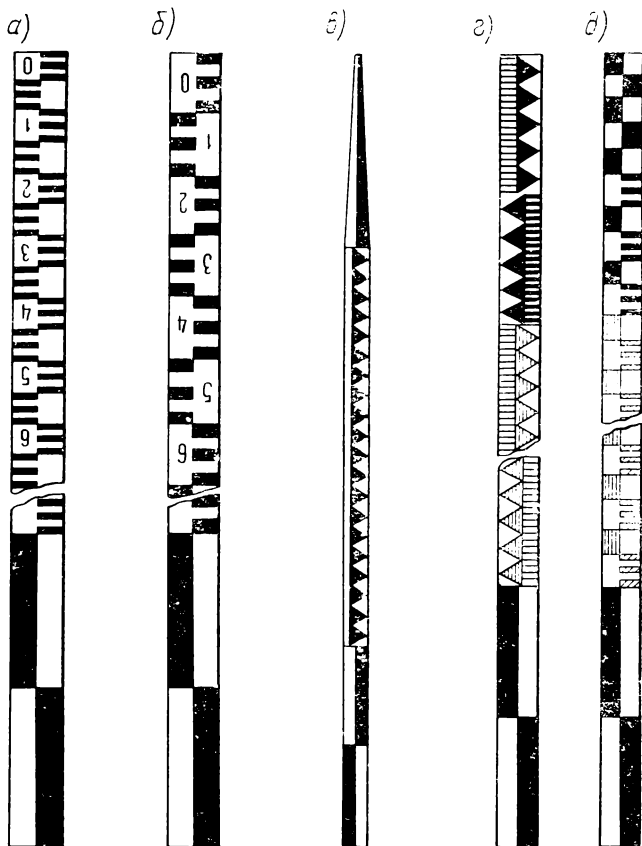


Рис. 74. Дальномерные рейки

объектива. Лучи света преломляются клином и отклоняются от своего направления на угол β . При наведении грани на продольную ось рейки в поле зрения трубы видны два изображения рейки, сдвинутые относительно друг друга на величину l .

Расстояние D от оси вращения теодолита до рейки определяют по смещению величины l , т. е.

$$D = D' + c = \frac{1}{2} l \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} + c. \quad (107)$$

Величина $\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} = K$ называется коэффициентом дальномера. При этом клин подбирается с таким преломляющим параллактическим углом β , чтобы $K=100$. Тогда формула (107) примет вид

$$D = Kl + c. \quad (108)$$

Для определения расстояния насадкой ДД-3 наводят зрительную трубу на рейку так, чтобы средняя нить сетки расположилась вблизи нулевого штриха верньера. Закрепив трубу, наводящим винтом наклоняют ее до тех пор, пока один из штрихов верньера (рис. 75, б) совместится с ближайшим к нему штрихом рейки. В этом случае отсчет будет состоять из: целого числа делений рейки до нуля верньера; десятых долей делений рейки, взятых по номеру совмещенного штриха верньера; сотых долей деления рейки, равных числу интервалов шкалы верньера от его нулевого штриха до

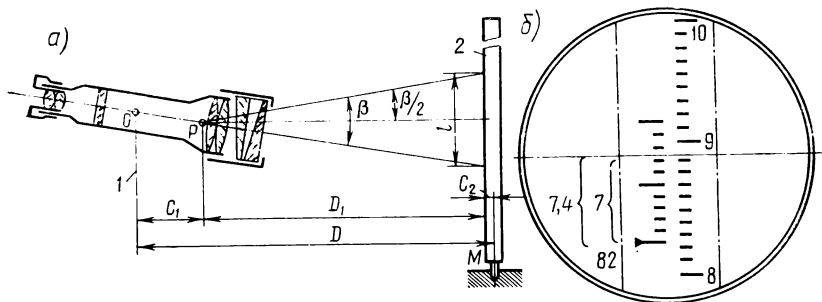


Рис. 75. К определению расстояний насадкой ДД-3:

1 — вертикальная ось инструмента; 2 — рейка

средней горизонтальной нити сетки; тысячных долей деления рейки, равных десятым долям интервала шкалы верньера.

Для реек с 2-сантиметровыми делениями отсчет нужно удвоить, а с 5-сантиметровыми делениями цену деления рейки условно принимают равной 10 м и отсчет делят на два.

Одновременно с измерением расстояний по вертикальному кругу теодолита отсчитывают угол наклона v в визирной оси; при этом среднюю горизонтальную нить сетки наводят на тот штрих верньера, который совмещался со штрихом рейки при измерении расстояния. Горизонтальное проложение d и поправку Δd в измеренную длину D определяют по формулам

$$d = D \cos^2(v + 17' 11'', 3), \quad (109)$$

$$\Delta d = D \sin^2(v + 17' 11'', 3). \quad (110)$$

Для облегчения вычислений величин d и Δd пользуются специальными таблицами.

В соответствии с ГОСТ 22549—77 в настоящее время предусматривается выпуск дальномеров ДН-8, ДНР-5 и Д-2.

ДН-8 является дальномером с переменным параллактическим углом и постоянным базисом. Прибор изготавливается в виде насадки на теодолит и горизонтально устанавливаемой рейки. Он предназначен для измерения расстояний от 50 до 70 м со средней квадратической погрешностью не более 8 см на 100 м расстояния.

ДНР-5 является дальномером с постоянным параллактическим углом и переменным базисом и изготавливается в виде насадки на теодолит и вертикально устанавливаемой рейки. Диапазон измерения расстояний от 20 до 120 м при средней квадратической погрешности измерений не более 5 см на 100 м расстояний. Особенностью ДНР-5 является наличие редуцирующего устройства, позволяющего автоматически получать горизонтальные проложения длин линий.

Д-2 является дальномером с постоянным базисом и переменным параллактическим углом. Он предназначен для измерения расстояний от 40 до 400 м со средней квадратической погрешностью не более 2 см на 100 м расстояния.

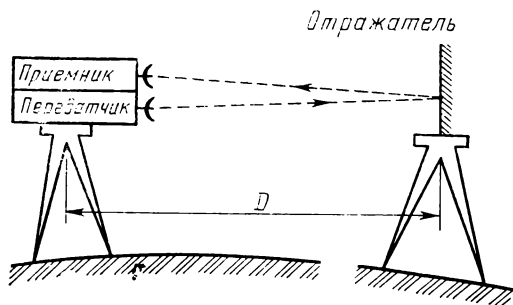


Рис. 76. К измерениям расстояний светодальномером

Радиофизические дальномеры — приборы для измерения длины по времени распространения электромагнитных колебаний между конечными точками линии. При этом скорость электромагнитных колебаний во время измерений предполагается постоянной и известной. В зависимости от вида используемых электро-

магнитных колебаний радиофизические дальномеры делятся на светодальномеры и радиодальномеры. В зависимости от характера излучения свето- и радиодальномеры делятся на импульсные и фазовые.

Во всех радиофизических дальномерах принята одна и та же принципиальная блок-схема, а именно: дальномер состоит из двух основных частей — приемопередатчика, устанавливаемого на начальной точке, и отражателя, устанавливаемого на конечной точке линии (рис. 76).

Назначением приемопередатчика является посылка электромагнитной энергии в направлении отражателя, прием отраженных электромагнитных волн и измерение времени их распространения на пути приемопередатчик — отражатель — приемопередатчик, т. е. на двойном измеряемом расстоянии.

Отражатель отражает посланные на него электромагнитные волны в обратном направлении. Такая принципиальная схема дальномера позволяет вычислить искомое расстояние по формуле

$$D = vt/2, \quad (111)$$

где v — скорость распространения электромагнитных волн в воздухе во время измерений; t — время, необходимое электромагнитным волнам на прохождение расстояния $2D$.

Вследствие относительной сложности и высокой стоимости радиофизических дальномеров применение их в строительном производстве целесообразно для высокоточных измерений, выполнение которых обычными традиционными методами и средствами затруднительно.

Импульсный дальномер. Импульсные дальномеры дают невысокую с точки зрения инженерной геодезии точность, но обладают большой оперативностью, что делает их незаменимыми при измерениях расстояний в движении.

Передачик такого дальномера представляет собой источник электромагнитных колебаний (генератор) с устройством для формирования импульсов и антенной для коллимирования и посылки энергии в заданном направлении. Отражатель выполняется в виде пассивного (зеркально-линзовый, уголкового-трипельпризменный и др.) для светодальномеров и активного (ретранслятор-усилитель) для радиодальномеров. Приемник представляет собой чувствительный элемент с антенной для улавливания электромагнитных колебаний и преобразования их к виду, удобному для измерений.

В радиодальномере в качестве антенн используются диполи с параболическими рефлекторами для коллимирования луча. В светодальномере функции антенн выполняют линзы и зеркала.

Фазовый дальномер. Передачик непрерывно излучает незатухающие электромагнитные колебания, направляемые на отражатель. Часть энергии из передатчика сразу же поступает в приемник (опорное колебание) и на фазометр. Остальная энергия, дойдя до отражателя и возвратившись обратно, поступает в приемник и на фазометр. Таким образом, на фазометр непрерывно поступают электромагнитные колебания, разность фаз которых при неизменном расстоянии и постоянной частоте колебаний остается постоянной (когерентные колебания).

На инженерно-геодезических работах в строительном производстве находят применение главным образом фазовые светодальномеры.

§ 45. Понятие о параллактическом способе линейных измерений и определении неприступных расстояний

Пусть требуется определить расстояние $D=AB$ (рис. 77). Для этого при точке A откладывают базис b перпендикулярно направлению AB и тщательно измеряют параллактический угол β при точке B . Тогда искомое расстояние можно определить по формуле

$$D = \frac{1}{2} b \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}. \quad (112)$$

Если угол β не меньше 12° и измерен с точностью $\pm 20''$, а базис измерен с относительной погрешностью около $1:4000$, то искомое расстояние D получают с погрешностью не более $1:2000$.

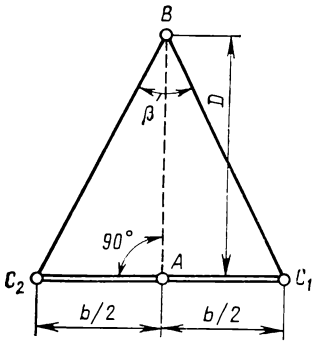


Рис. 77. Параллактический способ определения расстояний

Довольно часто в силу местных условий (река, овраг и т. д.) измерить линию мерной лентой не представляется возможным. Тогда используют косвенный метод.

Пусть требуется определить расстояние $D=AB$ (рис. 78) через некоторое препятствие.

Для этого на местности измеряют базисы $b_1=AD$ и $b_2=AC$ и углы $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$.

Решая треугольники ABD и ABC по теореме синусов, определяют расстояние

$$D = b_1 \sin \beta_1 \operatorname{cosec} \varphi_1 = b_2 \sin \beta_2 \operatorname{cosec} \varphi_2, \quad (113)$$

где $\varphi_1 = 180^\circ - (\alpha_1 + \beta_1)$, а $\varphi_2 = 180^\circ - (\alpha_2 + \beta_2)$.

Разность между двумя значениями стороны AB не должна превышать $1/1000$ ее длины.

Пример. Для определения длины линии AB через реку на местности отложены базисы $b_1=b_2=100,00$ м (см. рис. 78, а). Измеренные горизонтальные углы оказались равными $\alpha_1=60^\circ 20'$, $\beta_1=80^\circ 30'$, $\alpha_2=54^\circ 55'$ и $\beta_2=85^\circ 40'$.

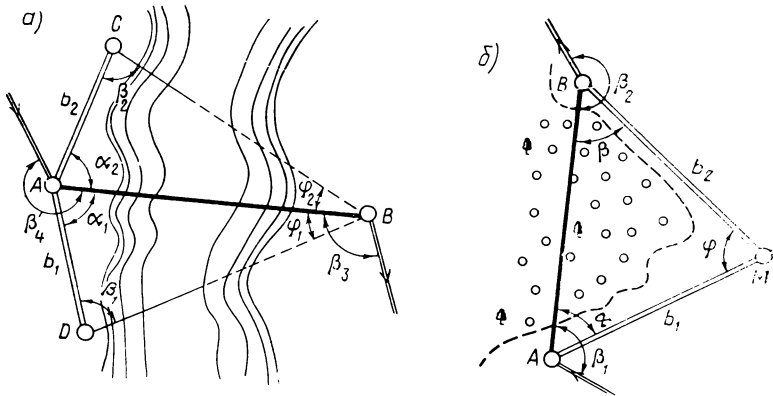


Рис. 78. Определение недоступных расстояний:

а — через реку; б — через лес

Горизонтальные углы при точке B будут $\varphi_1 = 180^\circ - (60^\circ 20' + 80^\circ 30') = 39^\circ 10'$ и $\varphi_2 = 180^\circ - (54^\circ 55' + 85^\circ 40') = 39^\circ 25'$.

По формуле (113) получаем

$$D_1 = 100,00 \cdot 0,9863 \cdot 1,2898 = 127,21 \text{ м};$$

$$D_2 = 100,00 \cdot 0,9971 \cdot 1,2763 = 127,26 \text{ м}.$$

Вероятнейшим значением определяемого недоступного расстояния будет среднее из D_1 и D_2 , т. е.

$$D_{\text{ср}} = (D_1 + D_2) / 2 = 127,235 \text{ м}.$$

Относительная погрешность определения неприступного расстояния AB составит

$$\frac{D_1 - D_2}{D_{\text{ср}}} = \frac{127,26 - 127,21}{127,235} \approx \frac{1}{2500}.$$

Вопросы для самопроверки

1. Как закрепляются отрезки линий на местности?
2. Что называется вешением линии на местности?
3. Что называется створом?
4. Какие приборы применяются для непосредственного измерения расстояний?
5. Что такое компарирование мерных приборов?
6. Как измеряются отрезки линий стальной 20-метровой лентой?
7. Как приводятся наклонные отрезки линий к горизонту?
8. Как определяется поправка за температуру в измеренные отрезки линий?
9. Как измеряются расстояния нитяным дальномером?
10. Как определяются постоянная и коэффициент нитяного дальномера?
11. Принцип устройства дальномера двойного изображения.
12. Порядок измерения длин линий дальномером двойного изображения.
13. Сущность параллактического способа измерения расстояний.
14. Определить поправку за компарирование мерной ленты, если длина компаратора при температуре $t_k = 20^\circ \text{C}$, $L = 120,00 \text{ м}$, а при измерении его компарируемой лентой при той же температуре получены следующие результаты: $l_1 = 119,821 \text{ м}$; $l_2 = 119,819 \text{ м}$; $l_3 = 119,817 \text{ м}$.
15. Определить поправку за температуру в измеренную длину отрезка линии, если $D = 182,35 \text{ м}$, $t_k = 20^\circ \text{C}$ и температура, при которой производились измерения, $t = -2^\circ \text{C}$.
16. Определить поправку за наклон отрезка линии к горизонту, если $D = 210,011 \text{ м}$ и угол наклона $\nu = 5^\circ 15'$.
17. Определить относительную погрешность линейных измерений, если результаты прямого и обратного измерения равны $D_1 = 1725,14 \text{ м}$ и $D_2 = 1725,05 \text{ м}$.
18. Определить неприступное расстояние параллактическим способом, если базис $b = 80,00 \text{ м}$, а параллактический угол $\beta = 25^\circ 30'$.

ГЛАВА VII. ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ

§ 46. Сущность и методы измерения превышений

Измерения, проводимые для определения отметок точек местности или их разностей, называют нивелированием.

Существует несколько методов нивелирования: геометрическое, тригонометрическое, физическое, механическое, стереофотограмметрическое.

Геометрическое нивелирование заключается в непосредственном определении разности высот двух точек с помощью горизонтального визирного луча.

Тригонометрическое нивелирование заключается в определении превышений между точками по измеренному между ними расстоянию и углу наклона. Вычисление превышений ведут по формулам тригонометрии.

Физическое нивелирование делится на три вида: а) барометрическое, в основу которого положена зависимость между величиной атмосферного давления на точке местности и ее высотой; б) гидростатическое, основанное на свойстве свободной поверхности жидкости в сообщающихся сосудах всегда находиться на одинаковом уровне независимо от превышения точек, на которых установлены эти сосуды; в) радиолокационное, основанное на использовании отражения электромагнитных волн.

Механическое нивелирование производят с помощью специальных приборов, устанавливаемых на велосипедных рамах, автомобилях и т. д. При движении такого прибора автоматически регистрируются пройденные им расстояния, высоты точек и вычерчивается профиль пройденного пути.

Стереофотограмметрическое нивелирование основано на определении превышений по паре фотоснимков одной и той же местности.

§ 47. Способы геометрического нивелирования

Геометрическое нивелирование производят специальными приборами — нивелирами. Различают два способа геометрического нивелирования: из середины и вперед.

Для определения превышения точки B над точкой A (рис. 79, а) геометрическим нивелированием из середины устанавливают в них вертикально рейки R_1 и R_2 , а между ними по возможности на одинаковом расстоянии от реек — нивелир. Последовательно визируя на рейки средней горизонтальной нитью зрительной трубы, берут отсчеты: по задней рейке a и по передней b . Тогда непосредственно из рисунка следует, что

$$h = a - b, \quad (114)$$

т. е. *превышение равно отсчету по задней рейке минус отсчет по передней рейке.*

Превышение будет положительным при $a > b$ и отрицательным при $a < b$ и соответственно передняя точка выше или ниже задней.

Если отметка точки A известна, то отметка точки B (рис. 79, а)

$$H_B = H_A + h, \quad (115)$$

т. е. *отметка последующей точки равна отметке предыдущей точки плюс превышение между ними.*

С другой стороны, подставив в формулу (115) вместо h его значение из (114), найдем

$$H_B = H_A + a - b. \quad (116)$$

Введем обозначение

$$H_i = H_A + a. \quad (117)$$

Величина H_i называется горизонтом инструмента и, как это видно из рис. 79, а, является высотой визирного луча над исход-

ной уровенной поверхностью. Следовательно, *горизонт инструмента на данной станции равен отметке точки плюс отсчет по рейке, установленной в этой точке.*

Выразив из формулы (117) значение H_A и подставив в (116), получим

$$H_B = H_i - b, \quad (118)$$

т. е. *отметка точки равна горизонту инструмента минус отсчет по установленной в ней рейке.*

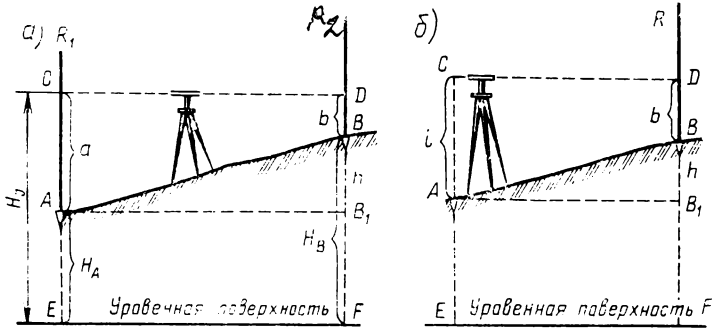


Рис. 79. Способы нивелирования

При геометрическом нивелировании вперед (рис. 79, б) нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы находился над задней точкой A , а в передней точке B устанавливают рейку R . Затем делают отсчет b по рейке и измеряют рулеткой или с помощью рейки расстояние i по отвесному направлению от центра окуляра до точки A , называемое высотой инструмента. Из рис. 79, б следует, что

$$h = i - b, \quad (119)$$

а горизонт инструмента

$$H_i = H_A + i. \quad (120)$$

Чаще всего приходится определять превышение между точками A и D (рис. 80), находящимися на значительном расстоянии одна от другой. Тогда производят последовательное нивелирование на первой, второй и т. д. станциях.

После того как взяты отсчеты a_1 и b_1 по рейкам на первой станции, заднюю рейку R_1 из точки A переносят в точку B_2 , а нивелир устанавливают на второй станции между точками B_1 и B_2 ; берут отсчеты a_2 и b_2 по рейкам. Затем заднюю рейку R_2 устанавливают в точке B_3 , а нивелир — на третьей станции и т. д. до тех пор, пока нивелир не окажется на станции между точками B_k и D . Точки, общие для двух соседних станций, называются связующими, например B_1, B_2, B_3, B_4 . Точки, расположенные между связующими, называются промежуточными, например C_1 и C_k . Такие точки служат для получения отметок характерных изломов местности.

Из рис. 80 следует, что

$$h_1 = a_1 - b_1, \quad (121)$$

$$h_2 = a_2 - b_2,$$

.....

$$h_n = a_n - b_n,$$

алгебраическая сумма всех превышений равна превышению между конечными точками хода, т. е.

$$h = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i. \quad (122)$$

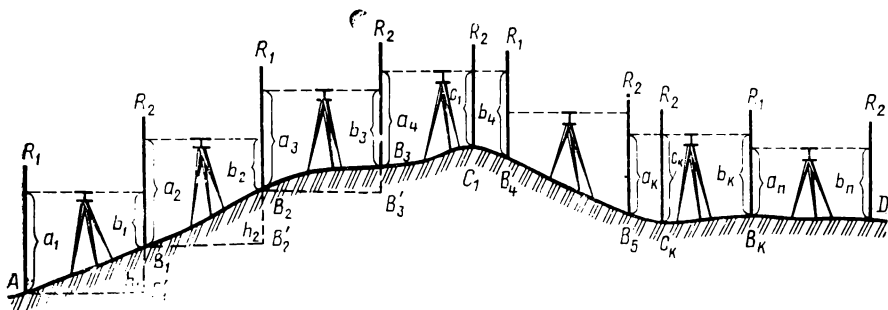


Рис. 80. Последовательное нивелирование

Отметки связующих точек вычисляют последовательно по формуле (115). Если требуется отметка только конечной точки хода, то ее определяют по формуле

$$H_{\text{кон}} = H_{\text{нач}} + \sum_{i=1}^n h_i. \quad (123)$$

Отметки промежуточных точек вычисляют через горизонт инструмента.

§ 48. Нивелиры и их устройство

ГОСТ 10528—76 предусматривает выпуск следующих нивелиров: высокоточные — Н1, Н2 и НС2; точные — Н3, НС3 и НС4; технические — НТ и НЛС.

В зависимости от конструкции нивелиры делят на глухие с уровнем при зрительной трубе (Н); с самоустанавливающейся линией визирования (НС); с наклонным лучом визирования (НЛС).

Нивелир Н3 (рис. 81) имеет увеличение зрительной трубы $30\times$, поле зрения $1^\circ 20'$, цену деления цилиндрического контактного уровня $15''$ на 2 мм. Он применяется для нивелирования IV класса и технического нивелирования.

Для работы нивелир НЗ устанавливают на штативе и закрепляют станковым винтом. Круглый уровень 12 с ценой деления 5' на 2 мм служит для приведения оси вращения инструмента в отвесное положение с помощью подъемных винтов 13, упирающихся в пластинку 1. Их винтовая нарезка входит в гнезда подставки 2. Для приближенного наведения на рейку служит мушка 8. Точное наведение трубы осуществляют через окуляр 4 наводящим винтом 11 при закрепленном винте 10. Четкое изображение рейки в поле зр-

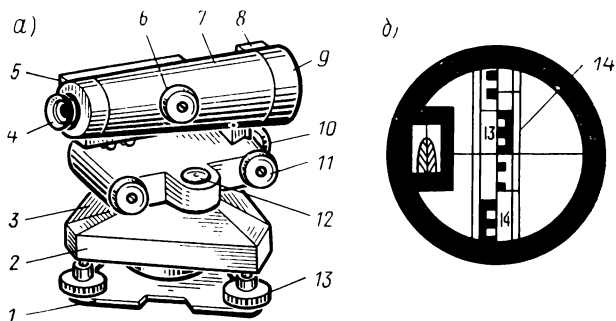


Рис. 81. Нивелир НЗ:

а — общий вид; б — поле зрения трубы

ния трубы достигается вращением кремальеры 6. Наименьшее расстояние визирования составляет 2 м, что облегчает работу в стесненных условиях строительных площадок.

Приведение визирной оси в горизонтальное положение производят с помощью элевационного винта 3 и цилиндрического уровня 7, заключенного в коробку 5. Над уровнем расположено призматическое устройство, передающее изображение пузырька в поле зрения трубы (рис. 81, б). Таким образом наблюдателю одновременно видны контактный уровень и нивелирная рейка 14, по которой делается отсчет. При этом изображение половинок концов пузырька уровня будут образовывать в верхней части один овал (совмещены) только в том случае, когда пузырек уровня находится в нульпункте (в середине).

Нивелир НВ-1 (рис. 82) соответствует нивелиру НЗ и отличается от него лишь небольшими особенностями. Цена деления цилиндрического уровня НВ-1 около 20", что несколько больше, чем у НЗ. Больше у НВ-1 и наименьшее расстояние визирования.

Нивелир применяется для технического нивелирования и нивелирования IV класса.

Нивелир НС4 (рис. 83). Инструмент снабжен призматическим компенсатором опико-механического типа, обеспечивающим автоматическую установку линии визирования в горизонтальное положение при углах наклона оси нивелира в пределах $\pm 15'$. Этот предел достигается предварительной установкой нивелира по кругло-

му уровню (расположенному под отражателем 5) вращением подъемных винтов 2. Зрительная труба нивелира ломаная. Нивелир не имеет закрепительного винта трубы. Ее предварительное наведение на рейку осуществляется от руки преодолением фрикционного сцепления. Точное наведение трубы достигается вращением бесконечного наводящего винта 4.

Нивелир НСМ2А (рис. 84) с самоустанавливающейся линией визирования; он служит для нивелирования III и IV классов и тех-

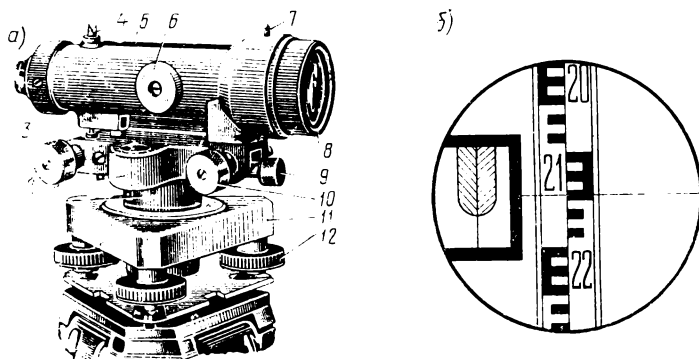


Рис. 82. Нивелир НВ-1:

a — общий вид; *б* — поле зрения трубы; 1 — бакса вертикальной оси; 2 — круглый уровень; 3 — элевационный винт; 4 — целик; 5 — корпус цилиндрического уровня; 6 — кремальера; 7 — мушка; 8 — объектив; 9 — закрепительный винт; 10 — наводящий винт; 11 — трегер; 12 — подъемный винт

нического. Оптический компенсатор * этого нивелира позволяет работать при наклоне оси вращения инструмента в пределах $\pm 10'$. Подставка 3 зрительной трубы не имеет закрепительного винта. Окончательное наведение трубы на рейку делается наводящим винтом 11. Ось вращения инструмента приводят в отвесное положение с помощью подъемных винтов 2 по двум взаимно перпендикулярным цилиндрическим уровням, укрепленным на подставке (на рис. 80 они не видны).

Нивелир НЛЗ (рис. 85, *a*) позволяет нивелировать как горизонтальным, так и наклонным лучом визирования в пределах $\pm 3^{\circ}30'$. Он имеет увеличение трубы $31\times$, поле зрения $1^{\circ}30'$, цену деления цилиндрического уровня $30\text{--}40''$ на 2 мм. Нивелир снабжен оптическим высотомером.

В поле зрения трубы нивелира НЛЗ (рис. 85, *б*) передаются изображения посеребренной пластинки 1, высотного штриха 2 и трех горизонтальных нитей — средней 5 и двух дальномерных 4, 6. Высотный штрих с изменением наклона зрительной трубы меняет свое положение относительно средней нити. Перед каждым отсчетом

* Компенсатор — телескопическая система, состоящая из положительной линзы, закрепленной в оправе объектива трубы, и отрицательной, подвешенной на стальных проволоках и уравновешиваемой грузиками.

по рейке пузырек цилиндрического уровня совмещают с нульпунктом микрометричным винтом.

При нивелировании горизонтальным лучом пузырек цилиндрического уровня нивелира НЛЗ совмещают с нульпунктом, а затем наводящим винтом трубы совмещают среднюю нить сетки 5 с высотным штрихом 2 и делают отсчет по рейке 3. При этом превышения определяют по формуле (114) или (118).

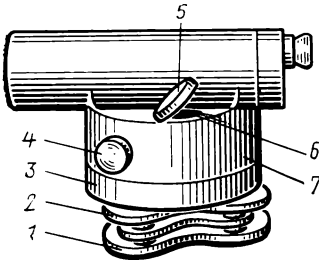


Рис. 83. Нивелир НЦ4:

1 — пружинящая пластинка; 2 — подъемный винт; 3 — подставка нивелира; 4 — наводящий винт; 5 — отражатель; 6 — исправительные винты уровня; 7 — основание круглого уровня

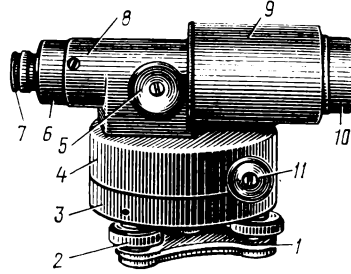


Рис. 84. Нивелир НСМ2А:

1 — пружинящая пластинка; 2 — подъемный винт; 3 — подставка; 4 — основание зрительной трубы; 5 — винт фокусирующей линзы; 6 — навинчивающаяся крышка; 7 — окуляр; 8 — зрительная труба; 9 — защитный цилиндр объективной части трубы; 10 — объектив; 11 — наводящий винт

При нивелировании наклонным лучом превышения вычисляют по формулам:

при нивелировании из середины

$$h = k(a - b) - (k - 1)(n_a - n_b); \quad (124)$$

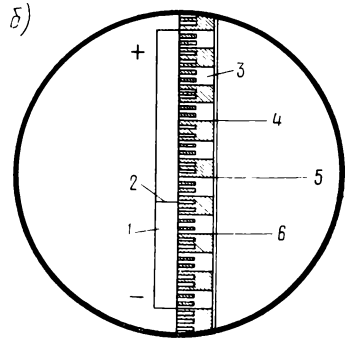
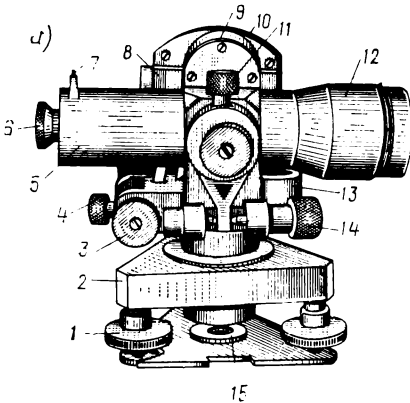


Рис. 85. Нивелир НЛЗ:

a — общий вид: 1 — подъемный винт; 2 — трегер; 3 — наводящий винт верхней части инструмента; 4 — закрепительный винт; 5 — корпус трубы; 6 — окуляр; 7 — целик; 8 — оправа уровня; 9 — матовое защитное стекло; 10 — кожух; 11 — закрепительный винт трубы; 12 — объективная часть; 13 — круглый уровень; 14 — наводящий винт трубы; 15 — пластинка; б — поле зрения зрительной трубы; 1 — посеребренная пластинка; 2 — высотный штрих; 3 — рейка; 4-6 — штрихи сетки нитей

при нивелировании вперед

$$h = k(n_b - b) + i - n_a, \quad (125)$$

где $k=5$ — коэффициент высотомера; a и b — отсчеты по высотному штриху при визировании на заднюю и переднюю рейки; n_a и n_b — отсчеты по рейкам, взятые по средней нити на задней и передней точках; i — высота инструмента.

Если при нивелировании из середины среднюю нить сетки наводить на один и тот же отсчет по рейке, т. е. при $n_a = n_b$, то формула (124) примет вид

$$h = k(a - b), \quad (126)$$

а при наведении средней нити на высоту инструмента при нивелировании вперед

$$h = k(n_b - b). \quad (127)$$

§ 49. Поверки и юстировка нивелиров

Поверки нивелира с элевационным винтом. Нивелир такого типа должен удовлетворять следующим геометрическим условиям.

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения инструмента.* Для проверки этого условия подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в центр ампулы и поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° . Если после этого пузырек останется в центре ампулы, то условие выполнено. В противном случае исправительными винтами круглого уровня перемещают пузырек к центру на половину дуги отклонения и окончательно совмещают пузырек уровня с центром ампулы с помощью подъемных винтов. Поверку повторяют до полного выполнения требуемого условия.

2. *Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси нивелира.* В защищенном от ветра месте подвешивают отвес. В 20—25 м от отвеса устанавливают нивелир, приводят его по круглому уровню в рабочее положение и совмещают один из концов вертикальной нити со шнуром отвеса. Если другой конец нити отклоняется от шнура не более 0,5 мм, то условие выполнено.

Если условие нарушено, то, ослабив крепежные винты, пластинку с сеткой нитей поворачивают до совмещения вертикальной нити со шнуром отвеса.

3. *Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня.* Это условие часто называют главным условием нивелира. Проверяют его двойным нивелированием одного и того же отрезка линии. С этой целью закрепляют колышками линию АВ (рис. 86) длиной 50—75 м. Нивелир устанавливают на станции (рис. 86, а) так, чтобы окуляр находился над точкой А, и

измеряют высоту инструмента i_1 , а по рейке, установленной в точке B , берут отсчет b_1 . Затем нивелир и рейку меняют местами (рис. 86, б), измеряют высоту инструмента i_2 и берут отсчет по рейке b_2 . При этом, если визирная ось не будет параллельна оси цилиндрического уровня, то отсчеты по рейке b_1 и b_2 будут ошибочны на величину x .

Из рис. 86 получим

$$h = i_1 - (b_1 + x) \text{ и } h = (b_2 + x) - i_2.$$

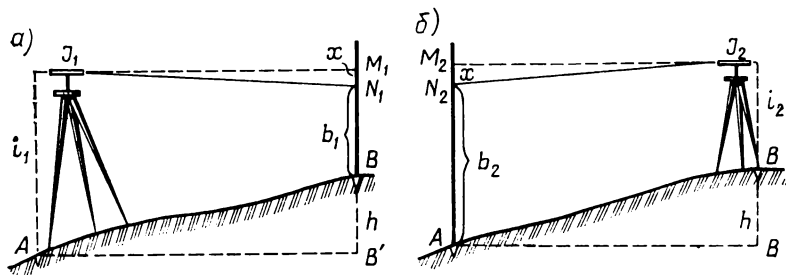


Рис. 86. К проверке нивелира

Так как в обоих случаях нивелировали одни и те же точки, то левые части формул равны между собой. Следовательно,

$$i_1 - (b_1 + x) = (b_2 + x) - i_2,$$

откуда ошибка в отсчете по рейке составит

$$x = (i_1 + i_2)/2 - (b_1 + b_2)/2. \quad (128)$$

Если полученное значение $|x| \leq 4$ мм, то главное условие практически считается выполненным. В противном случае вычисляют правильный отсчет по рейке $(b_2 + x)$ и с помощью элевационного винта наводят на него среднюю нить сетки, а затем исправительными винтами цилиндрического уровня совмещают изображение концов пузырька в поле зрения трубы. После юстировки проверку повторяют.

Проверки нивелира с самоустанавливающейся линией визирования.

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира.* Эту проверку выполняют обычным путем (см. п. 1, § 49).

2. *Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси нивелира.* Проверку данного условия выполняют так же, как у нивелиров с цилиндрическим уровнем.

3. *Линия визирования должна быть горизонтальна (главное условие).* Линию AB длиной 50—70 м закрепляют кольшками и устанавливают на них рейки. Точно посередине между рейками устанавливают нивелир, приводят его ось в отвесное положение и

производят отсчеты a_1 по задней, b_1 по передней рейкам и вычисляют превышение

$$h = a_1 - b_1.$$

Далее нивелир устанавливают за передней рейкой на наименьшем расстоянии визирования и производят отсчеты a_2 по дальней, b_2 по ближней рейкам и вычисляют отсчет a_2' , соответствующий горизонтальному положению визирного луча:

$$a_2' = h + b_2 = a_1 - b_1 + b_2. \quad (129)$$

Разность

$$\delta_1 = a_2 - a_2' \quad (130)$$

по абсолютной величине не должна превышать 4 мм.

Если условие нарушено, то сетку нитей с помощью исправительных винтов перемещают до совмещения с отсчетом a_2' .

Проверки нивелира с наклонным лучом визирования.

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения инструмента.* Проверку производят так же, как у нивелира НВ-1.

2. *При горизонтальном положении визирной оси высотный штрих должен совпадать со средней горизонтальной нитью.* Проверку выполняют так же, как третью проверку у нивелира НЗ (см. рис. 86), только длина линии АВ должна быть равна 100—150 м. При этом перед отсчетами по рейке приводят пузырек цилиндрического уровня на середину ампулы и совмещают горизонтальную нить сетки с высотным штрихом. Величину x определяют по формуле (128). Если она превышает 2—4 мм, то на рейке устанавливают отсчет $(b_2 + x)$ и вертикальными исправительными винтами приводят пузырек цилиндрического уровня на середину ампулы, после чего проверку повторяют.

3. *Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси вращения инструмента.* Выполнение этого условия проверяют так же, как и у нивелира НЗ.

4. *Коэффициент высотомера должен быть равен пяти ($k=5$).* На местности выбирают две точки, расстояние между которыми 100—150 м, а превышение несколько более 1 м, и забивают колышки. Установив нивелир в середине линии, горизонтальным лучом определяют превышение между ними 10—20 раз. Затем, наводя 10—20 раз среднюю нить сетки на равные отсчеты по задней и передней рейкам ($n_a = n_b$), каждый раз берут отсчеты a и b по высотному штриху. Разделив среднее превышение h на среднюю разность отсчетов $(a - b)$ по высотному штриху, получают коэффициент высотомера.

§ 50. Нивелирные рейки и башмаки. Марки и реперы

Нивелирная рейка (рис. 87) представляет деревянный брусок шириной 8—10 см и толщиной 2—3 см. Длина реек 3—4 м. Чтобы рейка не коробилась, ее делают двутаврового сечения. Рейки бывают цельные (рис. 87, а) и раскладные (рис. 87, б, вид сбоку).

Раскладная рейка состоит из двух частей, скрепленных между собой шарниром. Нижняя часть рейки заключена в металлическую оковку 1 и называется пяткой: с пяткой рейки обычно совпадает начало счета делений. Рейка имеет ручки 3, а для установки ее в отвесное положение — круглый уровень 2. Рейки называются односторонними, если деления нанесены на одной стороне, и двусторонними при наличии делений на двух сторонах. Рейки бывают со штриховыми делениями и шашечными. При нивелировании III, IV классов и техническом применяют рейки с шашечными делениями.

Двусторонние рейки имеют на одной стороне чередующиеся (рис. 87, а) черные и белые шашки (черная сторона), а на другой стороне — красные и белые (красная сторона). Бывают рейки, у которых обе шкалы размещены на одной стороне. Цена наименьшего деления шкалы (шашки) рейки — 1 или 2 см. Дециметровые деления рейки оцифрованы. На рейках с сантиметровыми делениями первые пять шашек каждого дециметра объединены наподобие буквы Е, что значительно облегчает отсчет. На черной стороне рейки нуль делений обычно совпадает с пяткой рейки. На красной стороне рейки с пяткой совпадает отсчет, больший 4000 мм. Таким образом, отсчеты по двум сторонам одной и той же рейки не могут быть одинаковыми, а их разность — постоянной величиной. Это позволяет контролировать отсчеты по рейкам. Часто встречаются комплекты реек, у которых с пятками красных сторон совпадает отсчет 4687 и 4787 мм. При правильном чередовании реек, устанавливаемых на связующих точках, превышения, измеренные по красным сторонам реек, будут поочередно больше и меньше на 100 мм измеренных по черным сторонам реек.

Перед началом работы рейки должны быть прокомпарированы. Для этого проверяют правильность метровых и дециметровых делений рейки контрольным метром. На одном скошенном крае такого метра нанесены деления через 0,2 мм, на другом — через 1 мм, а на верхнем ребре укреплены две подвижные лупы, с помощью которых производят отсчеты. Случайные погрешности дециметровых делений для реек, применяемых для нивелирования IV класса, не должны превышать 1 мм. При техническом нивелировании рейку можно прокомпарировать выверенной стальной рулеткой с миллиметровыми делениями.

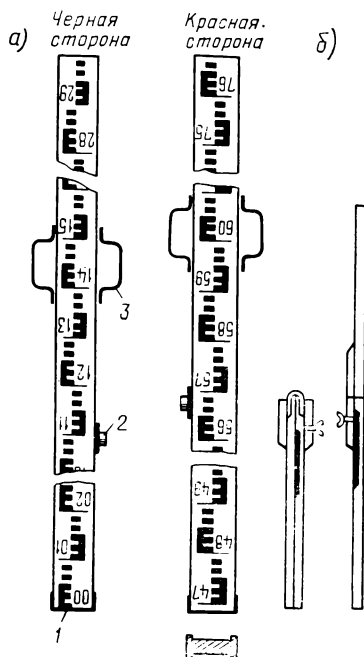
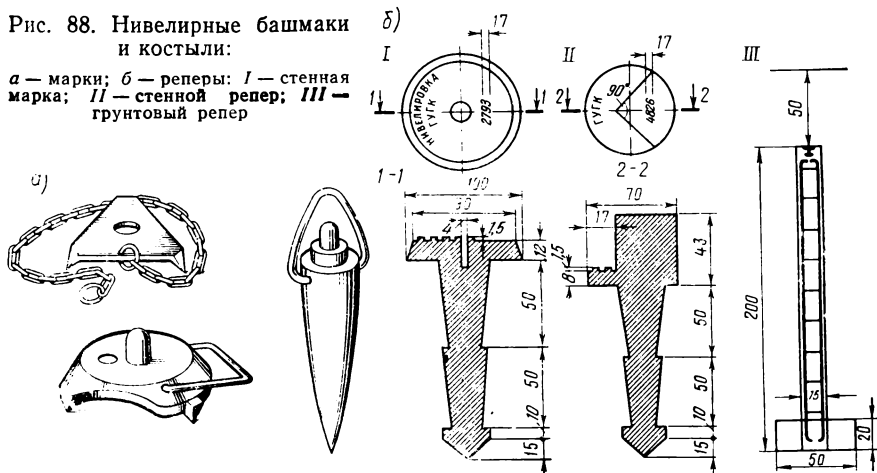


Рис. 87. Нивелирные рейки

Если рейка снабжена круглым уровнем, то его ось должна быть параллельна продольной оси рейки. Выполнение этого условия можно проверить с помощью отвеса. При техническом нивелировании пользуются рейками без уровней.

Рис. 88. Нивелирные башмаки и костыли:

a — марки; *б* — реперы: *I* — стенная марка; *II* — стенной репер; *III* — грунтовый репер



При нивелировании рейки ставят на вбитые в землю колышки. Если на местности не требуется закреплять точки установки реек, то применяют переносные башмаки или костыли (рис. 88, *a*).

Нивелирные ходы закрепляют на местности постоянными или временными знаками. К постоянным знакам относятся: стенные марки (рис. 88, *б*), стенные и грунтовые реперы. Стенные марки и реперы закладывают в здания, сооружения, скалы; грунтовые устанавливают в земле. При предварительных изысканиях часто пользуются временными реперами (деревянные столбы, пни и др.).

§ 51. Основные источники погрешностей геометрического нивелирования

При геометрическом нивелировании имеют место следующие основные источники погрешностей.

1. Погрешность, возникающая от установки визирной оси в горизонтальное положение, обусловленная неточностью совмещения пузырька уровня с центром ампулы и недостаточной чувствительностью его.

Средняя квадратическая погрешность в отсчете по рейке m_x , возникающая вследствие неправильной установки визирной оси, пропорциональна расстоянию D от нивелира до рейки и погрешности m_y совмещения пузырька уровня с центром ампулы, т. е.

$$m_x = m_y D / \rho. \quad (131)$$

Погрешность совмещения пузырька уровня с центром ампулы определяется по формуле

$$m_y = 0,1 \tau,$$

где τ — цена деления уровня.

При $D = 150$ м и $\tau = 30''$ погрешность $m_\tau = \pm 2,2$ мм.

2. Погрешность в делениях рейки $m_{\text{дел}}$. Допускается случайная погрешность в положении дециметровых штрихов рейки $|\Delta_{\text{дел}}| \leq \leq 1$ мм; если рейки не удовлетворяют этим условиям, то ими не пользуются.

3. Погрешность округления при отсчете по рейке. Эта погрешность складывается из совместного влияния глазомерной оценки десятых долей деления рейки и внешних (метеорологических) условий. Установлено, что при расстоянии от нивелира до рейки $D \simeq 150$ м и цены деления $t = 1$ см погрешность округления при отсчете $m_o = \pm 2$ мм.

4. Погрешность, возникающая из-за недостаточной разрешающей способности зрительной трубы нивелира, определяется по формуле

$$m_{\text{тр}} = \frac{60''}{\rho\nu} D. \quad (132)$$

При $D = 150$ м и $\nu = 20^\times$ $m_{\text{тр}} = \pm 2,2$ мм.

Существенное влияние оказывают также погрешности из-за невыполнения главного условия нивелира и отклонения рейки от отвесного положения в момент отсчета по ним.

§ 52. Точность передачи отметок техническим нивелированием

Среднюю квадратическую погрешность отсчета по рейке, обусловленную влиянием основных источников погрешностей (см. § 51), назовем погрешностью взгляда на рейку $m_{\text{взгл}}$. Тогда с учетом сказанного в предыдущем параграфе и согласно формуле (45) можно написать

$$m_{\text{взгл}}^2 = m_\tau^2 + m_{\text{дел}}^2 + m_o^2 + m_{\text{тр}}^2; \quad (133)$$

при $m_\tau = \pm 2,2$ мм, $m_{\text{дел}} = \pm 1$ мм, $m_o = \pm 2$ мм и $m_{\text{тр}} = 2,2$ мм, $m_{\text{взгл}} = \pm 4$ мм.

Так как превышение равно разности отсчетов на заднюю и переднюю рейки, то согласно (45) средняя квадратическая погрешность на одной станции будет:

$$m_h = m_{\text{взгл}} \sqrt{2} \quad \text{или} \quad (134)$$

$$m_h = \pm 4 \sqrt{2} \approx \pm 6 \text{ мм.}$$

При расстояниях от нивелира до реек, равных в среднем $D = 150$ м, нивелирный ход между точками, удаленными друг от друга на 1 км, будет состоять из четырех станций. Поэтому средняя

квадратическая погрешность суммы превышений хода длиной 1 км согласно формуле (47) будет:

$$m_{км} = m_h \sqrt{4} \text{ или} \quad (135)$$

$$m_{км} = \pm 12 \text{ мм.}$$

Предельная погрешность превышений нивелирного хода длиной 1 км согласно (40) составит

$$fh_{пр.км} = \Delta_{пр.км} = 3m_{км} = \pm 36 \text{ мм.}$$

Предельная погрешность превышений нивелирного хода длиной L , км, будет равна

$$fh_{пр} = \Delta_{пр.км} \sqrt{L} \text{ или} \quad (136)$$

$$fh_{пр} = \pm 36 \sqrt{L}. \quad (137)$$

В приведенных расчетах не учтено влияние на результаты нивелирования ряда источников погрешностей: наклона рек, неточное выполнение главного условия в нивелире, влияние погрешности из-за кривизны Земли и рефракции и др. В связи с этим технической инструкцией установлен несколько больший (в $\sqrt{2}$) допуск по сравнению с полученным по формуле (137), а именно

$$fh_{пр} = \pm 50 \sqrt{L}. \quad (138)$$

Величину $fh_{пр}$ обычно называют предельной невязкой нивелирного хода.

§ 53. Сущность тригонометрического нивелирования

Пусть требуется определить превышение h точки B над точкой A (рис. 89). Для этого в точке A устанавливают теодолит, а в точке B рейку или веху. Измеряют рулеткой высоту инструмента i и длину линии AB лентой или дальномером. С помощью вертикального круга теодолита определяют угол наклона визирной оси трубы при наведении ее на какую-либо точку рейки. Расстояние v от этой точки до пятки рейки называется высотой визирования. Из рис. 89 имеем

$$h = h' + i - v. \quad (139)$$

Но

$$h' = d \operatorname{tg} \nu, \quad (140)$$

тогда

$$h = d \operatorname{tg} \nu + i - v. \quad (141)$$

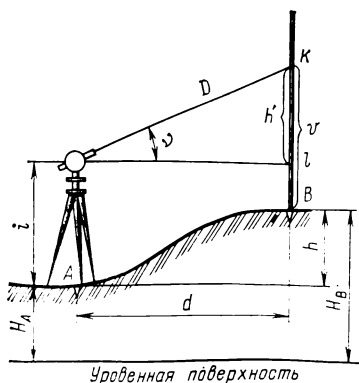


Рис. 89. Тригонометрическое нивелирование

Если на рейке отложить высоту инструмента i и в эту точку визировать

трубой, т. е. положить $i=v$, то превышение можно вычислить по формуле

$$h = d \operatorname{tg} v. \quad (142)$$

Превышения, вычисляемые по формуле (141) или (142), округляют до 0,01 м.

Если расстояние $AB=D$ измеряют лентой или дальномером с горизонтальной рейкой, то $d = D \cos v$ и вместо формулы (142) будем иметь

$$h = D \sin v. \quad (143)$$

Если же расстояние между точками измеряют дальномером с вертикальной рейкой, то, подставив в формулу (142) вместо d его значение из формулы (134), после несложных преобразований получим

$$h = \frac{1}{2} Kl \sin 2v \text{ или} \quad (144)$$

$$h = \frac{1}{2} D' \sin 2v. \quad (145)$$

Формулы (144) и (145) называются тахеометрическими. При определении превышений h по этим формулам пользуются тахеометрическими таблицами.

Если отметка точки A известна, то отметку точки B можно определить по формуле

$$H_B = H_A + h. \quad (146)$$

Среднюю квадратическую погрешность m_h превышения, определяемого методом тригонометрического нивелирования, можно получить из равенства (145) по общим правилам теории погрешностей по формуле

$$m_h^2 = h^2 (m_{D'}/D')^2 + D'^2 \cos 2v (m_v/\rho)^2. \quad (147)$$

Действующие инструкции допускают расхождение в превышениях двух соседних точек 4 см на каждые 100 м. При малых углах наклона v можно принять, что

$$\cos 2v = \cos^2 v - \sin^2 v \approx \cos^2 v.$$

Но согласно (134) можем записать, что

$$d = D' \cos^2 v. \quad (148)$$

При этих условиях формула (147) примет вид

$$m_h^2 = h^2 (m_{D'}/D')^2 + d^2 (m_v/\rho)^2. \quad (149)$$

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

$$m_h \approx d m_v/\rho. \quad (150)$$

При $d = 200$ м и $m_v = 30''$ получим $m_h = \pm 2,9$ см.

§ 54. Понятие о барометрическом нивелировании

С изменением высоты точки над уровнем моря изменяется давление воздуха. Следовательно, по результатам измерения давления воздуха на двух точках можно вычислять отметки этих точек. Наиболее часто для определения отметок точек методом барометрического нивелирования применяют упрощенную формулу

$$H = 18\,470(1 + 0,00366t)(\lg 762 - \lg p), \quad (151)$$

где H — приближенная высота точки, определенная по давлению воздуха, называемая приблизительной высотой; t — температура воздуха на точке, где измерено давление воздуха p .

Давление воздуха измеряют барометрами; они бывают ртутные, безжидкостные или барометры-анероиды и дифференциальные барометры. Наиболее точные результаты дают ртутные барометры, но они неудобны для полевых работ, поэтому их применяют для стационарных наблюдений и проверки анероидов.

Для того чтобы показания анероида привести к показаниям B_p ртутного барометра, пользуются формулой

$$p_0 = A + a + bt_A + c(760 - A), \quad (152)$$

где a — поправка, равная разности показаний ртутного барометра и анероида при $t = 0^\circ$ и $A = 760$ мм; b — температурный коэффициент; t_A — температура анероида; c — коэффициент пропорциональности. Величины a , b и c даются в паспорте анероида.

Современные приборы барометрического нивелирования позволяют определять отметки точек с точностью 0,5 м и выше.

§ 55. Понятие о гидростатическом нивелировании

В сообщающихся сосудах свободная поверхность жидкости устанавливается на одинаковом уровне независимо от поперечного сечения сосудов, массы жидкости и превышения. Это свойство и положено в основу устройства гидростатических нивелиров.

Если определить разность высот столбов жидкости в сообщающихся сосудах (рис. 90, а), то по этой величине можно получить превышение h точек A и B , на которых установлены эти сосуды.

Высоту столба жидкости в каждом сосуде можно определить, например, зная высоты d_1 и d_2 сообщающихся сосудов и измерив расстояния c_1 и c_2 (рис. 90, б) от уровня жидкости до края каждого сосуда. Тогда получим высоты столбов жидкости в сосудах $(d_1 - c_1)$ и $(d_2 - c_2)$ и превышения

$$h = (d_2 - c_2) - (d_1 - c_1) \text{ или } h = (d_2 - d_1) - (c_2 - c_1).$$

Для данной пары сосудов $(d_2 - d_1)$ — величина постоянная, поэтому, обозначив

$$k = d_2 - d_1, \quad (153)$$

получим превышение

$$h = k - (c_2 - c_1). \quad (154)$$

Поменяв местами сосуды (рис. 90, б),

$$h = (d_1 - c'_1) - (d_2 - c'_2) \text{ или } h = (c'_2 - c'_1) - (d_2 - d_1),$$

а с учетом (153)

$$h = (c'_2 - c'_1) - k. \quad (155)$$

Складывая (154) и (155),

$$h = [(c'_2 - c'_1) - (c_2 - c_1)]/2, \quad (156)$$

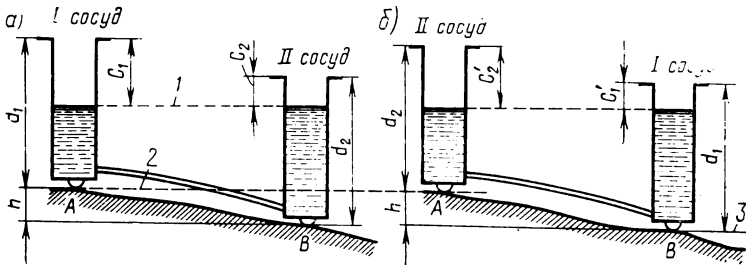


Рис. 90. Гидростатическое нивелирование:

1 — горизонт жидкости; 2 — горизонт точки А; 3 — горизонт точки В

а вычитая (154) из (155),

$$k = [(c'_2 - c'_1) + (c_2 - c_1)]/2. \quad (157)$$

Определив по этой формуле k , затем по любой из формул (154) — (156) находят превышение h .

Современные конструкции гидростатических нивелиров позволяют определять превышение между точками с точностью до десятых и даже сотых долей миллиметра.

§ 56. Понятие о механическом нивелировании

Устройство существующих нивелиров-автоматов основано на следующем принципе. Превышение h точки В над точкой А местности (рис. 91) может быть представлено как сумма превышений Δh_i точек местности, на которых последовательно находятся колеса, соединенные какой-нибудь рамой с установленным на ней нивелиром-автоматом.

Такое нивелирование дает возможность автоматически получать профиль нивелируемой местности и позволяет определять отметки отдельных точек.

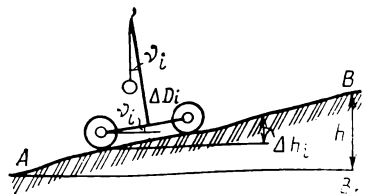


Рис. 91. Механическое нивелирование

Нивелиры-автоматы устанавливают на велосипедных рамах, что дает возможность производить нивелирование со скоростью 3—4 км/ч.

Новейшие конструкции нивелиров-автоматов устанавливают на автомашинах типа ГАЗ-69, что позволяет проводить нивелирование со скоростью до 30 км/ч. Нивелиры-автоматы обеспечивают среднюю квадратическую погрешность нивелирования 1 км хода от $\pm 0,3$ до $\pm 0,6$ м.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется нивелированием?
2. В чем заключается способ нивелирования из середины и вперед?
3. Что такое горизонт инструмента?
4. Как вычисляются отметки точек при нивелировании вперед и из середины?
5. Как вычисляются отметки точек через горизонт инструмента?
6. В чем сущность последовательного нивелирования?
7. Объясните основные поверки нивелира с элевационным винтом.
8. Объясните основные поверки нивелира с самоустанавливающейся линией визирования.
9. Как закрепляются пункты нивелирных ходов на местности?
10. Как определить точность передачи отметок техническим нивелированием?
11. В чем заключается сущность тригонометрического, барометрического, гидростатического и механического нивелирования?
12. Определить горизонт инструмента, если отсчет по рейке, установленной на точке А, равен 1824, а ее отметка $H_A = 170,024$ м.
13. Вычислить превышение, определяемое методом тригонометрического нивелирования, если наклонное дальномерное расстояние $D = 170,05$ м, а угол наклона визирной оси $v = 3^\circ 21'$.
14. Определить точность превышения, полученного методом тригонометрического нивелирования при $d = 150$ м и погрешности измерения угла наклона $m_v = 30''$.

ГЛАВА VIII. ПОНЯТИЯ О ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЯХ И СЕТЯХ СГУЩЕНИЯ

§ 57. Принцип определения взаимного положения точек

Выполнение всех геодезических измерений сводится к определению взаимного положения точек на земной поверхности. Чтобы ослабить влияние погрешностей измерений и не допустить их накопления при определении взаимного положения точек на отдельных участках местности, в основу организации всех геодезических работ положен принцип, который получил название «от общего к частному». С этой целью из множества определяемых точек выделяют на данной территории наиболее характерные и определяют в первую очередь их положение. Такие точки называют опорными и т. д. Относительно этих точек определяют местоположение других и т. д.

Следовательно, на базе сравнительно редкой сети опорных точек, которая является как бы основным каркасом, развивают сети

опорных точек более низкого класса, густота которых диктуется конкретными условиями и требованиями проведения геодезических работ. Такое последовательное определение взаимного положения точек приводит к равномерному распределению неизбежных погрешностей измерений во всей сети, в результате чего качество сети во всех ее частях одинаковое. Принципа «от общего к частному» придерживаются и при камеральной обработке результатов измерений.

§ 58. Назначение и виды государственных геодезических сетей

Государственная геодезическая сеть представляет совокупность пунктов с известными координатами (X , Y) и высотами (H), более или менее равномерно расположенных на всей территории страны. Для определения положения пунктов такой сети пользуются единой системой геодезических координат и высот.

Государственная геодезическая сеть является исходной основой (каркасом) для всех топографо-геодезических работ, выполняемых в стране; она делится на плановую и высотную.

Плановая государственная геодезическая сеть может создаваться астрономическим или геодезическим методами. При астрономическом методе плановое положение каждого из отдельных пунктов сети определяется независимо друг от друга из астрономических наблюдений.

Геодезический метод состоит в том, что для определения координат точек находят из астрономических наблюдений координаты только нескольких точек, называемых исходными. Дальнейшее определение планового положения точек производят путем геодезических измерений на местности.

Высотная государственная геодезическая сеть создается методом геометрического нивелирования.

§ 59. Плановые государственные геодезические сети

Государственная плановая геодезическая сеть создается методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии и их сочетаниями.

Триангуляция (рис. 92) представляет цепь прилегающих друг к другу треугольников, в каждом из которых измеряют все углы; кроме того, определяют длины двух сторон AB и PQ . Длины этих сторон могут быть определены двумя способами: из базисной сети и непосредственным измерением. Базисная сеть представляет построение в виде ромба $AaBb$, в котором непосредственно измерена короткая диагональ — базис ab и все углы при вершинах. Пользуясь результатами этих измерений, вычисляют длину диагонали AB , называемую выходной стороной триангуляции. Далее по длине выходной стороны и измеренным углам треугольников вычисляют длины всех сторон сети. Зная из астрономиче-

ских определений географические координаты исходного пункта A и азимут на смежный пункт B сети, можно последовательно вычислить координаты всех остальных пунктов.

Если в цепи треугольников (рис. 92) измерены все стороны, то такое построение называют *трилатерацией*.

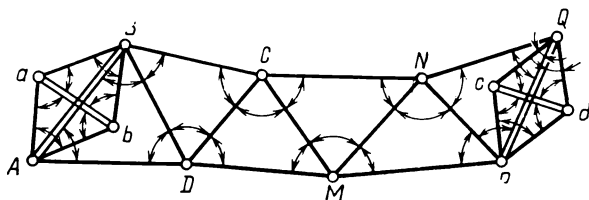


Рис. 92. Триангуляция

Полигонометрия — метод определения плановых координат точек проложением через них хода (рис. 93), в котором измеряют все углы и стороны. Если известны (или определены) координаты пунктов A и B и дирекционные углы α_1 и α_2 , то можно вычислить координаты всех пунктов хода. При этом координаты пункта B

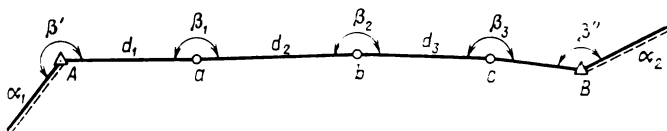


Рис. 93. Полигонометрия

и дирекционный угол α_2 являются контрольными. Система проложенных на местности и связанных между собой полигонометрических ходов образует полигонометрическую сеть.

Пункты триангуляции, трилатерации и полигонометрии закрепляются на местности закладываемыми в землю центрами. Для обеспечения взаимной видимости между пунктами триангуляции над центрами устанавливают геодезические знаки.

Государственная плановая геодезическая сеть СССР разделяется на четыре класса (табл. 10).

Сеть 1-го класса (рис. 94) как астрономо-геодезическая сеть строится в виде звеньев триангуляции (трилатерации, полигонометрии) длиной не более 200—250 км, расположенных вдоль меридианов и параллелей и образующих замкнутые полигоны периметром 800—1000 км.

Геодезическая сеть 2-го класса строится в виде сплошной сети триангуляции (трилатерации, полигонометрии) в каждом полигоне 1-го класса.

Дальнейшее сгущение сети производится вставкой пунктов или группы пунктов (систем) 3-го и 4-го классов, опирающихся на пункты 1-го и 2-го классов. Стороны полигонометрических ходов

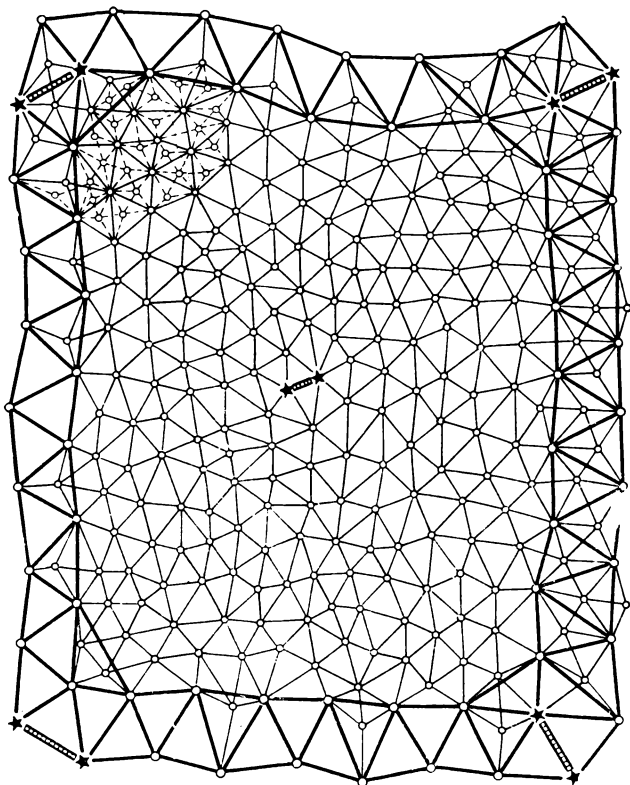


Рис. 94. Геодезическая сеть

3-го и 4-го классов должны измеряться с относительными погрешностями, не превышающими соответственно 1 : 200 000 и 1 : 150 000.

Таблица 10

Класс триангуляции	Средняя длина сторон треугольников, км	Средняя квадратическая погрешность измерения угла m_p	Допустимая угловая невязка f_β в треугольнике	Точность определения выходной стороны
1	Не менее 20	0",7	3",0	1 : 400 000
2	7—20	1",0	3",5	1 : 300 000
3	5—8	1",5	5",0	1 : 200 000
4	2—5	2",0	7",0	1 : 100 000

§ 60. Высотные государственные геодезические сети

Государственной высотной геодезической сетью (рис. 95) является нивелирная сеть I, II, III и IV классов. При этом сети I и II классов являются главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая система высот на всей территории страны. Нивелирные сети III и IV классов служат для обеспечения высотами топографических съемок и решения различных инженерных задач.

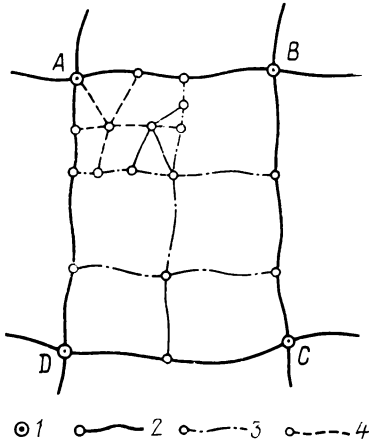


Рис. 95. Нивелирная сеть:

1 — пункты нивелирования I класса; 2 — нивелирные ходы II класса; 3 — то же, III класса, 4 — то же, IV класса

Нивелирные ходы I класса прокладывают в основном по направлениям, связывающим уровни всех морей и океанов, омывающих нашу страну. При этом допускается средняя квадратическая погрешность на 1 км хода не более $\pm 0,5$ мм.

Нивелирные ходы II класса начинаются и заканчиваются на пунктах I класса. Они образуют замкнутые полигоны периметром 500—600 км. Средняя квадратическая погрешность на 1 км хода не должна превышать $\pm 2,5$ мм.

Нивелирные сети III класса прокладываются внутри полигонов II класса в виде систем ходов, разделяющих полигон II класса на 6—9 частей с периметром 150—200 км каждый. Средняя квадратическая погрешность нивелирования III класса на 1 км хода не должна превышать ± 5 мм.

Нивелирование IV класса является сгущением нивелирной сети III класса и должно примыкать к пунктам нивелирования старших классов. Средняя квадратическая погрешность нивелирования на 1 км хода не должна превышать ± 10 мм.

При проектировании нивелирных ходов III и IV классов их располагают так, чтобы были определены высоты всех пунктов триангуляции (трилатерации, полигонометрии) 1, 2, 3 и 4-го классов.

§ 61. Геодезические сети сгущения

Для изысканий, проектирования и строительства инженерных сооружений густота пунктов государственной геодезической сети является недостаточной, к тому же иногда в районах намечающегося строительства государственная геодезическая сеть младших (3-го и 4-го) классов оказывается еще не созданной. В этих случаях строят геодезические сети сгущения.

Геодезические сети сгущения разделяются на триангуляцию и полигонометрию IV класса, а также 1-го и 2-го разрядов — для плановых сетей и нивелирование IV класса и техническое — для высотных сетей.

Длины сторон триангуляции 1-го разряда могут быть от 2 до 5 км, а 2-го разряда от 0,5 до 3 км. Предельное значение средней квадратической погрешности угла, вычисленной по невязкам в треугольниках, не должно превышать $\pm 5''$ для сети 1-го разряда и $\pm 10''$ — 2-го разряда, а невязки в треугольниках соответственно 20 и 40". Относительная погрешность выходных сторон не должна быть более 1 : 50 000 в сети 1-го разряда и 1 : 20 000 в сети 2-го разряда.

Относительные погрешности каждой стороны полигонометрических ходов 1-го разряда не должны быть более 1 : 10 000, а 2-го разряда — 1 : 5000. Средняя квадратическая погрешность измерения угла не должна превышать $\pm 5''$ в ходах 1-го разряда и $\pm 10''$ в ходах 2-го разряда.

Невязки в ходах и полигонах технического нивелирования не должны превышать $\pm 50\sqrt{L}$ мм, где L — длина хода, м.

Высоты пунктов геодезической сети сгущения получают геометрическим или тригонометрическим нивелированием в зависимости от назначения работ.

Геодезические сети сгущения, как правило, прокладывают между пунктами государственной геодезической сети. Если последние отсутствуют, то строят самостоятельные сети с последующей привязкой их к пунктам государственной геодезической сети.

§ 62. Каталоги координат

Завершением работ по созданию геодезической сети является составление каталогов.

В каталоге пунктов триангуляции указывают: 1) название и описание местоположения каждого пункта сети и ее класс; 2) тип знаков (их высоты и год постройки) и центров; 3) координаты X , Y и N каждого пункта сети с указанием системы координат; 4) дирекционные углы сторон сети, их длины и наименование осевого меридиана зоны, в которой находится пункт.

В каталог пунктов полигонометрии включают: 1) местоположение, номер, разряд и вид полигонометрического пункта; 2) координаты осевого меридиана зоны расположения пункта; 3) марку или репер, принятый за исходный для вычисления высот; 4) координаты X , Y и N пунктов, дирекционные углы и длины всех сторон.

В каталоге высот марок и реперов нивелирования всех классов указывают: год и класс нивелирования и кем произведено; тип установленного знака, его номер, местоположение и расстояние от него до пункта, от которого начато нивелирование; превышение над предыдущим знаком, полученное в результате нивелирования, и его уравненное значение для каждой марки, репера; высоты всех марок и реперов над Кронштадтским футштоком.

1. Что представляет собой государственная геодезическая сеть?
2. Какими методами создается плановая и высотная государственные геодезические сети?
3. В чем заключаются методы триангуляции, трилатерации и полигонометрии?
4. Что такое базисная сеть?
5. Как создаются сети сгущения и что они собой представляют?
6. Что представляют собой каталоги координат?
7. Как закрепляются пункты государственных геодезических сетей на местности?

ГЛАВА IX. ПЛАНОВОЕ СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

§ 63. Виды планового съемочного обоснования

Съемочные сети служат непосредственной основой для съемки местности, перенесения проектов инженерных сооружений на местность и др. Съемочное обоснование развивается от пунктов государственных геодезических сетей и геодезических сетей сгущения.

Плановые сети создают методом четырехугольников без диагоналей, различных засечек с пунктов геодезических сетей всех классов и разрядов, проложением теодолитных, теодолитно-нивелирных, теодолитно-высотных, теодолитно-тахеометрических и мензуальных ходов и построением геометрических сетей. Точность таких сетей — порядка 1 : 3000 и ниже в зависимости от назначения работ.

§ 64. Полевые работы при прокладке теодолитных ходов

Теодолитные ходы по точности подразделяют на два разряда: первый — с относительной ошибкой не грубее 1 : 2000 и второй — 1 : 1000.

Теодолитный ход представляет систему ломаных линий на местности, в которых углы измерены теодолитом, а стороны — 20-метровой стальной лентой или дальномером соответствующей точности.

Теодолитные ходы, как правило, прокладывают между опорными геодезическими пунктами (рис. 96, а) или они образуют замкнутые полигоны (рис. 96, б). Как частный случай теодолитный ход может быть «висячим» — ход, опирающийся только на один пункт геодезической основы.

Проектирование, рекогносцировка и закрепление точек теодолитного хода. Проект теодолитных ходов выполняют или на имеющейся карте (плане) более крупного масштаба, или на схематическом чертеже местности, составленном глазомерно. Длины сторон теодолитного хода не должны превышать 350 м и быть менее

20 м. Максимальные длины теодолитных ходов между твердыми точками зависят от масштаба съемки и не должны превышать значений, приведенных в табл. 11.

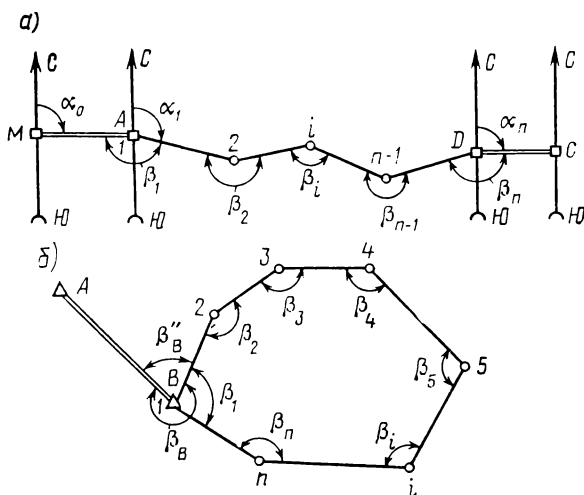


Рис. 96. Теодолитные ходы

В результате рекогносцировки, т. е. детального изучения местности, уточняют составленный проект в отношении направлений ходов и расположения точек поворота. Намеченные точки теодолитных ходов в зависимости от характера местности закрепляют коваными гвоздями, костылями, металлическими трубками диаметром 2—3 см, деревянными кольями и столбами, а также гвоздями, вбитыми в пни. Если теодолитные ходы служат самостоятельной опорной сетью съемочных и разбивочных работ, то $\frac{1}{5}$ поворотных пунктов закрепляют более надежными центрами.

После закрепления точек хода на местности выполняют их плановую привязку к твердым предметам. Для этого составляют схематический чертеж местоположения точки хода, на котором указывают ее расстояние от существующей ситуации (углов зданий, столбов ЛЭП и т. п.). При этом количество промеров должно быть не менее трех.

Угловые и линейные измерения. В теодолитных ходах горизонтальные углы измеряют теодолитом одним полным приемом. Для этого повернутый теодолит устанавливают в рабочее положение

Таблица 11

Масштаб съемки	Допускаемая длина теодолитного хода между пунктами геодезической основы, км, на территории	
	застроенной	незастроенной
1 : 500	0,8	1,2
1 : 1000	1,2	1,8
1 : 2000	2,0	3,0
1 : 5000	4,0	6,0

над вершиной угла, а в соседних точках хода ставят вертикально вехи; при коротких длинах сторон — шпильки. Значения углов, полученные в первом и втором полуприемах, должны отличаться на величину, не превышающую двойную точность отсчетного устройства теодолита.

Измерение сторон в теодолитных ходах производят в прямом и обратном направлениях. Для этой цели применяют 20-метровые стальные ленты, рулетки или дальномеры соответствующей точности. Если длина мерного прибора отличается от номинальной более чем на 1 : 10 000, то необходимо вводить поправку за компарирование. Для средних условий местности разница между измеренным значением линии прямо и обратно должна удовлетворять условию

$$\frac{|D_{\text{пр}} - D_{\text{обр}}|}{D} \leq \frac{1}{2000}. \quad (158)$$

Углы наклона сторон теодолитного хода измеряют с помощью вертикального круга теодолита (при одном положении вертикального круга, например при КП) или эклиметром, в прямом и обратном направлениях.

Все данные полевых измерений заносят в специальный журнал (табл. 12).

Журнал теодолитного хода

Таблица 12

Точки		Отсчеты по水准рам						Средний отсчет			Угол			Средний угол		
СТОЯЩИЯ	визирова- ния	I			II			°	'	"	°	'	"	°	'	"
		°	'	"	'	"	°									
В		<i>Круг право</i>														
	С	249	54	30	55	00	249	54	45	68	17	30	68	17	45	
	А	181	37	00	37	30	181	37	15							
		<i>Круг лево</i>														
	С	329	54	00	54	00	329	54	00	68	18	00				
	А	261	36	00	36	00	261	36	00							

Привязка теодолитных ходов к пунктам опорной геодезической сети. Способ 1 заключается в том, что начальная *A* и конечная *D* точки хода (рис. 96, *a*) являются пунктами опорной геодезической сети, координаты которых известны. С каждой из конечных точек *A* и *D* хода должно быть видно хотя бы по одному пункту опорной сети, например *M* и *C*. Дирекционные углы направлений *AM* и *DC* называют твердыми (исходными). На пунктах *A* и *D* измеряют привычные углы β_1 и β_2 .

Для замкнутого полигона (рис. 96, б) начальная и конечная точки хода совпадают, поэтому для непосредственной привязки в этом случае достаточно включить в него один пункт опорной сети, например B , и измерить примычный угол $\beta_{B'}$ и для контроля $\beta_{B''}$.

Способ 2. Теодолитный ход проходит вблизи пункта опорной геодезической сети. В данном случае от ближайшей точки прокладывают дополнительный теодолитный ход к этому пункту.

Способ 3. Теодолитный ход проходит около пунктов опорной сети, закрепленных в стенах зданий и сооружений (рис. 97).

По формулам (17) и (18) и известным координатам точек A и B определяют дирекционный угол и длину стороны AB . Измеряют расстояние Aa и Ba и углы β'_a и β_a ; вычисляют угол β_a .

Для контроля привязки точек теодолитного хода к пунктам опорной сети кроме необходимого для привязки числа углов измеряют хотя бы один дополнительный угол. Определенный дважды дирекционный угол привязываемого направления и будет служить контролем привязки.

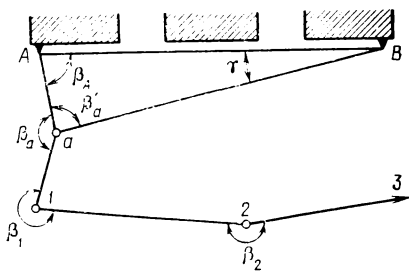


Рис. 97. Привязка теодолитного хода

§ 65. Обработка результатов измерений при прокладке теодолитных ходов

Обработка журналов. Составление схемы теодолитных ходов.

Камеральные работы по обработке результатов измерений, проведенных при прокладке теодолитных ходов, начинают с проверки и обработки полевых журналов: повторно выполняют все вычисления и выводят средние значения измеренных горизонтальных (до $0'$, 1) и вертикальных (до $1'$, 0) углов и длин сторон (до $0,01$ м). Полученные окончательные средние значения выделяют — обводят чернилами или подчеркивают. Проверявший журнал делает в нем соответствующую запись и подписывается.

Затем на плотной бумаге по полученным средним значениям углов и длинам сторон с помощью транспортира и линейки составляют в произвольном масштабе схему теодолитных ходов. На схеме показывают все включенные в ход твердые пункты с их координатами и дирекционными углами исходных сторон, средние значения горизонтальных углов, длины сторон и углы их наклона к горизонту, а также ориентирование схемы относительно направления меридиана.

Вычисление координат точек теодолитного хода производят в специальной ведомости (табл. 13).

Уравнивание углов. Уравнивание углов замкнутого теодолитного хода. Суммируют n измеренных внутренних углов полигона (см.

Ведомость вычисления

Название точек	Измеренные углы		Поправки	Исправленные углы		Дирекционные углы		Румбы			Горизонтальные положения
	°	′		°	′	°	′	Название четверти	°	′	
1	2		3	4		5		6			7
<i>B</i>											
1	80	07,5	-0,5	80	07	3	24	СЗ	24	36	231,30
2	135	49,0	0	135	49	65	17	СВ	65	17	200,40
3	84	10,5	-0,5	84	10	109	28	ЮВ	70	32	241,00
4	108	27,0	00	108	27	205	18	ЮЗ	25	18	263,40
<i>B</i>	121	28,0	-1,0	121	27	276	51	СЗ	83	09	201,60
1						335	24				
<i>p</i> = 1137,70											

$\Sigma \beta_n = 540^\circ 02'$,
 $\Sigma \beta_{\text{т}} = 180^\circ (5-2) = 540^\circ 00'$,
 $f_\beta = 540^\circ 02' - 540^\circ 00' = +0^\circ 02'$,
 $f_{\beta \text{ доп}} = 1' \sqrt{n} = 1' \sqrt{5} = \pm 2', 2$.

рис. 96, а), кроме примычного угла β'_B . Теоретическая сумма внутренних углов плоского многоугольника составит

$$\Sigma \beta_{\text{теор}} = 180^\circ (n - 2), \tag{159}$$

где n — число вершин многоугольника.

Разность f_β между суммой измеренных углов и теоретической суммой углов называется угловой невязкой хода (полигона), т. е.

$$f_\beta = \Sigma \beta_{i \text{ изм}} - \Sigma \beta_{\text{теор}}. \tag{160}$$

Если бы результаты измерений не имели погрешностей, то f_β равнялась бы нулю. Отсюда следует, что величина угловой невязки характеризует качество измерения углов.

Предельно допустимую погрешность угловых измерений вычисляют по формуле

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1' \sqrt{n}, \tag{161}$$

где n — число углов в ходе.

координат

Вычисленные приращения		Исправленные приращения		Координаты		Названия точек						
±	Δx	±	Δy	±	x		±	y				
	8		9		10		11		12		13	14
+	210,31	-	96,29	+	210,37	-	96,34	+	500,0	+	500,0	<i>B</i>
+	83,80	+	182,04	+	83,85	-	181,99	+	710,37	+	403,66	1
-	80,31	+	227,22	-	80,25	+	227,17	+	794,22	+	585,65	2
-	238,13	-	112,56	-	238,06	-	112,61	+	713,97	+	812,82	3
+	24,04	-	200,16	+	24,09	-	200,21	+	475,91	+	700,21	4
								+	500,00	+	500,00	<i>B</i> 1
+	318,15	+	409,26	+	318,81	+	409,16					
-	318,44	+	409,01	-	318,81	-	409,16					
					0,00		0,00					

$$f_x = -029 \quad f_y = +0,25,$$

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0,29^2 + 0,25^2} = 0,38\text{м},$$

$$\frac{f_p}{p} \approx \frac{1}{2900} < \frac{1}{2000}.$$

Вычислил:

Проверил:

Если выполняется условие

$$|f_\beta| \leq f_{\beta \text{ пр}}, \quad (162)$$

то точность полевых измерений углов считается удовлетворительной. В противном случае в результатах измерений или в вычислениях имеется недопустимая погрешность, которую нужно обнаружить и устранить.

При упрощенном уравнивании полученную угловую невязку распределяют с обратным знаком поровну во все измеренные углы. Поправка в каждый угол будет

$$\delta_{\beta_i} = -f_\beta/n. \quad (163)$$

Если невязка f_β не делится без остатка на число углов n , то несколько большие по абсолютной величине поправки вводят в углы с короткими сторонами. Поправки записывают над соответствующими углами. Тогда исправленный угол будет

$$\beta_i \text{ испр} = \beta_i \text{ изм} + \delta_{\beta_i}. \quad (164)$$

Контролем правильности вычисления поправок является выполнение условия

$$\sum \delta_{\beta} = -f_{\beta}, \quad (165)$$

а правильности их введения в углы — условие

$$\sum \beta_{i \text{ изм}} = \sum \beta_{\text{теор}}. \quad (166)$$

Уравнивание углов разомкнутого теодолитного хода. В этом случае (см. рис. 96, а) вначале вычисляют по формуле (12) дирекционные углы всех сторон хода:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_0 + 180^\circ - \beta_1, \\ \alpha_2 &= \alpha_1 + 180^\circ - \beta_2, \\ \dots &\dots \dots \dots \dots \dots \\ \alpha_n &= \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n. \end{aligned} \right\} \quad (167)$$

Сложив эти равенства, будем иметь

$$\alpha_n = \alpha_0 + n \cdot 180^\circ - \sum \beta_{\text{теор}}, \quad \text{откуда} \quad (168)$$

$$\sum \beta_{\text{теор}} = (\alpha_0 - \alpha_n) + n \cdot 180^\circ. \quad (169)$$

Подставляя полученное значение $\sum \beta_{\text{теор}}$ в формулу (160), получим угловую невязку разомкнутого хода

$$f_{\beta} = \sum \beta_{i \text{ изм}} - [(\alpha_0 - \alpha_n) + n \cdot 180^\circ]. \quad (170)$$

Если измерены левые углы γ хода, то формулы (169) и (170) соответственно будут иметь вид

$$\sum \gamma_{\text{теор}} = (\alpha_n - \alpha_0) + n \cdot 180^\circ, \quad (171)$$

$$f_{\gamma} = \sum \gamma_{i \text{ изм}} - [(\alpha_n - \alpha_0) + n \cdot 180^\circ]. \quad (172)$$

Уравнивание разомкнутых теодолитных ходов производят так же, как и замкнутых.

Вычисление дирекционных углов, румбов и горизонтальных положений сторон теодолитного хода. *Вычисление дирекционных углов.* Дирекционные углы сторон теодолитного хода вычисляют по формулам (12) для правых углов хода или (13) — для левых углов. Контролем правильности вычисления дирекционных углов сторон замкнутого хода является вторичное получение дирекционного угла первой стороны. Для разомкнутого хода — получение конечного дирекционного угла.

Вычисление румбов. Румбы сторон теодолитного хода вычисляют по соотношениям, приведенным в табл. 1 (см. § 8). Правильность получения румбов сторон хода можно контролировать вычислением по ним горизонтальных углов между смежными сторонами хода.

Вычисление горизонтальных проложений сторон теодолитного хода. Поправка за наклон сторон хода к горизонту учитывается, если угол наклона ее больше 1°,5. Для этого пользуются формулами (92), (94) или специальными таблицами поправок за наклон линий к горизонту.

Вычисление и уравнивание приращений координат. Вычисление приращений координат производят по формулам (14), (15) или по таблицам приращений координат. При этом все вычисления приращений производят с точностью до 0,001 м, а при записи в ведомость их округляют до 0,01 м.

Вследствие неизбежных ошибок измерений, содержащихся в углах и сторонах хода, вычисленные суммы приращений координат $\sum \Delta x_{i \text{ выч}}$ и $\sum \Delta y_{i \text{ выч}}$, как правило, отличаются от теоретических $\sum \Delta x_{\text{теор}}$ и $\sum \Delta y_{\text{теор}}$. Их соответственные разности являются невязками по осям координат f_x и f_y . По аналогии с формулой (160) получим

$$\begin{aligned} f_x &= \sum \Delta x_{i \text{ выч}} - \sum \Delta x_{\text{теор}}, \\ f_y &= \sum \Delta y_{i \text{ выч}} - \sum \Delta y_{\text{теор}}. \end{aligned} \tag{173}$$

Известно, что в замкнутом ходе

$$\begin{aligned} \sum \Delta x_{\text{теор}} &= 0, \\ \sum \Delta y_{\text{теор}} &= 0. \end{aligned} \tag{174}$$

При этом условии формулы (173) для замкнутого теодолитного хода примут вид

$$f_x = \sum \Delta x_{i \text{ выч}}, \quad f_y = \sum \Delta y_{i \text{ выч}}. \tag{175}$$

Теоретические суммы приращений координат в разомкнутом ходе определим исходя из следующих соображений. Допустим, что результаты измерений безошибочны. Тогда и приращения координат не будут содержать погрешностей, и согласно формулам (16) и рис. 96, б можно написать:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_A + \Delta x_1, & y_1 &= y_A + \Delta y_1, \\ x_2 &= x_1 + \Delta x_2, & y_2 &= y_1 + \Delta y_2, \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_D &= x_{n-1} + \Delta x_n, & y_D &= y_{n-1} + \Delta y_n. \end{aligned} \right\} \tag{176}$$

Сложив равенства (176), получим

$$x_D = x_A + \sum \Delta x_{\text{теор}}, \quad y_D = y_A + \sum \Delta y_{\text{теор}},$$

откуда

$$\sum \Delta x_{\text{теор}} = x_D - x_A, \quad \sum \Delta y_{\text{теор}} = y_D - y_A, \tag{177}$$

т. е. теоретические суммы приращений координат разомкнутого хода равны разностям соответствующих координат конечной и начальной точек хода.

Подставляя формулы (177) в (173), найдем для разомкнутого хода

$$f_x = \sum \Delta i_{\text{выч}} - (x_D - x_A), \quad f_y = \sum \Delta y_i_{\text{выч}} - (y_D - y_A). \quad (178)$$

Геометрический смысл невязок f_x и f_y показан на рис. 98. Вследствие влияния погрешностей измерений в замкнутом ходе (рис. 98, а) точки B и B' не совпали, образовав величину

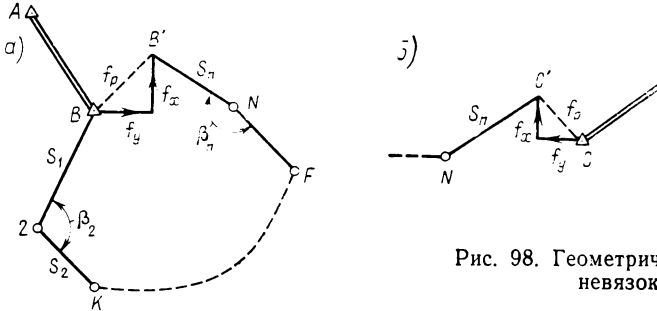


Рис. 98. Геометрический смысл невязок

$BB' = f_p$, а в разомкнутом ходе (рис. 98, б) — величину $CC' = f_p$, называемую линейной невязкой хода; ее проекции на оси координат и являются невязками f_x и f_y . Из рис. 98 видно, что

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (179)$$

Величина

$$f_p / \sum d_i = 1/N, \quad (180)$$

называемая относительной невязкой периметра хода, характеризует качество полевых измерений. Ее величина зависит от условий и методов измерений. Если стороны хода измеряли (лентой или дальномером) с точностью 1 : 2000, то должно выполняться условие

$$f_p / \sum d_i \leq 1/2000. \quad (181)$$

При невыполнении этого условия необходимо тщательно проверить все вычисления, начиная с полевых журналов и каталогов. Если в вычислениях погрешность не обнаружат, выполняют повторные измерения в поле. С этой целью предварительно по невязке f_p приблизительно устанавливают, в каком месте хода допущен промах. Если относительная невязка допустима, то приращения координат уравнивают. Простейший способ уравнивания состоит в распределении невязок f_x и f_y с их обратным знаком на все вы-

численные приращения координат пропорционально длинам сторон хода.

При этом поправки δ_{x_i} и δ_{y_i} вычисляются по формулам

$$\delta_{x_i} = -\frac{f_x}{\sum d_i} d_i, \quad \delta_{y_i} = -\frac{f_y}{\sum d_i} d_i, \quad (182)$$

их значения записывают над соответствующими вычисленными приращениями.

Исправленные приращения координат получают как алгебраическую сумму вычисленных приращений и соответствующих поправок к ним, т. е.

$$\begin{aligned} \Delta x_{i \text{ испр}} &= \Delta x_{i \text{ выч}} + \delta_{x_i}, \\ \Delta y_{i \text{ испр}} &= \Delta y_{i \text{ выч}} + \delta_{y_i}. \end{aligned} \quad (183)$$

Контролем правильности вычисления поправок является выполнение условий

$$\sum \delta_{x_i} = -f_x, \quad \sum \delta_{y_i} = -f_y, \quad (184)$$

а правильности вычисления исправленных приращений координат — условий

$$\sum \Delta x_{i \text{ испр}} = \sum \Delta x_{i \text{ теор}}, \quad \sum \Delta y_{i \text{ испр}} = \sum \Delta y_{i \text{ теор}}. \quad (185)$$

Все вычисления и уравнивание приращений координат производят в ведомости (см. табл. 13, графы 8, 9, 10, 11).

Вычисление координат точек теодолитного хода. Вычисление координат точек хода производится по формулам (16) путем последовательного решения прямых геодезических задач на плоскости, начиная от исходного пункта до возвращения к нему же — в замкнутом ходе или до второго твердого пункта — в разомкнутом ходе. Это обстоятельство дает возможность контролировать правильность вычисления координат.

§ 66. Другие методы определения пунктов планового обоснования съемки

Метод геодезических засечек. При прокладке хода съемочного обоснования рекомендуется брать дополнительные направления на расположенные вблизи тригонометрические пункты и на выдающиеся местные предметы (рис. 99, а) с целью определения положения засекаемых предметов и для контроля измеренных расстояний.

Часто такие засечки позволяют избежать линейных измерений; например, длины сторон CD , DE и EF могут быть получены из последовательного решения треугольников по теореме синусов. В ходе, представленном на рис. 99, б, вообще нет необходимости в линейных измерениях.

Метод четырехугольников без диагоналей. Основным элементом таких сетей является четырехугольник, в котором известны все четыре угла и длины двух сторон. В условиях городской квартальной застройки, в лесах с ортогональной системой просек, при съемках рек и в других случаях этот метод построения обоснования имеет широкое применение.

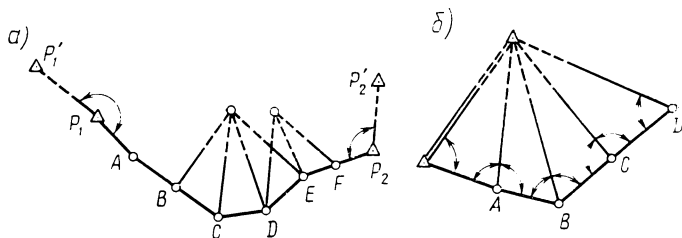


Рис. 99. Геодезические засечки

Теодолитно-высотные и теодолитно-нивелирные ходы. Создание съемочного обоснования проложением теодолитно-высотных ходов заключается в том, что одновременно с прокладкой на местности теодолитовых ходов (полигонов) с помощью вертикального круга теодолита измеряют углы наклона их сторон к горизонту одним полным приемом, т. е. при двух положениях вертикального круга.

В теодолитно-нивелирных ходах длины сторон измеряют, как и в теодолитных ходах, мерными лентами или дальномерами соответствующей точности, углы поворота — теодолитами одним полным приемом. Превышения точек такого хода определяют геометрическим нивелированием (нивелиром или теодолитом с уровнем на трубе).

Вопросы для самопроверки

1. Для каких целей создаются съемочные сети?
2. Какими методами создаются плановые съемочные сети?
3. Что такое теодолитный ход и какие его виды?
4. Что такое рекогносцировка местности?
5. Какие выполняют виды измерений при прокладке теодолитных ходов?
6. Какие основные способы привязки теодолитных ходов к пунктам государственной геодезической сети?
7. Что такое угловая невязка в теодолитном ходе?
8. В чем заключается уравнивание углов и приращений координат в теодолитном ходе?
9. Каков геометрический смысл линейной невязки в теодолитном ходе?
10. В чем заключается метод геодезических засечек и четырехугольников без диагоналей при создании планового обоснования?
11. В замкнутом теодолитном полигоне измерены горизонтальные углы $\beta_1 = 90^\circ 07'$, $\beta_2 = 135^\circ 48'$, $\beta_3 = 90^\circ 10'$, $\beta_4 = 102^\circ 25'$, $\beta_5 = 121^\circ 27'$. Определить, допустима ли точность данных угловых измерений.

§ 67. Нивелирование IV класса

При решении многих задач инженерно-строительной практики, а также при создании высотного съёмочного обоснования широкое применение находит нивелирование IV класса, которое выполняют по способу из середины ходами, опирающимися на пункты нивелирования старших классов или образующими замкнутые полигоны. Расстояние от нивелира до реек не должно превышать 150 м, неравенство плеч (расстояний от нивелира до реек) — быть более 5 м. Применяют нивелиры с увеличением зрительной трубы не менее $25\times$ и ценой деления цилиндрического уровня не более $25''$ на 2 мм или равные им по точности нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования. Рейки применяют двусторонние с круглыми уровнями.

Полевые работы. Полевым работам предшествует составление проекта нивелирных ходов, в соответствии с которым закладывают на местности реперы.

Наблюдения на станции производят в следующем порядке. Нивелир устанавливают в рабочее положение, а рейки — на прочно вбитые в землю башмаки или костыли. Наводят трубу на черную сторону задней рейки, берут отсчеты по верхней (226) и средней (596) нитям сетки и записывают их в журнал (табл. 14). Далее наводят трубу на черную сторону передней рейки и берут отсчеты по верхней (541) и средней (909) нитям сетки. Поворачивают переднюю рейку красной стороной к наблюдателю и берут отсчет (5695) по средней нити сетки, после чего трубу снова наводят на заднюю рейку и берут отсчет (5283) по красной стороне по средней нити сетки. Вычисляют расстояние от нивелира до задней и передней реек, например, $596 - 226 = 370$ и до передней рейки $909 - 541 = 368$, т. е. неравенство плеч равно 2 мм, что при $K = 100$ составит 0,4 м на местности.

Из отсчетов по средней нити вычисляют разности нулей черных и красных сторон реек, а по отсчетам черной и красной сторон реек по формуле (114) — превышения. Далее вычисляют среднее превышение на станции и разность отсчетов, совпадающих с пятками красных сторон реек.

Расхождения в превышениях, полученных по черной и красной сторонам реек с учетом разности нулей красных сторон, допускают не более 5 мм.

При переходе на следующую станцию реечники чередуются: передний становится задним, а задний — передним. Расстояния от нивелира до реек отмеряют дальномером, тонким тросом, просмоленной бечевой или шагами. Рейки и нивелир располагают так, чтобы визирный луч проходил не ниже 0,2 м от поверхности земли.

При перерывах нивелирование заканчивают на постоянном или временном реперах — вкопанных в землю столбах, спиленных деревьях, бордюрных камнях и т. д.

Журнал нивелирования

№ станции	№ точек визирования	Дальномерные расстояния до реек, мм	Отсчеты по рейке		Превышения, мм	Средние превышения, мм
			задней	передней		
1	601—1	370(7) 368(8)	226(1)	541(3)	—313(11)	—312(13)
			596(2)	909(4)		
			5283(6)	5695(5)		
			4687(9)	4786(10)	+99(14)	
2	1—2	321 320	444	652	—	—207
			765	972	—207	
			5552	5659	—107	
			4787	4687	—100	
3	2—3	301 305	227	406	—	—183
			528	711	—183	
			5215	5498	—283	
			4687	4689	+100	
4	3—4	281 283	890	1186	—	—299
			1171	1469	—298	
			5958	6158	—200	
			4787	4689	—98	
Контроль		2549(19)	23568(15)	25571(16)	—2003(17)	—1001(18)
			25571			
			—2003(20)			

Примечание. В скобках показана последовательность записей в журнале.

Камеральные работы. Вначале проверяют полевые вычисления в журналах нивелирования и производят в них постраничный контроль по формуле

$$(\sum a - \sum b) / 2 = \sum h_{\text{выч}} / 2 = \sum h_{\text{ср}} \quad (186)$$

При этом все вычисления производят с округлением до 1 мм. После обработки журнала заполняют ведомость превышений и вычислений отметок реперов (табл. 15).

В ведомость (табл. 15) из журнала нивелирования выписывают соответствующие данные, в том числе и суммы средних превышений по секциям (между реперами). Затем согласно условию, что сумма превышений в замкнутом ходе должна равняться нулю, а в разомкнутом — разности отметок конечной и начальной точек, вычисляют невязки в превышениях по формулам:

для разомкнутого хода

$$f_h = \sum h - (H_k - H_n); \quad (187)$$

для замкнутого хода

$$f_h = \sum h. \quad (188)$$

Ведомость вычисления отметок реперов

Тип и № нивелирного знака, год его закладки	Местоположение нивелирного знака	Расстояние между реперами, км	Расстояние от начального пункта, км	Дата проложения хода	Число станций (станций)	Измеренные превышения и поправки, мм	Отметки реперов, м
Марка 601, 1957 г.	Здание школы, с. Заречное	2,8	6	4. IX. 68 г.	13	+9483+8	251,768
Грунтовый репер 12, 1968 г.	У моста на р. Орел, с. Ивановка	2,7	2,8	4. IX. 68 г.	12	+7514+8	261,259
Временный репер, 1968 г.	У перекрестка дорог Киев — Харьков, ст. Сидорово — с. Уть	1,6	5,5	5. IX. 68 г.	8	-2876+5	268,781
Стенной репер 21, 1968 г.	Здание вокзала, ст. Сидорово	4,7	7,1	5. IX. 68 г.	25	+3771+15	265,910
Стенной репер 217, 1952 г.	Здание вокзала, ст. Дробное	3,7	11,8				

$$H_K - H_N = +17,928 \text{ м}, \quad \Sigma = 16,5 \quad \Sigma = 58 \quad \Sigma = +17,892$$

$$f_h = 17,892 - 17,928 = -36 \text{ мм},$$

$$f_{h \text{ доп}} = 20 \sqrt{16,5} = 69 \text{ мм}.$$

Допустимую невязку в превышениях для нивелирования IV класса определяют по формулам в мм:

$$f_{h \text{ доп}} = 20 \sqrt{L} \text{ или} \quad (189)$$

$$f_{h \text{ доп}} = 5 \sqrt{n}, \quad (190)$$

где n — число станций хода.

Если выполняется условие

$$|f_h| \leq f_{h \text{ доп}}, \quad (191)$$

то превышения уравнивают. Полученную невязку распределяют с обратным знаком на все измеренные превышения прямо пропорционально числу станций хода. Поправка в любое превышение

$$\delta_{h_i} = -f_h n_i / n, \quad (192)$$

где n_i — число станций в секции.

Исправленное превышение равно алгебраической сумме измеренного и поправки:

$$h_{i \text{ испр}} = h_i + \delta_{h_i}. \quad (193)$$

Отметки точек вычисляют по формуле (115). Контролем правильности введения поправок и вычисления отметок точек служит получение отметки конечной точки при разомкнутом и исходной — при замкнутом нивелирном ходе.

§ 68. Техническое нивелирование

Основным методом создания высотного съемочного обоснования является техническое нивелирование. Системы нивелирных ходов должны опираться не менее чем на два исходных репера нивелирной сети I, II, III или IV классов.

Для производства технического нивелирования используют нивелиры с увеличением зрительной трубы не менее $20\times$ и ценой деления уровня не более $45''$ на 2 мм. Применяют как двусторонние, так и односторонние рейки.

Длины ходов технического нивелирования устанавливаются в зависимости от высоты сечения съемки (табл. 16).

Таблица 16

Характеристика линий	Длины ходов, км, при сечении рельефа		
	0,25 м	0,5 м	1 м и более
Между двумя исходными пунктами	2,0	8	16
Между исходным пунктом и узловой точкой	1,5	6	12
Между двумя узловыми точками	1,0	4	8

Расстояния от инструмента до реек измеряют по дальномерным нитям или шагами. Длина визирного луча — не более 150 м.

Полевые работы. Если высотное обоснование съемок не совпадает с плановым, то предварительно составляют проект нивелирных ходов и закрепляют точки на местности. Для этой цели применяют металлические штыри и трубки диаметром 2—3 см или деревянные столбы длиной 1—1,2 м и диаметром 10—15 см. В отдельных случаях для закрепления точек высотного съемочного обоснования применяют обрезки рельсов длиной 0,5—0,7 м, забетонированные вровень с землей.

Наблюдения на станции проводят в следующем порядке. Нивелир устанавливают в рабочее положение, а рейки — на точки обоснования съемки. Наводят трубу на черную сторону задней рейки, берут отсчет по средней нити сетки (1415) и записывают его в журнал нивелирования (табл. 17). Поворачивают заднюю рейку красной стороной к наблюдателю и снова берут отсчет по средней нити (6101). Далее трубу наводят на черную сторону передней рейки и берут отсчет по средней нити сетки (215), после чего рейку поворачивают красной стороной к наблюдателю и снова берут отсчет (4903).

По формуле (114) определяют превышения по отсчетам черной и красной сторон реек (1200 и 1198).

Расхождения в превышениях, полученных по черной и красной сторонам реек, не допускают более 5 мм. У уровенных нивелиров перед каждым отсчетом пузырек цилиндрического уровня совме-

щают с центром ампулы. Если расстояния между точками обогрования небольшие, то некоторые из них включают в ход как промежуточные точки.

Таблица 17

Журнал нивелирования

№ станции	№ точек визи-рования	Отсчеты по рейке			Превышения			Го-и-зонт инстру-мента	Отмет-ки то-чек
		задней	перед-ней	проме-жуточ-ной	вычис-ленные	средние	увязан-ные		
1	24	1415(1) 6101(2)						94,063	92,274
	1		215(3) 4903(4)		+1200 (5) +1198 (6)	-1 +1199	+1198		93,472 93,472
2	1	0596		2585	-1313	-1	-1313	94,063	91,481
	2	5283			-1312	1312			92,159
	3		1909 6595						
3	3	0265							92,159
		4952	2472 7159		-2207 -2207	-1 -2207	-2208		89,951
	4								89,951
4	4	0528 5214			-1182 -1184	-1 -1183	-1184		89,951
	пп60		1710 6398						88,767
Контроль		24354	31361		-7007	-3503			

$$\frac{24\ 354 - 31\ 361}{2} = -\frac{7\ 007}{2} \approx -3503.$$

Примечание. В скобках показан порядок записи в журнале.

При переходе на следующую станцию реечники чередуются: передний становится задним, а задний — передним.

Камеральные работы. Вначале проверяют полевые вычисления в журналах, вычисляют средние превышения и производят постраничный контроль по формуле (186). Все вычисления округляют до 1 мм. Пользуясь формулами (187) или (188), вычисляют невязки в превышениях, мм, и сравнивают их с допустимыми:

$$f_{h, доп} = 50 \sqrt{L} \text{ или} \tag{194}$$

$$f_{h, доп} = 10 \sqrt{n}, \tag{195}$$

где n — число станций хода (полигона).

Если выполняется условие

$$|f_n| \leq f_{h, доп}, \tag{196}$$

то превышения хода уравнивают, следуя правилу: *невязка в превышениях распределяется на все измеренные превышения поровну, но с обратным знаком*. Следовательно, поправка в каждое превышение будет

$$\delta_h = -f_h/n. \quad (197)$$

Исправленные превышения и отметки связующих точек вычисляют по формулам (193) и (115).

Отметки промежуточных точек вычисляют после определения отметок связующих точек через горизонт инструмента по формулам (117) и (118).

Контроль правильности введения поправок и вычисления отметок точек осуществляется, как и при нивелировании IV класса.

§ 69. Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование производится при проложении на местности теодолитно-тахеометрических и теодолитно-высотных ходов (см. также § 53).

Полевые работы. При проложении теодолитно-тахеометрических ходов на каждой точке хода нитяным дальномером измеряют расстояния до смежных с ней точек (предыдущей и последующей) и вертикальные углы на эти точки; при этом визируют трубой на высоту инструмента, отмеченную на рейке. Для контроля и повышения точности измерений расстояния и углы наклона между каждой парой смежных точек хода определяют дважды — в прямом и обратном направлениях. Все данные полевых измерений заносят в журнал теодолитно-тахеометрического хода.

Камеральные работы. Вначале проверяют все записи в журнале и вычисляют средние значения измеренных сторон и углов наклона, которые выписывают в ведомость вычисления координат теодолитно-тахеометрического хода, затем по тахеометрическим таблицам вычисляют превышения между каждой парой смежных точек. Невязки хода (полигона) в превышениях вычисляют по формулам (187) или (188).

Допустимую невязку в превышениях определяют по формуле

$$f_{h \text{ доп}} = 0,04S\sqrt{n}, \quad (198)$$

где S — средняя длина стороны хода (полигона), выраженная в сотнях метров

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i;$$

n — число сторон хода.

Если полученное значение f_h по абсолютной величине не превышает $f_{h \text{ доп}}$, то превышения уравнивают упрощенным способом, т. е. распределяя невязку f_h с обратным знаком на все вычислен-

ные превышения пропорционально длинам сторон хода; поправка в превышении будет

$$\delta_{h_i} = -\frac{f_h}{\sum_{i=1}^n D_i} D_i, \quad (199)$$

где D_i — длина стороны хода.

Отметки точек хода вычисляют по формуле (115).

§ 70. Привязка пунктов высотного съемочного обоснования к опорной геодезической сети

Пункты высотного съемочного обоснования должны быть привязаны к государственной нивелирной сети. При этом точность работ по привязке должна соответствовать точности создания самого высотного съемочного обоснования.

Если репер государственной сети расположен вблизи одного из пунктов высотного обоснования, то отметку в этом случае передают непосредственно с одной установки нивелира (теодолита). Если же расстояние значительное, то к ходам высотного съемочного обоснования прокладывают привязочные ходы — висячие (в прямом и обратном направлениях) и ходы между реперами.

При составлении проекта высотного съемочного обоснования в проектируемые ходы целесообразно включать пункты государственной нивелирной сети.

Вопросы для самопроверки

1. Какова последовательность полевых работ при нивелировании IV класса и при техническом нивелировании?
2. Как осуществляют контроль при прокладке нивелирных ходов?
3. Как распределяется невязка в превышениях при уравнивании нивелирных ходов?
4. Как выполняется привязка пунктов высотного съемочного обоснования к опорной геодезической сети?
5. Как определяются отметки промежуточных точек в нивелирном ходе?

ГЛАВА XI. СВЕДЕНИЯ О ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ МЕСТНОСТИ

§ 71. Съемка местности и ее виды. Классификация съемок

Съемкой местности называется совокупность угловых и линейных измерений, выполняемых на земной поверхности для создания плана, карты или профиля.

Полевые и камеральные работы любой съемки представляют собой единый технологический процесс, в котором каждый прием

и метод взаимобусловлены. Съёмки разделяют на два основных вида: наземная съёмка и воздушная, или аэрофотосъёмка. Состав работ в каждой съёмке зависит от характера конечной продукции. Если съёмку производят для получения плана без изображения рельефа, то ее называют контурной или горизонтальной, а если с изображением рельефа, то топографической.

Для получения только изображения рельефа или высотных характеристик применяют высотную или вертикальную съёмку.

Кроме приведенной классификации съёмок существует еще разделение их по наименованию основного инструмента, которым ведут работы.

Теодолитную съёмку производят с помощью теодолита и мерной ленты; в результате получают контурный или ситуационный план.

Тахеометрическую съёмку выполняют с помощью теодолита — тахеометра. В результате такой съёмки получают план с изображением рельефа.

Мензульную съёмку производят с помощью двух приборов: мензулы и кипрегеля. В результате съёмки непосредственно на местности получают план с изображением рельефа.

Фототеодолитную съёмку выполняют фототеодолитом; в результате может быть получен как контурный, так и топографический план местности.

Аэрофотосъёмку производят фотоаппаратом, установленным на самолете. Аэрофотосъёмка является наиболее прогрессивным методом, допускающим широкую механизацию производственных процессов. В результате получают как контурный, так и топографический план местности.

Буссольную съёмку выполняют с помощью буссоли и как самостоятельную применяют лишь при съёмке небольших лесных участков, а также в качестве дополнительной при других видах съёмок.

Глазомерную съёмку производят на планшете с компасом с помощью визирной линейки. Цель ее — получение ориентировочного (примерного) плана местности.

§ 72. Способы съёмки ситуации и рельефа местности

Различают следующие основные способы съёмки ситуации: прямоугольных координат, полярных координат, угловых засечек, линейных засечек, створов и обхода.

Выбор способа съёмки зависит от характера и вида снимаемого объекта, рельефа местности и масштаба, в котором должен быть составлен план.

Способ прямоугольных координат применяют при горизонтальной съёмке контуров, лежащих вблизи теодолитных

ходов. Из точек A и B снимаемого контура (рис. 100, a) опускают на сторону теодолитного хода $1-2$ перпендикуляры. Отсчет по ленте (24, 50) от твердой точки 1 до основания перпендикуляра, опущенного из точки A , является ее абсциссой (x_A), а длина пер-

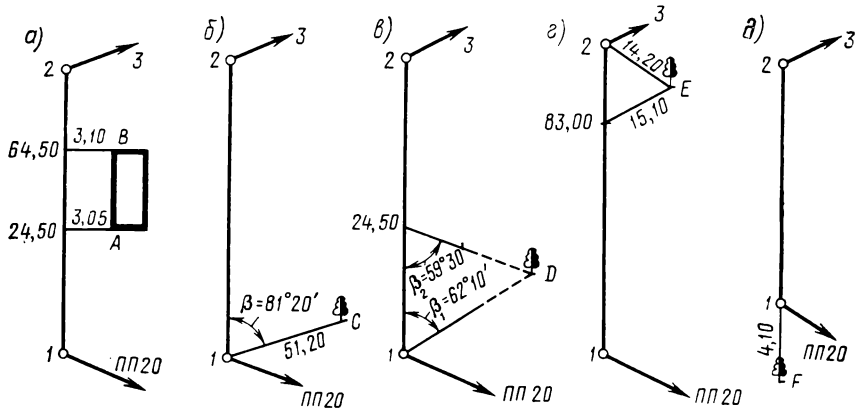


Рис. 100. Способы съемки ситуации

пендикуляра (3,05) — ординатой (y_A); измеряют ее рулеткой. Все данные измерений записывают на абрисе (схематическом чертеже) (см. рис. 101).

С увеличением длины перпендикуляра (ординаты) возрастает погрешность определения положения снимаемой точки, поэтому длины перпендикуляров не должны превышать приведенных в табл. 18.

Способ полярных координат применяют для съемки открытых контуров и характерных точек местности. Приняв точку 1 (рис. 100, b) за полюс, а сторону $1-2$ за полярную ось, можно снимать контуры и рельеф местности.

Измерив расстояние и полярный угол между полярной осью и радиусом-вектором $1-C$, получают полярные координаты снимаемой точки C . Если на точке 1 установить теодолит, совместить нуль лимба с нулем алидады и вращением лимба навести визирную ось трубы на точку 2 , а затем при неподвижном лимбе визировать на точку C , то отсчет по лимбу и будет полярным углом β . Длину радиуса-вектора измеряют мерной лентой, рулеткой или дальномерами соответствующей точности. При этом длины радиусов-векторов не должны превышать данных, приведенных в табл. 19.

Способ угловых засечек применяют в основном при съемке труднодоступных точек местности. Принимая сторону $1-2$ (рис. 100, c) за базис, на точке 1 измеряют угол β_1 , а на точке

Таблица 18

Масштаб съемки	Допустимая длина перпендикуляра, м	
	без экера	с экером
1 : 2000	8	60
1 : 1000	6	40
1 : 500	4	20

24,50— β_2 . Этого достаточно, чтобы с помощью транспортира получить положение точки D на плане.

Таблица 19

Масштаб съемки	Расстояния до контура ситуации, м, при измерении					
	лентой		нитяным дальномером		оптическим дальномером	
	твердых	нетвердых	твердых	нетвердых	твердых	нетвердых
1 : 500	120	150	40	50	80	120
1 : 1000	180	200	60	100	120	180
1 : 2000	250	300	100	120	180	250

Способ линейных засечек применяют в том случае когда снимаемые точки расположены близко к пунктам планового обоснования. Для этого достаточно измерить на местности расстояния $2 - E(14,20)$ и $83,00 - E(15,70)$ (рис. 100, ϵ), чтобы получить положение точки E на плане.

Способом створов определяют плановое положение точек лентой или рулеткой. Для определения положения точки F , находящейся в створе линии $1-2$, достаточно измерить ее расстояние от точки 1 хода (рис. 100, δ).

Способ обхода применяют при съемке контуров леса, угодий, застройки и т. д. Сущность его состоит в том, что по границам такого контура прокладывают теодолитный ход, который и определяет положение снимаемого контура.

Масштабы съемок и составления планов определяются требованиями к планам и их назначением, видом и стадией проектирования сооружений, природными условиями, характером застройки, степенью благоустройства территории и т. п.

Высоту сечения рельефа устанавливают в зависимости от масштаба плана и характера рельефа местности так, чтобы горизонтали на плане не сливались между собой, а рельеф местности изображался с достаточной точностью и легко читался.

§ 73. Теодолитная съемка

Полевые работы. Теодолитную съемку обычно производят на сравнительно небольших участках местности и преимущественно в крупных масштабах. Основой теодолитной съемки служат точки теодолитных ходов, а также пункты геодезической опорной сети. Полевые работы при теодолитной съемке состоят из рекогносцировки снимаемого участка, составления проекта и закрепления точек съемочного обоснования на местности, проложения и привязки теодолитных ходов к пунктам геодезической опорной сети и съемки ситуации местности.

Рекогносцировку или осмотр подлежащего съемке участка производят для установления и закрепления границ участка; опре-

деления направления и положения теодолитных ходов; выбора способов съемки ситуации. Результаты рекогносцировки фиксируют на выкопировке с карты или на составляемом в процессе рекогносцировки схематическом чертеже. По существу это и будет проект теодолитной съемки участка. В процессе рекогносцировки производят закрепление точек теодолитных ходов и их привязку к местным предметам.

Состав полевых работ и последовательность их выполнения при создании съемочного обоснования приведены в § 66.

Горизонтальную съемку местности ведут способами, описанными в § 72. При этом результаты съемки заносят на абрис (рис. 101).

Абрис представляет собой схематический чертеж, составленный от руки в произвольном масштабе; на нем показывают опорные пункты и линии, с которых проводилась съемка, взаимное расположение местных предметов и контуров и результаты измерений, полученные при съемке. На абрисе делают необходимые пояснительные надписи. Абрис является документом, с помощью которого составляется план, поэтому он должен быть составлен аккуратно и четко.

Если с данной станции (линии) съемка контура не закончена, на новой станции ее следует начинать с точки, которая уже была снята с предыдущей станции (линии).

Для контроля наиболее важные объекты или отдельные их точки повторно снимают с другой станции или другим способом.

Камеральные работы. При камеральных работах производят проверку полевых журналов и абрисов, составляют схематический чертеж теодолитных ходов, вычисляют координаты всех точек ходов, на чертежной бумаге строят и составляют ситуационный план местности. При необходимости определяют площади заснятого участка или отдельных его частей.

Составление плана теодолитной съемки начинают с построения координатной сетки. Такую сетку можно построить с помощью линейки Дробышева. Большая линейка Дробышева (рис. 102) имеет девять окон прямоугольной формы. Один поперечный край в каждом окне и правый конец линейки скошены. На скошенной плоскости нулевого окна имеется продольный штрих. Точка *a* является началом счета линейки, а скошенные края остальных окон и правый конец линейки являются дугами концентрических окружностей с центром в точке *a* и радиусами соответственно 1, 2, ..., 10 дм. Такой линейкой можно построить сетку дециметровых квадратов с наибольшим общим размером 6×8 дм ($6^2 + 8^2 = 10^2$). Малая линейка Дробышева имеет шесть

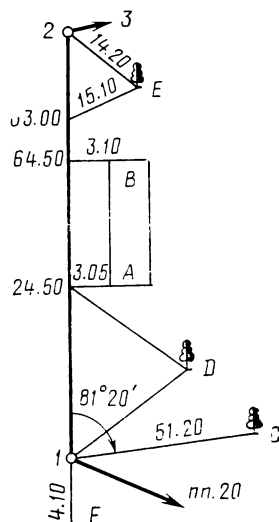


Рис. 101. Абрис

окон; правый скошенный конец ее удален от начала счета на 70,711 см — величину, равную диагонали квадрата со стороной 50 см. Этой линейкой можно построить сетку дециметровых квадратов с наибольшим размером 5×5 дм.

Координатную сетку квадратов размером 30×40 см можно построить как большой, так и малой линейкой Дробышева. На листе чертежной бумаги (рис. 103) примерно параллельно нижнему обре-

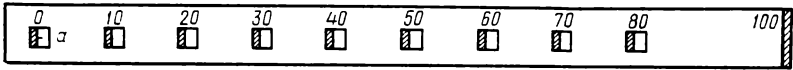


Рис. 102. Большая линейка Дробышева

зу прочерчивают карандашом прямую. Линейку Дробышева накладывают на эту прямую так, чтобы она была видна через окна, а точка a находилась на прямой, и проводят штрихи-черточки по скошенным краям линейки в первых четырех окнах 0, 1, 2, 3. К полученным точкам A и B последовательно прикладывают линейку, совмещая с ними точку a , и примерно перпендикулярно линии AB прочерчивают по скошенным краям в первых пяти окнах черточки

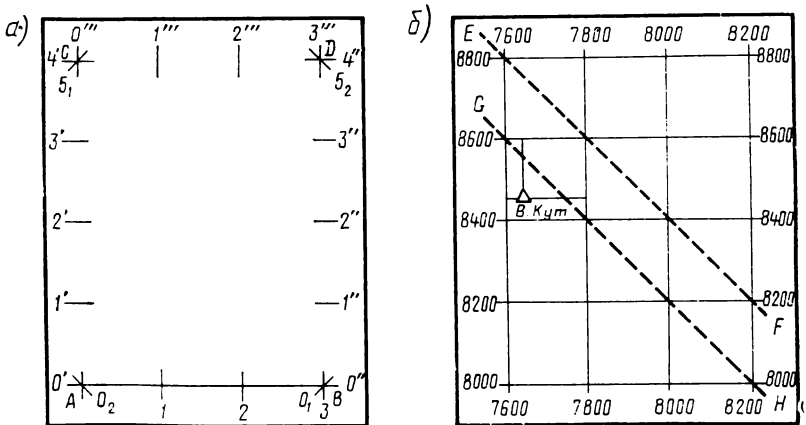


Рис. 103. Построение сетки квадратов линейкой Дробышева:

a — схема построения; b — нанесение точек

$0', 1', 2', 3', 4'$ и $0'', 1'', 2'', 3'', 4''$; черточки в нулевом окне $0'$ и $0''$ должны пройти соответственно через точки A и B . Затем прикладывают линейку точкой a к точке B так, чтобы скошенный край пятого окна пересекал дугу $4'$ и, удерживая ее в этом положении, проводят по скошенным краям в нулевом и пятом окнах 0_1 и 5_1 . В пересечении штрихов $4'$ и 5_1 получают точку C . В результате таких построений будет получен прямоугольный треугольник BAC . Анало-

гичным путем строят второй прямоугольный треугольник ABD . Далее, как и на линии AB , получают точки $0'''$, $2'''$, $3'''$ на линии CD . Затем прочерчивают линии AC , CD и BD (рис. 103, а) и соединяют прямыми соответствующие точки на противоположных сторонах полученного прямоугольника.

Для контроля всех построений укладывают линейку Дробышева по диагоналям, например, EF и GH и т. д.; вершины всех пересекаемых квадратов должны находиться на одной линии. Можно также циркулем-измерителем сравнить диагонали квадратов. В обоих случаях допускается погрешность не более $0,1—0,2$ мм.

Координатную сетку можно построить, пользуясь свойствами диагоналей прямоугольника — они равны и делят друг друга пополам. Проведя на листе бумаги под острым углом прямые AD и BC (рис. 104), откладывают из точки их пересечения произвольные, но равные отрезки $OA—OB—OD—OC$. Полученные в результате таких построений точки $ABCD$ являются вершинами прямоугольника. Построив стороны четырехугольника $ABCD$, откладывают на них дециметровые отрезки и соответствующие точки на противоположных сторонах соединяют прямыми.

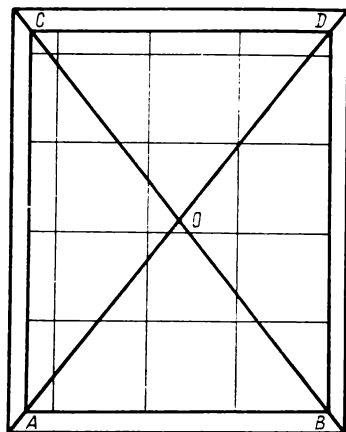


Рис. 104. Построение сетки квадратов с помощью диагоналей

Линии построенной сетки квадратов подписывают в соответствии с координатами пунктов, которые надлежит наносить на план, и масштабом плана. Сетка квадратов на рис. 103, б подписана для масштабов плана $1 : 2000$. Быстрее и более точно координатную сетку можно построить с помощью координатографа или координатной доски.

При нанесении на планшет точек планового обоснования прежде всего определяют квадрат, в который они попадают. Пусть пункт триангуляции «В. Кут» имеет координаты: $x=8451,29$, $y=7642,58$. Он попадает в квадрат сетки $8400—8600$ (см. рис. 103, б) и отстоит от линии сетки x , соответствующей 8400 на $51,29$ м ($8451,29—8400$), а от линии y , соответствующей 7600 — на $42,58$ м ($7642,58—7600$). Отложив на противоположных сторонах установленного квадрата в масштабе плана $\Delta x=51,29$ м и $\Delta y=42,58$ м и проведя через точки прямые, в их пересечении найдем положение пункта «В. Кут» на плане. Аналогичным путем наносят на план все остальные точки по их координатам.

Положение нанесенных на план пунктов контролируют сравнением измеренных между ними расстояний с соответствующими горизонтальными проложениями линий местности, записанными в

графе 7 табл. 13. Допустимое расхождение не должно превышать величины 0,2 мм в масштабе плана.

План теодолитной съемки составляют по данным абрисов съемки. Местные предметы и характерные точки контуров наносят в соответствии с результатами и способами съемки.

Точки, снятые способом перпендикуляров, строят измерителем и масштабной линейкой; перпендикуляры к сторонам хода восстанавливают прямоугольным треугольником и линейкой.

Точки, снятые способом полярных координат, наносят транспортиром, масштабной линейкой и измерителем. Для этого центр транспортира прикладывают в точке хода, на которой при съемке стоял теодолит, а нулевой диаметр его совмещают с линией, по которой был ориентирован лимб. Отметив на бумаге все полярные углы, прочерчивают направления и откладывают на них в масштабе плана соответствующие радиусы-векторы.

Точки, снятые угловыми засечками, строят транспортиром и линейкой; углы на плане строят от тех же опорных линий, от которых их измеряли при съемке. Точки, снятые способом линейных засечек, наносят на план измерителем и масштабной линейкой. Точки, снятые створным способом, строят в створе соответствующих сторон хода измерителем и масштабной линейкой.

По мере накладки точек на план по ним вычерчивают в соответствии с абрисом необходимые контуры и предметы местности и заполняют их соответствующими условными знаками. Составленный план тщательно корректируют, после чего вычерчивают и оформляют в соответствии с утвержденными таблицами условных знаков. Корректировку плана часто производят непосредственно в поле.

§ 74. Тахеометрическая съемка

Тахеометрическая съемка является одним из видов топографической съемки местности, в результате которой получают топографический план участка. Съёмочным обоснованием тахеометрической съемки могут быть теодолитно-нивелирные, теодолитно-высотные или тахеометрические ходы. Съёмку предметов, контуров и рельефа местности производят полярным способом, а отметки точек определяют тригонометрическим нивелированием.

При съемке подробностей местности вертикальные и горизонтальные (полярные) углы измеряют при одном положении вертикального круга (например, при круге право), отсчеты берут по одному отсчетному приспособлению. Расстояния до снимаемых точек измеряют нитяным дальномером.

Тахеометрической съемке предшествует рекогносцировка местности, составление проекта съемки и создание съёмочного обоснования.

Перед началом съемки выполняют все основные поверки теодолита, а также определяют место нуля вертикального круга и приводят его к значению, близкому к 0° .

Порядок работы на станции на основе уже созданного обоснования съемки следующий:

1) устанавливают теодолит в рабочее положение над точкой хода, измеряют высоту инструмента, отмечают ее на рейке и записывают в журнал (табл. 20);

Таблица 20

Журнал тахеометрической съемки

№ точек на бланке	Отсчеты по кругу				Дальномерное расстояние, м	Горизонтальные проложения, м	Угол наклона γ		Высота наведения h , м	Превышения h , м	Отметки реальных точек, м
	горизонтальному		вертикальному				°	′			
	о	′	о	′							

Круг право

Ст. II, $i=1,36$, $MO=+0^{\circ}01'$, $H_{II}=147,35$

Ст. III	0	00										
8	30	32	3	19	72	71,7	+3	18	1,36	+4,14	151,49	
9	71	24	3	44	50	49,8	+3	43	1,36	+3,24	150,59	
10	106	10	2	47	62	62,0	+2	46	1,36	+3,00	150,35	
11	129	15	1	12	90	90,0	+1	11	1,36	+1,86	149,21	
12	172	20	359	45	112	112,0	-0	16	1,36	-0,52	146,83	

2) совмещают нуль лимба с нулем алидады и вращением лимба трубой визируют на смежный пункт съемочного обоснования (например, ст. III, рис. 105); закрепляют лимб и открепляют алидаду;

3) последовательно на все характерные точки местности устанавливают дальномерные рейки (эти точки называют речными или пикетными; на местности их не закрепляют), визируют на них трубой; снятые отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам и дальномеру записывают в журнал. Трубу на рейку наводят так, чтобы вертикальная нить сетки совмещалась с осью рейки, а горизонтальная — с меткой, соответствующей отмеченной высоте инструмента. Затем рейку последовательно переносят на каждую следующую пикетную точку и все действия повторяют.

Речные точки выбирают на всех характерных точках местности так, чтобы по ним можно было изобразить на плане рельеф, предметы и контуры местности. Расстояние до речных точек и между ними зависят от масштаба съемки и устанавливаются техническими инструкциями.

В процессе съемки на каждой

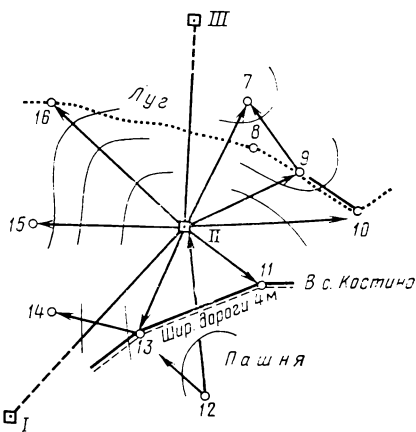


Рис. 105. Абрис тахеометрической съемки

станции составляют абрис (рис. 105) — схематический чертеж в произвольном масштабе. На нем изображают станцию, предыдущую и последующую линии хода, расположение всех речных точек, снимаемые предметы и контуры местности, а также стрелками показывают направления скатов. При сложном рельефе на абрисе схематически показывают его горизонталями.

По окончании работы на станции трубу снова наводят на ориентируемый пункт и контрольный отсчет записывают в журнал. Если контрольный отсчет отличается от первоначального более чем на

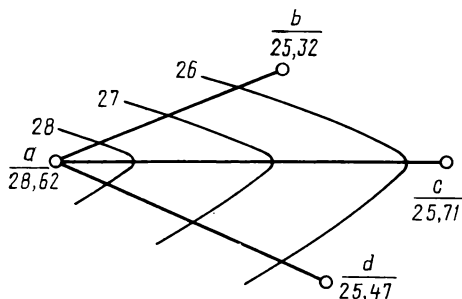


Рис. 106. Горизонтали

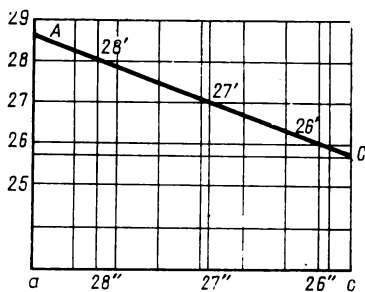


Рис. 107. Графическое интерполирование

$\pm 5'$, то это значит, что лимб в процессе съемки сместился, и работу на станции следует переделать.

Камеральные работы при тахеометрической съемке состоят из проверки записей в полевых журналах и абриса вычисления углов наклона, горизонтальных проложений всех измеренных расстояний, превышений, отметок точек, составления и оформления плана.

Составление плана тахеометрической съемки начинают с накладки точек съемочного обоснования, после чего наносят все пикетные точки.

Техника нанесения на план пикетных точек такая же, как при составлении плана теодолитной съемки способом полярных координат. Возле речных точек на плане подписывают карандашом их отметки.

После того как снятые с данной станции пикеты нанесены на план, по ним вычерчивают предметы и контуры местности, а также изображают рельеф горизонталями; при этом руководствуются данными абриса (рис. 106). Порядок построения горизонталей следующих.

Пусть на плане (рис. 106) требуется провести горизонтали с высотой сечения рельефа через 1 м между точками a и c , отметки которых соответственно равны 28,62 и 25,71 м.

Обрезанный по сантиметровой линии лист миллиметровки прикладывают к точкам a и c плана (рис. 107).

В произвольном вертикальном масштабе наносят на миллиметровке отметки a и c ; тогда получают профиль линии ac . Оцифровы-

вают сантиметровые линии миллиметровки в убывающем сверху вниз порядке. Точки 26'; 27'; 28' пересечения линии профиля *АС* с оцифрованными линиями миллиметровки проектируют на линию *ас*. Точки 26'', 27'' и 28'' на линии *ас* соответствуют горизонталям с отметками 26, 27 и 28 м. Миллиметровку прикладывают к точкам *a* и *c* плана и отмечают карандашом следы горизонталей на линии *ас*. Аналогично находят следы 26, 27 и 28-й горизонталей и на линиях *ab* и *ad*, после чего одноименные точки соединяют плавной кривой. Получают изображение рельефа местности горизонталями (см. рис. 106). Рассмотренный способ называется способом графической интерполяции.

Строить горизонтали можно также аналитически или с помощью палетки—прозрачной бумаги, на которой проведены параллельные линии.

В настоящее время при производстве тахеометрической съемки широко используют тахеометры-автоматы, позволяющие непосредственно измерять горизонтальные проложения линий и превышения точек. Применение таких инструментов освобождает исполнителя от вычислений и измерения вертикальных углов, что приводит к существенному повышению производительности труда и сокращению средств на съемку местности.

§ 75. Нивелирование поверхности

Способ нивелирования поверхности по квадратам применяют на открытой местности со слабо выраженным рельефом. Построение сетки квадратов производят теодолитом и лентой (дальномером) по принципу перехода от общего к частному. Сначала строят сетку больших квадратов со сторонами 100—200 м (и больше), после чего каждый из них разбивают на более мелкие квадраты. Точки закрепляют забитыми вровень с землей колышками, а рядом с колышком забивают сторожок, на котором надписывают номер точки.

Порядок нивелирования квадратов зависит от их размеров: при размерах сторон 100×100 м и больше нивелируют в отдельности каждый квадрат; при меньшем размере с одной станции нивелируют несколько квадратов (рис. 108).

При нивелировании каждого квадрата в отдельности правильность отсчетов по рейкам можно контролировать по методу сравнения разностей горизонтов инструмента на смежных станциях:

$$b_1 - a_1 = b_2 - a_2, \quad (200)$$

где a_1 и a_2 — отсчеты по рейкам с первой станции; b_1 и b_2 — отсчеты по рейкам, установленным на тех же вершинах квадрата, с другой станции. Если разности (200) не превышают по абсолютной величине 20 мм, то работу считают удовлетворительной. В противном случае необходимо проверить отсчеты.

При нивелировании с одной станции нескольких квадратов (см. рис. 108) точки для установки нивелира выбирают так, чтобы они

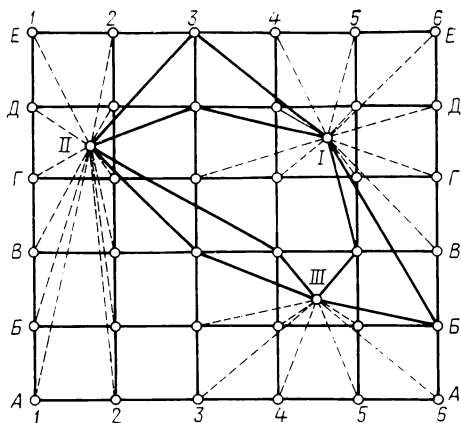


Рис. 108. Нивелирование поверхности

образовывали замкнутый ход. Для надежного контроля нивелирования берут по две связующие точки и проверяют качество отсчетов по формуле (200). На рис. 108 сплошными линиями показаны направления на связующие точки, а пунктирными — на промежуточные точки.

Камеральные работы начинают с проверки результатов измерений (отсчетов) и вычислений. Затем по формулам (187) или (188) определяют фактическую невязку в основном нивелирном ходе и сравнивают ее с допустимой, определяемой по формуле (195). Если

полученная фактическая невязка по абсолютной величине не превышает допустимой, то ее распределяют поровну на все станции с обратным знаком и вычисляют отметки всех связующих точек и горизонты инструмента для каждой станции. Отметки промежуточных точек вычисляют по формуле (118).

Составление плана начинается с построения на бумаге в соответствующем масштабе сетки квадратов. Около каждой точки на плане подписывают ее отметку, округленную до 0,01 м. Затем способом, указанным в § 74, проводят горизонталы с заданной высотой сечения рельефа.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется съемкой местности и какие ее основные виды?
2. Как разделяются съемки местности по наименованию основного инструмента, которым ведут полевые работы?
3. Какие основные способы съемки ситуации и рельефа?
4. Какой порядок полевых работ при теодолитной съемке?
5. В чем заключаются камеральные работы при теодолитной съемке местности?
6. Как построить координатную сетку с помощью линейки Дробышева?
7. В чем заключается тахеометрическая съемка местности?
8. Какими способами можно построить на плане горизонталы?
9. Какой порядок полевых работ при нивелировании поверхности?

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Геодезические работы в строительном-монтажном производстве

ГЛАВА XII. ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

§ 76. Задачи геодезического обслуживания строительства

В условиях современной строительной площадки геодезические работы являются неотъемлемой частью всего технологического процесса строительного-монтажного производства. Геодезические разбивочные работы выполняют по единому для данной строительной площадки графику, который строго увязывают со сроками общестроительных, монтажных и специальных работ. Такой совмещенный график геодезического обеспечения предусматривают на всех этапах строительства: при составлении проектов организации строительства (ПОС) и проектов производства работ (ППР).

Геодезические разбивочные работы производят для того, чтобы построить здание или сооружение в соответствии с формами и размерами, указанными в его проекте. Эти работы по переносу проекта здания или сооружения в натуру являются составной частью почти всех технологических процессов строительного производства. Они предшествуют каждому виду строительных работ, сопутствуют ему и завершают создание любого сооружения. Различают основные и детальные геодезические разбивочные работы и делят их на плановые и высотные.

Основные плановые разбивочные работы заключаются в определении на местности положения главных осей инженерных сооружений. Они выполняются от пунктов планового геодезического обоснования, построенного на стройплощадке.

Детальные плановые геодезические разбивочные работы выполняются для определения в плане положения частей и элементов конструкций сооружения относительно этих осей.

Основные высотные разбивочные работы преследуют цель — вынос основных высотных реперов на стройплощадку. Чаще всего это относится к определению высоты геодезических

пунктов и выноса (реперов) на уровень пола первого этажа «строительного нуля». Детальными высотными разбивочными работами определяют местоположение элементов конструкции по высоте в процессе их монтажа. Часто построение запроектированных форм и размеров сооружения в натуре выполняет одновременно в плане и по высоте. Проводимые в этом случае геодезические разбивочные работы называют пространственными или планово-высотными.

Во всех случаях основные геодезические разбивочные работы предшествуют детальным. Они включают создание геодезической основы и разбивку осей. Создание геодезической основы, так же как и выполнение всего комплекса геодезических разбивочных работ, ведется в соответствии с заранее разработанным проектом производства геодезических работ (ППГР) на строительной площадке. Такой проект является органической частью проекта производства строительных работ (ППР).

Создание геодезической основы состоит из установки на строительной площадке геодезических пунктов, выполнения геодезических измерений и их математической обработки. Положение геодезических пунктов выбирают с таким расчетом, чтобы обеспечить практическую сохранность и устойчивость их в процессе производства строительных работ и удобство использования при выполнении геодезических измерений.

Геодезическая основа делится на наружную и внутреннюю. Пункты наружной геодезической основы располагают вне здания или сооружения, а внутренней — в пределах здания или сооружения. Вначале создается наружная, а затем внутренняя геодезическая основа.

Наружная геодезическая основа служит для выполнения главным образом нулевого цикла строительных работ — инженерной подготовки строительной площадки, устройства котлована, искусственного основания и фундамента. В процессе этого цикла здание или сооружение возводится до горизонтальной поверхности, отметку которой называют строительным нулем. От него ведется разбивка сооружения по высоте при выполнении основного цикла строительного-монтажных работ.

Наружная геодезическая основа развивается путем сгущения геодезической основы, созданной в процессе инженерных изысканий, включающих картографирование строительной площадки. Однако взаимное положение пунктов наружной геодезической основы должно быть определено более точно, чем пунктов геодезической основы, построенной в процессе крупномасштабной топографической съемки строительной площадки. Поэтому путем сгущения выполняется только перенос проекта наружной геодезической основы разбивочных работ. Для получения более точного взаимного положения пунктов наружной геодезической основы ведутся геодезические измерения повышенной точности, в результате которых создается локальная геодезическая основа.

Внутренняя геодезическая основа развивается путем сгущения наружной основы. Взаимное положение пунктов внутренней геоде-

зической основы должно быть, как правило, получено с более высокой точностью, чем пунктов наружной основы. С этой целью производят геодезические измерения повышенной точности, в результате которых получают локальное геодезическое построение.

Плановая геодезическая основа строится методами триангуляции, трилатерации и полигонометрии, а высотная — методами геометрического и тригонометрического нивелирования. Положение пунктов плановой геодезической основы определяется прямоугольными координатами X , Y . Привязка геодезической основы разбивочных работ к геодезической основе, созданной при топографической съемке строительной площадки, обеспечивает определение координат пунктов в системе, принятой для картографирования страны. Однако практически пользуются условными рабочими координатами. Началом этой системы координат служит пункт, расположенный в юго-западном углу строительной площадки. Это делается для того, чтобы координаты всех пунктов были плюсовыми, что позволит избежать ошибки при вычислениях и разбивках.

Положение пунктов высотной геодезической основы разбивочных работ определяется отметками (высотами) H . Привязка к геодезической основе, созданной в процессе инженерных изысканий, обеспечивает возможность определения отметок пунктов в системе высот, принятой для картографирования страны. Практически пользуются рабочими высотами. Счет их ведут от строительного нуля. Чаще всего создают совместную планово-высотную геодезическую основу разбивочных работ, положение каждого пункта которой определяют координатами и отметками. Своеобразным построением является геодезическая основа в виде пространственной геодезической сети, развиваемой при возведении многоэтажных сборных зданий и сооружений.

Закрепляют пункты плановой геодезической основы полигонометрическими знаками различной конструкции, а пункты высотной геодезической основы — реперами или марками. Для закрепления пунктов планово-высотной геодезической основы, в том числе пространственной геодезической сети, применяют совмещенные геодезические знаки — реперы или марки с центрами.

Точность взаимного положения пунктов геодезической основы разбивочных работ определяется допусками, установленными в строительном производстве. Для наружной геодезической основы используют допуски, установленные при производстве нулевого цикла строительных работ, а также допустимые погрешности, которые следует выдержать для наблюдений за равномерными осадками и сдвигами сооружения. Для внутренней геодезической основы пользуются допусками, установленными при производстве основных строительно-монтажных работ, главным образом на завершающих этапах замыкания строительных конструкций при установке их в проектное положение. Кроме того, точность внутренней геодезической основы определяется допустимыми погрешностями

наблюдений за неравномерными осадками и сдвигами сооружения.

Система допусков и посадок при возведении зданий и сооружений рассматривается в строительной метрологии. Эта недавно возникшая область научных знаний еще более точно связывает инженерную геодезию со многими строительными дисциплинами и в первую очередь с технологией строительного производства. Во всяком случае, расчет необходимой точности геодезической основы ведут одновременно с расчетом точности всего комплекса разбивочных работ, а также точности изготовления конструкций и производства строительно-монтажных работ.

§ 77. Строительные допуски и нормы точности геодезических разбивочных работ

Рассмотрим требования, предъявляемые Строительными нормами и правилами (СНиПами), по обеспечению геометрической точности сборных конструкций. Ознакомимся предварительно с понятиями и терминологией по системе допусков.

Проектная точность геометрического размера характеризуется: номинальным значением размера l_0 , заданным в проекте; наибольшим $l_{\text{макс}}$ и наименьшим $l_{\text{мин}}$ предельными значениями; верхним $\delta^{\text{в}}$ и нижним $\delta^{\text{н}}$ предельными отклонениями, которые вычисляются по формулам

$$\delta^{\text{в}} = l_{\text{макс}} - l_0; \quad \delta^{\text{н}} = l_{\text{мин}} - l_0; \quad (201)$$

допуском или полем допуска Δ , представляющим собой разность между наибольшим и наименьшим предельными значениями:

$$\Delta = x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}} = \delta^{\text{в}} - \delta^{\text{н}}. \quad (202)$$

Действительная точность геометрического размера характеризуется значением действительного отклонения δ_i , являющимся разностью действительного l_i и номинального l_0 значений:

$$\delta_i = l_i - l_0. \quad (203)$$

Система допусков в строительстве построена на принципе группировки производственных процессов по классам точности. Для погашения накопившихся на определенном участке погрешностей в сборных конструкциях предусматриваются специальные устройства в виде зазора, шва или площадки опирания одного элемента конструкций на другой. Такие устройства называют компенсатором.

Требования к точности выполнения разбивочных работ приведены в СНиП III-2—75, в котором в зависимости от характеристики здания и вида конструкции даны шесть классов точности разбивки, характеризуемых значениями средних квадратических погрешностей измерения углов m_{β} , превышений m_h и относительной погрешности измерения линий m_l/l (табл. 21).

Таблица 21

Класс точности	Характеристика зданий, сооружений и конструкций	m_p , с	m_l/l	m_h , мм
1-р	Металлические конструкции с фрезерованными поверхностями. Сборные железобетонные конструкции, монтируемые методом самофиксации в узлах.	10	1:15 000	1
2-р	Здания выше 16 этажей или с пролетами более 36 м и сооружения высотой более 60 м	10	1:10 000	2
3-р	Здания выше 5 до 16 этажей или с пролетами более 6 до 36 м и сооружения высотой более 15 до 60 м. Металлические, сборные железобетонные конструкции со сварными и болтовыми соединениями	20	1:5 000	2
4-р	Здания до 5 этажей или с пролетами до 6 м и сооружения высотой до 15 м. Железобетонные монолитные конструкции в переставной и стационарной опалубке. Конструкции из бетонных блоков и кирпича. Деревянные конструкции	30	1:2 000	5
5-р	Земляные сооружения	45	1:1 000	10
6-р	Прочие сооружения	60	1:500	50

§ 78. Техническая документация для производства геодезических работ

Геодезические разбивочные работы на строительной площадке выполняют на основе геодезических и строительных чертежей и дополнительных расчетов.

Основным техническим документом, который освещает принципы организации строительства, например, промышленного предприятия, является генеральный план, на котором показано взаимное расположение подземных и надземных зданий и сооружений.

В зависимости от назначения и требований строительного производства различают: генеральные планы постоянных зданий и сооружений, строительные генеральные планы (стройгенпланы), исполнительные генеральные планы.

Генеральный план постоянных зданий и сооружений охватывает полный комплекс долговечных зданий и сооружений на всей строительной площадке. Генеральный план составляют в масштабе 1:500, 1:1000, 1:2000.

Строительный генеральный план является проектом расположения всего комплекса проектируемых капитальных зданий и сооружений, временных и вспомогательных сооружений (бетонных, шлакоблочных заводов, мастерских), строительного транспорта (автомобильных и железных дорог), временных инже-

нерных сетей (водопровода, линий электропередачи и связи, теплофикационных магистралей и т. д.) и временных складских и административно-служебных помещений.

Исполнительный генеральный план фиксирует фактическое положение возведенных зданий и сооружений; его составляют после окончания всех строительного-монтажных работ.

Кроме генеральных планов геодезическая служба широко использует рабочие чертежи зданий и сооружений, из которых основными являются следующие.

Заглавный лист проекта, который содержит основную характеристику здания или сооружения: допускаемые напряжения на грунт, плано-высотную геодезическую привязку объекта с указанием условной нулевой отметки и связи условных отметок с абсолютными.

План разбивки основных осей сооружений, на котором показывают продольные и поперечные основные оси, характеризующие габарит данного объекта. На таком плане (или приложенной к нему ведомости) приводят координаты пересечения продольных и поперечных основных осей, характерных частей здания, координаты углов поворота автомобильных дорог, опор линий электропередачи, центров стрелочных переводов железнодорожных путей, колодцев инженерных подземных коммуникаций (ИПК) и др.

План фундаментов, на котором показывают все разбивочные оси с привязками к ним отдельных элементов фундамента, его ширину, глубину заложения, расстояния между осями и др.

План фундаментов под оборудование, на котором показывают оси фундаментов промышленного оборудования (резервуары, центрифуги, прессы и др.), а также размеры и глубину их заложения с привязкой к основным осям зданий и сооружений.

Вертикальные разрезы, характеризующие архитектуру здания, глубину заложения фундаментов, высоту оконных и дверных проемов, конструкцию отдельных элементов здания. Вертикальные разрезы в зависимости от сложности и величины объекта могут быть вынесены на отдельные листы или помещены на чертеже, содержащем план здания.

Монтажные чертежи промышленного и технологического оборудования, которые используют для точных геодезических разбивок основных и вспомогательных осей и выноса проектных отметок. К монтажным чертежам прилагаются детальные схемы с указанием отдельных элементов оборудования. На монтажных чертежах показывают контуры строительных конструкций и устанавливаемого технологического оборудования.

В состав строительных чертежей входят также чертежи по выносу в натуру проекта вертикальной планировки.

Промышленные и гражданские здания и сооружения строят заранее разработанным проектам. До недавнего времени при использовании типовых проектов применялось двустадийное проектирование, при котором разрабатывалось проектное задание, имеющее своей целью выявить техническую возможность и экономиче-

скую целесообразность предполагаемого строительства. Затем разрабатывались рабочие чертежи, которые содержали конструктивные детали отдельных сооружений и устройств, включая разбивочные чертежи, привязки и т. д.

§ 79. Организация геодезической службы в строительстве

В зависимости от сложности и объема строительного-монтажных работ на строительной площадке возможны следующие основные формы организации инженерно-геодезического обслуживания строительства.

1. Геодезические работы выполняет субподрядная геодезическая организация или специальная геодезическая группа, созданная на объекте строительства. В этом случае в задачу строителей входят утверждение планов и смет на геодезические работы, а также контроль за графиком выполнения этих работ. Такая форма организации работ целесообразна при строительстве сложных и крупных объектов.

2. Наиболее сложные геодезические работы выполняют субподрядная геодезическая организация или специальная группа, созданная на объекте строительства, а строители выполняют менее сложные геодезические работы. Такая форма организации работ практикуется в жилищно-гражданском строительстве.

3. Геодезические работы на объекте строительства выполняют сами строители. Такая форма организации работ возможна только на небольших и несложных строительных объектах.

Геодезическая служба в строительном-монтажных организациях зависит от их структуры.

При управлении строительного треста имеется геодезическая группа, главная задача которой — обеспечить подразделения строительных управлений исходными геодезическими данными. Совместно с проектно-изыскательскими организациями группа треста составляет проекты производства геодезических работ, разбивочной основы площадок, контролирует точность ее построения, а в отдельных случаях производит разбивку строительной сетки и основных осей крупных объектов.

В строительных управлениях в составе производственно-технического отдела имеется инженер или техник-геодезист. При большом объеме строительного-монтажных работ может быть организована геодезическая группа. Эта группа проводит разбивку и закрепление основных осей сооружений; периодически контролирует отметки исходных реперов и марок, расположенных на территории строительной площадки; производит дополнительное развитие геодезической основы; на основании документации рабочего проекта составляет разбивочные чертежи; контролирует всю исполнительную документацию по разбивочным работам и приемке зданий; обеспечивает плано-высотными разбивками строительство земляных сооружений, коммуникаций, фундаментов, монтаж строительных

конструкций и оборудования; выполняет исполнительную съемку по этапам строительно-монтажных работ.

На каждом участке инженеры и техники-строители под контролем инженера-геодезиста (или техника) выполняют детальную разбивку и геодезическое обслуживание строительно-монтажных работ.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое генеральный план постоянных зданий и сооружений?
2. Что такое строительный генеральный план?
3. В чем сущность двустадийного проектирования?
4. Какую документацию разрабатывают при одностадийном проектировании?
5. Что такое допуск размера?
6. Что такое допускаемое отклонение?
7. Что называется компенсатором?
8. Сколько существует классов точности разбивочных работ?

ГЛАВА XIII. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

§ 80. Общие сведения

Геодезические работы в современном промышленном и гражданском строительстве являются составной частью технологического процесса строительно-монтажного производства. Они предшествуют и сопутствуют проектированию, строительству и эксплуатации инженерных сооружений.

Так, первому этапу (проектированию) предшествуют инженерно-геодезические изыскания, задача которых состоит в подготовке данных в виде карт, планов, профилей, служащих основой для правильного размещения проектируемых объектов строительства и организации территории, на которой это строительство будет осуществлено. Изыскания проводят в два этапа: предварительный и окончательный.

В процессе самого проектирования часто составляют проект инженерной подготовки участка под строительство, производят геодезические расчеты, связанные с размещением сооружений в плане и по высоте.

Следующему этапу — непосредственно строительству — предшествуют вынос проекта в натуру и детальная разбивка сооружений, а в процессе возведения зданий и сооружений осуществляют геодезическое обслуживание строительно-монтажных операций.

Сдаче законченных объектов строительства в эксплуатацию предшествуют исполнительные съемки, а в период эксплуатации зданий и сооружений ведут наблюдения за их деформациями.

§ 81. Инженерно-геодезические изыскания для проектирования инженерных сооружений

При проектировании инженерных сооружений чаще всего используют имеющиеся топографические планы масштабов 1:2000 и 1:5000.

Разработке рабочего проекта предшествует топографическая съемка строительной площадки в масштабе 1:1000—1:500. Для производства топографической съемки строительной площадки создается геодезическое обоснование. Под крупные стройки геодезическим обоснованием служат государственные опорные геодезические сети, на основе которых создают геодезические сети сгущения в виде аналитических сетей, полигонометрии 1-го и 2-го разрядов. В качестве высотной основы принимают нивелирную сеть IV класса, а иногда и технического нивелирования.

Топографическую съемку в масштабах 1:500 и 1:1000 производят в зависимости от характера строительной площадки. Если площадка частично застроена зданиями городского типа, то обычно выполняют отдельно горизонтальную и вертикальную съемки. При этом горизонтальная съемка состоит из внутриквартальной съемки и съемки проездов. Вертикальную съемку выполняют геометрическим или тригонометрическим нивелированием. Горизонтальную и вертикальную съемки незастроенных территорий производят совместно.

Если на строительной площадке имеются составленные ранее топографические планы масштабов 1:500 или 1:1000, то во многих случаях нет необходимости в новых съемочных работах, а достаточно откорректировать имеющиеся планы. Часто планы масштаба 1:500 получают путем пантографирования или фотоувеличения плана, составленного в масштабе 1:1000.

При выборе масштаба топографической съемки и создания топографической основы, предназначенной для проектирования инженерных сооружений, необходимо учитывать:

точность съемки и топоосновы должна удовлетворять назначению каждого из видов генеральных планов;

масштаб съемки должен быть согласован с точностью определения положения пунктов геодезической основы, контуров, рельефа и др.;

площадь территории, подлежащей съемке, должна быть установлена в соответствии с требованиями и реальной необходимостью для каждой стадии проектирования.

Выбор масштаба и точности съемки, которые неразрывно связаны между собой, являются решающими факторами при проведении любых топографо-геодезических работ. В инженерной практике обычно эти требования регламентируются ведомственными инструкциями.

Выбор масштаба съемки в значительной степени зависит от необходимой точности получения плановых графических данных и изображения рельефа; возможности и удобства изображения на

плане контуров отдельных объектов; рентабельности съемки и размеров плана.

Выбор точности изображения рельефа на топографическом плане зависит от необходимой точности вычисления земляных работ; заданной точности определения высот существующего рельефа в связи с проектированием отдельных сооружений; масштаба плана.

Опорная геодезическая сеть для съемок территорий под строительство зависит от их площади и строится согласно требованиям соответствующих инструкций.

Для обеспечения инженерных работ, требующих особо высокой точности геодезической основы, разрешается создавать сети специального назначения по программе, разрабатываемой для каждого отдельного случая.

Геодезическую плановую и высотную основы для съемки территории под строительство создают в период производства инженерно-геодезических изысканий. Густоту пунктов и вид съемочного обоснования выбирают в каждом конкретном случае отдельно и обуславливают проектом. Съёмочное обоснование создают или в развитие триангуляционных, полигонометрических и нивелирных сетей, или в качестве самостоятельной опоры; оно состоит из теодолитных ходов или заменяющих их аналитических сетей, геометрического и тригонометрического нивелирования (см. гл. IX и X).

§ 82. Геодезические работы при изысканиях сооружений линейного типа

При проектировании промышленных сооружений часто возникает необходимость в трассировании внешних подводящих сетей (подъездных железных и автомобильных дорог, линий электропередачи, сети связи, водопровода, теплосети и др.) от пунктов приямка до промышленной площадки. Кроме того, между промышленной площадкой и местами сброса должны быть проложены трассы таких отводящих сетей, как фекальная, промышленная и ливневая канализация, дренаж, открытые водоотводящие канавы и др. На стадии предварительных изысканий трассирование внешних сетей можно выполнить камеральным путем, пользуясь картографическими данными. В процессе камерального трассирования составляют планы и профили трасс в масштабах имеющихся картографических материалов. Для составления рабочего проекта производят окончательные изыскания трасс с закреплением их в натуре, с разбивкой поперечников, пикетажа через 100 м и круговых или переходных кривых, где это потребует по техническим условиям. Завершающим этапом изысканий трасс является составление плана, профиля трассы и поперечников.

Разбивка пикетажа и поперечников. Эти работы начинают с проложения и закрепления на местности избранного направления трассы. Для этого, пользуясь планово-картографическими данными

ми, на которых запроектирована трасса, отыскивают на местности начальную, две-три промежуточные точки трассы и вершину первого угла поворота.

Начальную точку трассы закрепляют кольшком длиной 15—20 см и рядом с ним забивают сторожок (кол длиной 30—35 см), чтобы он выступал от поверхности земли на 10—20 см. На сторожке ставят номер пикета. Начальную точку трассы привязывают к твердым местным предметам минимум тремя промерами и делают зарисовку местности вокруг этой точки. Над начальной точкой устанавливают теодолит, а на промежуточных точках трассы и на вершине первого угла поворота ставят вехи. Визируют зрительной трубой теодолита на вершину угла поворота и отсчитывают магнитный азимут. Между вершиной угла и теодолитом на оси трассы выставляют вехи через 60—100 м. В направлении вех в их створе откладывают отрезки длиной 100 м, называемые пикетами, концы закрепляют кольями со сторожками. Также закрепляют на местности все точки перелома поверхности земли. Начальную точку отмечают на сторожке как *ПКО*, а следующие пикетные точки нумеруют по порядку (*ПК1*, *ПК2* и т. д.). Точки перелома поверхности нумеруют по предшествующему пикету плюс расстояние до этой точки (например, *ПК1+80*). Такие точки называют *плюсовыми*. При разбивке трассы ведут пикетажный журнал (рис. 109), изготовляемый из миллиметровой бумаги. Направление трассы показывают прямой линией с условным обозначением углов поворота стрелками влево или вправо. На оси трассы отмечают все закрепленные на местности пикетные и плюсовые точки.

Одновременно с разбивкой пикетажа по обеим сторонам от оси трассы производят съемку полосы местности и разбивают поперечники (отрезки линий, пересекающие трассу).

Ширина полосы съемки зависит от характера будущего сооружения и устанавливается соответствующими техническими инструкциями. В полосе шириной 20—25 м с каждой стороны оси трассы съемку ведут инструментально, в основном способом перпендикуляров, а при необходимости съемки более широкой полосы — полуинструментально (глазомерно).

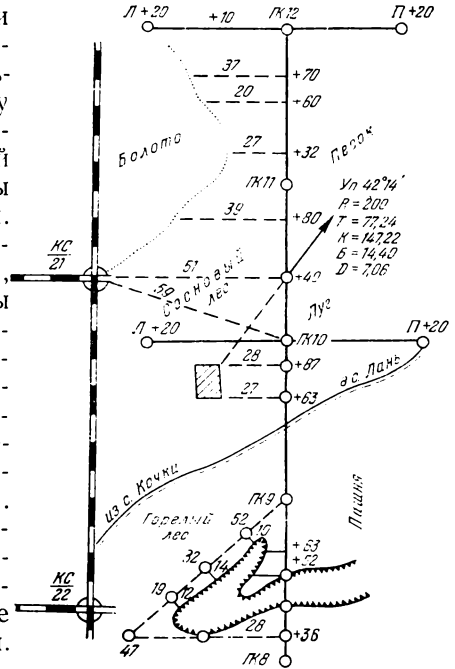


Рис. 109. Пикетажный журнал

Поперечники, направление и длина которых зависят от рельефа местности и характера проектируемого сооружения, служат для характеристики отдельных участков трассы в перпендикулярном к ней направлении. При разбивке поперечников пользуются экером и рулеткой или лентой. Короткие перпендикуляры откладывают на

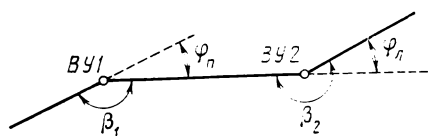


Рис. 110. Углы поворота трассы

глаз. Все характерные точки поперечника закрепляют кольями и сторожками. На сторожках отмечают номер пикета, против которого он стоит, и указывают, находится ли он справа или слева по ходу. Например, ПК 10+20 (рис. 109) означает, что точка находится на перпендикуляре против пикета 10 в 20 м справа по ходу.

Дойдя до вершины угла поворота трассы (ВУ), измеряют правый по ходу угол β (рис. 110) одним приемом. Угол поворота трассы φ будет вправо, если $\beta < 180^\circ$:

$$\varphi_{\text{прав}} = 180^\circ - \beta_1 \quad (204)$$

и влево, если $\beta > 180^\circ$:

$$\varphi_{\text{лев}} = \beta_2 - 180^\circ. \quad (205)$$

В пикетажном журнале отмечают и записывают положение по пикетажу вершины угла поворота (ВУ), величину φ и направление.

Расчет, разбивка и закрепление основных элементов кривых на трассе. У вершин углов поворота трассы производят разбивку кривых. Радиусы кривых для каждого сооружения стандартные и принимаются согласно техническим условиям проектирования.

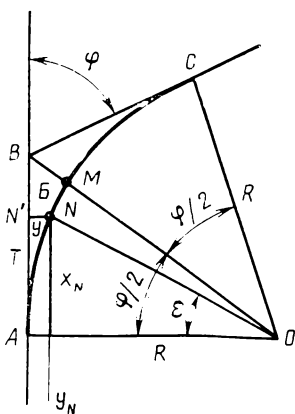


Рис. 111. Элементы кривой

При изменении направления трассы АВ на ВС (рис. 111) ось будущего сооружения располагается по сопрягающей оба направления кривой АМС, называемой закруглением — круговой кривой. Из рис. 111 следует, что центральный угол АОС равен углу φ поворота трассы; отрезок ОВ является биссектрисой угла φ . Таким образом, точка М расположена в средней части дуги. Точки А, М, С являются главными точками круговой кривой и называются началом (НК), серединой (СК) и концом (КК) кривой.

Для разбивки на местности главных точек круговой кривой необходимо кроме угла поворота и ее радиуса определить

значения следующих четырех величин, называемых основными элементами круговой кривой (см. рис. 111):

длины отрезков касательных $AB=BC=T$, называемых тангенсами:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}; \quad (206)$$

длину кривой $AMC=K$

$$K = \pi R \frac{\varphi}{180^\circ}; \quad (207)$$

расстояние $BM=B$ от вершины угла до середины кривой, называемое биссектрисой:

$$B = OB - OM = \frac{R}{\cos \frac{\varphi}{2}} - R, \text{ откуда}$$

$$B = R \left(\sec \frac{\varphi}{2} - 1 \right); \quad (208)$$

диаметр D :

$$D = 2T - K. \quad (209)$$

Значения T , K , B и D находят в специальных таблицах* по заданному радиусу R и углу φ поворота трассы или вычисляют с помощью микрокалькулятора.

Так как по трассе разбивается пикетаж, то нужно вычислить пикетажное наименование начала HK и конца KK круговой кривой (вставить кривую в пикетаж). Для этого сначала определяют пикетажное наименование вершины угла поворота BV , после чего находят пикетажное наименование начала и конца по следующим формулам:

$$HK = BV - T, \quad (210)$$

$$KK = HK + K. \quad (211)$$

Для контроля вторично вычисляют пикетажное наименование конца кривой по одной из следующих формул:

$$KK = HK + 2T - D, \quad KK = BV + T - D. \quad (212)$$

Пример. Пусть $\varphi = 32^\circ 20'$, $R = 300$ м, $BV = ПК11 + 42,38$ м (рис. 112). Требуется определить пикетажное наименование главных точек кривой. По таблицам для разбивки круговых кривых (см. приложение 2) имеем $T = 86,97$ м; $K = 169,30$ м; $D = 4,64$ м; $B = 12,35$ м. Здесь величины T , K , D и B получены умножением соответствующих величин для $R = 1000$ м на 0,3.

По формулам (210)–(212) найдем:

* Ганьшин В. Н., Хренов Л. С. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. М., 1966.

Контроль

ВУ	ПК11+42,38	НК	ПК10+55,41
—Т	0+86,97	+2Т	1+73,94
НК	ПК10+55,41		ПК12+29,35
+К	1+69,30	—Д	4,64
КК	ПК12+24,71	КК	ПК12+24,71

Начало кривой на местности находят, отложив от соответствующей пикетной точки вычисленное пикетажное расстояние (на рис. 112 от *ПК11* в обратном направлении отложено 44,59 м); точку закрепляют колышком и сторожкой с надписью *НК*.

Далее угол ($180^\circ - \varphi$) делит теодолитом пополам, на полученном направлении откладывают длину биссектрисы *Б* и конец ее закрепляют.

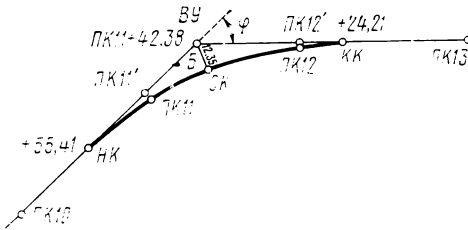


Рис. 112. Разбивка пикетажа с учетом кривой

Начиная разбивку пикетажа по следующему направлению трассы, прежде всего учитывают поправку за домер *Д*, так как измерения производят по тангенсам, а счет пикетажа — по кривой. Для этого уменьшают пикетажное наименование вершины угла на величину домера, т. е. вычисляют $ВУ' = ВУ - Д$. От этого исправленного пикетажного наименования вычисления вершины угла *ВУ'* продолжают разбивку пикетажа по новому направлению, закрепляя соответствующие пикетные точки и конец кривой *КК* согласно его пикетажному наименованию. Для нашего примера (рис. 112) имеем $ВУ - 4,64 = ВУ' = ВУ - Д = 42,38 - 4,64 = 37,74$ м; от этого значения продолжают пикетаж по следующему направлению, закрепляя точку *ПК12'* и конец кривой *КК* на расстоянии 24,71 м от него и т. д.

Вершины углов поворота трассы закрепляют гвоздями, вбиваемыми в колья длиной 40—50 см и диаметром 8—10 см. Колы забивают вровень с землей. На верхней части кола подписывают номер вершины угла, например (*ВУ1*), (*ВУ2*) и т. д. Рядом с колом забивают второй кол — сторожок.

Начало и конец трассы должны быть привязаны к пунктам государственной геодезической сети.

Вывос пикетов на кривую. Пусть пикет *N'* (см. рис. 111) расположен на тангенсе. Его положение *N* на кривой определяется относительно касательной прямоугольными координатами *x* и *y*. Непосредственно из чертежа имеем

$$x_N = R \sin \varepsilon, \quad (213)$$

$$y_N = R - R \cos \varepsilon = 2R \sin^2 \frac{\varepsilon}{2}, \quad (214)$$

где согласно формуле (207)

$$\varepsilon = \frac{180^\circ}{\pi R} k. \quad (215)$$

Здесь k — отрезок кривой от ее начала до пикета.

Вынос пикета на кривую, когда он находится на втором тангенсе, производят аналогично, только за начало координат в данном случае принимают конец кривой.

Нивелирование трассы и поперечников. Для определения высот точек трассы, закрепленных на местности (пикетных, плюсовых и на поперечниках), по ним прокладывают нивелирный ход, в который включают также все установленные на трассе постоянные и временные реперы. Ход должен быть привязан к пунктам государственной нивелирной сети. Если в начале (конце) трассы нет репера государственной сети, то ход начинают (заканчивают) от установленного на трассе постоянного репера; в последующем от него прокладывают нивелирный ход к ближайшему пункту государственной сети.

На каждой станции нивелирного хода две точки пикетажа являются связующими, а остальные, нивелируемые с данной станции, — промежуточными. В некоторых случаях плюсовая точка пикетажа может быть связующей.

Высоты точек трассы определяют техническим нивелированием.

Результаты измерений записывают в полевой журнал.

Точки, расположенные на поперечниках, нивелируют одновременно с остальными точками пикетажа и с тех же станций; в большинстве случаев они являются промежуточными точками хода. Если условия местности не позволяют нивелировать все точки поперечника с одной станции, оставшиеся точки нивелируют с соседней станции. Отсчеты по рейке, устанавливаемой на промежуточных точках, берут, как правило, только по черной стороне.

Если превышение между двумя соседними точками больше длины рейки, то нивелировать их с одной станции невозможно: визирный луч или встречает поверхность земли, или проходит поверх второй рейки. В таком случае берут дополнительные, не имеющиеся в пикетаже точки. Эти точки называют *иксовыми* (рис. 113, а). Так как *иксовая* точка обычно не является характерной точкой местности, а служит лишь для передачи высоты, то расстояние до нее не измеряют. Если на трассе имеется характерная точка (рис. 113, б), то ее используют в качестве связующей и положение отмечают в пикетажном журнале. Иногда при большой крутизне ската приходится брать несколько *иксовых* точек. В *иксовой* точке рейку устанавливают на забитый в землю колышек.

Методы контроля нивелирования. Для контроля на станции при работе с двусторонними рейками вычисляют разности отсчетов и

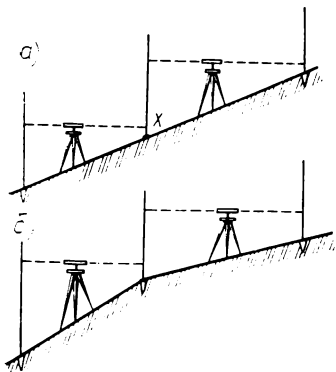


Рис. 113. Нивелирование склонов

превышения по черной и красной сторонам реек. При этом допустимые расхождения в первом случае не должны превышать ± 7 мм, во втором — ± 10 мм. Если указанные допуски не выдерживаются, то работу на такой станции переделывают.

При нивелировании висячей трассы вместо прямого и обратного направлений используют два нивелира; при этом вторым нивелиром нивелируют лишь связующие точки. Расхождения между превышениями соседних связующих точек по данным двух нивелировщиков не должны превышать ± 10 мм.

При нивелировании трасс в прямом и обратном направлениях рекомендуется делить трассу на участки такой длины, чтобы нивелирование каждого из них в обоих направлениях выполнялось в течение одного дня. Расхождения между превышениями соседних связующих точек в прямом и обратном ходах не должны превышать ± 10 мм.

Контролем нивелирования с односторонними рейками на станции служат разности отсчетов по рейкам при двух горизонтах инструмента:

$$a_I - a_{II} = b_I - b_{II}. \quad (216)$$

В этом случае должно иметь место $(a_I - a_{II}) - (b_I - b_{II}) \leq \pm 7$ мм. Далее вычисляют средние отсчеты по рейкам a_{cp} и b_{cp} и по ним вычисляют превышение h .

Постраничный контроль ведут по формуле

$$\frac{1}{2} (\sum a - \sum b) = \sum a_{cp} - \sum b_{cp} = \sum h. \quad (217)$$

Обработка результатов нивелирования. Начинают эту работу с тщательной проверки полевых журналов. По результатам измерений углов и сторон вычисляют координаты вершин углов поворота трассы (см. § 65). Далее находят отметки всех точек трассы. Для этого подсчитывают сумму превышений по ходу и, пользуясь заданными отметками конечных реперов (марок), определяют по формуле (187) высотную невязку хода f_h . По формуле (194) вычисляют допустимую величину невязки, и если выполняется условие (196), то полученную невязку распределяют с обратным знаком поровну на все превышения.

Отметки связующих точек хода вычисляют через уравненные превышения по формуле (115), начиная с заданной отметки начальной точки H_n . В результате вычислений должна быть получена заданная отметка конечной точки хода H_k .

Отметки промежуточных точек хода вычисляют через горизонт инструмента на станции по формуле (118). В целях контроля вычисления должны проводиться «в две руки» (дважды).

Составление продольного профиля трассы и поперечников. Продольный профиль трассы необходим для проектирования и строительства сооружения. Составляют его на миллиметровой бумаге по данным пикетажного и нивелирного журналов. Чтобы профиль трассы был более выразительным, масштаб для вертикальных расстояний принимают в 10 раз крупнее масштаба для горизонтальных расстояний. Для различных сооружений установлены стандартные масштабы продольного профиля. Так, при окончательных изысканиях и проектировании железных дорог профиль составляют в масштабе 1 : 10 000 (горизонтальный) и 1 : 1000 (вертикальный), для автомобильных дорог — соответственно в масштабах 1 : 5000 и 1 : 500, для подъездных путей — 1 : 2000 и 1 : 200 и для городских коммуникаций (водопровод, канализация и пр.) — в масштабах 1 : 1000 и 1 : 100.

Фактические и проектные данные на продольном профиле размещают в отдельных графах, в совокупности называемых сеткой профиля. Для каждого рода сооружений установлено стандартное расположение и содержание граф сетки профиля.

На рис. 114 показан продольный профиль автодорожной трассы. Построение его начинают с разграфки сетки профиля; при этом первую горизонтальную линию сетки (линию условного горизонта) для удобства дальнейших построений совмещают с полудециметровой линией миллиметровки. В графе 7 размещают, руководствуясь пикетажным журналом и в соответствии с принятым масштабом для горизонтальных расстояний профиля, все пикетные и плюсовые точки. В графу 6 выписывают из нивелирного журнала отметки точек, округленные до 0,01 м. В графе 3 повторяют расстояния, указанные в графе 7. В графе 2 помещают план трассы, который составляют в принятом для горизонтальных расстояний масштабе профиля по имеющимся в пикетажном журнале результатам съемки. В середине этой графы прямой линией показывают ось дороги, а в соответствующих местах ее, как и в пикетажном журнале, стрелками отмечают повороты трассы. Результаты геологических исследований грунтов на трассе помещают в графе 1. Верхняя граница этой графы является линией условного горизонта (основанием профиля), от которой на восстановленных к ней перпендикулярах, называемых о р д и н а т а м и, в соответствующем для вертикальных расстояний масштабе откладывают помещенные в графе 6 черные отметки. Ординаты точек профиля не должны быть более 10—15 см. Исходя из этого устанавливают отметку линии условного горизонта. Намеченные на ординатах точки соединяют линиями, являющимися профилем трассы. В графе 8 показывают прямые участки трассы и закругления. Закругления условно изображают дугами, обращенными выпуклостью вверх при повороте вправо и выпуклостью вниз при повороте влево. Из конечных точек этих дуг на линию пикетажа опускают перпендикуляры; их основания дол-

Масштабы
Горизонтальный 1:5000
Вертикальный 1:500

№ граф	Размеры, граф, мм	Сетки профиля
		Условный горизонт 170 м
1	5	Грунт
2	20	План трассы
3	5	Расстояния
4	15	Проектные (красные) отметки по оси
5	10	Уклоны проектной линии
6	15	Отметки земли (черные отметки)
7	10	Расстояния
8	30	Пикеты, прямые и кривые
9	10	Километры

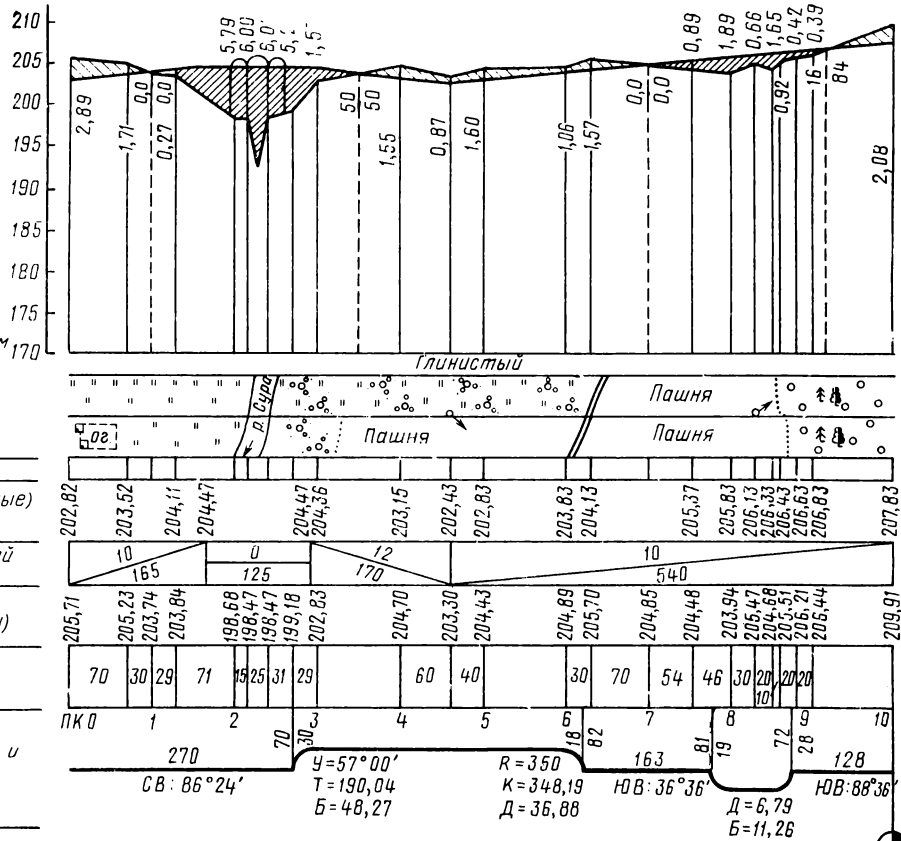


Рис. 114. Продольный профиль трассы

жны соответствовать пикетажным наименованиям начала и конца кривой. На перпендикулярах подписывают расстояния до ближайших пикетных точек. Внутри каждой кривой выписывают ее основные элементы. На прямых участках дороги подписывают согласно данным координатной ведомости их длины и румбы. В графе 9 помещают километровые указатели в виде кружков диаметром 5 мм, правую половину кружка заливают тушью. Из центра кружка опускают перпендикуляр на линию пикетажа. В графах 4 и 5 помещают проектные уклоны и отметки.

Профиль вычерчивают тушью: ось дороги в графе 2, графы 4, 5, 8 и 9 и все надписи в них — красным цветом, остальные графы и надписи — черным.

Профили поперечников (рис. 115) вычерчивают в одном масштабе, соответствующем масштабу для вертикальных расстояний продольного профиля.

§ 83. Расчет и построение проектной линии на профиле

При проектировании проектной линии профиля руководствуются заданным предельным уклоном, отметками фиксированных точек, через которые должна проходить эта линия, и техническими

Профиль поперечника
на ПК 7+54

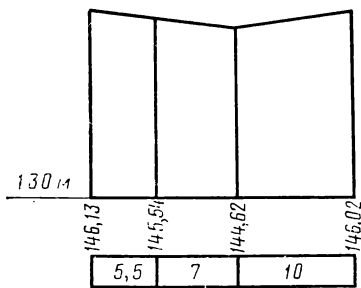


Рис. 115. Поперечный профиль

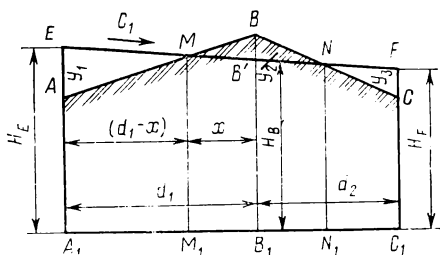


Рис. 116. Проведение проектной линии на профиле

условиями проектирования данного сооружения. К фиксированным точкам относятся, например, точки примыкания возводимых сооружений к существующим, отметки мостовых переходов, установленные техническими расчетами, и т. д.

Пусть на участке продольного профиля ABC (рис. 116) проектная линия EF определяется фиксированной отметкой точки E (H_E) и уклоном i_1 . Тогда проектные отметки точек B' и F будут

$$H_{B'} = H_E + d_1 i_1, \quad (218)$$

$$H_F = H_E + (d_1 + d_2) i_1 = H_{B'} + d_2 i_1.$$

Таким образом вычисляют проектные отметки всех точек трассы. При этом следует учитывать знак уклона i_1 . Проектные отметки, округленные до 0,01 м, записывают в графу 4 сетки профиля (см. рис. 114) на продолжениях соответствующих ординат. На горизонтальных участках проектной линии ($i_1=0$) проектные отметки подписывают лишь в начале и в конце участка. В графе 5 сетки профиля проектную линию показывают в виде одной из диагоналей прямоугольника. На рис. 114 в начальной и конечной частях профиля проведены диагонали для случая положительного уклона проектной линии, а для случая отрицательного уклона — на участке $ПКЗ—ПК4+60$. На диагоналях в виде дроби подписывают уклон и длину проектной линии на данном участке.

Разность между проектной и черной отметками точек, расположенных на одних и тех же ординатах, называется рабочей отметкой. Например (см. рис. 116),

$$y_1 = H_E - H_A, \quad y_2 = H_{B'} - H_B. \quad (219)$$

Рабочие отметки показывают высоту насыпи или глубину выемки в данном месте; их подписывают на соответствующих ординатах: выше проектной линии — при насыпи и ниже — при выемке (см. рис. 114).

Точки M и N (см. рис. 116) пересечения линии профиля с проектной линией называют точками нулевых работ. Для выноса этих точек в натуру вычисляют расстояние до них от ближайших точек пикетажа. Из подобия треугольников AME и BMB' имеем

$$x/(d_1 - x) = y_2/y_1, \text{ откуда}$$

$$x = \frac{y_2}{y_2 + y_1} d_1. \quad (220)$$

Расстояния от точки нулевых работ до ближайшей пикетной точки подписывают (в целых метрах) по обе стороны от ординаты этой точки (см. рис. 114), прочерчиваемой пунктиром синим цветом.

Полученный таким образом профиль используют в дальнейшем в процессе разбивки и строительства сооружения.

§ 84. Расчет вертикальных кривых

Продольный профиль оси линейного сооружения представляет ломаную линию, в углы которой вписывают вертикальные кривые.

Угол отклонения продольного профиля ω определяется углами наклона смежных прямых профиля (рис. 117). Из рис. 117 значение угла ω в радианной мере будет

$$\omega = i_1 - (-i_2) = i_1 + i_2, \quad (221)$$

где i_1 и i_2 — уклоны смежных прямых профиля.

При проектировании городских дорог вертикальные кривые строят в том случае, когда алгебраическая разность уклонов пря-

мых, образующих перегиб трассы, превышает 0,007 на главных магистралях и 0,01—0,05 — на второстепенных. Радиусы R вертикальных кривых назначают в зависимости от расчетной скорости движения транспорта.

Если заданы R и ω , то длины вертикальной кривой, тангенса и биссектрисы получают по формулам

$$K = R\omega, \quad (222)$$

$$T = K/2 = R\omega/2, \quad (223)$$

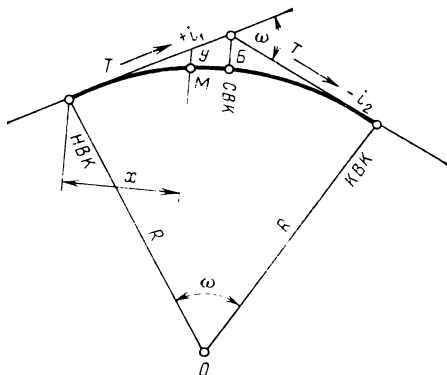


Рис. 117. К расчету вертикальных кривых

$$B = T^2/(2R) = K^2/(8R). \quad (224)$$

Принимая тангенсы кривой за оси абсцисс с началом координат в точках $НВК$ (начало вертикальной кривой) и $КВК$ (конец вертикальной кривой), находят значения ординат промежуточных точек

$$y = x^2/(2R), \quad (225)$$

где x — принятое значение абсциссы промежуточной точки M , положение которой необходимо определить на кривой.

Для расчета вертикальных кривых существуют специальные таблицы.

Вопросы для самопроверки

1. Какие основные виды изысканий выполняются при проектировании и строительстве инженерных сооружений?
2. Что такое пикетажный журнал и каково его содержание?
3. Как называются основные элементы круговой кривой и как они определяются?
4. Как производят вынос пикетов на кривую?
5. Какой порядок нивелирования трассы?
6. Что представляет собой продольный профиль трассы?
7. Что такое поперечный профиль трассы?
8. Что такое проектная линия профиля?
9. Что называется рабочей отметкой и точкой нулевых работ?

ГЛАВА XIV. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА

§ 85. Общие положения

Методы решения задач для выноса проекта в натуру. Необходимые данные для выноса проекта в натуру могут быть получены графическим, аналитическим или графо-аналитическим методами.

Графический метод заключается в том, что положение отдельных точек и углов зданий, длин линий и направлений определяют по плану с помощью циркуля, транспортира и масштабной линейки.

При *аналитическом методе* геодезической подготовки координаты отдельных опорных точек (углы зданий, пересечение осей проездов, коммуникаций и др.) определяют различными геодезическими способами (полярным, способом засечек координат и др.). При этом методе зависимость между точками проекта и опорными геодезическими пунктами выражают математически. Он является наиболее точным. Аналитическим методом проект на местность можно переносить отдельными не зависящими друг от друга участками.

Графо-аналитический метод определения данных для разбивки зданий и сооружений является сочетанием аналитического и графического методов. Его выгодно применять при составлении генеральных планов промышленных предприятий, подлежащих реконструкции.

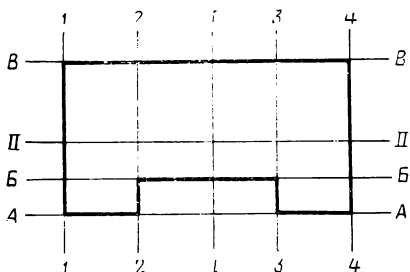


Рис. 118. Оси сооружения

Графо-аналитический метод определения данных для разбивки зданий и сооружений является сочетанием аналитического и графического методов. Его выгодно применять при составлении генеральных планов промышленных предприятий, подлежащих реконструкции.

Оси инженерных сооружений. Оси инженерного сооружения представляют линии, определяющие его геометрическую схему. Различают главные, основные и промежуточные (дополнительные) оси.

Главными осями называют две взаимно перпендикулярные прямые (рис. 118), относительно которых здание или сооружение располагается симметрично (*I—I* и *II—II*). Такие оси применяют

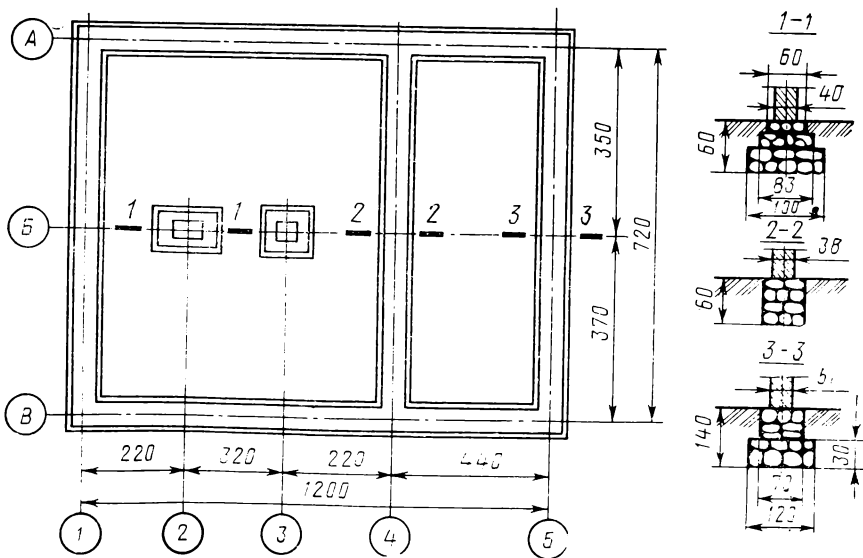


Рис. 119. Разбивочный чертеж

для зданий и сооружений, имеющих большую площадь и сложную конфигурацию.

Основными называют оси, образующие внешний контур здания ($A-A$, $B-B$, $1-1$ и $4-4$). Этот вид осей имеет наибольшее применение в практике строительства.

Все остальные оси называют промежуточными или дополнительными ($B-B$, $2-2$, $3-3$).

Разбивочные чертежи. Разбивочный чертеж сооружения представляет чертеж, на котором графически изображены главные, основные и дополнительные оси зданий и сооружений, а также показаны аналитические данные (координаты X и Y и отметки H), определяющие пространственное положение точек пересечения упомянутых осей. На рис. 119 представлен разбивочный чертеж для выноса в натуру основных и дополнительных осей промышленного здания. На нем показаны все расстояния между осями. Общий размер сооружения должен равняться сумме расстояний между отдельными его осями.

§ 86. Способы определения величин разбивочных элементов

Разбивочными элементами, с помощью которых определяют на местности плановое и высотное положения отдельных точек проектируемых зданий и сооружений, являются расстояния, углы и отметки точек. Для их определения по плану пользуются различными способами.

Способ полярных координат. Пусть точки 12 и 13 (рис. 120) являются пунктами геодезической опорной сети. Необходимо подготовить исходные данные для выноса в натуру точки A сооружения M полярным способом от линии $12-13$. Очевидно, разбивочными элементами в данном случае будут углы β_1 и β_2 и расстояния d_1 и d_2 . Здесь угол β_2 и расстояние d_2 необходимы для контроля. Из рисунка имеем

$$\beta_1 = 360^\circ - (\alpha_{12,13} - \alpha_{12,A}), \quad (226)$$

$$\beta_2 = \alpha_{13,A} - \alpha_{13,12}, \quad (227)$$

где $\alpha_{12,13}$ — дирекционный угол стороны $12-13$; $\alpha_{12,A}$ — дирекционный угол стороны $12-A$.

Координаты точек x_{12} , y_{12} и x_{13} , y_{13} и дирекционный угол $\alpha_{12,13}$ можно получить из каталога координат пунктов. Определив графически на генплане координаты x_A и y_A , из решения обратной геодезической задачи на плоскости найдем расстояние d_1 и $\alpha_{12,A}$, а следовательно, и угол β_1 . Согласно формулам (17) и (18) имеем

$$\operatorname{tg} \alpha_{12,A} = (y_A - y_{12}) / (x_A - x_{12}), \quad (228)$$

$$d_1 = (x_A - x_{12}) / \cos \alpha_{12,A} = (y_A - y_{12}) / \sin \alpha_{12,A}. \quad (229)$$

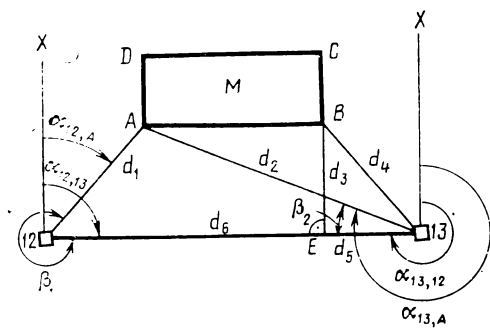


Рис. 120. Способы подготовки исходных данных

Расстояния d_4 и d_6 необходимы для контроля разбивки — выноса в натуру точки B .

Определение величин разбивочных элементов для выноса в натуру точек сооружения способом засечек (угловых и линейных), как это видно из рис. 120, является комбинацией способа полярных координат.

§ 87. Плановая и высотная основы разбивочных работ

Наиболее распространенным видом геодезического обоснования на строительной площадке для обеспечения разбивочных работ является строительная сетка, на пункты которой передаются отметки методом геометрического нивелирования.

Если на строительной площадке не создают строительную сетку, то в качестве плановой основы для разбивочных работ можно принять пункты геодезической опорной сети и съемочного обоснования, заложенные в период изысканий.

Строительная сетка должна быть построена так, чтобы разбивочные работы можно было выполнять с соблюдением допусков, установленных СНиПом. Если M — средняя квадратическая погрешность определения на местности точки здания или сооружения относительно начального пункта строительной сетки, m — средняя квадратическая погрешность разбивки точки здания или сооружения относительно ближайшего пункта строительной сетки, а m_0 — средняя квадратическая погрешность определения этого пункта сетки относительно начального пункта ее, то согласно (46) можно записать

$$M = \sqrt{m_0^2 + m^2}. \quad (230)$$

Если принять, что $m_0 = m$, то

$$M = m_0 \sqrt{2}. \quad (231)$$

Отсюда имеем

$$m_0 = M / \sqrt{2}. \quad (232)$$

Величины d_2 и $\alpha_{13,A}$ определяют аналогично.

Способ прямоугольных координат. Допустим, требуется подготовить исходные данные для выноса в натуру точки B (рис. 120) способом перпендикуляров. Для этого из точки B опускают перпендикуляр на линию $12-13$. Затем определяют координаты точек E и B . Решая обратные геодезические задачи на плоскости, определяют расстояния d_3, d_4, d_5 и d_6 .

Следовательно, строительная сетка должна быть построена так, чтобы погрешность любого ее пункта относительно начального не превышала m_0 .

Основой для разбивочных работ зданий и сооружений по высоте служит система строительных реперов, которые устанавливают с таким расчетом, чтобы с них можно было передать проектные отметки на точки здания одной установкой инструмента.

Пусть M — допустимая величина средней квадратической погрешности взаимного положения частей различных сооружений по высоте. Тогда средняя квадратическая погрешность определения отметок точек части любого здания или сооружения по высоте относительно некоторого начального пункта опорной нивелирной сети должна быть не менее $M_1/\sqrt{2}$. Обозначив через m_1 среднюю квадратическую погрешность отметки пункта опорной нивелирной сети относительно ранее указанного начального пункта, через m_2 — среднюю квадратическую погрешность передачи отметки с пункта опорной нивелирной сети на строительный репер и через m_3 — среднюю квадратическую погрешность передачи отметки со строительного репера на какую-либо точку здания или сооружения, согласно формуле (46) получим

$$M_1/\sqrt{2} \geq \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2}. \quad (233)$$

При $m_1 = m_2 = m_3$ будем иметь

$$m_1 = m_2 = m_3 \leq M_1/\sqrt{6}. \quad (234)$$

Следовательно, средняя квадратическая погрешность m_1 положения пункта опорной нивелирной сети, расположенного в ее наиболее слабом месте, должна удовлетворять условию (234).

Для облегчения разбивочных работ на строительной площадке создают нулевые точки. Горизонтом нулевой точки (строительный нуль) служит проектный уровень той части здания или сооружения, от которой ведут все измерения. Такими точками могут быть отметка чистого пола первого этажа, отметка головки рельса железнодорожного пути, уровень планировки и др.

При наличии зафиксированных нулевых точек все остальные отметки, например глубину заложения фундаментов, высоту оконных проемов, определяют от условного нуля простым промером.

§ 88. Проектирование строительной сетки

Строительная сетка — наиболее распространенный вид геодезической основы для производства разбивочных работ в промышленном строительстве. Она представляет собой систему опорных пунктов, расположенных в вершинах квадратов или прямоугольников, покрывающих строительную площадку.

Основное требование, предъявляемое к строительной сетке, — строгая параллельность ее сторон соответственным осям зданий и сооружений.

Проектирование строительной сетки заключается в определении местоположения ее пунктов на топографическом плане строительной площадки, в выборе способа разбивки, расчете необходимой точности определения пунктов сетки и производства угловых и линейных измерений и т. д. Сетку наиболее удобно проектировать на стройгенплане. При этом стремятся к тому, чтобы были обеспечены максимальные удобства выполнения геодезических разбивочных работ и чтобы каждое из основных возводимых зданий

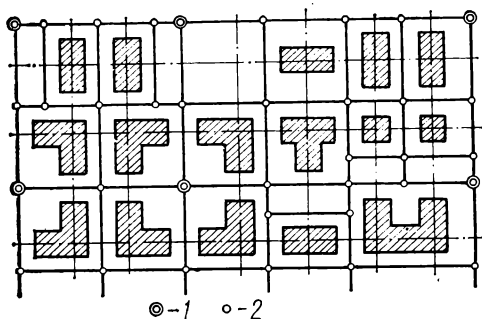


Рис. 121. Строительная сетка:

1 — вершины основных фигур сетки; 2 — то же, дополнительных

размещалось внутри фигуры сетки, а закрепленные пункты сетки по возможности не попадали в зону земляных работ. Для этого строительную сетку вычерчивают на кальке и, положив на стройгенплан, перемещают так, чтобы ее направления оставались параллельными осям сооружений и в то же время наибольшее количество пунктов попадало в места застройки. Затем сетку с кальки переносят на стройгенплан.

Длины сторон основных фигур сетки принимают равными 100—200 м, а дополнительных — 20—40 м. Для удобства выполнения разбивочных работ стремятся к тому, чтобы длины сторон фигур строительной сетки были кратны той или другой длине прибора для линейных измерений (10, 20, 24 м).

Строительную сетку (рис. 121) чаще проектируют графо-аналитическим методом. Вначале на стройгенплан наносят основные (главные) оси существующих зданий и сооружений. Графически или аналитически определяют координаты осевых точек и по ним находят среднее значение дирекционного угла α направлений осей зданий или сооружений. Дирекционные углы направлений линий сетки принимают равными α и $\alpha + 90^\circ$. Вершины основных фигур строительной сетки наносят на стройгенплан по координатам. Координаты одной из точек сетки находят аналитическим или графическим путем, а остальные вершины основных фигур вычисляют.

§ 89. Разбивка строительной сетки на местности

Предварительную разбивку сетки начинают с закрепления на местности основной ее стороны и лежащих на ней пунктов.

Эту разбивку выполняют от существующих на строительной площадке пунктов опорной геодезической основы.

Для закрепления основной оси сетки на местности выносят от ближайших пунктов опорной геодезической основы способом полярных координат по s и α три точки — N , M и K (рис. 122), лежащие в створе основной оси сетки. Вынос точек осуществляется независимо одна от другой. Положение этих точек в створе оси контролируют и при необходимости исправляют. Одну из вынесенных точек M , положение которой определено с наименьшей ошибкой, принимают за исходную и закрепляют постоянным знаком. От этой точки в створе оси сетки производят линейные измерения и выполняют разбивку всех точек сетки, лежащих на данной стороне.

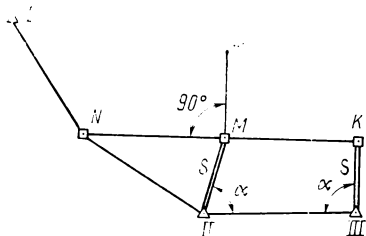


Рис. 122. К разбивке строительной сетки

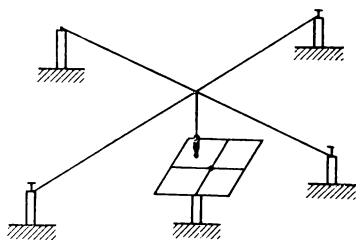


Рис. 123. К редуцированию пунктов строительной сетки

Затем в точке M с помощью теодолита разбивают под прямым углом вторую главную ось, вдоль которой линейными измерениями определяют положение лежащих на ней пунктов сетки. На каждой из полученных точек восстанавливают перпендикуляры, на которых находят положения всех точек строительной сетки. Найденное положение вершин фигур строительной сетки закрепляют временными или постоянными знаками в зависимости от методики ее разбивки.

При предварительной разбивке сетки используют теодолиты малой и средней точности Т30, Т5 и мерные ленты или рулетки.

Определение точных координат пунктов строительной сетки производят различными методами. До настоящего времени наиболее распространенным методом является метод полигонометрии. Полигонометрические ходы прокладывают по всем пунктам строительной сетки так, чтобы они образовывали систему замкнутых полигонов.

В последнее время широкое применение при создании строительных сеток получили светодальномеры типа СТ-65, «Кварц», СМ-3, NASM-6, NASM-8, ЕОК-2000 и др. Эти приборы сокращают трудоемкость линейных измерений, повышают производительность труда и не требуют специальной подготовки линий для точных измерений.

После определения точных координат пунктов строительной сетки их сравнивают с проектными и вычисляют линейные величины, на которые нужно переместить центры временных знаков, т. е. находят элементы редуцирования.

Если при предварительной разбивке строительной сетки для закрепления ее пунктов применялись постоянные знаки с металлической пластиной в верхней части, то редуцирование производят на этой пластине (рис. 123). Окончательное положение пунктов закрепляют керном на пластине знака.

Если при предварительной разбивке использовались временные знаки, то после редуцирования пункты сетки закрепляют окончательно постоянными знаками. Правильность редуцирования пунктов сетки, а также точность ее построения проверяют контрольными угловыми и линейными измерениями.

§ 90. Последовательность выполнения геодезических работ на строительной площадке

Геодезические разбивочные работы на строительной площадке ведут по принципу перехода от общего к частному.

Геометрической основой проекта сооружения при перенесении его в натуру являются разбивочные оси, относительно которых в рабочих чертежах даются размеры всех деталей сооружения. Главные или исходные оси сооружений привязывают к пунктам строительной сетки и задают их координаты.

Общий порядок разбивки промышленных и гражданских зданий и сооружений должен быть следующий: 1) от опорных пунктов геодезической сети выносят в натуру главные оси зданий или сооружений и закрепляют их на местности; 2) от главных осей зданий и сооружений разбивают их основные оси; 3) от основных осей зданий и сооружений разбивают дополнительные оси; 4) от основных и дополнительных осей производят детальную разбивку зданий и сооружений.

В большинстве случаев для повышения точности разбивочных работ дополнительные оси разбивают непосредственно от главных осей зданий и сооружений.

Отметки характерных горизонтов зданий и сооружений передают от уровня чистого пола первого этажа и обозначают их: вверх — со знаком плюс; вниз — со знаком минус.

§ 91. Способы перенесения в натуру проектных длин линий, горизонтальных углов, отметок и уклонов

Перенесение в натуру длин отрезков линий. На местности вдоль отмеченного направления измеряют отрезок, длина которого близка к заданной длине линии. Затем откладывают разность между измеренной длиной линии и заданной. Применяемые при этом инструменты и метод измерений зависят от заданной точности перенесения длин отрезков линий в натуру.

Перенесению в натуру отрезка линии предшествует вычисление ее наклонной длины D (для наклонной местности) по заданному горизонтальному проложению d и углу наклона линии к горизонту или по превышению концов отрезка линии:

$$D = d + \Delta d. \quad (235)$$

Значение Δd определяют по формулам (90) или (92).

Поправки за компарирование и температуру вводят в зависимости от требуемой точности выноса длины отрезка линии в натуру.

Перенесение в натуру горизонтальных углов. При перенесении в натуру горизонтального угла на местности задают вершину и одну из его сторон.

1-й способ. Над точкой A (рис. 124, а) местности устанавливают теодолит в рабочее положение и визируют трубой на другую

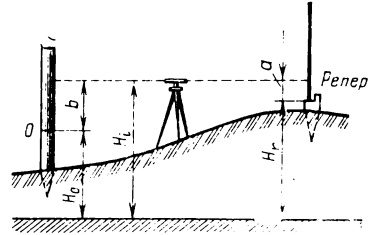
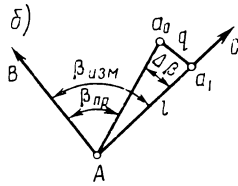
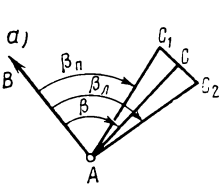


Рис. 124. Перенесение в натуру проектного угла

Рис. 125. Перенесение в натуру проектной отметки

точку B . При закрепленном лимбе поворотом алидады откладывают заданную величину угла и фиксируют на местности вторую его сторону (например, AC_1). Чтобы исключить влияние некоторых инструментальных погрешностей, заданную величину угла строят при двух положениях вертикального круга. В результате получают два направления AC_1 и AC_2 второй стороны угла. За окончательное положение второй стороны принимают биссектрису AC .

2-й способ. Этот способ иногда называют способом повышенной точности (рис. 124, б). Он заключается в том, что вначале заданный угол откладывают при одном положении вертикального круга, а затем полученный угол измеряют несколькими приемами. Полученное среднее значение угла сравнивают с проектным:

$$\Delta\beta = \beta_{изм} - \beta_{пр}. \quad (236)$$

Если на направлении AC закрепить предварительную точку a_1 (рис. 124, б), то величину смещения q можно определить по формуле

$$q = l\Delta\beta/\rho. \quad (237)$$

Отложив на перпендикуляре к направлению AC величину q , получим точку a_0 , направление на которую и даст искомую сторону угла β .

Перенесение в натуру отметок точек. Рассмотрим наиболее часто встречающийся способ перенесения отметки точки в натуру с

помощью нивелира и двух реек. Пусть H_0 — проектная отметка точки O (рис. 125), а H_r — отметка пункта геодезической основы. Примерно посередине между репером и точкой O устанавливают нивелир в рабочее положение и берут отсчет a по рейке, установленной на репере. Из рис. 125 следует, что отсчет по рейке, установленной на временном знаке, будет $b = H_r + a - H_0$. Но согласно (117) $H_r + a = H_i$. Следовательно,

$$b = H_i - H_0. \quad (238)$$

Временный знак в точке O перемещают по вертикали (вверх или вниз) до получения нужного отсчета b по рейке, установленной на его торце.

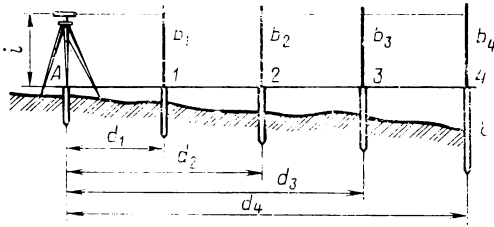


Рис. 126. Перенесение в натуру линии заданного уклона

Для контроля перенесение в натуру отметок точек производят по двум сторонам реек или при двух горизонтах инструмента.

Перенесение в натуру линии заданного уклона.

Пусть задана точка A (рис. 126), отметка которой равна H_A . Требуется разбить на местности линию с уклоном i_0 .

Установив над точкой A нивелир в рабочее положение, определяют его высоту i над колышком.

Отметка точки 1 , определяемая через расстояние d_1 и уклон i_0 , согласно формуле (218) будет

$$H_1 = H_A + i_0 d_1. \quad (239)$$

В то же время отсчет по рейке b_1 , установленной в точке 1 , согласно формуле (238) будет

$$b_1 = H_i - H_1, \quad (240)$$

где

$$H_i = H_A + i. \quad (241)$$

Подставляя в формулу (240) вместо H_i его значение из формулы (241), а вместо H_1 его значение из формулы (239), найдем

$$b_1 = i - i_0 d_1. \quad (242)$$

Следовательно, отсчеты по рейке в точках 2, 3, 4, ..., соответствующие уклону линии i_0 , будут

$$b_2 = i - i_0 d_2,$$

$$b_3 = i - i_0 d_3,$$

.....

Устанавливая последовательно рейку в точках 1, 2, 3, ..., перемещают ее по вертикали до тех пор, пока отсчет по ней не окажется

ся b_1, b_2, b_3, \dots соответственно. Прямая, проходящая через торцы колышков 1, 2, 3 ..., будет линией заданного уклона.

§ 92. Способы разбивки осей и точек сооружений

Разбивка запроектированных зданий или сооружений заключается в определении на местности характерных точек и линий, по которым в процессе строительства с помощью простых приспособлений определяют положение всех частей зданий или сооружений. Разбивку осей и характерных точек зданий и сооружений в плане выполняют различными способами, выбор которого обуславлива-

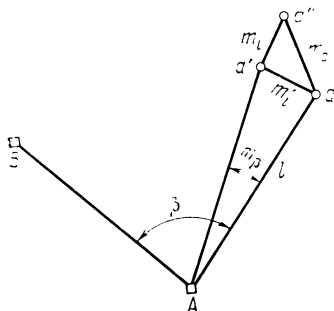


Рис. 127. Способ полярных координат

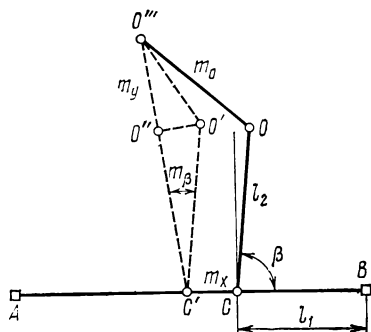


Рис. 128. Способ прямоугольных координат

ется местом положения здания или сооружения, размерами, формой, требуемой точностью, удаленностью опорных плановых пунктов, наличием геодезических инструментов и т. д.

Способ полярных координат применяют в том случае, когда разбивочные работы выполняют в открытой местности и имеется возможность использовать промеры от пунктов опорной сети до точек зданий или сооружений. Положение точек на местности определяют по расстоянию до них от пунктов геодезической сети и углу, образованному направлениями на ближайший пункт геодезической основы и разбиваемую точку (рис. 127).

Угол β переносят в натуру теодолитом, установленным в точке А, а отрезок l откладывают приборами, предназначенными для линейных измерений. Точность разбивки точки a будет зависеть от погрешностей положения опорных пунктов А и В, перенесения в натуру угла β , отложения длины отрезка l и др.

Определим точность разбивки точки a под действием погрешностей перенесения в натуру угла β и длины линии l . Пусть m_β — средняя квадратическая погрешность выноса в натуру угла β , а m_l — средняя квадратическая погрешность отложения длины линии l . Тогда средняя квадратическая погрешность m_l' в положении точки a под действием погрешности m_β будет

$$m_l' = l m_\beta / \rho. \quad (243)$$

Средняя квадратическая погрешность в положении точки a за счет погрешностей m_l и m_β согласно (44) будет

$$m_a = \sqrt{m_l^2 + m_\beta^2}. \quad (244)$$

Используя принцип равного влияния отдельных источников погрешностей, примем

$$m_l = m_\beta = m.$$

Тогда
$$m_a = m \sqrt{2}. \quad (245)$$

Следовательно,

$$m_l = l m_\beta / \rho \leq m_a / \sqrt{2} \text{ и } m_l \leq m_a / \sqrt{2}. \quad (246)$$

При $m_a = 2$ см и $l = 60$ м получим

$$l m_\beta / \rho \leq 1,4 \text{ см и } m_l \leq 1,4 \text{ см.}$$

Очевидно, $m_\beta \approx 1'$.

Способ прямоугольных координат применяют для разбивки точек зданий или сооружений, расположенных вблизи прямых, соединяющих пункты геодезического обоснования. Суть этого способа заключается в том, что вдоль прямой AB (рис. 128) откладывают отрезок l_1 (абсциссу), а затем из полученной точки C восстанавливают перпендикуляр длиной l_2 — ординату.

Погрешность разбивки точки по способу прямоугольных координат обуславливается погрешностями отложения отрезков l_1 и l_2 , а также погрешностью построения перпендикуляра.

Пусть m_x — средняя квадратическая погрешность откладывания абсциссы l_1 , m_y — средняя квадратическая погрешность откладывания ординаты l_2 и m_β — средняя квадратическая погрешность построения прямого угла на местности. Тогда средняя квадратическая погрешность положения точки O будет

$$m_0 = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + l_2^2 m_\beta^2 / \rho^2}. \quad (247)$$

Применяя принцип равного влияния погрешностей, найдем

$$m_x = m_y = l_2 m_\beta / \rho = m.$$

Следовательно,

$$m_0 = m \sqrt{3}. \quad (248)$$

Тогда

$$m_x \leq \frac{m_0}{\sqrt{3}}; \quad m_y \leq \frac{m_0}{\sqrt{3}};$$

$$\frac{l_2 m_\beta}{\rho} \leq \frac{m_0}{\sqrt{3}}.$$

При $m_0=2$ см и $l_2=10$ м найдем $m_x \leq 1,2$ см;

$$m_y \leq 1,2 \text{ см}; \quad l_2 m_3 / \rho \leq 1,2 \text{ см.}$$

$$m_B \leq 1,2 \rho / l_2 = 4'.$$

Такую точность можно получить, применяя рулетку и экер.

Способ прямой угловой засечки широко применяют при разбивке точек сооружений, значительно удаленных от опорных пунктов, в особенности тогда, когда непосредственное измерение расстояний от опорных пунктов до определяемой точки затруднительно. Способ прямой угловой засечки заключается в том, что положение

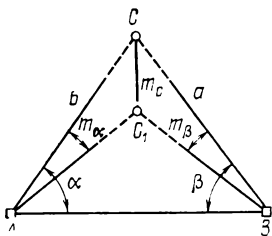


Рис. 129. Способ прямой угловой засечки

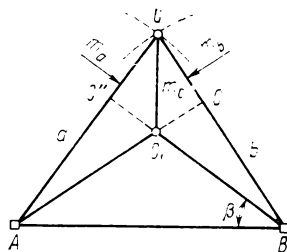


Рис. 130. Способ линейной засечки

точки C (рис. 129) на местности определяют откладыванием углов α и β от направлений AB и BA .

Погрешность определения точки C при данном способе обуславливается погрешностью выноса в натуру углов α и β .

Если допустить, что m_1 — средняя квадратическая погрешность в положении точки C , обусловленная погрешностью m_α выноса в натуру угла α ; m_2 — средняя квадратическая погрешность в положении точки C , обусловленная погрешностью m_β выноса в натуру угла β , а расстояния точки C от пунктов A и B соответственно равны a и b , то средняя квадратическая погрешность m_C положения точки C , полученная из однократной угловой засечки, будет

$$m_C = m \sqrt{a+b} / (\rho \sin \gamma), \quad (249)$$

где $m = m_\alpha = m_\beta$; $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$.

Если угол при засекаемой точке C равен 90° , то формула (249) примет вид

$$m_C = m \sqrt{a+b} / \rho. \quad (250)$$

При разбивке точек этим способом необходимо, чтобы угол при засекаемой точке не был меньше 30° и больше 150° . Положение точки C будет определено наиболее точно, когда $\gamma = 109^\circ,5$.

Способ линейной засечки является наиболее точным способом разбивки точек сооружений на ровной открытой местности вблизи от пунктов геодезической основы. Положение точки C (рис. 130) на местности определяется пересечением дуг радиусами a и b из точек A и B . При этом расстояния a и b от точки C до пунктов

геодезической основы A и B не должны превышать длины мерного прибора.

В данном случае средняя квадратическая погрешность определения положения точки C относительно исходных пунктов A и B определяется формулой

$$m_C = m_l \sqrt{2} / \sin \gamma, \quad (251)$$

где $m_l = m_a = m_b$ — средние квадратические погрешности измерения расстояний a и b ; γ — угол при засекаемой точке C .

Способ створной засечки широко используют при разбивке промышленных цехов, гражданских зданий, мостов, плотин и т. д. При этом способе проектную точку определяют пересечением двух линий, полученных визированием по сторонам, закрепленным на местности (рис. 131). В зависимости от размещения опорных пунктов можно пользоваться различными схемами створной засечки.

Уравнения створных линий, выраженные через координаты их конечных точек, могут быть представлены в виде

$$(x - x_1)/(x_2 - x_1) = (y - y_1)/(y_2 - y_1); \quad (252)$$

$$(x - x_3)/(x_4 - x_3) = (y - y_3)/(y_4 - y_3), \quad (253)$$

где $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3; x_4, y_4$ — координаты конечных точек двух пересекающихся створов 1—2 и 3—4.

Среднюю квадратическую погрешность положения точки, определяемой створной засечкой, вычисляют по формуле

$$M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (254)$$

$$\text{где } m_x = \frac{1}{2y_4} \sqrt{(y_4 - y_2)^2 m_{x_3}^2 + (y_4 + y_2)^2 m_{x_1}^2}; \quad (255)$$

$$m_y = \frac{1}{2x_2} \sqrt{(x_4 - x_2)^2 m_{y_1}^2 + (x_4 + x_2)^2 m_{y_3}^2}. \quad (256)$$

Здесь m_{x_3} и m_{x_1} — средние квадратические погрешности, определяющие положение первой створной линии; m_{y_1} и m_{y_3} — то же, второй створной линии. Такие погрешности состоят из погрешностей опорных пунктов, погрешностей центрирования инструмента, редукции и визирования.

§ 93. Закрепление осей сооружений на местности

Чтобы надежно закрепить на местности оси сооружения, по внешнему его контуру устанавливают ограждение, называемое обноской. Оси сооружения, вынесенные на обноску, дают возможность следить за правильностью его геометрической формы.

Обноску строят следующим образом. После разбивки в натуре основных осей сооружения на расстоянии 3—4 м от них по контуру провешивают линии, параллельные этим осям и намечают точки установки деревянных столбов. Такие столбы длиной около

3,5 м и диаметром 12—15 см ставят строго по линии обноска с таким расчетом, чтобы создать наиболее благоприятные условия для производства работ, так как высокая обноска затрудняет производить линейные измерения, а низкая мешает доставке строительных материалов к рабочему месту. После закрепления столбов к ним прибивают обрезные доски толщиной 40—50 мм. Верхнюю кромку каждой доски устанавливают горизонтально с помощью нивелира. Если по условиям местности прибить доски горизонтально невозможно, делают ступенчатые переходы.

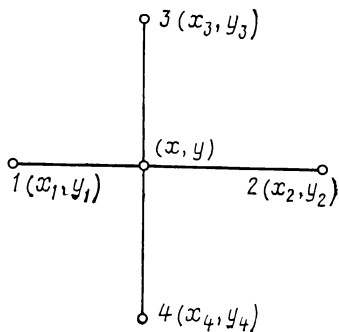


Рис. 131. Способ створной засечки

Сначала на обноску переносят главные и основные оси сооружения, а затем промером от них получают дополнительные оси. Оси на обноске закрепляют гвоздями, обводят яркой краской и подписывают их названия. Главные оси выносят на обноску теодолитом, а основные и дополнительные — путем промеров стальной рулеткой от главных осей. После выноса всех осей на обноску производят контрольные измерения между осями, и получаемые результаты сравнивают с проектными. Схема закрепления осей здания на обноске показана на рис. 132.

В настоящее время широкое применение получает инвентарная обноска (рис. 133). Она состоит из металлических полых якорей, забиваемых в землю на глубину до 0,7 м, в отверстие которых устанавливают металлические стойки, несущие трубчатые штанги. На штанге передвигается муфта, которая может быть закреплена в любой точке. Якоря расставляют так, чтобы стойки не попали на оси здания. Положение осей на обноске фиксируют соответствующим передвижением муфт.

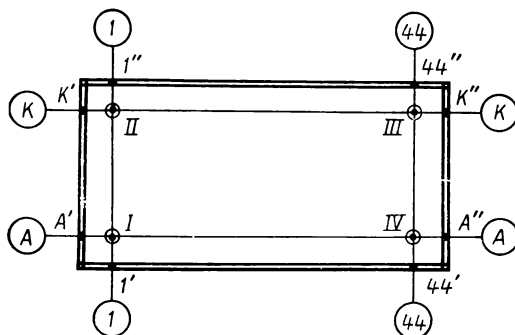


Рис. 132. Схема закрепления осей здания

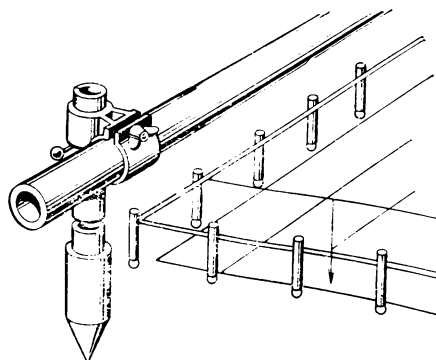


Рис. 133. Инвентарная обноска

Закрепленные на обноске оси не могут обеспечить все этапы возведения здания, так как по мере наращивания стен обносочной уже не пользуются. Кроме того, в процессе самих строительномонтажных работ обноска часто уничтожается, поэтому основные оси сооружений необходимо закреплять постоянными знаками. Такие знаки следует выносить за пределы разработки котлованов. Очень часто оси закрепляют железобетонными трубами, в верхнюю часть которых заделывают металлический стержень с насечкой, служащий одновременно плановой точкой и рабочим репером.

При строительстве небольших зданий для закрепления осей на местности применяют деревянные колья, металлические трубки и др.

§ 94. Способы детальной разбивки закруглений

Для строительства сооружений линейного типа необходимо кроме главных точек кривой получить на местности еще ряд дополнительных точек, лежащих на этой кривой, т. е. произвести деталь-

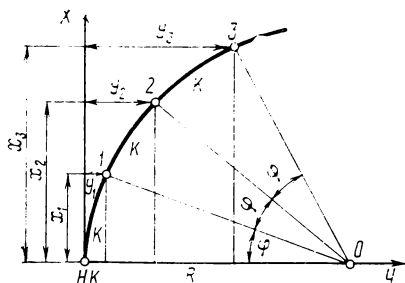


Рис. 134. Разбивка кривой способом прямоугольных координат

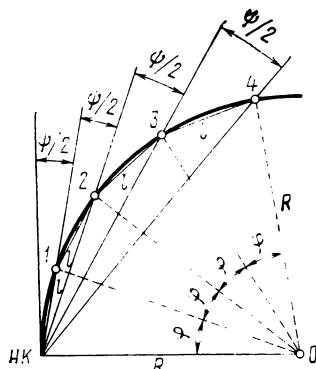


Рис. 135. Разбивка кривой способом углов

ную разбивку кривой. Существует несколько способов детальной разбивки круговой кривой. Рассмотрим следующие три способа и условия их применения.

Способ прямоугольных координат является наиболее точным и применяется в открытой равнинной местности, на которой легко строить перпендикуляры.

За ось абсцисс (рис. 134) принимают линию тангенса (касательную), за начало координат для одной половины кривой ее начальную точку, а для другой половины — конечную.

Задавшись расстоянием K между смежными промежуточными

точками кривой, найдем центральный угол

$$\varphi = K/R. \quad (257)$$

Непосредственно из чертежа (рис. 134) имеем

$$x_1 = R \sin \varphi, \quad (258)$$

$$y_1 = R - R \cos \varphi = 2R \sin^2 \frac{\varphi}{2}. \quad (259)$$

Очевидно, координаты точки 2 будут

$$x_2 = R \sin 2\varphi, \quad y_2 = 2R \sin^2 \varphi \text{ и т. д.} \quad (260)$$

По этим формулам составлены таблицы, из которых по аргументам R и K можно получить x и y (см. приложение 3). При больших радиусах вместо абсциссы x дается разность $K-x$, называемая кривой без абсциссы.

По линии тангенсов откладывают лентой или рулеткой сначала длину кривой K , а затем, отступив назад на величину $K-x$, строят в полученной точке перпендикуляр, на котором откладывают величину y . Разбивку ведут от начала кривой до середины, а затем от конца кривой также до середины. На местности точки кривой закрепляют колышками.

Способ углов целесообразно применять на косогорах, насыпях и в полузакрытой равнинной местности. Задавшись длиной хорды l , соединяющей смежные точки кривой, находят центральный угол φ (рис. 135):

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{l}{2R}. \quad (261)$$

Установив теодолит в начальной точке кривой, от линии тангенса откладывают угол $\varphi/2$. Вдоль полученного направления отмеряют отрезок l и закрепляют на местности точку 1. Затем от касательной (тангенса) откладывают угол φ , а от точки 1 — отрезок l . Конечная точка этого отрезка, расположенная на вновь построенном направлении, определит точку 2 кривой. Последующие точки определяют аналогично.

Разбивку одной половины кривой ведут от ее начала, а другой половины — от конца круговой кривой. В том случае, когда при разбивке кривой на пути визирных лучей окажутся препятствия, теодолит переносят в одну из последних разбитых точек кривой и в этой точке строят новую касательную, от которой ведут дальнейшую разбивку.

Способ продолженных хорд рекомендуется применять для разбивки кривой в выемке и туннеле. Задавшись длиной хорды l , определяют положение точки 1 по способу координат или способу углов (рис. 136).

В створе хорды, стягивающей точки A и 1, откладывают отрезок l . Пользуясь этим отрезком как радиусом, смещают конечную точку его на величину d и получают точку 2 кривой. В створе хорды, стягивающей точки 1 и 2, снова откладывают отрезок l и, смес-

тив конец его на величину d , получают точку 3 и т. д. Величину d определяют по формуле

$$d = l^2/R. \quad (262)$$

При разбивке кривой по этому способу все измерения выполняются почти на самой кривой.

Способ вписанного многоугольника, как и способ продолженных хорд, применяют для детальной разбивки кривых в стесненных условиях. В этом способе разбиваемую кривую, радиус которой R и центральный угол α , делят на n частей (рис. 137). Длину хорды, соответствующую каждой части кривой, определяют по формуле

$$l = 2R \sin(\alpha/2n). \quad (263)$$

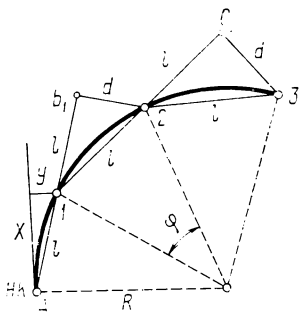


Рис. 136. Разбивка кривой способом продолженных хорд

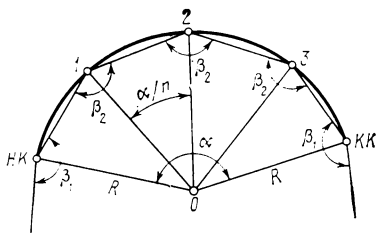


Рис. 137. Разбивка кривой способом вписанного многоугольника

Горизонтальные углы в начальной и конечной точках кривой определяют по формуле

$$\beta_1 = 180^\circ - \alpha/(2n). \quad (264)$$

Горизонтальные углы в промежуточных точках кривой находят из выражения

$$\beta_2 = 180^\circ - \alpha/n. \quad (265)$$

Детальную разбивку кривой выполняют по вычисленным углам β_1 , β_2 и длине хорды l .

§ 95. Передача отметок по вертикали

Допустим, что от рабочего репера R (рис. 138) требуется передать отметку на точку A , находящуюся на здании. Для этого у наружной стены здания устраивают кронштейн и к нему прикрепляют стальную рулетку или ленту. К рулетке или ленте подвешивают груз с той массой, при которой производили компарирование мерного прибора.

Примерно посередине между репером R и подвешенной рулеткой устанавливают нивелир и берут отсчеты: a — по рейке, уста-

новленной на репере R , и b — по рулетке. Затем с нивелиром переходят на ту часть здания, куда необходимо передать отметку, и берут отсчеты d и c по рейке, установленной в точке A , и рулетке. Из рис. 138 следует

$$H_A = H_R + a + (c - b) - d, \quad (266)$$

где H_R — отметка репера R .

Для контроля передачи отметок на каждой станции наблюдения ведут при двух горизонтах инструмента. Если требуется повысить точность передачи отметки, то на обеих станциях наблюдения выполняют одновременно двумя нивелирами.

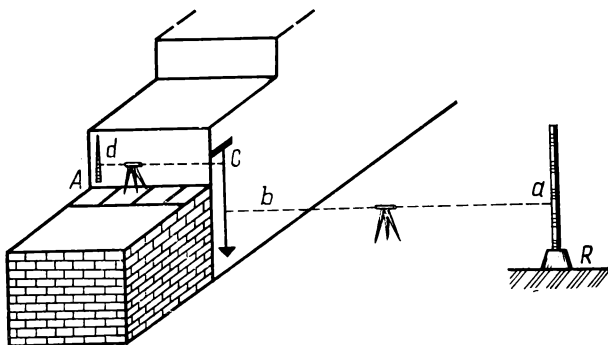


Рис. 138. Передача отметки на здание

Совершенно очевидно, что задача по передаче отметки в глубокий котлован будет обратной по отношению к описанной выше. Действительно (рис. 138), если отметку точки A принять за исходную, то

$$H_R = H_A + d - (c - b) - a. \quad (267)$$

§ 96. Проектирование вертикальной планировки

При строительстве и благоустройстве населенных пунктов и промышленных предприятий возникает необходимость преобразования существующего рельефа земной поверхности. Такое преобразование рельефа земной поверхности называется *вертикальной планировкой*. Рассмотрим несколько случаев проектирования вертикальной планировки по данным нивелирования поверхности по квадратам.

1-й случай. Требуется запроектировать горизонтальную площадку, проектная отметка H_0 которой задана. Для каждой из вершин квадрата определяют рабочие отметки по формуле

$$h_i = H_i - H_0, \quad (268)$$

где H_i — черная отметка i -й вершины квадрата.

Если рабочие отметки вершин каждого квадрата имеют один знак, то объем насыпи или выемки в пределах квадрата находят по формуле

$$V = 0,25l^2(h_1 + h_2 + h_3 + h_4), \quad (269)$$

где l — длина стороны квадрата.

Квадраты нивелирной сетки, вершины которых имеют рабочие отметки разных знаков, называют *переходными*. Для определения объема земляных работ переходной квадрат расчленяют на элементарные фигуры, чаще всего треугольники. Тогда объем насыпи или выемки в пределах треугольника будет

$$V = \frac{1}{3} A (h_1 + h_2 + h_3), \quad (270)$$

где A — площадь треугольника.

2-й случай. Требуется запроектировать горизонтальную площадку с соблюдением условия баланса земляных работ (объем насыпи равен объему выемки). Тогда красную отметку такой горизонтальной площадки определяют по формуле

$$H_0 = H + V_1/A_1, \quad (271)$$

где V_1 — объем земляного тела в пределах планируемой территории, расположенного над горизонтальной плоскостью, отметка которой равна H ; A_1 — площадь планируемой территории.

Отметку H обычно принимают равной наименьшему значению черной отметки в пределах планируемой территории. Например, для строительной площадки, показанной на рис. 139, $H = 118,05$ м.

Объем V_1 можно определить так же, как и в первом случае. Однако более удобно воспользоваться формулой

$$V_1 = 0,25l^2 \left(\sum h_1 + 2 \sum h_2 + 3 \sum h_3 + 4 \sum h_4 \right), \quad (272)$$

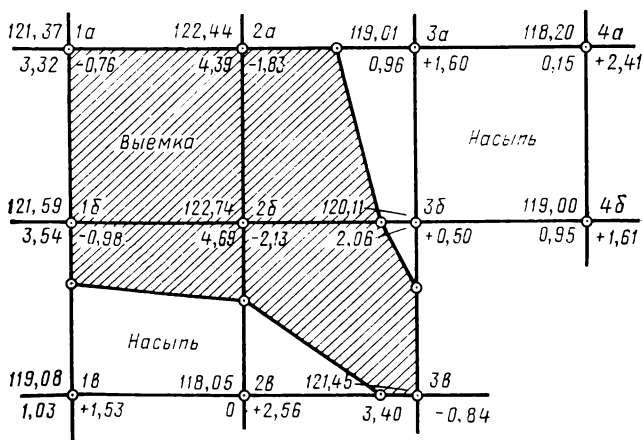


Рис. 139. Проектирование вертикальной планировки

где Σh_1 — сумма условных отметок вершин квадратов, где имеется один угол; Σh_2 , Σh_3 и Σh_4 — суммы условных отметок вершин, общих соответственно для двух, трех и четырех квадратов.

Значения условных отметок для каждой из вершин квадратов

$$h = H_{\text{черн}} - H. \quad (273)$$

На рис. 139 показано проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ. У каждой вершины квадрата подписаны черные, условные и рабочие отметки, а также номер квадрата.

3-й случай. Требуется запроектировать наклонную площадку, которая задана красной отметкой H_0 , направлением (дирекционным углом α_0) и величиной i_0 наибольшего ее уклона.

Для этого определяют уклоны i_x и i_y по осям x и y сетки квадратов

$$i_x = i_0 \cos \alpha_0, \quad i_y = i_0 \sin \alpha_0. \quad (274)$$

Если сторона квадрата сетки равна l , то превышения по сторонам квадратов будут

$$h_x = li_x, \quad h_y = li_y. \quad (275)$$

Красные отметки последующих вершин квадратов находят как алгебраическую сумму предыдущей красной отметки и соответствующего превышения.

4-й случай. Требуется запроектировать наклонную площадку с соблюдением баланса земляных работ. В этом случае красную отметку H_0 центра тяжести O (рис. 140) проектируемой наклонной площадки вычисляют по формуле (271). Остальные расчеты выполняют аналогично третьему случаю.

Центр тяжести планируемой территории определяют аналитически или графически (рис. 140). Находят центры O_1 и O_2 фигур $1a-3a-3b-1b$ и $3a-4a-4b-1b$. Затем определяют центры тяжести O_3 и O_4 фигур $1a-4a-4b-1a$ и $1b-3b-3b-1b$. Центр тяжести O представляет точку пересечения O_1O_2 и O_3O_4 .

§ 97. Подсчет объемов земляных работ при вертикальной планировке

Основой для подсчета объема земляных работ при вертикальной планировке является топографический план строительной площадки, на котором разбивается сетка квадратов со сторонами от

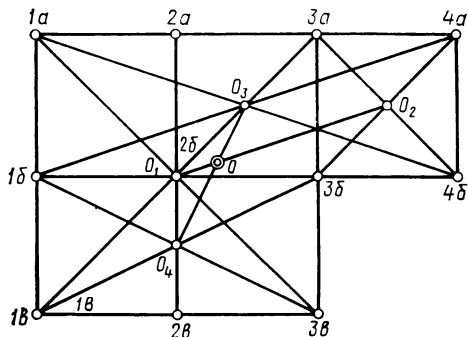


Рис. 140. Определение центра тяжести площадки

10 до 100 м. Длина стороны зависит от формы рельефа и требований к точности подсчета объема земляных масс. На основании этого плана составляют картограмму земляных работ, на которую выписывают фактические и проектные отметки всех вершин квадратов сетки. Затем вычисляют рабочие отметки

$$h_p = H_q - H_k, \quad (276)$$

где H_q — фактическая (черная) отметка вершины квадрата; H_k — проектная (красная) отметка вершины квадрата. Эти отметки также выписывают на картограмму земляных работ. Положительный знак рабочей отметки указывает на необходимость выемки грунта в этой точке, а отрицательный знак — на подсыпку. Расположение точек нулевых работ находят путем интерполирования. Соединив эти точки плавной кривой, получают линию нулевых работ.

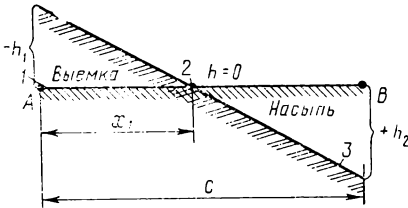


Рис. 141. К определению точки нулевых работ:

1 — линия проектного рельефа; 2 — точка нулевых работ; 3 — линия существующего рельефа

Положительный знак рабочей отметки указывает на необходимость выемки грунта в этой точке, а отрицательный знак — на подсыпку. Расположение точек нулевых работ находят путем интерполирования. Соединив эти точки плавной кривой, получают линию нулевых работ.

Расстояние x от точки A по стороне квадрата $A-B$ (рис. 141) вычисляют по формуле

$$x_1 = \frac{c|h_1|}{|h_1| + |h_2|}. \quad (277)$$

Подсчет объемов земляных работ производят путем разбивки участка на ряд элементарных геометрических фигур. При этом используют способ треугольных или квадратных призм.

Для получения треугольных призм во всех квадратах сетки в одном направлении проводят диагонали и вычисляют объем каждой треугольной призмы

$$V = \frac{1}{2} a^2 \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}, \quad (278)$$

где a — сторона квадрата, м; h_1 , h_2 и h_3 — рабочие отметки вершин квадратов.

Пример. На плане в горизонталях с сечением рельефа через 1 м участок $ABCD$ разбит на квадраты со сторонами 50 м (рис. 142). Требуется определить объем выемки и насыпи по способу треугольных призм, если отметка планировки в точке A $H_0 = 23,50$ м, а проектные уклоны площадки $i_1 = +0,002$ (от A к D) и $i_2 = -0,004$ (от A к B).

Решение. По горизонталям методом интерполирования определяем черные отметки для каждого угла квадрата, а затем проектные отметки

$$H_N = H_0 + dx i_1 + dy i_2, \quad (279)$$

где H_0 — проектная отметка точки A , принятой за исходную; dx — расстояние между точкой N и точкой A по оси x ; dy — то же, по оси y .

Например, проектная отметка H_{B_4} будет

$$H_{B_4} = 23,50 - 50 \cdot 0,004 = 23,30 \text{ м,}$$

а проектная отметка точки C_2

$$H_{C_2} = 23,50 - 100 \cdot 0,004 + 100 \cdot 0,002 = 23,30 \text{ м.}$$

Вычисленные таким образом значения проектных, рабочих и черных отметок приведены в табл. 22.

Порядок вычисления объемов следующий. Сначала подсчитываем объемы выемок и насыпей в «целых» треугольниках, а затем в смешанных, пересеченных линий нулевых работ KM (см. рис. 142). Например, для целого треугольника № 12 имеем

$$V_{12} = \frac{1}{3} \cdot \frac{502}{2} (0,0 + 0,7 + 0,1) = 333 \text{ м}^3,$$

для треугольника № 1

$$V_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{502}{2} (1,5 + 1,0 + 0,8) = 1375 \text{ м}^3.$$

Так как в смешанные треугольники входят насыпи и выемки, то сначала находим разность объемов насыпи и выемки в смешанном треугольнике

$$V_6 = \frac{1}{3} s (h_1 + h_2 + h_3), \quad (280)$$

где h_1 , h_2 и h_3 — рабочие отметки в углах смешанного треугольника; s — площадь смешанного треугольника.

Затем определяем объем насыпи или выемки (пирамиды) в треугольной части смешанного треугольника ABC (рис. 143):

$$V_{\text{н}} \text{ (или } V_{\text{в}}) = \frac{1}{3} s \frac{h_3^3}{(h_1 + h_3)(h_2 + h_3)}, \quad (281)$$

где h_1 , h_2 и h_3 берем по абсолютной величине, а h_3 выбираем со знаком, проти-

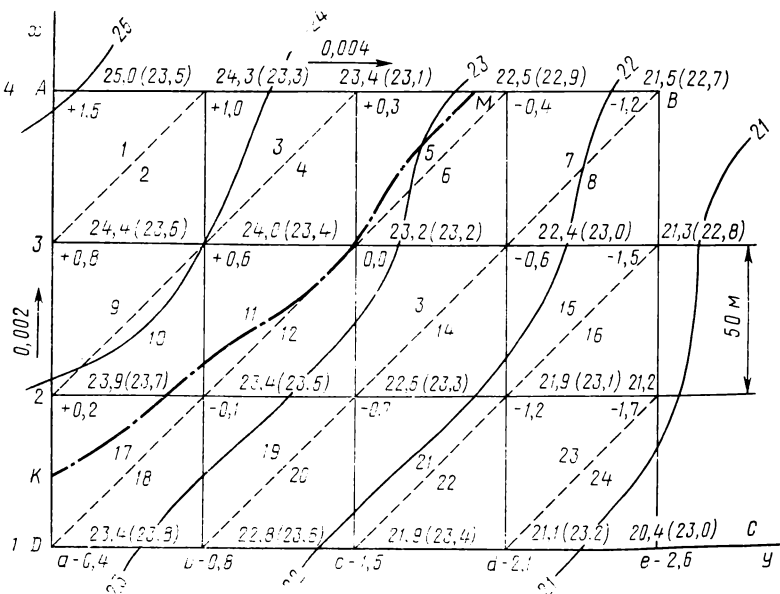


Рис. 142. План участка в горизонталях

№ вершин.	Отметки			№ вершин	Отметки		
	черные	проектные	рабочие		черные	проектные	рабочие
1	23,4	23,8	-0,4	3	23,2	23,2	0,0
2	23,9	23,7	+0,2	4	23,4	23,1	+0,3
3	24,4	23,6	+0,8	1	21,1	23,2	-2,1
4	25,0	23,5	+1,5	2	21,9	23,1	-1,2
1	22,8	23,6	-0,8	3	22,4	23,0	-0,6
2	23,4	23,5	-0,1	4	22,5	22,9	-0,4
3	24,0	23,4	+0,6	1	20,4	23,0	-2,6
4	24,3	23,3	+1,0	2	21,2	22,9	-1,7
1	21,9	23,4	-1,5	3	21,3	22,8	-1,5
2	22,6	23,3	-0,7	4	21,5	22,7	-1,2

воположным двум другим рабочим отметкам h_1 и h_2 . Например, для треугольника № 5 $h_3 = +0,3$, а для треугольника № 17 $h_3 = +0,2$ (см. рис. 142).

Тогда согласно формулам (280) и (281) для треугольника № 5 запишем

$$V_6 = \frac{1}{3} \cdot \frac{50^2}{2} (-0,4 - 0,0 + 0,3) = -42 \text{ м}^3,$$

$$V_в = \frac{1}{3} \cdot \frac{50^2}{2} \left[\frac{0,3^3}{(0,3 + 0,4)(0,3 + 0,0)} \right] = 54 \text{ м}^3.$$

Откуда

$$V_n = V_6 - V_в = -42 - (+54) = -96 \text{ м}^3.$$

Для всех других смешанных треугольников объемы земляных масс вычисляются аналогично. Они оказались равными $V_{н11} = -6 \text{ м}^3$; $V_{н10} = +294 \text{ м}^3$; $V_{н11} = -308 \text{ м}^3$. Результаты вычислений приведены в табл. 23.

В способе четырехугольных призм объемы земляных работ подсчитывают для каждого квадрата сетки

$$V_i = S h_{\text{ср}}, \quad (282)$$

где S — площадь квадрата; $h_{\text{ср}}$ — средняя рабочая отметка, которая получается как среднее арифметическое из отметок четырех вершин квадратов,

$$h_{\text{ср}} = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)/4. \quad (283)$$

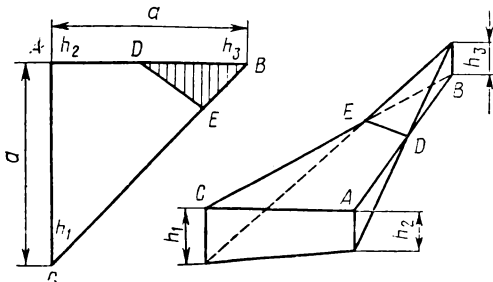


Рис. 143. К расчету насыпи и выемки

Следует заметить, что способ четырехугольных призм менее точен, чем способ треугольников, но он требует и меньше вычислений.

Как видно из результатов табл. 23, на планируемом участке объем земляных работ оказался несбалансированным: выемки 4954 м^3 и насыпи 18872 м^3 .

№ треугольников	Объемы		№ треугольников	Объемы	
	выемок	насыпей		выемок	насыпей
1	1375	—	13	—	542
2	1000	—	14	—	1042
3	792	—	15	—	1375
4	375	—	16	—	1833
5	54	96	17	183	308
6	—	417	18	—	542
7	—	917	19	—	667
8	—	1375	20	—	1250
9	667	—	21	—	1417
10	294	2	22	—	2000
11	214	6	23	—	2083
12	—	333	24	—	2667
Итого:					
в целых треугольниках				4209	18 460
в смешанных треугольниках				745	412
Всего . . .				4954	18 872

Если вертикальную планировку строительной площадки надо выполнить с условием баланса земляных работ, то сначала необходимо найти центр тяжести строительной площадки и его проектную отметку, как это описано в § 96, а остальные расчеты будут аналогичны приведенным выше.

Вопросы для самопроверки

1. Что представляет собой строительная сетка и каковы этапы ее создания?
2. Какими методами получают данные для выноса проекта в натуру?
3. Как называются оси, определяющие геометрическую схему сооружения?
4. Какие основные способы определения величин разбивочных элементов?
5. Какая последовательность выполнения разбивочных работ на строительной площадке?
6. Как перенести в натуру проектные длины отрезков линий, горизонтальные углы, отметки и линии заданного уклона?
7. Какие основные способы разбивки осей и точек сооружений?
8. Какие основные способы детальной разбивки закруглений?
9. Что называется вертикальной планировкой?
10. Как запроектировать горизонтальную и наклонную площадки с соблюдением баланса земляных работ?

§ 98. Расчеты при выполнении земляных работ

Расчет границ откосов котлована. Одной из важных задач разбивки котлована в натуре является обозначение на поверхности границы его откосов, что позволяет определить начало и конец забоя землеройных машин, а также место для установки различных приспособлений, используемых для контроля правильности устройства откосов.

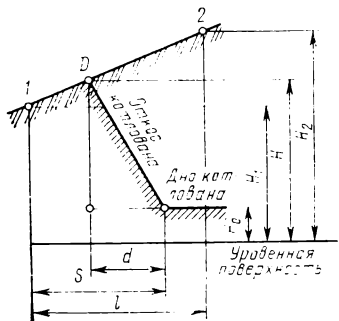


Рис. 144. К расчету при проектировании котлованов

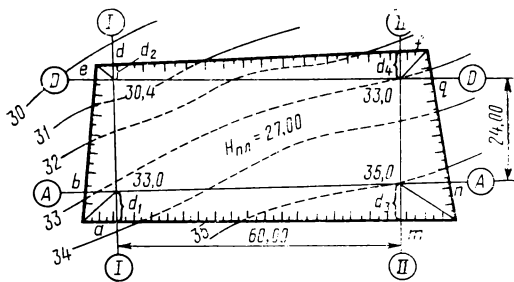


Рис. 145. К определению границ откосов котлована

Проектирование котлована для устройства подземных частей здания или сооружения выполняют на топографическом плане, на который наносят оси проектируемого сооружения и от них строят очертания дна котлована. Задавшись отметкой H_0 дна котлована и уклоном i_0 его откосов, находят очертание котлована поверху — линию нулевых работ.

Пусть (рис. 144) положение точки O нулевых работ определено горизонтальным расстоянием d . Тогда непосредственно из рис. 144 имеем

$$H = H_1 + i(s - d), \quad (284)$$

где $i = (H_2 - H_1)/l$.

В то же время при заданном значении H_0 и i_0

$$H = H_0 + i_0 d. \quad (285)$$

Приравняв правые части равенства (284) и (285), найдем

$$d = (H_1 - H_0 + is)/(i_0 + i). \quad (286)$$

По этой формуле находят положения точек нулевых работ в наиболее характерных местах. Соединив эти точки на плане, получают линию нулевых работ.

Пусть требуется рассчитать объемы земляных работ котлована промышленного здания длиной 60 м, шириной 24 м и уклоном откосов по котловану равным $i_0 = 1$ (рис. 145). При этом планировоч-

ная отметка строительной площадки равна 27 м. Построение начинают с нанесения на план контура здания.

Для получения точек нулевых работ, например, для поперечной оси сооружения $I-I$ от точки пересечения осей $A-A$ и $I-I$ откладывают заложение $d_1 = 33 - 27 = 6$ м в направлении поперечника $I-I$ и оси $A-A$. Полученные точки a и b и будут точками нулевых работ, т. е. будут лежать на бровке котлована. Аналогично получаем заложения $d_2 = 30,4 - 27 = 3,4$ м; $d_3 = 35 - 27 = 8$ м; $d_4 = 33 - 27 = 6$ м. Отложив эти заложения по соответствующим осям сооружения, получим соответственно точки d и e , m и n , f и q . Соединив теперь соответствующие точки прямыми линиями, получим линию нулевых работ.

Подсчет объема земляных работ. Для подсчета объема земляных работ котлован расчленяют на простейшие геометрические фигуры, по которым подсчитывают объемы с учетом продольного и поперечного уклонов местности и заданных величин откосов.

Объем вынутого из котлована грунта

$$V = (S_1 + S_2)l/2, \quad (287)$$

где S_1 и S_2 — площади поперечных сечений котлована; l — расстояние между поперечниками.

Формула (287) дает всегда завышенные результаты, поэтому при больших размерах котлованов применяют более строгую формулу

$$V = \left[S + \frac{i_0(H_1 - H_2)^2}{12} \right] l, \quad (288)$$

где S — среднее поперечное сечение котлована (трапеции); H_1 и H_2 — высоты трапеции; $i_0(H_1 - H_2)^2/12$ — поправка при крутизне откоса i_0 .

Поправкой можно пренебречь в том случае, когда она не превышает заданной точности вычисления объема земляных работ.

При подсчете объема земляных масс необходимо учитывать остаточное разрыхление грунта. Зависимость между объемами разработанного грунта V_p и грунта в естественном залегании V_e

$$V_p = V_e(1 + K/100), \quad (289)$$

где K — коэффициент остаточного разрыхления, %.

Пример 1. Требуется определить объем земляных работ при сооружении котлована размером по дну $b \times a = 60 \times 12$ м, глубиной на пересечении диагоналей $h = 4$ м с откосами 1: $i_0 = 1 : 0,670$. Поперечный уклон котлована $i_1 = 0,040$; продольный уклон котлована отсутствует (рис. 146).

Решение. Глубины котлована по его вершинам

$$h_1 = h_2 = h + \frac{a}{2} i_1 = 4 + \frac{12}{2} 0,04 = 4,24 \text{ м,}$$

$$h_3 = h_4 = h - \frac{a}{2} i_1 = 4 - \frac{12}{2} 0,04 = 3,76 \text{ м.}$$

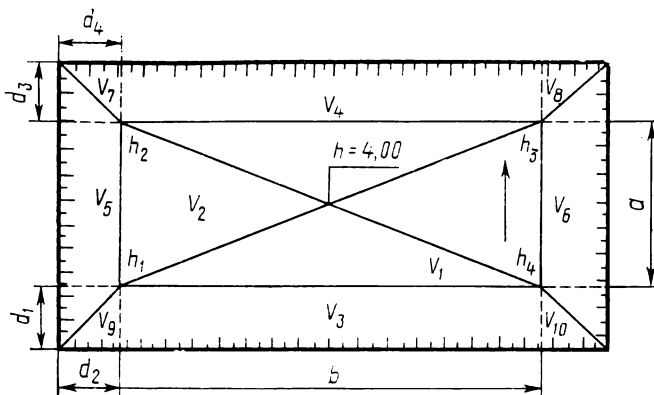


Рис. 146. К подсчету объемов земляных работ

Значения заложений откосов определим по формулам

$$d_1 = \frac{i_0 h_1}{1 - i_0 i_1} = \frac{0,67 \cdot 4,24}{1 - 0,67 \cdot 0,04} = 2,92 \text{ м};$$

$$d_2 = i_0 h_1 = 0,67 \cdot 4,24 = 2,84 \text{ м};$$

$$d_3 = \frac{i_0 h_3}{1 + i_0 i_1} = \frac{0,67 \cdot 3,76}{1 + 0,67 \cdot 0,04} = 2,46 \text{ м};$$

$$d_4 = i_0 h_4 = 0,67 \cdot 3,76 = 2,52 \text{ м}.$$

Разобьем теперь котлован на ряд элементарных фигур и определим их объемы.

1. Объемы V_1 и V_2 определим как объемы усеченных треугольных призм, расположенных в основании котлована:

$$V_1 = \frac{ab}{2} \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \right) = \frac{12 \cdot 60}{2} \left(\frac{4,24 + 4,24 + 3,76}{3} \right) = 1469 \text{ м}^3;$$

$$V_2 = \frac{ab}{2} \left(\frac{h_1 + h_3 + h_4}{3} \right) = \frac{12 \cdot 60}{2} \left(\frac{4,24 + 3,76 + 3,76}{3} \right) = 1411 \text{ м}^3.$$

2. Объемы V_3 и V_4 определим как объемы треугольных призм, расположенных у откосов поперечных сторон котлована:

$$V_3 = \frac{h_1 d_1}{2} b = \frac{4,24 \cdot 2,92}{2} 60 = 371 \text{ м}^3;$$

$$V_4 = \frac{h_3 d_3}{2} b = \frac{3,76 \cdot 2,46}{2} 60 = 278 \text{ м}^3.$$

3. Объемы V_5 и V_6 определим как объемы усеченных треугольных призм, расположенных у откосов поперечных сторон котлована:

$$V_5 = V_6 = \left(\frac{h_1 d_2}{2} + \frac{h_3 d_4}{2} \right) \frac{a}{2} = \left(\frac{4,24 \cdot 2,84}{2} + \frac{3,76 \cdot 2,52}{2} \right) \frac{12}{2} = 65 \text{ м}^3.$$

4. Объемы V_7 , V_8 , V_9 и V_{10} определим как объемы четырехугольных призм, расположенных в углах котлована:

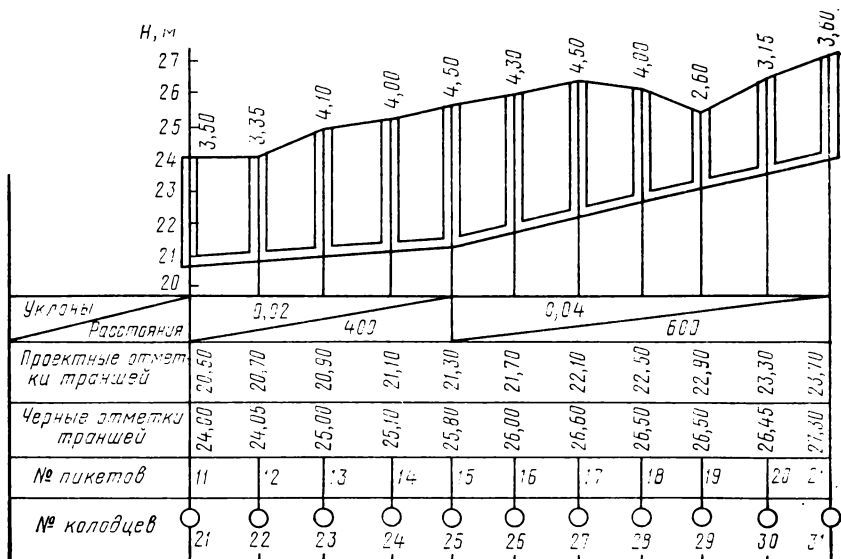


Рис. 147. Продольный профиль траншеи

$$V_7 = V_8 = \frac{d_3 d_4 h_3}{3} = \frac{2,46 \cdot 2,92 \cdot 3,76}{3} \approx 8 \text{ м}^3;$$

$$V_9 = V_{10} = \frac{d_1 d_2 h_1}{3} = \frac{2,92 \cdot 2,84 \cdot 4,24}{3} \approx 12 \text{ м}^3.$$

Следовательно, общий объем земляных работ при сооружении данного котлована составит

$$V = \sum_{i=1}^{10} V_i = 3700 \text{ м}^3.$$

При подсчете объема земляных работ при рытье траншей в ряде случаев необходимо учитывать объем избыточного грунта, отвозимого в отвал. Рассмотрим этот случай на конкретном примере.

Пример 2. Определить объем земляных работ, выполненных при рытье траншеи, в которую будет уложен канализационный коллектор из железобетонных труб $d=720$ мм; толщина стенок $\tau=60$ мм; наружный диаметр колодцев $d_1=1410$ мм; длина коллектора $L=1000$ м; расстояние между колодцами 100 м. Траншея отрывается в отвал без крепления стенок; грунт — суглинок. Продольный профиль траншеи представлен на рис. 147.

Подсчет объема земляных работ сведен в табл. 24.

Значения

$$h_{cp} = 1/2 (h_1 + h_2).$$

Средние значения площадей поперечных сечений траншеи на соответствующих пикетах

$$S_{cp} = (b + ih) h,$$

где $b=d+1=1,72$ — ширина траншеи по дну при коэффициенте откоса $i=0,750$ и $d=0,72$.

Пикеты	Рабочие отметки h , м	Средние рабочие отметки $h_{ср}$, м	Средние площади $S_{ср}$, м ²	Поправки δ , м ²	S_p , м ²	V , м ³
11	3,5	3,42	14,67	—	14,67	1467
12	3,35	3,73	16,86	0,04	16,9	1690
13	4,1	4,05	19,28	—	19,28	1928
14	4	4,25	20,87	0,02	20,89	2089
15	4,5	4,4	22,09	—	22,09	2209
16	4,3	4,4	22,09	—	22,09	2209
17	4,5	4,25	20,87	0,02	20,89	2089
18	4	3,3	13,86	0,12	13,98	1398
19	2,6	2,87	11,11	0,03	11,14	1114
20	3,15	3,38	14,4	0,01	14,41	1441
21	3,6					

Итого . . . 17 634

Поправки при коэффициенте откоса i

$$\delta = i/12 (h_1 + h_2)^2.$$

Эта поправка всегда положительна.

Исправленные площади

$$S_p = S_{ср} + \delta.$$

Объемы участков траншеи между пикетами

$$V = S_p l,$$

где $l=100$ м — длина пикета.Следовательно, суммарный объем грунта, который необходимо вынуть на участке укладки коллектора, $V=17\,634$ м³.Для определения баланса земляных работ необходимо определить объем грунта, который потребуется для обратной засыпки траншеи. При этом необходимо учесть коэффициент остаточного разрыхления грунта. Согласно единым нормам и расценкам (ЕНиР) для суглинка $K=1,05$. Такой объем определяют по формуле

$$V_0 = (V - V_T - V_K)/K, \quad (290)$$

где V — общий объем, вынутый из траншеи; V_T и V_K — объемы грунта, вытесняемого трубопроводом и колодцами.Объем грунта для всего участка L

$$V_T = \pi d^2/4 (L - nd_1) K_p, \quad (291)$$

где $d=720$ мм — диаметр трубы коллектора; $d_1=1410$ мм — наружный диаметр колодца; n — число интервалов между колодцами; $K_p=1,05$ — коэффициент увеличения объема за счет раструбов звеньев коллектора.

По формуле (291) получаем

$$V_T = \frac{3,14 \cdot 0,72^2}{4} (1000 - 10 \cdot 1,41) 1,05 = 422 \text{ м}^3.$$

Объем грунта, вытесняемый колодцами с учетом горловины высотой $h_r=0,9$ м и наружным диаметром $d_n=0,84$ м:

$$V_K = \frac{\pi d_n^2}{4} h_2 n + \frac{\pi d_1^2}{4} [(h_1 - h_r) + (h_2 - h_r) + \dots + (h_{11} - h_r)], \quad (292)$$

где h_1, h_2, \dots, h_{11} — рабочие отметки в местах расположения колодцев.

Подставляя в формулу числовые значения и используя данные продольного профиля трассы коллектора (см. рис. 147), получим

$$V_k = \frac{3,14 \cdot 0,84^2}{4} 0,9 \cdot 11 + \frac{3,14 \cdot 1,41^2}{4} [(3,5 - 0,9) + (3,35 - 0,9) + (4,1 - 0,9) + (4 - 0,9) + (4,5 - 0,9) + (4,3 - 0,9) + (4,5 - 0,9) + (4 - 0,9) + (2,6 - 0,9) + (3,15 - 0,9) + (3,6 - 0,9)] = 55 \text{ м}^3.$$

По формуле (290) объем грунта, необходимый для обратной засыпки траншеи, будет

$$V_0 = (17\ 634 - 422 - 55) / 1,05 = 16\ 340 \text{ м}^3.$$

Объем грунта, который необходимо отвезти в отвал, будет равен

$$V - V_0 = V_{\text{отв}} = 17\ 634 - 16\ 340 = 1294 \text{ м}^3,$$

что составляет 7,3%.

Если трасса трубопровода проходит по косогору, то при подсчете объема выемки грунта необходимо учитывать поперечный профиль местности.

§ 99. Разбивочные работы при сооружении котлованов

Плано-высотные разбивки. Разбивку контура котлована на местности производят согласно чертежу, на котором указывают размеры фундаментов, глубину их заложения, а также все продольные и поперечные оси сооружения. Линию нулевых работ закрепляют кольями, а также рисками или гвоздями на обноске.

В процессе производства земляных работ глубину котлована систематически контролируют с помощью постоянных визирок, прикрепленных к обноске, и переносных (ходовых) визирок. При рытье котлованов перебор грунта не допускается.

При сооружении глубоких и значительных по размерам котлованов на их дне и на уступах устанавливают временные реперы. Отметку на дно таких котлованов передают по схеме, представленной на рис. 148. Непосредственно из рисунка видно, что отметки точек C и D будут

$$H_c = H_A + a - (b + d), \quad (293)$$

$$H_D = H_A + a - (l + f), \quad (294)$$

где a, d, f — отсчеты по рейкам, установленным в точках A, C и D соответственно; l и b — отсчеты по рулетке.

Для контроля отметки на дно котлована передаются от двух рабочих реперов с изменением положения подвески рулетки.

Практически отметку на дно котлована передают с точностью порядка ± 1 см. При более жестких требованиях в отсчеты по рулетке вводят поправку за компарирование и применяют соответствующую методику наблюдений на станции или более высокоточные инструменты.

Нивелирование дна и откоса котлована. Перед зачисткой дна котлована на всей его площади разбивают сетку, которая обычно

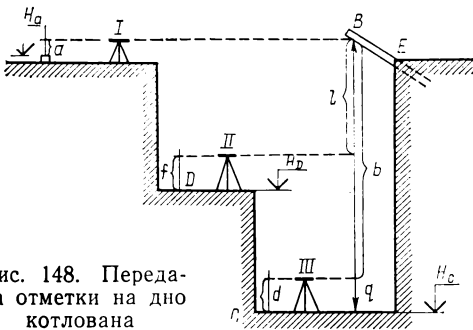


Рис. 148. Передача отметки на дно котлована

образуется от пересечения продольных и поперечных осей. В вершинах сетки забивают кольца с таким расчетом, чтобы верхний срез их был как можно ближе к проектной отметке дна котлована. Затем нивелированием определяют проектные отметки торцов колец. Между этими опорными точками забивают дополнительные кольца через 3—5 м и с помощью трех визирок получают проектные отметки дна котлована. При этом две постоянные визирки устанавливают на опорные точки, а третью — ходовую — ставят на кол между постоянными визирками. Ударяя по торцу кола, где установлена ходовая визирка, добиваются того, чтобы верх всех трех визирок находился на одной прямой.

Работы по зачистке котлована завершаются исполнительной съемкой и составлением исполнительной схемы, на которой показывают фактические и проектные отметки дна котлована.

При зачистке откоса котлована применяют откосный прямоугольный треугольник (рис. 149, а), откосное лекало (рис. 149, б) или направляющую доску (рис. 149, в).

Контроль за работой экскаваторов. Перед разработкой котлована землеройными машинами на местности закрепляют ось выемки и ее границу с помощью поперечников. Положение откоса определяют шаблонами и закрепляют траншеями, дно которых должно соответствовать проектной линии откоса. Отрывают такие траншеи многоковшовыми экскаваторами. Глубокие котлованы разрабатывают поярусно (погоризонтно). При этом на местности закрепляют лишь линию бровки нижнего горизонта.

Проектный горизонт дна котлована контролируют нивелированием два раза: перед проходкой экскаватора для разработки нижнего яруса и перед окончательной зачисткой дна котлована. Рееч-

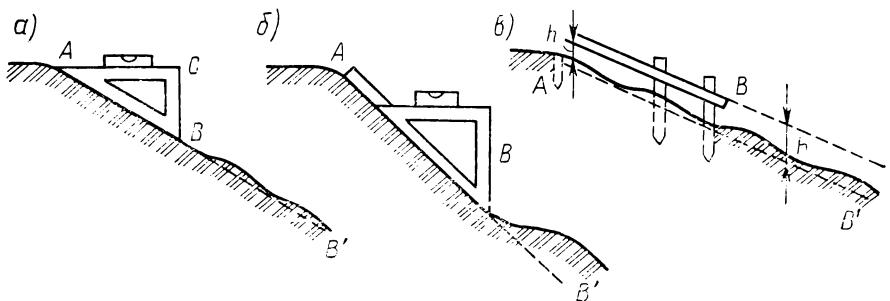


Рис. 149. Устройства для зачистки откосов котлованов

ные точки закрепляют кольями, на которых указывают величины срезок грунта до проектной отметки.

Если глубокий котлован разрабатывается экскаватором с прямой лопатой, то для избежания перебора грунта в откосах на местности закрепляют линию пересечения подошвы котлована с линией откоса. Положение экскаватора в выемке при проходках определяется его рабочими параметрами: длиной стрелы, объемом ковша, высотой, глубиной и радиусом резания и др. Если разработка котлована осуществляется драглайном, то перед началом рытья закрепляют на местности линию нижней бровки, что исклю-

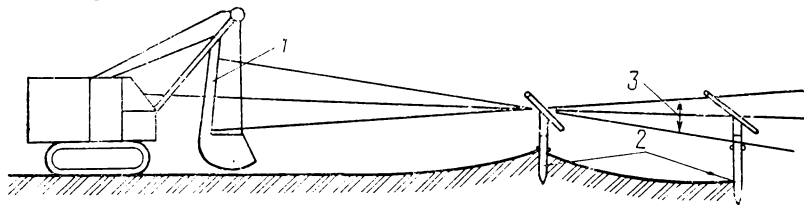


Рис. 150. Схема контроля работы экскаватора

чает перебор грунта при перемещении ковша с площадки на откосы.

Контролировать глубину котлована при работе экскаватора можно различными приспособлениями. Так, на рис. 150 представлена схема работы экскаватора с прямой лопатой, когда глубина котлована контролируется с помощью инвентарных визирных устройств. На рукоятке ковша нанесена горизонтальная черта 1, которая играет роль смотровой визирки. Ходовыми 2 являются обычные деревянные визирки, которые устанавливают на колья рассчитанной высоты или забивают непосредственно в землю. По смотровой и ходовой визиркам определяют величину насыпи или срезки 3.

Глубину разработки котлована экскаваторами с обратной лопатой контролируют с помощью различных глубиномеров, принцип работы которых основан на том, что при постоянной длине стрелы и рукоятки ковша изменение его погружения от уровня гусениц пропорционально изменению угла наклона стрелы экскаватора.

Для автоматизации контроля глубины котлована используют оптический прибор ПУЛ с заданным направлением луча * или лазерный визир ЛВ-5.

§ 100. Разбивки траншей и смотровых колодцев

Разбивочные работы при устройстве траншей для трубопровода заключаются в том, что на местности теодолитом по данным профиля и разбивочного чертежа выносят трассу, которую закрепляют кольями через 5—10 м. Одновременно с этим в натуре обоз-

* Цуккерман С. Т. Автоматизация управления машинами с помощью оптического луча. — Изв. вузов СССР. Разд. «Приборостроение», 1966, № 3.

начают грани траншей и намечают центры колодцев кольшками, в торцы которых забивают гвозди. Так как кольца при устройстве траншей будут уничтожены, то положение оси трубопровода и колодцев закрепляют с помощью обносок, которые при больших расстояниях между колодцами устанавливают и на оси трубопровода.

Обноска (рис. 151) состоит из вкопанных в землю на глубину около 1 м столбов, отстоящих от края траншей не менее чем на

1,5 м. На высоте 0,5—0,7 м от поверхности земли к столбам пришивают гвоздями горизонтально по уровню обрезную доску толщиной 40—50 мм. На доске с нижней стороны масляной краской надписывают номер колодца и диаметр прокладываемых труб.

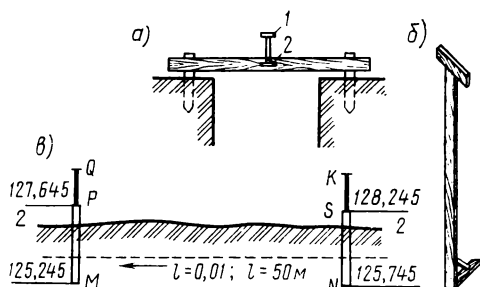


Рис. 151. Обноска и трубная визирка:

a — обноска; *б* — трубная визирка; *в* — к расчету постоянных визирок; *1* — постоянная визирка; *2* — полочка

Для лучшей видимости постоянную визирку окрашивают в красный и белый цвета. Постоянные визирки устраивают так, чтобы плоскость, проведенная через верхние грани их, была параллельна дну запроектированной траншеи с соблюдением проектного уклона.

Расчет длин постоянных визирок рассмотрим на следующем примере. Исходными данными для расчета являются (рис. 151, *в*): расстояние между колодцами $MN = l = 50$ м; уклон трубопровода $i = 0,01$; проектные отметки низа трубы в колодцах $H_M = 125,245$ м и $H_N = 125,745$ м; отметки полочек 2 на обноске ($H_P = 127,645$ м и $H_S = 128,245$ м); длина ходовой визирки выбрана равной 3,5 м.

Непосредственно из рисунка имеем:

$$H_Q = 125,245 + 3,500 = 128,745 \text{ м};$$

$$H_K = 125,745 + 3,500 = 129,245 \text{ м}.$$

Следовательно, искомые длины постоянных визирок будут:

$$PQ = 128,745 - 127,645 = 1,1 \text{ м};$$

$$SK = 129,245 - 128,245 = 1,0 \text{ м}.$$

Оси на обноску выносят с помощью теодолита и фиксируют гвоздем. В дальнейшем через гвозди обноски протягивают проволоку, с которой отвесами проектируют оси трубопроводов на дно траншей.

Глубину траншеи выверяют ходовой визиркой, верхняя грань которой должна располагаться в одной плоскости с верхними гранями двух смежных постоянных визирок, что легко проверяется на глаз. В практике применяют ходовые визирки определенной длины, удобной для работы, например 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 м.

§ 101. Разбивочные работы при укладке трубопроводов

Для укладки труб на заданную глубину и по заданному уклону применяют трубные ходовые визирки (рис. 151, б). Поперечную планку ходовой визирки окрашивают в два цвета, причем расположение цветов противоположно расположению их на постоянной визирке.

Для укладки водопроводных труб ходовая визирка должна быть короче земляной на величину внешнего диаметра трубы.

Для укладки канализационных труб применяют визирку, заканчивающуюся внизу башмаком, выступ которого прикреплен под прямым углом к вертикальному бруску визирки. При укладке трубы ходовая визирка задвигается своим башмаком внутрь трубы. Труба считается правильно уложенной, если верх ходовой визирки и двух постоянных находится на одной прямой. Прямолинейность укладки канализационных труб проверяют отвесами, подвешенными на проволоку, натягиваемую по оси труб между обносками.

Так как при укладке труб и постройке колодцев самотечной канализации требуется сравнительно высокая точность их установки по высоте, то все работы по укладке постоянно проверяют нивелиром. При малых уклонах безнапорных трубопроводов нивелиром проверяют укладку каждой трубы. Уклонения отметок лотков от проектных в колодцах безнапорных трубопроводов допускают не более ± 5 мм.

В последнее время для укладки труб используют лазерные визиры, например ЛВ-5. Этот прибор позволяет получать луч лазера, направленный под заданным уклоном или углом наклона, и использовать полученный луч как непосредственно для укладки, так и для выполнения контроля.

Разбивка теплосетей аналогична разбивкам трасс водопровода и канализации. При укладке теплофикационных труб в каналах обычно на их стенах нивелиром отмечают точки на проектной высоте, по которым устанавливают опоры и ведут монтаж труб.

Разбивка и укладка кабельных сетей не представляет затруднений, если их выполняют после вертикальной планировки площадки всех других подземных сетей.

Перед засыпкой подземных трубопроводов землей производят исполнительную съемку, на основании данных которой составляют исполнительный профиль и план трубопровода.

§ 102. Съёмка инженерных подземных коммуникаций индукционным методом

Иногда по условиям строительно-монтажных работ на строительной площадке не представляется возможным выполнить исполнительную съёмку прокладываемых трубопроводов. Кроме того, может возникнуть такая ситуация, что на территории строительной площадки уже имеются ранее проложенные инженерные подземные коммуникации. В этом случае для их съёмки традиционными методами требуется рытьё шурфов в характерных точках трубопроводов (повороты, ответвления, изгибы по высоте и др.) с последующими инструментальными промерами для определения их планово-высотного положения и регистрацией диаметров трубопроводов, типов кабелей, глубины заложения, характеристики коллекторов и т. п.

В настоящее время поиск и вынос на поверхность осей инженерных подземных коммуникаций производится без рытья траншей. Для этого применяют специальные индукционные приборы, которые получили общее название трубокабелеискатели (ТКИ). С помощью таких приборов на поверхность земли выносят (проектируют) и маркируют оси подземных коммуникаций, а затем производят ее съёмку традиционными методами.

Принцип работы трубокабелеискателей основывается на следующем. Если по проводнику пропустить переменный ток, то вокруг него образуется переменное магнитное поле, силовые линии которого в первом приближении имеют вид концентрических окружностей. В антенне, внесенной в электромагнитное поле, появляется электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная эффективности антенны и интенсивности поля. Если рамочную антенну расположить горизонтально (рис. 152), то наводимая в ней ЭДС будет зависеть от взаимного расположения антенны и

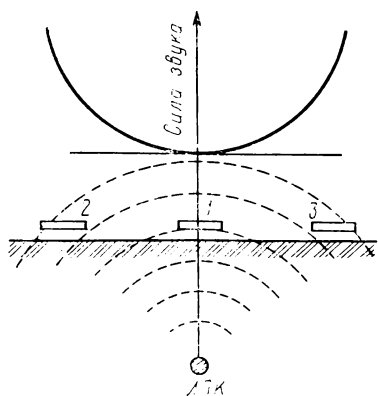


Рис. 152. К определению положения оси трубопровода

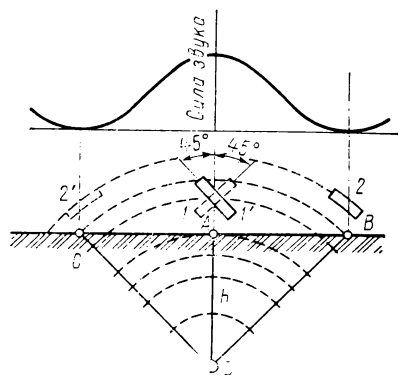


Рис. 153. К определению глубины заложения трубопровода

подземных коммуникаций. В положении 1, когда плоскость рамки антенны расположена горизонтально, симметрично относительно вертикальной плоскости, проходящей через подземные коммуникации, антенну пересекает наименьшее количество силовых линий поля, и ЭДС будет минимальной. В положениях 2 и 3 ЭДС будет большей. Это свойство рамочной антенны используют для выноса на поверхность земли оси подземных коммуникаций. Оператор, держа антенну горизонтально и покачивая из стороны в сторону, слушает в головные телефоны звуковой фон и при его минимуме проектирует на поверхность земли середину рамки антенны, отмечая это место колышком на земле или краской на асфальте. Кривая силы звука показана на рис. 152 сверху.

Далее оператор двигается в направлении подземных коммуникаций, придерживаясь все время минимального сигнала, и отмечает все точки поворота оси подземных коммуникаций, ответвлений, закруглений и т. п.

Для определения глубины заложения подземных коммуникаций (рис. 153) оператор наклоняет рамку антенны на угол 45° по отношению к горизонту (положение 1) и, начиная с колышка, забитого над осью подземных коммуникаций (точка *A*), передвигает антенну перпендикулярно оси до получения минимума звукового сигнала, что будет иметь место, когда силовые линии поля «скользят» по плоскости антенны (положение 2); фиксирует точку *B* минимума звука на поверхности земли. Затем, повернув антенну на 90° , таким же образом находит точку *C* минимума звука с другой стороны оси подземных коммуникаций (положение 1' и 2'). Измеряют расстояние *CB* рулеткой.

Так как силовые линии электромагнитного поля имеют, как правило, вид концентрических окружностей, то полученный треугольник *CDB* является равнобедренным, прямоугольным в точке *D*, высота которого

$$h = CB/2.$$

При наличии в одной траншее нескольких подземных коммуникаций для раздельной их съемки производят поочередное подключение трубок кабелеискателя к каждой подземной коммуникации в отдельности.

§ 103. Разбивочные работы при устройстве фундаментов

Разбивочные работы при устройстве фундамента являются весьма ответственными. Ошибки, допущенные на этом этапе возведения сооружения, могут привести к нарушению устойчивости его и затруднить выполнение последующих монтажных работ. Объем, точность и последовательность ведения разбивочных работ зависят от конструктивных и технологических особенностей строительства. Значения допустимых отклонений элементов фундамента от проектного положения устанавливаются строительными нормами и правилами.

По форме фундаменты подразделяют на ленточные, столбчатые и сплошные, а по способу изготовления — на монолитные и сборные. Фундаменты строят преимущественно из бутового камня, бутовой плиты, бутобетона, бетона, железобетона.

Разбивку бутовых фундаментов выполняют так, чтобы отклонения от проектных размеров не превышали 1 см. Более точно производят разбивку бетонных и железобетонных фундаментов. Для их устройства изготавливают опалубку — временное сооружение из дощатых или металлических щитов — для придания бетону необходимой формы. Точность установки опалубки и контроль за неизменностью ее во время заполнения бетоном достигается путем выполнения геодезических наблюдений.

При разбивке опалубки в плане смещение осей фундаментов не должно превышать 15—20 мм. Уменьшение поперечных размеров опалубки против проектных не допускается, а увеличение допускается не более чем на 5 мм. Разбивают опалубку в плане с помощью стальной рулетки, а вертикальность стенок проверяют отвесом. Отклонение от отвесной линии не должно превышать 2 мм на 1 м высоты опалубки. На стены опалубки наносят отметки, указывающие верхний обрез фундамента, и закрепляют их гвоздем, чертой или зарубкой. Передача отметок ведется нивелиром от строительных рабочих реперов. В ряде случаев составляется исполнительная схема установки опалубки.

При устройстве фундаментов под стальные конструкции или оборудование координационные оси фиксируют рисками на металлических плитах, забетонированных в тело опоры, или на металлических скобах, специально установленных по краям фундамента. В фундаментах каркасных железобетонных зданий координационные оси фиксируют краской на ободке стакана под колонну. При бетонировании особенно проверяется отметка дна стакана. В массовом строительстве наиболее часто применяют сборные фундаменты из готовых бетонных и железобетонных блоков. Блоки сборных фундаментов надо укладывать строго на заданных проектом отметках и тщательно подготовленным основании.

Монтаж фундамента начинают с укладки блоков по углам здания. Такие блоки укладывают по проволокам, натянутым на обноске, или с помощью теодолита. Промежуточные блоки устанавливают по створу, который определяется натянутой проволокой с подвешенным отвесом. Для повышения точности монтажа фундаментных блоков можно использовать П-образный угольник, накладываемый на блок (рис. 154). На угольнике отмечается маркой ось блока, которая наблюдается теодолитом, установленным на оси фундамента. Горизонтальность укладки блоков проверяют нивелиром.

При строительстве гражданских зданий, имеющих несущие стены, устраивают ленточные фундаменты из трапецидальных блоков — подушек и блоков стен подвала. Положение ленточных фундаментов обозначается проволоками, натянутыми на обноске. Чтобы проволоки не мешали укладке блоков краном, на основание

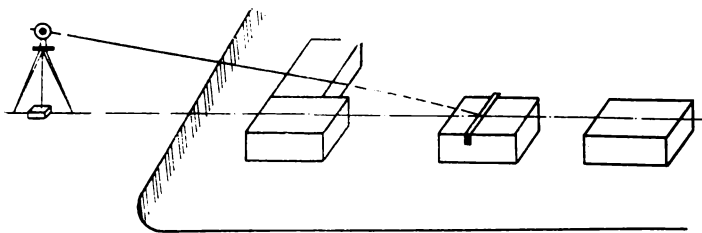


Рис. 154. К разбивке фундаментных блоков

выносят границы лент фундамента, закрепляемые шпильками. Между шпильками натягивают проволоку или тросик.

При устройстве свайных фундаментов производят плановую разбивку каждого ряда свай или каждой сваи в отдельности. В процессе забивки контролируются возможное плановое смещение, вертикальность и глубина погружения. После доведения сваи до заданного (проектного) уровня на ее поверхность переносят отметку верхнего среза и после подготовки ряда свай фиксируют оси фундаментной плиты.

Наиболее сложный характер имеют разбивочные работы при сооружении фундаментов многоэтажных зданий. При этом зачищают основание котлована фундамента и производят его бетонную подготовку. Отклонение фактической отметки фундаментной плиты от проектной не должно превышать ± 10 мм. На бетонную подготовку наносят все строительные оси здания, которые закрепляют керном на металлических пластинах, заделанных в поверхность бетонной подготовки. Пользуясь этими осями, производят разбивку фундамента здания.

При строительстве коробчатого фундамента, состоящего из нижней железобетонной плиты, стен и верхней плиты, строительные оси используют для укладки арматуры, установки опалубки и разбивки коммуникационных проемов в стенах фундамента. Вертикальное положение этих элементов проверяют нивелиром и вносят соответствующие исправления. До бетонирования производят исполнительную съемку всех закладных частей. Результаты съемки показывают на чертежах, представляющих собой развёртку стен. После бетонирования стен до уровня нижней плоскости верхней плиты фундамента ведут разбивку верхней плиты фундамента. Продольные и поперечные оси здания фиксируют на металлических стержнях, приваренных к вертикальным выпускам арматуры стен. На вертикальные выпуски выносят отрезки верхней плиты фундамента. По данным разбивки устанавливают каркас верхней плиты, состоящий из горизонтально укладываемой арматуры и располагаемых вертикально анкерных болтов, на которых после бетонирования верхней плиты монтируют опорные плиты колонн каркаса здания. По осям анкерных болтов, фиксированных на верхних стержнях арматуры, производят разбивку

опалубки. Проектные отметки верхней плиты фундамента выносят на вертикальные щиты опалубки. После бетонирования верхней плиты производят исполнительную съемку фундамента.

Для выполнения дальнейших разбивочных работ строительные оси здания выносят на верхнюю плиту фундамента. Основные оси (продольные и поперечные) переносят на фундамент теодолитом, последовательно устанавливаемым на наружных осевых знаках. Обозначают основные оси рисками на металлических марках, имеющих вид пластинок размером 100×100 мм с приваренным якорем. Марки закладывают на концах осей и на их пересечении. Условие перпендикулярности вынесенных основных осей соблюдается с высокой точностью. Для разбивки всех остальных строительных и монтажных осей на плите фундамента создают точную геодезическую основу — базисную сеть. Технические условия на многоэтажное строительство предусматривают, чтобы положение крайних осей в пределах контура здания было определено с точностью ± 10 мм. При расстоянии между этими осями порядка 250 м предельная относительная погрешность составит 1 : 25 000.

Геодезическая основа на плите фундамента строится методом полигонометрии или трилатерации. Способ полигонометрии применяют в том случае, когда габариты фундамента обеспечивают прокладку ходов с достаточно длинными сторонами. При небольшой протяженности здания используют метод трилатерации, образуя геодезические четырехугольники. Стороны сети измеряют 24-метровыми инварными проволоками или рулетками, а углы — высокоточными теодолитами.

Способы установки фундаментов под несущие колонны зависят от особенностей их устройства. Под железобетонные колонны чаще всего устанавливают фундамент стаканного типа. Укладку плит производят по закрепленным на местности осям. Правильность установки плит в плановом положении проверяют теодолитом, а по высоте — нивелиром. При устройстве стакана бетонирование его дна не доводят до проектной отметки на 2—3 см, с тем чтобы после нивелирования заполнить днище цементным раствором до нужной отметки. Отклонения осей фундамента от проектного положения не должны превышать ± 5 мм, а отклонения опорных поверхностей от проектных отметок — не более ± 3 мм.

При монтаже стальных колонн наибольшая точность требуется для установки анкерных болтов в плане и верха фундаментов по высоте. Анкерные болты укрепляют в опалубке с помощью кондуктора.

По высоте фундамент подготавливают двумя способами. При первом способе его сначала бетонируют ниже проектной отметки, а затем с двух противоположных сторон укладывают на него горизонтально два направляющих швеллера, верхняя плоскость которых по высоте должна с точностью ± 2 мм соответствовать проектной отметке, и заливают бетоном до уровня направляющих. При втором способе фундамент бетонируют на 5 см ниже проектной отметки, а затем укладывают на него заранее изготовленную

опорную плиту на трех подъемных винтах с отверстиями для анкерных болтов. После регулировки по высоте до проектной отметки плиту бетонируют.

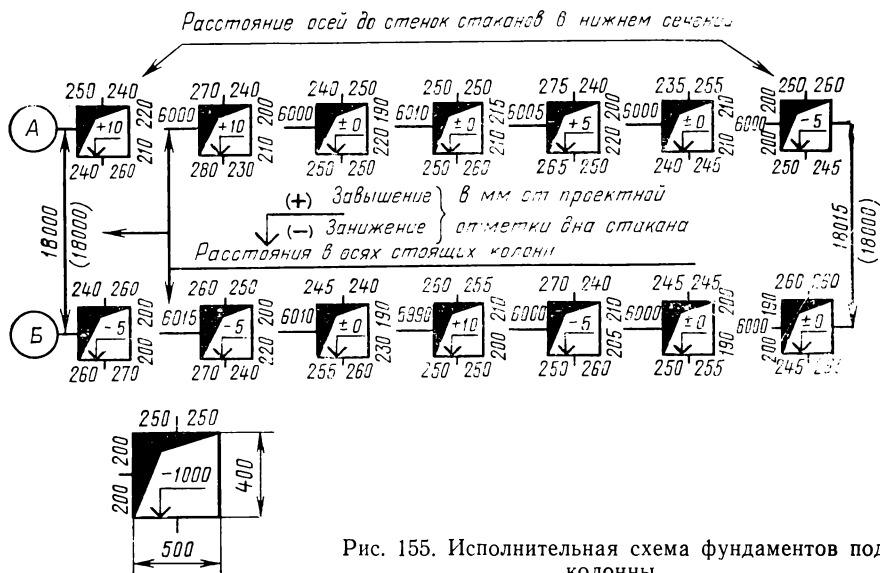


Рис. 155. Исполнительная схема фундаментов под колонны

До бетонирования производят съемку и составляют исполнительную схему планового и высотного положения анкерных болтов. Затем производят бетонирование, доводят фундаменты до проектной отметки и составляют окончательный исполнительный чертеж, на котором показывают фактические и проектные отметки верха фундаментов и анкерных болтов, а также фактические и проектные расстояния от осей до анкерных болтов. Для того чтобы своевременно обнаружить ошибки, допущенные при монтаже фундаментов, исполнительные схемы, как правило, составляют в крупном масштабе. Все размеры на схемах показывают в миллиметрах (рис. 155). Одновременно со съемкой на все фундаменты выносят оси, которые обозначают краской в виде тонкой черты на бетоне или металлическими пробками с рисками, забитыми в незатвердевший бетон.

§ 104. Разбивочные работы при монтаже стен подвала, цоколя, перекрытия над подвалом

Перед началом монтажа с помощью нивелира и рейки проверяют горизонтальность верхней поверхности фундамента и правильность вынесенных на эту поверхность осей, а затем, руководствуясь данными разбивочного чертежа, размечают места установки угловых и промежуточных маячных блоков. После этого

приступают к монтажу промежуточных блоков, начиная от углового. По окончании монтажа стен подвала и цоколя нивелированием верхней плоскости ряда блоков цоколя через каждые 3—5 м определяют отметки плоскости по осям стен. В случае негоризонтальности этой плоскости и несовпадения с проектным горизонтом ее выравнивают, изменяя толщину подстилающего слоя под элементами покрытия над подвалом. Затем вновь повторяют контрольное нивелирование и приступают к монтажу плит перекрытия.

Завершающей стадией геодезических разбивок при работах нулевого цикла считается вынесение осей наружных и внутренних стен и нулевого горизонта на цоколь возводимого здания. Следы проекций осей на возведенном цоколе здания намечают тонкой риской, нанесенной яркой несмываемой краской. Вынесение нулевого горизонта на цокольную часть здания производят обычным методом нивелирования по горизонту инструмента и расчету высоты по рейке, установленной в проектной точке.

Так как горизонт чистого пола первого этажа расположен всегда выше цоколя и перекрытия над подвалом на 8—10 см, то на цоколь выносят условный горизонт, который ниже нулевого горизонта.

По завершении работ нулевого цикла производят исполнительную съемку и составляют исполнительную схему, на которой показывают положение всех осей здания, вынесенных на цоколь, действительные расстояния между этими осями и фактические отметки поверхности покрытия над подвалом.

Вопросы для самопроверки

1. Какова последовательность разбивочных работ в период нулевого цикла строительства?
2. Что такое постоянная и ходовая визирки?
3. Как производится укладка трубопроводов на заданную глубину и по заданному уклону?
4. Какие разбивки производятся при устройстве котлованов?
5. В чем заключаются особенности разбивки ленточных фундаментов, свайных оснований при монтаже сборных фундаментов и фундаментов под колонны?
6. Как передать отметку на дно глубокого котлована?

ГЛАВА XVI. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

§ 105. Разбивочные работы при возведении кирпичных зданий

Перед возведением стен здания из кирпича на поверхность фундамента теодолитом или с помощью отвеса переносят оси наружных стен. Внешние и внутренние стороны стены фиксируют карандашными рисками, которые затем обозначают краской. Меж-

ду рисками натягивают натертый мелом шнур и отбивают ось или грань стены.

Кладку стен первого этажа необходимо производить с большой тщательностью, так как от этого зависит правильность кладки последующих этажей. Вертикальность поверхностей и углов кладки, а также горизонтальность ее рядов проверяют не реже двух раз на 1 м высоты кладки. Для проверки толщины стен пользуются шаблоном, представляющим собой деревянную рейку с вырезом на толщину стены. Правильность рядов кладки проверяют порядковками, прикрепленными рядом с маркировкой уровня высоты кладки. На порядковки наносят деления через 7,5 см (толщина кирпича и растворного шва), отмечают уровни закладки балок, перемычек, подоконников и др. Шнур, натянутый между соответствующими делениями порядовок, устанавливаемых через 10—12 м, определяет линию кладки.

По окончании кладки каждого этажа проверяют горизонтальность поверхности стен и соответствие полученного горизонта проектному. Для этого с помощью стальной рулетки непосредственным промером определяют отметки нескольких точек возведенной поверхности. Измерения ведут от рисок нулевого горизонта, нанесенных на фундаменте здания. Затем на выверяемой поверхности устанавливают нивелир, с помощью которого определяют отметки точек, расположенных по оси стен через 5 м. При этом отметки, полученные промером рулеткой по стене здания, принимают за исходные. Если стены здания по конструктивным и архитектурным условиям не позволяют произвести промер непосредственно по стене, то отметки на высокую часть здания передают с помощью подвешенной рулетки, рейки и нивелира.

По мере кладки кирпичных стен оси здания выносят на уровень возводимых этажей. Осевые риски отмечают масляной краской на обресе стены. Часто закрепление поэтажных осей производят кернением на металлических скобах, заранее зацементированных в стены здания с внутренних сторон на уровне каждого этажа. На эти же скобы или на специально заложенные внутри здания реперы передают отметки. Вынос осей производят теодолитом при двух положениях круга. Желательно, чтобы горизонтальное расстояние от теодолита до стены здания было не меньше двойной высоты стены.

Вертикальность кладки стен в пределах двух этажей проверяют простым отвесом. При проверке вертикальности высоких стен, даже если части ее лежат в различных вертикальных плоскостях, применяют прибор-отвес на блоке. Промеры выполняют линейкой в наиболее характерных точках стены или через равные промежутки.

Оконные и дверные проемы, ниши, перегородки разбивают с помощью рулетки от осей, закрепленных на гранях стен каждого этажа.

Пусть требуется разбить оконные проемы b и d (рис. 156, a). Для этого достаточно от оси 2—2 отложить до начала и конца

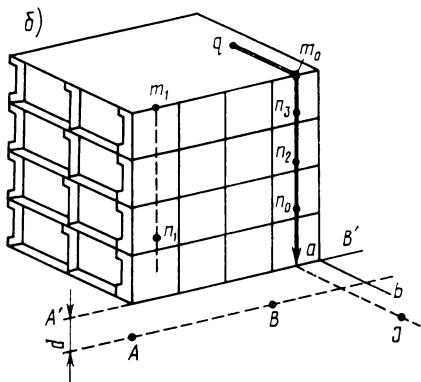
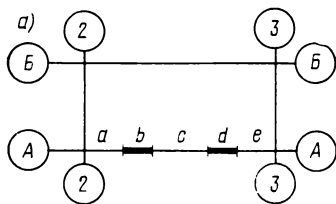


Рис. 156. К разбивке оконных проемов:
 а — поперечных; б — продольных

проемов проектные расстояния. Правильность разбивки контролируют измерением расстояния e до оси $3-3$. Сумма отрезков $a+b+c+d+e$ должна быть равной расстоянию между осями $2-2$ и $3-3$. Полученную невязку необходимо распределить пропорционально длинам отрезков.

Продольные оси оконных блоков разбивают от базиса AB (рис. 156, б), расположенного параллельно оси стены $A'B'$ на расстоянии 1,5—2,0 м от нее. На одном конце базиса устанавливают теодолит, а на другом — шпильку, на которую визируют трубой. Из оконных проемов перпендикулярно базисной линии выставляют нивелирную рейку ab , пятку которой прикладывают к внутренней плоскости проема. Перемещая рейку, добиваются отсчета проектной величины и на каменной

кладке нижней плоскости проема делают риску на пятке рейки. Риски поперечных осей на оконных блоках должны размещаться на одной вертикали от нижнего до верхнего этажа.

Для установки оконных блоков по высоте у каждого проема выносят отметку, от которой устанавливают блок по уровню. Дверные проемы разбивают обычно только рулеткой, промеряя расстояние от осей.

Для монтажа междуэтажных перекрытий, лестничных маршей и внутреннего санитарно- и электротехнического оборудования отметки внутри здания передают обычно по лестничным клеткам. Для этого при возведении стен первого этажа внутрь здания по контуру выносят нулевой горизонт, отмечая его масляной краской.

Лестничные площадки устраивают на уровне отметки пола данного этажа. Отметку получают с помощью рулетки, промеряя расстояния между чистыми полами соответствующих этажей. Одновременно на стенах лестничных клеток отмечают проектную отметку положения промежуточных площадок. Перед установкой каждой лестничной площадки с помощью горизонтальной рейки и накладного уровня проверяют совпадение по горизонту отметок гнезд в стенах, в которые должны входить выступающие опорные части укладываемой площадки. Лестничные марши устанавливают после монтажа и закрепления верхней площадки.

Монтаж междуэтажного перекрытия производят после возведения наружных и внутренних стен здания. До укладки плит или

панелей перекрытия с помощью нивелира и рейки, установленных на соответствующем этаже, проверяют горизонтальность опорных поверхностей, на которые будут опираться плиты или панели перекрытия. Отмеченные недостатки устраняют цементной стяжкой. Разность в отметках опорных поверхностей не допускают более 2—3 мм.

При монтаже карнизных блоков фасада здания от нулевого горизонта рулеткой определяют отметку угловых маячных блоков, а затем выполняют стяжку из раствора и нивелируют поверхность этой стяжки. Между угловыми блоками натягивают шнур и монтируют все карнизные блоки.

Для установки санитарно-технического и другого оборудования на стенах внутри помещений отмечают нулевой горизонт каждого этажа и ось или габариты монтируемого оборудования. Положение оси оборудования в горизонтальном направлении определяют откладыванием проектных расстояний от внутренних поверхностей стен.

При высотных разбивках внутри помещений удобно пользоваться гидростатическим уровнем.

§ 106. Разбивочные работы при монтаже колонн

Установка металлических колонн. Перед установкой металлических колонн производят подготовительные работы. На фундаменты колонн выносят и закрепляют продольные и поперечные оси. На металлических колоннах обозначают рисками оси симметрии. Основания стальных колонн (башмаки) опирают непосредственно на бетонную поверхность, доведенную до проектной отметки, или на заранее установленные в проектное положение опорные плиты.

Для закрепления осей колонны по краям верхней части фундамента при бетонировании закладывают геодезические знаки в виде небольших отрезков (10—12 см) балки или швеллера. Верхние плоскости знаков устанавливают на уровне проектной отметки и выносят на них оси фундаментов.

Каждую колонну ставят на фундамент таким образом, чтобы анкерные болты вошли в соответствующие отверстия башмаков и чтобы осевые метки на кромке основания точно совпали соответственно с продольной и поперечной осями фундамента, закрепленными на знаках. В вертикальное положение колонны устанавливают с помощью двух теодолитов, поставленных примерно в створах продольной и поперечной осей. Трубу теодолита наводят на нижний осевой знак и путем соответствующего наклона верха колонны совмещают верхний осевой знак с вертикальной нитью трубы.

Выверку вертикальности установленных колонн производят при двух положениях круга. При этом обычно применяют накладной уровень на ось вращения трубы. Установку колонн по высоте выверяют нивелированием.

Установка железобетонных колонн. Перед установкой железобетонных колонн на фундаменты выносят их оси и доводят до проектного уровня дно стакана путем подливки слоя цементного раствора. На взаимно перпендикулярных плоскостях колонн в верхних и нижних частях делают осевые метки. Внизу колонны примерно на уровне пола наносят горизонтальные метки и от них измеряют расстояния до опорных площадок.

При установке колонны в стакан совмещают осевые метки на ее основании с продольной и поперечной осями фундамента и проверяют правильность установки по высоте нивелированием горизонтальных меток и определением высот подкрановых площадок. Закрепив клинья низ колонны в стакане, ее устанавливают в вертикальное положение с помощью отвесов.

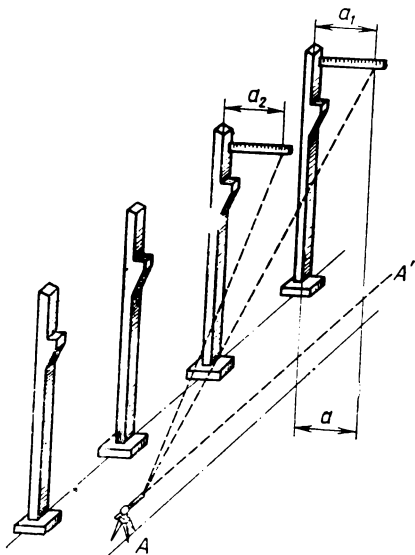


Рис. 157. Контроль установки колонн

Вертикальность ряда колонн проверяют теодолитом и небольшой рейкой (рис. 157). Для этого параллельно оси колонн на незначительном расстоянии разбивают линию AA' , в одной из точек которой A устанавливают теодолит и визируют трубой на другую A' . Затем последовательно на каждую колонну поднимается рабочий и прикладывает пятку рейки к верхней осевой риске колонны. Разности между отсчетами по рейке a_1, a_2, \dots и расстояниями линии AA' от оси колонн a и будут отклонениями колонн от вертикали.

По результатам контрольно-монтажных измерений составляют исполнительную схему фактического положения колонн (рис. 158).

§ 107. Сведения о пространственных геодезических сетях

Строительно-монтажная и монтажная сетки развиваются в пределах воздвигаемого многоэтажного здания или сооружения. Такие связанные между собой ярусные геодезические построения образуют пространственную геодезическую сеть. На исходном ярусе, иначе нульярусе, строится базисная система, состоящая из одной или нескольких базисных фигур, представляющих основные фигуры строительно-монтажной или монтажной сетки. В вершинах базисных фигур строят вертикальные направления, в створе которых располагают пункты ярусных фигур. Для построения вертикальных направлений в конструкциях

перекрытия создают специальные геодезические отверстия ($\varnothing \approx 15$ см).

Пространственная геодезическая сеть может быть односекционной, если базисная система представлена одной базисной фигурой, и многосекционной в случае базисной системы, образованной двумя и большим числом базисных фигур. Различают пространственные геодезические сети одноярусные, состоящие из базисной системы, одного ярусного построения и связующих эле-

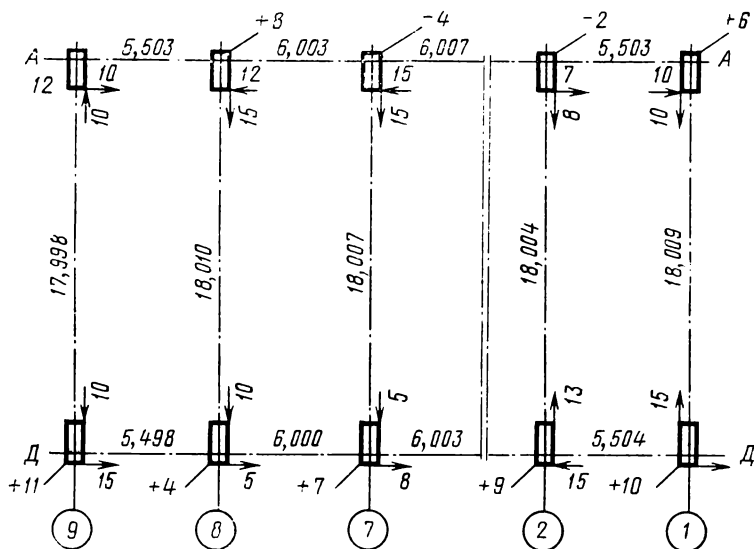


Рис. 158. Исполнительная схема положения колонн

ментов, и многоярусные, имеющие помимо базисной системы два и больше ярусных построений, а также соответствующие связующие элементы.

Односекционная и одноярусная пространственная геодезическая сеть называется простой. В остальных случаях ее считают сложной.

Связующими элементами являются вертикальные и наклонные отрезки (длины и их направления). Если используются только вертикальные отрезки, то пространственная геодезическая сеть называется прямой или нормальной. Применяя помимо вертикальных наклонные отрезки, получают диагональную сеть. Развивается пространственная геодезическая сеть по мере выполнения строительно-монтажных работ. Базисная система строится на фундаменте здания, пункты которой располагают в местах прохождения вертикальных коммуникаций внутри здания или сооружения. Однако не исключено размещение таких пунктов вне сооружения, но в непосредственной близости от него. Такая необходимость возникает в случаях, когда геодезические отверстия по

тем или иным причинам не устроены, и пункты пространственной геодезической сети передаются непосредственно на специальные жесткие подмости, устраиваемые на каждом монтажном горизонте.

На перекрытии яруса получают положение пунктов пространственной геодезической сети первого яруса. Эту сеть также строят в три этапа. Аналогично ведут построение геодезической сети второго и последующих ярусов. При этом построение вертикальных направлений можно осуществлять в прямом и обратном направлениях. В первом случае его выполняют снизу вверх, а во втором — сверху вниз. Выбор способа обусловлен применением различных приборов (механических, оптико-механических и электронно-оптических).

В зависимости от метода построения вертикальных направлений различают сквозную и последовательную пространственные геодезические сети. В первом случае применяют метод сквозного проектирования вертикальных направлений, в процессе которого пункты любой ярусной сети находят относительно пунктов базисной системы. Во втором случае используют метод последовательного проектирования вертикальных направлений, когда положение пунктов каждого яруса находят относительно пунктов предшествующего яруса. Метод последовательного проектирования применяют при развитии пространственной геодезической сети с помощью лотаппаратов или оптических центров теодолитов, т. е. при отсутствии более совершенных приборов вертикального проектирования. Следует учитывать, что в ряде случаев последовательный метод может оказаться точнее сквозного за счет незначительного влияния погрешностей внешних условий на коротких расстояниях. Пункты пространственной геодезической сети, определяемые методом сквозного проектирования вертикальных направлений, называют сквозными, а определяемые методом последовательного проектирования — последовательными или дублирующими.

Ортогональной проекцией сквозных и последовательных пунктов на нульярус являются пункты базисной системы. Однако на каждом ярусе могут быть определены и другие пункты — закрытые и полузакрытые. В закрытых пунктах вертикальные направления не строятся. Находятся такие пункты относительно пунктов соответствующего яруса (сквозных и последовательных) методами створных промеров и створных засечек. В полузакрытых пунктах строятся вертикальные направления, связывающие не все ярусы, а лишь смежные. Выбор конструкции пространственной геодезической сети зависит от характера сооружения, технологии производства строительно-монтажных работ, используемых геодезических приборов и необходимой точности разбивочных работ.

Одна из возможных конструкций пространственной геодезической сети приведена на рис. 159. Это сложная, трехсекционная, трехъярусная нормальная сеть. Она включает открытые, закрытые и полузакрытые пункты. Для наблюдения за стабильностью

осей уникальных и экспериментальных зданий важное значение имеет закрепление пунктов сети достаточно устойчивыми и прочными знаками. При этом наблюдения сводятся к периодически повторяемым измерениям элементов пространственной геодезической сети. Вновь вычисленные координаты пунктов сети сравнивают с проектными.

Сохранение запроектированных форм и размеров здания или сооружения в процессе его возведения обеспечивается выполнением детальных геодезических разбивочных работ. Эти работы включают определение маяков, т. е. точек, линий, плоскостей и других поверхностей, определяющих проектное положение частей и элементов здания или сооружения в натуре, контрольно-монтажные измерения, сопутствующие установке строительных конструкций в проектное положение, и исполнительную съемку, являющуюся текущим и окончательным контролем качества строительных-монтажных работ.

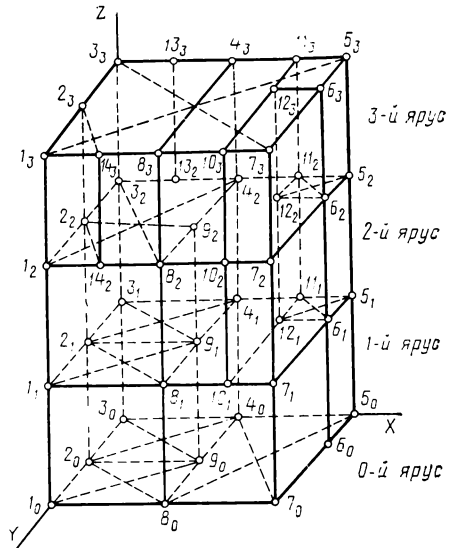


Рис. 159. Пространственная геодезическая сеть

установке строительных конструкций в проектное положение, и исполнительную съемку, являющуюся текущим и окончательным контролем качества строительных-монтажных работ.

§ 108. Разбивочные работы при монтаже каркасно-панельных и бескаркасно-панельных зданий

Геодезическую проверку железобетонного каркаса каркасно-панельного здания начинают с определения положения в плане угловых колонн блоков относительно координационных осей или осей монтажной сетки. В случае недопустимого нарушения проекта угловым колоннам придается проектное положение и стыки угловых колонн блока прихватывают сваркой. Затем между выверенными угловыми колоннами натягивают стальную проволоку и относительно нее проверяют расстояния между соседними наружными и внутренними колоннами. Если обнаруживаются недопустимые отклонения этих расстояний от проектных, то всем колоннам блока придают проектное положение в плане и стыки выверенных колонн прихватывают сваркой. Далее определяют отметки верха колонн и расположение в плане ригелей и прогонов; последним придают проектное положение и стыки колонн с прогонами и ригелями прихватывают сваркой. Выверенный блок закрепляют окончательно.

Каркасно-панельные здания чаще всего монтируют с применением группового кондуктора, обслуживающего шесть колонн, который устанавливают на перекрытии.

В первую очередь окончательно закрепляют лестничную клетку с лифтовыми шахтами. Эта неизменяемая система служит как бы маяком, относительно которого ведется контроль закрепления остальных конструкций блока.

Надземная часть здания возводится по захватно-ярусной системе поточным методом. Общий фронт монтажных работ разбивают на ярусы соответственно высоте колонн, чаще всего равной двум этажам. Монтаж наружных стен каркасного здания проверяют участками длиной не более 30—40 м. Грани выверяемых панелей совмещают заподлицо с панелями нижнего этажа. Геодезическим путем находят положение верха крайних панелей относительно координационной оси и крайние панели устанавливают в проектное положение.

Для определения и исправления положения промежуточных панелей натягивают стальную проволоку между крайними панелями. Выверенные панели прихватывают сваркой. Вертикальность колонн проверяют с помощью двух теодолитов по рискам симметрии, нанесенным на колоннах. Места установки теодолитов выбирают так, чтобы с одной станции можно было производить наблюдения за колоннами по продольной оси, а с другой — по поперечной оси. В период этих наблюдений колонна поддерживается на тросах монтажными механизмами.

Серьезное внимание уделяют разбивке перекрытий. Особенно точно должны быть установлены в проектное положение междуэтажные перекрытия. В настоящее время широко применяют крупные, железобетонные панели перекрытий. Они формируются в металлической опалубке, поэтому перед их укладкой нужно проверить расстояния между осями балок каркаса. Устройство междуэтажных перекрытий из железобетонных плит требует достаточно точной установки балок каркаса. При уширенном пролете плита не полностью опирается, и под действием неравномерной нагрузки может произойти обрушение. В случае суженного пролета возникнут затруднения при размещении смежных плит.

Монтаж бескаркасных крупнопанельных домов заключается в последовательной сборке примыкающих друг к другу прямоугольных ячеек, образуемых панелями наружных и внутренних несущих стен, расположенных по основным осям здания. После установки вертикальных панелей производят монтаж несущих перегородок, блоков и панелей перекрытия. Для установки несущих панелей внутренних стен пользуются особыми фиксаторами. Фиксаторы представляют собой приваренные к закладным деталям перекрытия короткие арматурные стержни, которые отнесены от оси панели на половину ее толщины и служат для принудительной установки панели в проектное положение. При строительстве высотных панельных жилых домов в каждой панели поперечной несущей стены на верхней ее грани закладывают два

штыревых фиксатора и на нижней соответственно два гнезда. Для фиксации положения панелей по высоте в штыревых фиксаторах имеется резьба, что позволяет навинчивать опорные шайбы.

В начале монтажа на перекрытие передают координационные оси, от которых проверяют плановое положение штыревых фиксаторов. Затем замоноличивают вырезы в панелях перекрытия, и на резьбовой конец фиксатора навинчивается контрольная шайба, фиксирующая отметку монтажного горизонта. Предварительно все монтажные шайбы устанавливают на проектную отметку нивелиром и закрепляют сваркой. Отклонение фактического расстояния от проектного между парой фиксаторов, предназначенных для монтажа одной панели, допускается в пределах ± 1 мм при расстояниях между фиксаторами 2 м и в пределах ± 2 мм при большем расстоянии.

При геодезической проверке стен и перегородок бескаркасно-панельного здания определяют в плане положение угловых панелей каждого блока относительно координационных осей или осей монтажной сетки. Угловые панели устанавливают в проектное положение и их стыки закрепляют сваркой. Положение промежуточных панелей наружных стен и перегородок, ограждающих блок, проверяют по проволоке, натянутой между угловыми панелями блока. Затем проверяют положение панелей по вертикали и стыки прихватывают сваркой. Аналогично проверяют монтаж панелей внутренних продольных и поперечных стен.

Для проверки вертикальности стеновых панелей применяют отвес, отвес-рейку, уровень-рейку, маятниковый измеритель с уровнем, фотоэлектрический уровень и теодолит.

Расстояния между установленными элементами конструкций измеряют стальной рулеткой с миллиметровыми делениями. Отметки определяют геометрическим нивелированием.

После предварительного закрепления всех панелей стены или захватки производят поэтажные контрольные измерения с целью выявления возможных отступлений от проекта, главным образом определения соосности конструкций.

Окончательное закрепление конструкций (сваркой или замоноличиванием) допускается только после записи геодезиста в специальном журнале о полной геодезической проверке правильности установки элементов в проектное положение. Затем выполняют геодезическую съемку и составляют исполнительный чертеж для каждого этажа.

§ 109. Разбивочные работы при монтаже многоэтажных зданий из сборных элементов

Возведение многоэтажных жилых или административных зданий требует постановки точных геодезических разбивочных работ и контрольных измерений. Плановой геодезической основой разбивки служат пункты пространственной геодезической сети, создаваемой на плите фундамента или перекрытиях подвала.

После подъема всех точек плановой основы на перекрытие (монтажный горизонт) производят контрольные измерения расстояний между полученными точками. Допустимое расхождение между измеренными и исходными длинами определяется из расчета точности для каждого типа сооружения и, как правило, находится в пределах 2—5 мм. Отметки контролируются точным геометрическим нивелированием. Допустимое расхождение между измеренными и исходными превышениями не должно превышать 2—3 мм.

Жесткий каркас плановой и высотной геодезических основ на монтажном горизонте служит основой для определения положения ряда координационных и монтажных осей, рабочих резервов, относительно которых будет производиться установка конструкций.

Необходимость в точном нивелировании вызвана техническими условиями, которые предъявляются к монтажу каркаса высотного сооружения. Например, отметка центра опорной плиты металлической колонны не должна отклоняться от заданной более чем на 1 мм, а наклон строганой поверхности опорной плиты в любом направлении не должен превышать 0,0005. При размерах плиты $1,0 \times 1,0$ м такой допуск в наклоне плиты приводит к необходимости определять разность высот центра и угла плиты с погрешностью не более 0,35 мм.

Монтаж плиты состоит из ее предварительной постановки на фундамент по строительным осям, точной установки по высоте и точного нанесения строительных осей уже на неподвижной плите. Предварительная постановка плиты на фундамент производится с погрешностью 5—7 мм с помощью технического теодолита. Для точной установки плиты по высоте пользуются нивелиром и рейкой с прикрепленной к ней на высоте инструмента линейкой с миллиметровыми делениями. Положение плиты регулируется подъемными винтами. После установки плиты по высоте и подливки цементного раствора выполняют контрольное нивелирование пяти точек плиты (центра и четырех углов). По результатам нивелирования составляют исполнительную схему установки опорных плит по высоте.

Перенос осей на опорные плиты каркаса производят от закладных марок, закрепляющих оси колонн на верхней плите фундамента. Для этого на одном конце оси устанавливают теодолит с оптическим центриром, а на другом — визирную марку или жесткий отвес. Теодолит ориентируют на оси каркаса и на краях плиты керную продольную и поперечную оси колонн. Наблюдения производят при двух положениях вертикального круга теодолита. Для контроля разбивки делают промеры всех пролетов между осями колонн. Измерения выполняют стальной компарированной рулеткой с использованием динамометра. Отклонение от проектных размеров пролета не должно превышать 2 мм. По результатам контрольных измерений составляют исполнительный чертеж разбивки осей на опорных плитах.

В процессе строительного-монтажных работ на этаже производят контрольные геодезические измерения с целью выявления и предупреждения недопустимых погрешностей как в плане, так и по высоте. Особое внимание обращается на соосность и вертикальность несущих элементов, соответствие размеров и отметок опорных поверхностей проектным значениям, а также горизонтальность и вертикальность стыков и швов. Проверка установок несущих конструкций в проектное положение должна быть произведена до их окончательного закрепления. Особенно тщательно следует контролировать установку панелей первого этажа, так как они служат исходными при контроле всех последующих этажей. Контрольные измерения выполняют по схеме, описанной ранее для панельных и каркасных зданий.

При каменной кладке стен многоэтажных зданий через каждый метр по высоте выверяют вертикальность и горизонтальность кладки. В монолитных высотных зданиях проверяют вертикальность щитов, коробов и направляющих скользящей опалубки, исходный уровень и равномерность перемещения ее по вертикали.

Для точной установки заранее изготовленных дубовых или металлических оконных блоков в оконных проемах разбивают две взаимно перпендикулярные оси. Затем их поэтажно сносят вниз. После монтажа оконных блоков производят исполнительную съемку.

Внутренние монтажные работы (установку стояков отопления, разводку водопровода, канализации, газа и т. п.) ведут от осевых точек, вынесенных на стены. Горизонтальность настилки чистых полов (паркета, плитки) проверяют плотничным уровнем от реперов поэтажной высотной геодезической основы.

Высокая точность соблюдается при облицовке стен многоэтажных зданий готовыми крупнопанельными блоками и штучной керамикой. Установку облицовки на нижних этажах производят от уточненных осей, ранее вынесенных для кладки стен. Для установки крупнопанельных облицовочных блоков на верхних этажах при строительстве многоэтажного здания применяют внеконтурную геодезическую основу. К консолям (двутавровым балкам), прикрепленным к ригелям металлического каркаса и служащим для подвеса подъемных люлек, обеспечивающих работу облицовщиков, приваривают на определенном расстоянии от оси стены металлическую полосу из уголкового железа. На эту полосу от марок поэтажной геодезической основы верхнего перекрытия выносят точки, фиксирующие грани облицовки, просверливают отверстия и подвешивают струны. К концам струн прикрепляют грузы и опускают их в ведра с вязкой жидкостью. Каждая крупноблочная панель фиксируется двумя струнами. Внизу для контроля измеряют расстояние между струнами.

При облицовке плиткой вертикальность стен контролируется теодолитом и рейкой с уровнем методом бокового нивелирования. В ряде случаев могут быть использованы приборы для вертикального проектирования. Плоскость облицовки определяют рядом

точек, фиксированных на стене специальными маяками. В процессе работ на маяки укладывают контрольную рейку или между ними натягивают тонкую проволоку. Отметки выносят нивелиром на внешнюю грань стен и периодически контролируют горизонтальность швов. После окончания облицовочных работ производят исполнительную съемку продольной и поперечной облицовки.

§ 110. Разбивочные работы при возведении высотных зданий

Точность монтажа элементов конструкций высотных инженерных сооружений во многом зависит от точности развития базисной системы на исходном (нулевом) горизонте. Используя базисную систему исходного горизонта, выносят монтажные оси всех элементов сооружения, по которым в последующем устанавливают в проектное положение все элементы конструкции первого этажа. Базовые знаки, как правило, расположены на пересечении главных и основных осей сооружений. Количество их зависит от размеров здания, предъявляемой точности и конструкции возводимого сооружения.

После возведения первого этажа возникает необходимость в аналогичной разбивке на его перекрытии главных, основных, детальных и монтажных осей для установки всех конструктивных элементов второго этажа. Эта же задача возникает после возведения второго этажа, при установке элементов третьего этажа и т. д.

Следовательно, чтобы установить в проектное положение элементы конструкции всех этажей, необходимо выполнять на каждом монтажном горизонте ярусные построения. Они заключаются в том, что пункты базисной системы исходного горизонта должны быть вынесены по вертикали на все последующие монтажные горизонты с заданной точностью, обеспечивающей установку всех элементов конструкции возводимого сооружения в проектное положение.

Пункты базисной системы являются опорными при определении последующих пунктов ярусных построений. На основе опорных ярусных пунктов строится сравнительно простая сеть сгущения. Точность ее построения контролируется производством линейно-угловых или линейных измерений. Во всех случаях определения высот пунктов ярусных построений производят методом геометрического нивелирования. Следует помнить, что пункты высотных ярусных построений, как правило, не совпадают с пунктами плановых ярусных построений.

В настоящее время при возведении надземной части здания применяют два метода ярусных построений на монтажных горизонтах. Выбор метода зависит от требуемой точности монтажа элементов конструкций, этажности здания, конструктивных особенностей, способа монтажа, наличия необходимых инструментов и размеров строительной площадки.

В простейшем случае ярусные построения ведут по вынесенным основным осям сооружений методом наклонного проектирования. Чаще положение базовых пунктов исходного горизонта переносят на соответствующий ярус с помощью метода вертикального проектирования.

Во всех случаях перед производством строительных работ производят закрепление основных или главных осей сооружения створными знаками. Положение створных знаков на местности

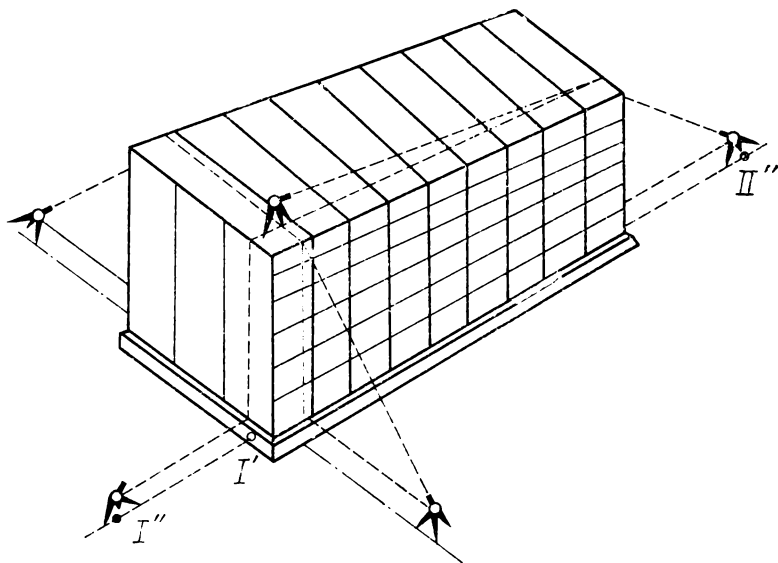


Рис. 160. Метод наклонного проектирования

лучше всего проектировать на стройгенплане строящегося здания или сооружения.

Расстояние между створными знаками должно быть примерно равным удалению первого знака от стены здания, если позволяют условия площадки. После завершения работ по возведению нулевого цикла оси сооружения переносятся на возведенный цоколь, где отмечаются рисками. Положение оси прочерчивают цветным карандашом, а с обеих сторон ее несмываемой краской наносят две полоски. При возведении небольших гражданских зданий оси сооружения закрепляют временными знаками, которые к завершению нулевого цикла уничтожают. В этом случае оси на цоколь переносят с обноски.

В дальнейшем передачу осей на вышележащие ярусы производят методом наклонного проектирования (рис. 160) с помощью теодолита. Его устанавливают над точкой закрепления оси здания или вблизи нее (если элементы стены здания лежат в одной плоскости) и наводят трубу на риску оси на цоколе здания. Затем,

вращая трубу в вертикальной плоскости, переводят ее на монтажный ярус и отмечают положение визирной оси на бетоне в виде риски. Для ослабления влияния целого ряда инструментальных погрешностей положения оси сооружения на монтажный ярус передают при двух положениях вертикального круга. Среднее положение между двумя вынесенными рисками принимают за ось. Перед работой инструмент подлежит тщательной проверке и юстировке, а при работе необходимо особенно следить, чтобы уровень при алидаде все время находился в нульпункте. Таким методом выносят положение осей сооружения на монтажный ярус на всех боковых поверхностях здания.

Между вынесенными рисками на монтажном горизонте устанавливают в створе теодолит методом приближений. Для этого после предварительной установки теодолита в створе линии приводят его в рабочее положение и поочередно визируют на дальнюю, затем на ближнюю точку оси. Если визирный луч не проходит через ближнюю точку, то его сдвигают перпендикулярно створу в сторону, противоположную видимому в трубе отклонению. Эти действия продолжают до тех пор, пока обе точки не окажутся в створе наблюдаемой оси. В это время отмечаем рисками по бетону положение оси в местах пересечения осей сооружения, что легко определяется путем отложения расстояния оси от плоскости здания. В пересечении основных осей получаем точки, которые образуют ярусную базисную систему, позволяющую на ее основе выполнить необходимые разбивочные работы для монтажа всех элементов. Точность построения ее проверяют контрольными замерами по сторонам прямоугольника и путем замеров его диагоналей. В случае необходимости его разбивают на несколько блоков с меньшими сторонами, особенно для сооружений значительного протяжения.

На точность ярусных построений методом наклонного проектирования будут влиять погрешности: положения рисков на цоколе; наклона оси вращения трубы и оси вращения инструмента; визирования при передаче оси на монтажный ярус; фиксации конечных точек осей на перекрытии; установки теодолита в створе на ярусе; редукции визирных знаков на ярусе; нанесения рисков на монтажном ярусе.

Задача повышения точности ярусных геодезических построений решается при использовании методов вертикального проектирования, основанных на применении оптических отвесов различных конструкций.

Расположение пунктов базисной системы на исходном горизонте проектируется на стадии разработки технорабочего проекта сооружения. Методика геодезических построений вертикальных направлений разрабатывается при составлении проекта производства геодезических работ — ППГР. Количество и местоположение базисных пунктов зависят не только от требуемой точности, размеров, назначения здания, но и от конструктивных его особенностей, а также технологии изготовления элементов конструкции. Для вы-

полнения этих работ должны быть запроектированы в рабочих чертежах отверстия в ярусных перекрытиях, с тем чтобы была непосредственная видимость по вертикали со всех базисных пунктов. Отверстия имеют размер 150×150 мм. В случае отсутствия таких отверстий используют проемы для санитарно-технических узлов или создают их в процессе возведения сооружения в необходимых местах. Если отверстия запроектированы в рабочих чертежах, то в дальнейшем весь проект должен быть привязан к ним. Это создает определенные трудности производства геодезических разбивочных работ.

Для построения базисной системы на исходном горизонте, как правило, используют главные или основные оси сооружения. Путем построения проектных углов и отложения линий от осей на исходном горизонте определяют местоположение пунктов базисной системы. В этих местах бетонируют пластинки, на которых в виде перекрестия штрихов или высверленного отверстия обозначают центр знака. В случае необходимости повышения точности метода вертикального проектирования знаки поднимают на специальные

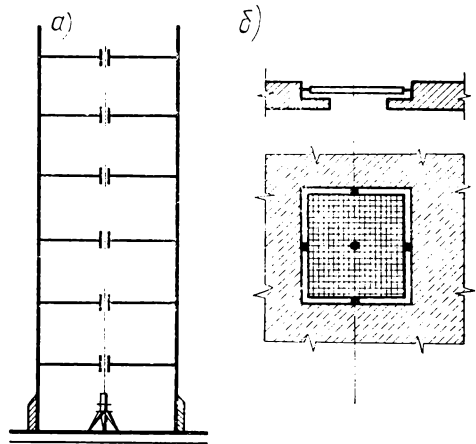


Рис. 161. Метод вертикального проектирования:

а — общий вид; б — палетка

металлические подставки-туры, жестко скрепленные с основанием плиты. На подставке-туре имеется устройство, позволяющее закреплять инструменты вертикального проектирования в строго фиксированном положении, при применении которого погрешности центрирования практически сводятся к минимуму.

При невысоких требованиях к точности перенести базисные пункты на вышележащие ярусы по вертикали можно с помощью длинных нитяных отвесов. Основной источник погрешностей этого способа — колебания нити под действием воздушных потоков, для уменьшения влияния которых применяют тяжелые отвесы, погружая их в ведро с маслом или водой с опилками. Считается, что погрешность за колебание составляет примерно $1/1000$ — $1/1500$ от высоты нити. Однако фактически этим способом можно достичь более высокой точности. Метод к сожалению неудобен своей громоздкостью и может быть использован в случаях, когда невозможно применение другого метода.

Широкое распространение при ярусных построениях получили методы вертикального проектирования. Они удобны, просты и обеспечивают высокую степень точности создания на ярусах базисных сетей. Разработан ряд специальных приборов вертикаль-

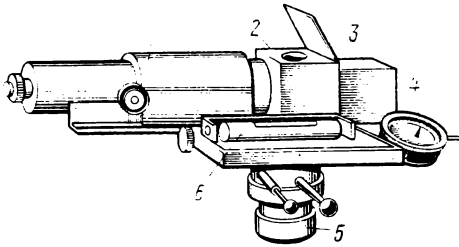


Рис. 162. Оптический центрир ОЦП-2:

1 — зрительная труба; 2 — пентапризма в оправе; 3 — противовес; 4 — шкала часового индикатора; 5 — втулка теодолита; 6 — цилиндрический уровень

$1 \times 1, 5 \times 5$ или 10×10 мм. По подпisanной координатной сетке однозначно определяется фиксированное положение вертикальной линии визирования абсциссой x и ординатой y . Эта точка и принимается на ярусе за центр вынесенного базисного пункта.

Наиболее распространенными в СССР являются оптический центрировочный прибор ОЦП-2, сконструированный Н. Н. Лебедевым и А. В. Мещеряковым, и прецизионный «Зенит-Лот» (PZL) фирмы «Карл Цейс» (ГДР). В настоящее время прибор ОЦП-2 усовершенствован в «Зенит-ОЦП» (рис. 162).

«Зенит-Лот» (PZL) устроен на базе известного нивелира с компенсатором «Koni-007» фирмы «Карл Цейс» (ГДР) (рис. 163).

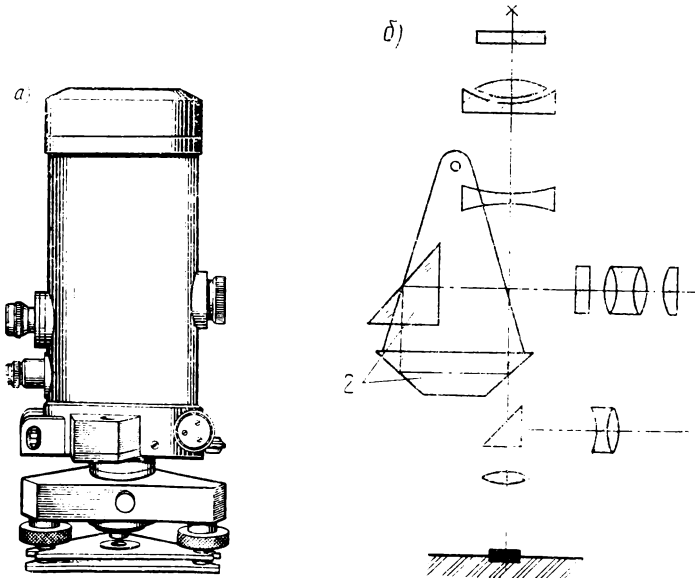


Рис. 163. «Зенит-Лот»:

а — общий вид; б — оптическая схема

Зрительная труба *PZL* имеет $31,5\times$ увеличение и дает прямое изображение. Стабилизация вертикальной линии визирования осуществляется с помощью подвешенной призмной системы, состоящей из оптического центрира 1 и компенсатора 2. Прибор снабжен стеклянным лимбом с точностью отсчета по микроскопу 1', круглым уровнем ($\tau = 30''$). Предел работы компенсатора $\pm 10'$. В *PZL* требуется, чтобы вертикальная линия визирования совпадала с осью вращения прибора. Центрирование прибора осуществляется с помощью оптического отвеса.

Исследования показывают, что точность проектирования точек с помощью приборов ОЦП и *PZL* примерно одинаковая и составляет около 1 мм на 100 м высоты.

Вынесенные способом вертикального проектирования пункты базисной системы на монтажном ярусе образуют базисную ярусную систему. Точность взаимного положения пунктов ярусной системы проверяется линейными или линейно-угловыми контрольными измерениями. Ярусные построения служат основой для разбивки монтажных осей, установки и выверки строительных конструкций (см. § 108 и 109).

§ 111. Разбивочные работы при возведении зданий в скользящей опалубке

В настоящее время в СССР и за рубежом широко применяется прогрессивный метод бетонирования железобетонных конструкций с использованием скользящей опалубки. Этим методом возводят различные здания и инженерные сооружения: элеваторы, силосы, многоэтажные общественные и жилые здания (несущие стены, ядра жесткости, трубы, радио- и телемачты, маяки, мостовые опоры и др.).

В основу этого метода положено использование усовершенствованной инвентарной скользящей опалубки (металлической, из дощатых или фанерных щитов, облицованных листовой сталью или листами из бакелита), оборудованной подъемными гидравлическими домкратами, приспособлениями для контроля уровня, датчиками импульсов для регулирования скорости подъема, обеспечивающими равномерный с заданной скоростью подъем всей скользящей опалубки.

Возведение зданий и сооружений в скользящей опалубке в отличие от сборного строительства требует повышенной точности при геодезическом контроле за движением опалубки. При возведении зданий и сооружений этим методом возникают погрешности вертикального их положения, размеров строительных элементов, положения закладных деталей. Эти погрешности взаимно связаны между собой.

Наряду со сдвигом и кручением, при которых форма тела опалубки остается неизменной, могут возникать изменения в положении точек вследствие деформации опалубки. Поэтому при возведении зданий и сооружений с применением скользящей опалубки

требуется выполнение обширных геодезических измерений, так как процесс возведения протекает непрерывно во времени.

Геодезический контроль включает: контроль геометрических параметров опалубки, нивелировку опалубки в процессе движения ее и бетонного тела, контроль вертикальности сооружения, определение величин скручивания и деформации опалубки.

Особенность геодезического контроля за возведением зданий и сооружений этим методом состоит в том, что результаты измерений, выполняемых при этом, должны обрабатываться сразу же после их получения, с тем чтобы можно было вносить изменения в положение опалубки по ходу ее движения. Отсюда видно, что точность возведения здания или сооружения определяется точностью движения опалубки. Объем измерений зависит от типа здания или сооружения и конструкции самой опалубки.

До начала производства работ по монтажу скользящей опалубки производят геодезическую исполнительную съемку конструкций подземной части здания.

Из результатов нивелирования фундаментной плиты определяют наивысшую ее точку, после чего назначают отметку нижней кромки опалубки; она должна быть на 2—3 см выше самой высокой отметки плиты.

Короба устанавливают на деревянных прокладках или устраивают бетонные полосы по всему периметру стен в строго горизонтальном положении. Точность установки проверяют нивелиром.

После нанесения контура стен в переставной опалубке на высоте 100—150 мм бетонируют маяки, служащие основанием стен сооружения. После окончания монтажа скользящей опалубки проверяют вертикальность ее коробов нитяным отвесом или рейкой-отвесом и горизонтальность рабочего пола — нивелиром или гидростатическим нивелиром.

Высотный геодезический контроль при этом методе возведения зданий или сооружений включает передачу отметок от исходного репера на рабочий пол опалубки, контроль горизонтальности рабочего пола и нивелировку оконных и дверных балок.

Передачу отметок осуществляют нивелиром и подвешенной рулеткой.

Горизонтальность рабочего пола опалубки контролируют методом геометрического или гидростатического нивелирования. Весьма перспективным для этих целей является применение электронных уровней, постоянно закрепляемых на опалубке и передающих информацию о действительном высотном положении рабочего пола опалубки на пульт управления ее движением. Это позволяет осуществлять корректировку положения опалубки в процессе ее движения.

Геодезический контроль кручения и деформации опалубки осуществляется с помощью линейно-угловых измерений (например, параллактическим методом, см. § 33).

Геодезический контроль вертикальности движения опалубки может осуществляться с помощью механических отвесов специаль-

ной конструкции, теодолита (методом наклонного проектирования), зенит- или наدير-приборов (методом вертикального проектирования). В этом случае с точки зрения безопасного ведения геодезического контроля целесообразнее применять наدير-приборы, так как визирование осуществляется сверху вниз и прибор устанавливается на самой опалубке.

При возведении ядер жесткости в скользящей опалубке для геодезического контроля вертикальности здания или сооружения рекомендуется применять следующие геодезические инструменты: приборы вертикального визирования — *PZL*, *ОЦП*, теодолиты и отвесы, подвешиваемые на опалубке.

Для контроля вертикальности, смещения и кручения сооружения внутри ядра жесткости по четырем углам в перекрытии фундамента закладываются специальные знаки с учетом свободного доступа к инструменту, устанавливаемому над ними.

На скользящей опалубке в четырех углах устанавливают на специальных кронштейнах визирные марки. До начала работ центры визирных марок на опалубке должны совпадать с центрами контрольных марок на перекрытии с погрешностью не более 0,5 мм. В процессе производства работ после каждой передвижки опалубки контролируют ее плановое положение относительно контрольных марок.

При использовании тяжелых отвесов для контроля вертикальности над контрольными марками устанавливают центрировочный столик. Центры контрольной марки, центрировочного столика и точки подвески отвеса на опалубке должны совпадать. Для контроля наружных граней ядер жесткости следует применять метод наклонного визирования с использованием теодолитов при двух положениях вертикального круга.

На пунктах, закрепляющих основные оси ядра жесткости, устанавливают теодолит, а на уровне нулевой отметки горизонтально укрепляют линейку. Положение граней ядра жесткости определяют по отсчетам, снятым с линейки.

Для геодезического контроля вертикальности прямоугольного в плане сооружения, возводимого в скользящей опалубке, можно применить следующий способ. Перед началом бетонирования на местности выбирают точки установки теодолита с таким расчетом, чтобы были видны все опорные кронштейны наружного козырька. Точки надежно закрепляют, так как над ними будет каждый раз устанавливаться теодолит при очередном контроле вертикальности.

На кронштейнах краской наносят четкие метки (если края кронштейнов хорошо видны, то можно обойтись и без меток). Затем выбирают ориентирные пункты. Расстояние до них должно быть не меньше, чем от теодолита до дальнего кронштейна. Ориентирными точками могут быть метки, нанесенные краской на любые местные предметы, сохранность которых гарантируется на весь период бетонирования сооружения.

Устанавливают теодолит на закрепленные точки и измеряют несколькими приемами горизонтальные углы между ориентирными направлениями и направлениями на кронштейны (количество контролируемых точек выбирается заранее). Эти углы будут исходными для дальнейших наблюдений в процессе бетонирования. При очередной проверке вертикальности измеряют те же горизонтальные углы и сравнивают с углами, измеренными перед началом бетонирования. По разности углов первого и очередного циклов определяют угловую величину смещения кронштейнов, жестко соединенных с кружалами и опалубкой. При этом учитывают знак смещения относительно линии визирования. Результаты наносят на исполнительную схему.

§ 112. Разбивочные работы при монтаже промышленных зданий и сооружений

При монтаже промышленных сооружений наиболее высокие требования предъявляются к монтажу подкрановых балок. Стальные и железобетонные балки опираются на колонны через подкрановые консоли. По верху балок укладывают подкрановые рельсы. Укрепленные к консолям подкрановые балки образуют вместе с колоннами здания общую жесткую систему. Устанавливают их одновременно с монтажом всего здания после окончательного закрепления основного несущего каркаса — колонн и стропильных ферм, поэтому правильная установка колонн обеспечивает заданное положение всех элементов конструкции. Однако неизбежные погрешности изготовления и монтажа конструкций всегда вызывают необходимость выверки и корректировки подкрановых путей. Геодезические измерения усложняются тем, что подкрановые пути располагаются на высоте 10—30 м, а на крупных объектах на высоте 50 м над уровнем пола здания.

Для установки подкрановых балок производят нивелирование опорной поверхности консолей или нулевых рисок колонн. Нивелир устанавливают чаще всего на специальных жестких подмостках несколько выше подкрановых балок и в середине длины подкранового пути.

По результатам нивелирования вычисляют отметки всех консолей и составляют исполнительный профиль опорных поверхностей консолей по оси подкрановой балки в масштабе 1 : 100 — горизонтальном и 1 : 10 — вертикальном. На профиле намечают линию укладки балок по высоте и при необходимости определяют толщину прокладки для выравнивания основания подкрановой балки.

Плановое положение подкрановых балок определяют от рабочих (монтажных) осей здания, тщательно перенесенных теодолитом методом наклонного проектирования на консоли (рис. 164). При этом на земле или полу цеха тщательно контролируют расстояние l между осями балок, затем в одном конце оси центрируют теодолит и ориентируют его по второму концу этой же оси.

При двух положениях трубы теодолита оси выносят на поверхность крайних консолей и некоторых промежуточных и отмечают их рисками на гранях и поверхностях консолей. Через риски крайних консолей протягивают тонкую проволоку и отмечают ось на консолях всех промежуточных опор, контролируя работу по рискам, нанесенным с помощью теодолита.

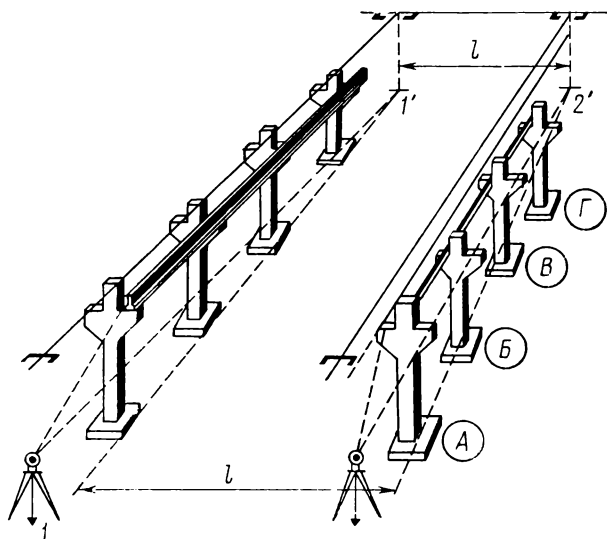


Рис. 164. К разбивке подкрановых балок

Для удобства работы целесообразно закреплять оси насечками на скобах, укрепленных на противоположных стенах здания. Между скобами натягивается проволока, и ось проектируется с помощью отвеса. При монтаже подкрановых балок на большой высоте, когда использование теодолита затруднено, а часто и недопустимо из-за низкой точности проектирования, передача осей выполняется прибором для вертикального проектирования, установленным на полу здания в начальной и конечной точках оси.

Многолетней практикой и специальными исследованиями установлены предельные значения допустимых отклонений геометрических параметров подкрановых путей от проектных, не вызывающих существенных нарушений условий работы кранов и мало влияющих на траекторию их движения. Такие отклонения регламентированы соответствующими допусками на укладку рельсов подкрановых путей. Эти допуски определяют максимальную величину изменения соответствующих параметров путей в процессе их монтажа и эксплуатации.

Подкрановые пути должны быть установлены горизонтально, прямолинейно и с соблюдением проектного расстояния между двумя осями ниток с заданным допуском.

Возможны три случая разбивки рельсовых осей.

Первый случай, когда колея пути превышает длину мерного прибора. В этом случае от главных осей здания, параллельных оси пути, в начале и в конце пролета, а также через 50—60 м вдоль пролета на полу откладывают по перпендикуляру расстояния между осями рельсов. В некоторых случаях (при отсутствии видимости) рельсовые оси смещают так, чтобы они проходили в 10—15 см от внутренних граней колонн. В створе каждой рельсовой оси с помощью теодолита через 8—10 м закрепляют дополнительные точки осевыми знаками. Перенесение осей с пола на уровень путей осуществляется отвесами, теодолитами и приборами вертикального проектирования.

Второй случай, когда ширина колеи не превышает длины мерного прибора (до 20 м). Разбивка осей рельсов выполняется с оси пути теодолитом и рулеткой следующим образом. На крайних колоннах, а также через 50—60 м к колоннам прикрепляют кронштейны. Затем над точкой, закрепляющей ось пути, устанавливают теодолит, а зрительную трубу наводят на марку, расположенную также над точкой оси пути. Между смежными кронштейнами в пролете натягивают рулетку, к полотну которой прикрепляют специальную визирную марочку с вертикальной прорезью. Положение прорези марочки соответствует отсчету, совпадающему с осью пути, когда рулетка натянута и концы ее совмещены с осями рельсов. При этом должны быть учтены поправки за провес, компарирование, температуру и натяжение рулетки. После того как рулетка натянута по указанию наблюдателя, стоящего у теодолита, ее сдвигают до совмещения прорези марочки с коллимационной плоскостью теодолита. В момент совмещения на кронштейнах отмечают нулевое деление рулетки и соответствующий отсчет на противоположном конце ее. Вынос оси производится при двух положениях вертикального круга теодолита.

Третий случай, когда подкрановые балки уложены по всему пролету и ширина колеи не превышает длину мерного прибора. В этом случае на кронштейнах крайних колонн непосредственным отложением на них проектного расстояния от осевых рисок колонн до оси рельса намечают точки одной из рельсовых осей. От полученных точек откладывают расстояние, соответствующее проектной ширине колеи, и на кронштейнах противоположных колонн отмечают точки второй рельсовой оси.

Во всех трех случаях вынесенные оси фиксируются на небольших кронштейнах, прикрепленных к колоннам примерно на 0,8—1,0 м выше пути. Между зафиксированными точками натягивают струну (диаметром 0,3—0,5 мм) и на ней подвешивают небольшие остроконечные отвесы, с помощью которых выполняют плановую установку подкрановых балок и подкрановых путей.

Для высотной установки производят нивелирование подкрановых опорных площадок колонн, поднимая инструмент вверх на консоль или специально устроенную площадку. Отметку передают вверх от ближайшего репера с помощью нивелира и рулетки. По

результатам нивелирования составляют продольный профиль, на основании которого рассчитывают толщину металлических подкладок для каждой стальной колонны или цементной подливки для каждой железобетонной колонны.

При плановой выверке смонтированных подкрановых путей могут быть применены методы косвенного и непосредственного измерения ширины пролета. При косвенном методе ширину колеи находят по положению точек рельсовых осей, координируемых относительно пунктов вспомогательной опорной сети (полигоно-

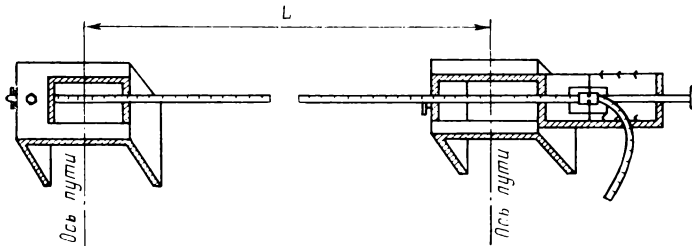


Рис. 165. Устройство для измерения ширины подкрановых путей

метрия, микротриангуляция), создаваемой в цехе. Положение точек рельсовых осей относительно базиса (стороны хода) определяют прямой угловой засечкой с двух-трех пунктов.

Ширина смонтированной колеи может быть также найдена параллактическим методом (см. § 33).

Метод непосредственного измерения ширины колеи является наиболее простым. Он включает в себя два способа: способ линейного измерения и механический способ. Способ линейного измерения заключается в том, что ширина колеи определяется по результатам непосредственного измерения расстояния между осями рельсов шкаловой лентой, компарированной рулеткой или специальными устройствами (рис. 165). При механическом способе используются специальные приборы, позволяющие найти небольшие отклонения ширины колеи относительно постоянного базиса.

Определение непрямолинейности рельсов подкрановых путей в большинстве случаев выполняется способами створных измерений. Эти способы наиболее производительны и обеспечивают необходимую точность измерений. В качестве прямой линии, относительно которой измеряют отклонения рельсовых осей, используют либо струну (способ струны), либо оптический луч (способ оптического створа), проходящий через точки, расположенные в конце и в начале рельсовой нитки. Если вдоль рельсов имеется площадка, то базовая линия (створ) намечается на ней кернами, от которых определяется прямолинейность рельсовой нити с помощью устройства, показанного на рис. 166.

После монтажа подкрановых путей проводят плановую и высотную исполнительные съемки и составляют исполнительную схему фактического их положения (рис. 167). В местах, где полу-

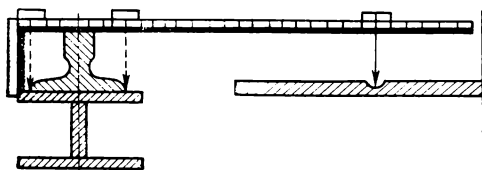


Рис. 166. Устройство для определения прямолинейности подкрановых путей

ченные отклонения превышают допуск, производят рихтовку подкрановых рельсов.

Нивелирование путей повторяют после прокатки смонтированного крана (под нагрузкой).

При сборке рам необходимо определить их размещение в створе оси здания

и вертикальность. Контроль осуществляют теодолитом методом бокового нивелирования со смещенной строительной оси. До монтажа рамы проверяют положение ригеля по высоте и при необходимости вносят исправления.

Монтажу ферм предшествует контроль положения подферменных опор и фактической длины ферм. Плановое положение подферменных опор проверяют от закрепленных осей сооружения или непосредственным промером рулеткой, высотное — нивелировкой от ближайшего репера.

При монтаже стропильных ферм оголовки колонн нивелируют с помощью угольника и прикрепленной к нему рулетки, опущенной вниз до уровня нивелира. В ряде случаев возможно применение тригонометрического нивелирования с использованием точных теодолитов.

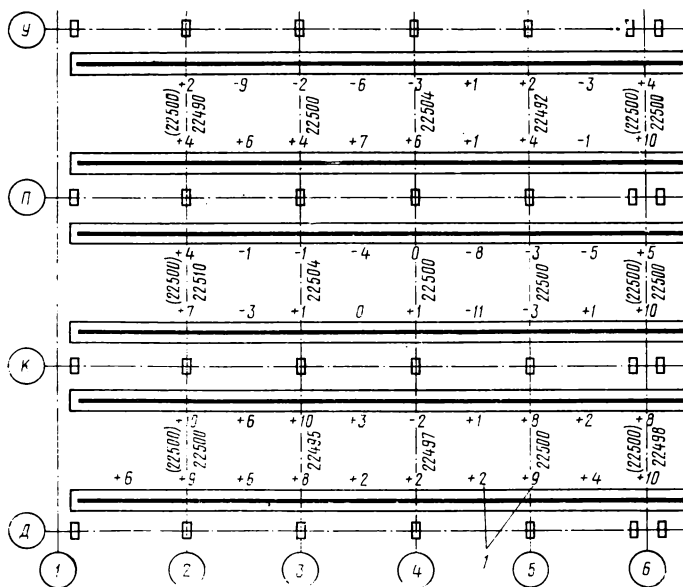


Рис. 167. Исполнительная схема подкрановых путей:

1 — отклонение отметок подкрановых рельсов (в мм)

Если в нижнем поясе ферм устраивают подвесной потолок, то по оголовкам колонн разбивают дополнительные оси, фиксирующие плановое положение фермы каждого пролета. Фактическую длину фермы определяют после ее сборки и указывают на исполнительном чертеже. При установке ферм необходимо проверять горизонтальность нижнего пояса, вертикальность стоек и боковых панелей в середине пролета. Горизонтальное положение пояса определяют нивелированием узлов, а вертикальность стоек и панелей — с помощью отвеса или теодолита, установленного под фермой на полу цеха.

Если в нижнем сечении фермы предусмотрено устройство подвесного потолка или балки монорельса, перед монтажом на крайних фермах фиксируют продольную ось подвешиваемых конструкций. Разбивку оси на поясах промежуточных ферм осуществляют теодолитом, установленным в створе оси на полу здания.

§ 113. Геодезические работы при выверке конструкций

Способы выполнения геодезических работ при установке конструкций в проектное положение весьма разнообразны и зависят от способов монтажа и особенностей конструкции и ее элементов. К этим видам работ относят контрольные обмеры конструкции, наблюдения, выполняемые при установке конструкции в проектное положение, и определение отклонений установленной конструкции от проектного положения. Для контрольных обмеров элементов конструкций обычно используют линейные измерения.

При установке строительных конструкций в проектное положение наиболее широко применяют метод створных наблюдений. Конструкция располагается в створных плоскостях, заданных соответствующими маяками. Приборы для таких наблюдений должны обеспечивать возможность измерения отклонения конструкции по направлениям трех координатных осей (X , Y , Z). Помимо механических и оптико-механических приборов для створных наблюдений в последние годы разрабатываются приборы и методы применения лазерной техники, различные методы электрических измерений неэлектрических величин. Особенно важное значение приобретает автоматизация контрольных измерений. Развитие этих методов измерений идет в тесной связи с разработкой телемеханических способов выполнения строительного-монтажных работ.

Исполнительную съемку выполняют по мере возведения здания или сооружения и завершают с окончанием строительного-монтажных работ. С помощью этой съемки контролируют качество работ в части соблюдения проектных форм и размеров здания или сооружения. Результаты исполнительной съемки используют в процессе эксплуатации, текущего и капитального ремонта, реконструкции здания или сооружения. Исполнительную съемку ведут с пунктов (знаков) геодезической основы разбивочных работ и выполняют в масштабах рабочих чертежей аналитическими методами. В последнее время успешно применяют фотограмметрические методы

исполнительной съемки. Особенно ответственной является съемка скрытых строительных работ.

Следует иметь в виду, что исполнительная съемка относится к топометрической. Результаты ее представляют не только в виде топографического плана и профилей. Их оформляют в виде крупномасштабных чертежей, составляемых методами ортогонального проектирования, аксонометрии и перспективы. При этом используют правила строительного и топографического черчения. Существенную роль играют ведомости координат и отметок характерных точек элементов строительных конструкций. Суждение о точности возведения здания или сооружения получают путем сопоставления действительных координат и отметок этих точек с проектными.

Вопросы для самопроверки

1. Какова последовательность выполнения разбивочных работ при возведении надземной части зданий и сооружений?
2. Какие геодезические сети создают на исходном и монтажном горизонтах?
3. Что включают в себя разбивочные работы при возведении кирпичных зданий?
4. Как установить в проектное положение металлическую колонну?
5. Как установить в проектное положение железобетонную колонну?
6. Как проверить правильность установки ряда колонн?
7. В чем заключаются особенности разбивочных работ при монтаже каркасно-панельных, крупноблочных и бескаркасных панельных зданий?
8. Что такое базисная фигура на монтажном горизонте?
9. В чем заключаются методы наклонного, механического и оптического вертикального проектирования?
10. В чем заключаются методы сквозного и последовательного проектирования вершин базисной фигуры на монтажные горизонты?
11. Какой порядок работы на станции при использовании приборов вертикального проектирования?
12. В чем заключается геодезический контроль при возведении зданий и сооружений в скользящей опалубке?
13. Как производят контроль правильности движения домкратов при возведении зданий в скользящей опалубке?
14. Как осуществляют контроль кручения и деформации опалубки?
15. Что включают в себя разбивочные работы при монтаже рам, балок, ферм и ригелей?
16. Какие выполняют контрольные измерения при монтаже подкрановых балок и рельсов?

ГЛАВА XVII. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 114. Обзор геодезических измерений, выполняемых при установке машин и оборудования

Геодезические измерения, выполняемые при установке машин и оборудования, обладают рядом особенностей и имеют свой особый порядок исполнения. Они связаны с монтажом строительных

конструкций, на которых устанавливаются машины. Например, точность и своевременность монтажа механического оборудования доменного цеха зависит от правильности возведения фундаментов с анкерными болтами и подготовки для этого оборудования посадочных мест на стальных конструкциях. Связь геодезических измерений, выполняемых при строительстве зданий и сооружений, с измерениями, сопутствующими монтажу машин и оборудования, обеспечивается общим проектом их производства.

Современное машиностроение характеризуется высокими требованиями к точности соблюдения заданных размеров, формы и относительного расположения рабочих поверхностей деталей, узлов и агрегатов. Допустимые погрешности взаимного положения в плане и по высоте отдельных элементов строительных конструкций колеблются в пределах от 2 до 5 мм. Монтаж промышленного оборудования ведется с погрешностями менее 2 мм. Некоторые современные установки, протяженность которых иногда достигает нескольких километров, крупногабаритные машины с сотнями составных частей, имеющих большие размеры и массу в десятки тонн, конвейеры с направляющими плоскостями скольжения и оборудование новейших лабораторий монтируют с допусками, выражающимися в десятых и сотых долях миллиметра. Это обстоятельство заставляет производить измерения, связанные с установкой отдельных блоков агрегатов в проектное положение, с точностью до нескольких микрометров (мкм).

Рассматриваемые измерения имеют и своеобразный порядок исполнения. Вначале производят менее точные измерения, сопутствующие предварительной установке агрегатов в проектное положение. Затем ведут более точные измерения, необходимые для строгой установки агрегатов в проектное положение и их юстировки. Это обстоятельство заставляет последовательно уточнять геодезическую основу (плановую и высотную), используемую для монтажа строительных конструкций, оборудования и отдельных агрегатов. При построении высотной геодезической основы принимают меры для максимального повышения точности измерений на каждой из стадий выполнения работ.

Геодезические измерения при установке машин и оборудования тесно переплетаются с другими видами измерений, принятыми в практике машиностроения. Условия геодезических измерений, выполняемых при монтаже машин и оборудования, значительно отличаются от обычных. Измерение углов с очень короткими сторонами, длин прямолинейных отрезков с большими уклонами, определение шероховатости опорных поверхностей и т. п. требуют использования специальных измерительных приборов.

Изучение и организация процессов геодезических измерений в машиностроении начались сравнительно недавно. Вначале были сделаны попытки использовать известные приемы геодезической техники. Однако эти приемы оказались пригодными лишь для монтажа простого оборудования промышленных предприятий. Затем шел процесс модернизации существующих геодезических

инструментов и методов измерения, приспособления их к предъявляемым требованиям. В результате появились некоторые новые типы измерительных приборов для использования их при монтаже строительных конструкций и крупногабаритных машин. Тем не менее эти приборы не решали всех тех задач, которые выдвигало машиностроение перед геодезией. Установка усовершенствованного оборудования в промышленных предприятиях и уникальных машин в научных лабораториях потребовали правильного сочетания геодезических измерений с техническими, автоматизации и повышения точности их. Все это привело к тому, что в современной инженерной геодезии граница между геодезическими и машиностроительными измерениями почти стерлась. Дальнейшее повышение качества строительной и машиностроительной продукции возможно лишь при условии непрерывного усовершенствования измерительных средств.

Безотказная работа систем автоматизации технологического процесса осуществима лишь при соблюдении ряда геометрических условий, предусмотренных проектом размещения отдельных агрегатов. Поэтому вопросы высокоточной разбивки точек, направлений и плоскостей, переноса в натуру углов, длин линий и отметок приобретают особо важное значение при монтаже оборудования промышленных предприятий.

Способы и требуемая точность разбивок и измерений зависят от характера промышленного предприятия, его технологических особенностей, прецизионности оборудования и других факторов. Однако почти во всех случаях разбивку и измерения, сопутствующие строительным работам, ведут с меньшей точностью, чем при монтаже оборудования промышленного предприятия. Например, допуски, связанные с устройством фундамента для промышленного оборудования, шире допусков, предъявляемых к установке этого оборудования. Положение в натуре осей агрегатов после возведения фундаментов уточняется и соответствующим образом фиксируется. Установка машин должна быть выполнена более точно, чем вынос поверхности фундамента на проектную отметку. Следовательно, для монтажа промышленного оборудования нужна более точная геодезическая основа. Практически задача решается путем построения в натуре геодезическо-монтажных сеток и выполнения монтажно-контрольных измерений.

Методы монтажно-контрольных измерений отличаются большим разнообразием от измерений, связанных с разбивкой. Наряду с непосредственными, или прямыми, измерениями широко используются методы косвенных, или посредственных, измерений. Весьма часто прибегают к разностному, или дифференциальному, методу измерений, основанному на определении разности между измеряемой величиной и величиной, значение которой известно. В последнее время осваиваются электронно-оптические методы измерений. Окончательную доводку агрегатов в проектное положение осуществляют по результатам контрольных измерений, поэтому процесс выполнения их в комплексе с перемещением оборудования

часто называют регулированием размеров. Широко внедряются также системы автоматического регулирования размеров.

После завершения строительных работ проводят исполнительную съемку сооружений. Такую съемку чаще всего выполняют с точностью производства разбивочных и строительных работ. Положение машин и оборудования требует более точной исполнительной съемки; для выполнения такой съемки требуется, как правило, специальное оборудование и приборы.

§ 115. Геодезические монтажные сети

Элементы агрегатов устанавливают в проектное положение относительно монтажных осей, точки которых закрепляются на деталях строительных конструкций. Эти оси могут совпадать с рабочими осями агрегата или располагаться параллельно им. Разбивку монтажных осей выполняют от пунктов геодезической основы. Чаще всего монтажной осью является прямолинейный отрезок, конечные точки которого и определяют относительно

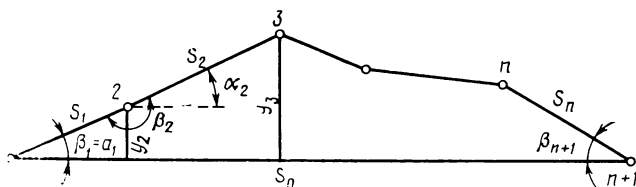


Рис. 168. Монтажный базис

пунктов геодезической основы. Если расстояние между конечными точками небольшое, то монтажную ось в процессе сборки агрегата фиксируют с помощью натянутой струны. В случае большого расстояния между конечными точками вдоль монтажной оси прокладывают полигонометрический ход, который служит самостоятельной геодезической основой, используемой для определения длины монтажной оси. Такой осью является замыкающая полигонометрическая хода. В практике промышленного строительства она называется монтажным базисом (рис. 168).

Другим видом геодезического обоснования для монтажа оборудования является монтажная сетка, которая представляет собой систему квадратов или прямоугольников и разбивается в пределах участка установки оборудования на промышленном предприятии. Обычно такая сетка создается после завершения строительных работ. Однако в тех случаях, когда строительная сетка создается сразу же после выполнения нулевого цикла строительного производства, монтажная сетка используется в качестве геодезической основы для переноса в натуру осей агрегатов и выполнения контрольных измерений. Длины сторон монтажной сетки колеблются в пределах от 10 до 24 м. При установке станочного оборудования длины сторон монтажной сетки уменьшают до 5 м.

Погрешности положения пунктов такой сетки относительно исходного не должны превышать 3 мм. Связь монтажной сетки со строительной осуществляется с точностью, соответствующей допуску совмещения оборудования с элементами строительных конструкций. При повышенных требованиях к точности связи оборудования с элементами строительных конструкций в пределах целого участка строительства создается строительно-монтажная сетка с равномерным распределением точности определения положения пунктов.

Для высокоточной и точной установки агрегата в проектное положение по высоте создаются специальные нивелирные сети. Они представляют собой систему реперов, от которых передаются отметки на контрольные марки, заложенные в сооружениях и агрегатах. Реперы должны быть достаточно устойчивыми, практически неподвижными. При выполнении высокоточных измерений в процессе монтажных работ закладывают глубинные и фундаментальные реперы такого же типа, как и при наблюдениях за деформациями инженерных сооружений.

§ 116. Струнные и струнно-оптические способы и приборы створных измерений

При выносе в натуру осей крупных инженерных сооружений и установке в проектное положение оборудования широко используют струнный способ. Местоположение створа определяют с помощью двух крайних знаков, которыми закреплена в натуре монтажная ось. Ось струны в этом случае сносят на строительные конструкции или осевые риски монтируемого оборудования с помощью отвесов, которые крепятся на струне по всей длине створа в необходимых местах. Однако погрешность такого способа створения сравнительно большая и составляет для створов длиной до 200 м примерно ± 2 —4 мм. Для устранения погрешности за неоднозначность крепления отвесов применяют один отвес, перемещающийся вдоль струны.

Основной источник погрешностей струнного способа — колебание струны. При тщательной работе в закрытых помещениях этим способом погрешность монтажа можно довести до 2 мм.

При предварительном монтаже с погрешностью 3—5 мм технологическое оборудование устанавливают по отвесам относительно струны визуально по специальным меткам. При точном монтаже в качестве отсчетных устройств используют индуктивные датчики положения струны; их укрепляют на вкладышах, которые во время работы находятся во втулках геодезических знаков устанавливаемого или контролируемого оборудования.

При контрольных измерениях положения оборудования находят применение электроконтактный способ определения положения струны, задающей створ. Способ основан на фиксации момента контакта ножки индикаторного устройства со струной путем замыкания электрической цепи струной. Индикаторное устройство в

виде индикатора часового типа или микрометра с вкладышем вставляют в геодезический знак. В качестве фиксатора момента контакта применяют обычные электролампочки или звуковые сигнализаторы. Погрешность фиксации положения струны составляет 30—50 мкм.

Точность струнного способа можно значительно повысить, если измерения производить с помощью вертикально проектирующих приборов или отсчетных микроскопов на специальных подставках, позволяющих установить визирную ось микроскопа строго вертикально. Для натяжения и перемещений струны в процессе измерений применяют специальные натяжные устройства. Концы струны закрепляют так, чтобы колебания грузов для натяжения не передавались на струну. Такой способ створных измерений называется **струнно-оптическим**.

Погрешность определения промежуточной точки в створе исходных пунктов струнно-оптическим способом — результат влияния следующих основных источников погрешностей: воздушных потоков на стабильность положения струны; изменения диаметра струны; установки струны над центрами исходных опорных пунктов; отсчета по микроскопу или прибору вертикального проектирования; локальных изгибов струны; колебаний струны; несовпадение центра вкладыша с осью втулки знака. Кроме того, большое значение имеет правильный выбор материала струны.

При установке технологического оборудования ускорителей струнно-оптический способ используют довольно широко. К установке электромагнитов ускорителей в проектное положение предъявляются более высокие требования, чем к монтажу оборудования ряда промышленных, гидротехнических и гражданских сооружений. Например, погрешность во взаимном положении трубок дрейфа инжектора Серпуховского ускорителя составляет 0,05 мм, а блоков кольцевого электромагнита 0,2 мм. В связи с такими повышенными требованиями, а также перспективой строительства новых крупных физических установок и спецификой работ на них возникла необходимость в экспериментальных исследованиях и разработке несколько иных вариантов использования струнного способа, а также в рассмотрении некоторых теоретических вопросов, связанных с его применением.

§ 117. Способы и приборы оптического створения

Оптические способы прямого визирования с помощью специальных зрительных труб и визирных целей широко используют при наблюдениях за плановыми деформациями гидротехнических сооружений и выверке длинных конвейеров. Створные измерения при этом выполняют способом измерения малых углов или подвижной марки.

В приборах проверки прямолинейности и соосности с помощью зрительных труб нестворность измеряют двумя плоскопараллель-

ными пластинами, позволяющими отсчитывать величину смещений марки в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

При использовании особых самоцентрирующих устройств для установки зрительной трубы и визирных целей, а также геодезических знаков специальной конструкции погрешности центрирования и редукции сводятся к пренебрегаемо малым величинам. Вследствие этого точность оптических методов створных измерений в основном зависит от качества зрительных труб. В СССР выпускаются приборы проверки соосности ППС-7, ППС-11, ППС-12.

В комплектах аппаратуры современных створных приборов имеются такие высокоточные зрительные трубы, как, например, визирная труба анилиметра фирмы «Карл Цейс» (ГДР), микро-телескопа фирмы «Тейлор-Гобсон», визирная труба «Ferrand» или «Huet», точность измерения которыми в угловой мере составляет около 0,3".

Зрительная труба прибора ППС-11 может работать как автоколлиматор. В этом случае сетка нитей подсвечивается электролампочкой через конденсатор и полупрозрачную пластинку. Перемещая фокусирующую линзу, на сетку трубы проецируют изображение сетки, нанесенной на зеркальной марке, установленной на контролируемом объекте. При наклоне зеркальной марки изображение ее сетки смещается по отношению к сетке зрительной трубы. Линейная величина смещения определяется с помощью оптических микрометров или непосредственно по концентрическим окружностям марки.

Коллиматорный и автоколлимационный способы створных измерений наиболее эффективны при выверке направляющих большого протяжения и установке оборудования непосредственно по базовым точкам или рабочим апертурам.

При коллиматорном способе основными приборами для створных измерений являются: зрительная труба с окулярным или оптическим микрометром, установленная на одной из исходных точек; коллиматор, передвигаемый вдоль выверяемой линии или устанавливаемый на промежуточные пункты створа, и коллиматор в противоположном конце створа для ориентирования трубы. Коллиматор дает параллельный пучок лучей, и его освещаемая сетка изображается в фокальной плоскости зрительной трубы. Всякое боковое отклонение оси коллиматора от линии визирования вызывает смещение изображения его сетки относительно сетки нитей зрительной трубы, которое измеряется окулярным или оптическим микрометром.

Точность способа в основном зависит от точности измерения угла или линейного смещения изображения сетки коллиматора окулярным или оптическим микрометром. Так, при погрешности измерения угла, равной 1", и длине базы 1 м можно установить точки контактирования параллельно линии створа с погрешностью 5 мкм.

При автоколлимационном способе в отличие от остальных оптических способов используется зеркальная марка,

устанавливаемая во втулку промежуточного знака или в направляющую, которая определяет положение монтируемого оборудования относительно главной оси. По сравнению с другими методами автоколлимационный обладает более высокой точностью, так как наклон зеркала на некоторый угол вызывает отклонение отраженного луча на удвоенный угол. Погрешность современных автоколлиматоров составляет 1—2".

Методика установки оборудования описываемым способом сводится к следующему. После того как монтажная ось восстановлена с помощью трубы автоколлиматора и марки, монтируемая деталь по автоколлимационному способу устанавливается параллельно главной оси. Одновременно с автоколлимационной установкой совмещается геометрическая ось монтируемой детали с визирной осью. Зеркальная марка в этом случае используется как обычная визирная марка, причем автоколлимационная приставка не снимается с телескопа.

Когда телескоп сфокусирован для автоколлимационного наблюдения, в этот момент кольцевой рисунок зеркальной марки не просматривается. Когда же телескоп сфокусирован на рисунок зеркальной марки, то автоколлимационная приставка не мешает работе. Такой возможностью обладают зрительные трубы для контроля прямолинейности ППС-11, ППС-12, «Тейлор-Гобсон» и др. Погрешность измерения угловых отклонений для автоколлиматора прибора ППС-11 тем больше, чем больше расстояние до плоскости зеркала, и составляет для расстояний от 0,3 до 7,5 м соответственно от 0,1 до 0,5".

При создании опорных геодезических створов с дискретным расположением промежуточных пунктов коллиматорный и автоколлимационный способы проверки прямолинейности и соосности малопригодны. Поэтому при создании опорных геодезических створов более широкое применение находят способы, позволяющие измерить абсолютные значения нестворностей промежуточных точек. Таковыми являются струнно-оптические способы, оптический способ прямого визирования, а также способы, основанные на использовании лазерных источников света.

§ 118. Технические линейные измерения

Изготовление и установка детали не могут быть выполнены абсолютно точно. Практически достаточно изготавливать и устанавливать детали с определенным допуском, т. е. указывать не один заданный размер, а два предельных размера — наименьший и наибольший. Расположение действительного размера детали в зоне предельных размеров наиболее просто проверяется с помощью калибров. Действительный размер детали сопоставляется с двумя соответствующими мерами — калибрами, имеющими предельные размеры.

К а л и б р ы — бесшкальные измерительные инструменты, предназначены для проверки размеров, форм и взаимного расположения деталей. Они могут быть нормальные и предельные.

Нормальные равны номинальному размеру детали, предельные — наибольшему и наименьшему предельным размерам детали. Для контроля отверстий и валов применяют соответственно к а л и б р ы - п р о б к и и к а л и б р ы - с к о б ы.

Для проверки и установки машин, измерения внутренних и наружных диаметров, расстояний между параллельными плоскостями и осями отверстий пользуются плоскопараллельными концевыми мерами — плитками прямоугольного и круглого сечений. Их размеры бывают до 200—3000 мм. При измерении деталей большего размера образуют блоки концевых мер. Меры небольших размеров притирают один к другому или соединяют с помощью стяжек и штифтов.

Концевые меры стержневого типа со сферическими, цилиндрическими или плоскими измерительными поверхностями называются нутромерами. Нутромеры с плоскими измерительными поверхностями в принципе не отличаются от цилиндрических плоскопараллельных концевых мер. Раньше к нутромерам относились только такие меры, измерительные поверхности которых описаны радиусом, равным половине длины меры. Другие концевые меры этого типа назывались штихмасами. В дальнейшем микрометрические штихмасы были переименованы в микрометрические нутромеры.

Нутромеры без отсчетных устройств могут быть нерегулируемые и регулируемые. Применяются они в качестве калибров или установочных мер. Изготавливают такие нутромеры от 25 до 1000 мм в виде наборов. Детали большого размера измеряют нутромерами с отсчетными устройствами в виде шкалы с нониусом, микрометрической или индикаторной головки. Существует несколько типов таких нутромеров.

Размер больших деталей определяют скобами. Диаметры цилиндрических деталей (валов, дисков, втулок и др.), не превышающих 2000 мм, измеряют дуговыми скобами. Для определения размера деталей от 500 до 6000 мм пользуются линейными скобами. Скобы без отсчетных устройств могут быть нерегулируемые и регулируемые. Регулировка осуществляется перемещением или сменой измерительных губок или наконечников. Интервал регулировки дуговых скоб — от 50 до 200 мм, линейных — от 500 до 1500 мм. Устанавливают скобы на заданный размер с помощью плоскопараллельных мер, специальных установочных мер или нутромеров. После установки нормального размера скобы используют как жесткие калибры. Скобы бывают с отсчетными устройствами — микрометрическими и индикаторными.

Линейные измерения крупных деталей выполняют штриховыми мерами длины (стальными линейками и рулетками, стальными и инварными проволоками). При монтаже крупных машин используют стандартные комплекты стальных и инварных проволок длиной 8,0; 11,3 и 28,0 м. Эти проволоки на одном конце имеют шкалу, а на другом — кольцо, которое надевается на колонку, установленную в центре агрегата.

Весьма широко используют различные штангенинструменты — штангенциркуль, штангенрейсмас, штангенглубиномер, а также микрометрические инструменты — микрометры для наружных и внутренних измерений, микрометрические глубиномеры. Для сравнительных измерений — проверки отклонения от эталона используют рычажно-механические миниметры, пружинные миниметры (микрокаторы) и индикаторы часового типа. Для этой же цели пользуются оптико-механическими приборами, чаще всего оптиметрами.

Для измерения крупногабаритных деталей (длиной до 30 м) агрегатов созданы специальные оптические установки.

В крупном машиностроении прибегают к косвенному определению деталей большого размера. Например, диаметр вала свыше 2000 мм определяют методом опоясывания. При этом рулеткой измеряют длину окружности.

Несколько своеобразно выполняют линейные измерения величин, характеризующих пространственное расположение деталей узлов и агрегата (расстояний между ступенчатообразными плоскостями, осями отверстий и т. д.). Например, для контроля пространственного расположения поверхностей крупного агрегата с двух сторон его располагают взаимно перпендикулярные станины — направляющие длиной до 30 м, по которым перемещаются салазки с теодолитами особой конструкции. У этих теодолитов ось вращения визирной трубы сделана в виде полый втулки, с одного конца которой укреплена плоскопараллельная стеклянная пластинка, а с другого — полупрозрачное зеркало. Перемещение салазок определяется по линейкам, расположенным вдоль направляющих. Установка теодолитов контролируется автоколлиматорами, размещенными у обоих концов станины.

§ 119. Сведения о применении лазерной техники в инженерной геодезии

Строительство современных промышленных и гидротехнических сооружений, высотных зданий, телевизионных башен, радиотелескопов, трубопроводов и ряда других сооружений требует значительного повышения точности и мобильности геодезических работ. Это обстоятельство вызвало необходимость применения средств автоматики и электроники в геодезическом приборостроении.

Значительную роль в деле совершенствования методики геодезических измерений и повышения производительности труда приобретают лазерные геодезические приборы. Область их применения в условиях строительной площадки с каждым годом все возрастает. Достоинство лазерных приборов заключается в том, что ими можно пользоваться при плохом освещении, чрезмерно ярком свете, при работе электросварочных агрегатов, так как это не оказывает существенного влияния на точность наблюдений.

При применении лазеров в геодезии в большинстве случаев встает необходимость в коллимировании лазерного пучка света,

т. е. в уменьшении угла расходимости. В настоящее время разработкой лазерных геодезических приборов занимаются Научно-исследовательский институт прикладной геодезии (НИИПГ), Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт организации, механизации и технической помощи строительству (ЦНИИОМТП) и целый ряд других научных и высших учебных заведений.

Использование в условиях строительной площадки и действующих промышленных предприятий лазерных теодолитов, нивелиров и других устройств показало их преимущество перед традиционными геодезическими приборами. Особенно перспективным является применение лазерных геодезических приборов при строительстве высотных зданий и сооружений, при монтаже подкрановых сооружений и оборудования, в гидротехническом строительстве, при натурных испытаниях действительной работы строительных конструкций и инженерных сооружений и т. п. По лучу лазера можно непрерывно контролировать плановое и высотное положение сборных конструкций в процессе их монтажа, а также измерять их деформации (перемещения) под действием статических и динамических нагрузок в условиях действующих предприятий*.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое монтажные геодезические сети?
2. Что такое монтажный базис?
3. В чем заключается сущность струнного, струнно-оптического и оптического способов установки и выверки конструкций?
4. В чем отличие контрольно-монтажных измерений от разбивочных работ?
5. Что представляет собой монтажная сетка?
6. Как осуществляется связь монтажной сетки со строительной?
7. Какие основные источники погрешностей струнного способа?
8. Какие основные погрешности струнно-оптического способа?
9. Что представляют собой коллиматорный и автоколлиматорный способы створных наблюдений?
10. Какие основные средства технических линейных измерений?
11. Перспективы применения лазерной техники для обеспечения точности строительного-монтажных работ.

ГЛАВА XVIII. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ И ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

§ 120. Исполнительные съемки

Исполнительные съемки на территории строительной площадки производят для решения следующих основных задач: обеспечения систематического оперативного контроля учета объемов выполненных строительного-монтажных работ; выявления нарушения допусков при производстве строительного-монтажных работ с целью их

* Григоренко А. Г., Сисин И. А., Сердюков В. М. Технический контроль при эксплуатации подкрановых сооружений. М., 1977.

своевременного устранения; определения степени точности перенесения проекта в натуру и выявления всех отступлений от проекта; получения данных о фактическом расположении зданий, сооружений, подземных и надземных инженерных коммуникаций и сетей и других объектов на завершенной стадии строительства.

Частично вопросы выполнения текущей исполнительной съемки и составления оперативной исполнительной документации по отдельным видам строительного-монтажных работ рассмотрены в предыдущих главах. В данной главе преследуется цель дополнить, систематизировать и обобщить виды исполнительных съемок в условиях строительной площадки с последующим составлением окончательной исполнительной документации строительства.

Решение первой задачи достигается проведением несложных геодезических измерений, в результате чего осуществляют оперативный контроль за ходом ведения земляных работ, прокладкой инженерных коммуникаций, монтажом конструкций и т. п.

При решении второй задачи используют методы и приборы, которые применялись при разбивке и обслуживании строительного-монтажных работ. В этом случае производят контрольные измерения, на основе которых определяют степень соответствия полученных монтажных отклонений заданным допускам и, в случае необходимости, вносят соответствующие коррективы. После внесения корректив и исправления допущенных ошибок на данном участке строительного-монтажных работ исполнительную съемку повторяют.

Для решения третьей задачи выполняют плано-высотную съемку практически законченных объектов строительства. При этом используют ранее принятую методику геодезических разбивочных работ и выполнения инженерно-геодезических изысканий под строительство.

Четвертая задача заключается в окончательной обработке и систематизации результатов исполнительных съемок для решения первых трех задач и составлении окончательной исполнительной документации.

Плановую съемку обычно производят аналитическими методами: промерами по ординатам и створам, линейными и угловыми засечками, способом прямоугольных и полярных координат. Отметки точек сооружений определяют геометрическим нивелированием от ближайших реперов. Плановой опорой исполнительных съемок являются: в пределах цехов и установок — закрепленные оси фундаментов; в пределах промышленной площадки — пункты строительной сетки; за пределами площадки — пункты существующего геодезического обоснования и специально проложенные теодолитные ходы.

Для высотной съемки прокладывают нивелирные ходы. Точность плановой основы на площадке должна удовлетворять съемке масштаба 1 : 500. При этом особое внимание следует обращать на съемку скрытых сооружений, т. е. фундаментов, подземных трубопроводов, которые затем засыпают землей. Съемку этих сооруже-

ний производят до засыпки котлованов и траншей землей. Съемка же зданий и сооружений может быть произведена и после завершения строительства. При съемке зданий все их углы привязывают к геодезической основе для определения их координат, а также производят промеры по всем сторонам цоколя здания.

Исполнительную съемку вертикальной планировки ведут нивелированием поверхности и проложением отдельных ходов по характерным точкам. Нивелируют также отмостки зданий, дно открытых лотков, кюветов, решетки дождеприемников и т. д.

Точность исполнительных съемок обуславливается допусками, соблюдаемыми при приемке в эксплуатацию зданий и сооружений. При промышленном и гражданском строительстве исполнительные съемки ведут в масштабе 1 : 500 или 1 : 1000, съемки сложных подземных коммуникаций в городах — в масштабах 1 : 100—1 : 200.

Исполнительные съемки крупных строек целесообразно выполнять методами аэрофотосъемки. По аэроснимкам в зависимости от требуемой точности составляют фотопланы или фотосхемы в масштабах 1 : 2000 или 1 : 5000, дающие наиболее полное и наглядное представление о ходе строительства.

§ 121. Исполнительная документация

Выполненные геодезические работы на определенной стадии возведения зданий и сооружений сопровождаются отчетной технической документацией. К такой документации относятся акты на сдачу-приемку выполненных строителями или геодезистами работ, схемы геодезической исполнительной съемки, каталоги координат и отметок пунктов разбивочного обоснования и осевых знаков, схемы разбивки осей с нанесенными на них действительными размерами и т. д.

Акт сдачи-приемки составляется при участии представителей строительной организации, ведущей монтаж подземной части здания, строительной организации, ведущей монтаж надземной части здания, авторского надзора и заказчика. Акт составляется в пяти экземплярах, два из которых остаются в генподрядной организации. К актам прилагаются схемы исполнительной съемки, завизированные всеми сторонами.

При строительстве подземной и надземной частей здания одной и той же организацией к монтажу надземной части приступают после получения разрешения авторского надзора.

При возведении зданий и сооружений составляется следующая геодезическая исполнительная документация: *по подземной части:* а) акт на приемку готового котлована с приложением схемы исполнительной съемки его; б) акт на разбивку основных осей здания или сооружения с приложением исполнительной схемы; в) акт готовности подземной части здания или сооружения с приложением исполнительных схем съемки конструкций подземной части; *по надземной части:* г) акт приемки-сдачи исполнительной съемки

подземной части с результатами контрольных измерений; д) поэтажные (поярусные) схемы исполнительной геодезической съемки.

Документацию, указанную в пунктах а, б и в, составляет геодезист генподрядной организации и представляет строительно-монтажной организации. Документацию, указанную в пунктах г и д, разрабатывает геодезист строительно-монтажной организации.

По окончании работ по устройству подземных и надземных коммуникаций составляют следующую исполнительную документацию: разбивочные чертежи трассы, каталог координат опорных точек и характерных точек трассы; исполнительный план и профиль трассы с указанием величин отступления от проекта.

Исполнительная документация по геодезической съемке возведенных конструкций должна быть полноценной, так как она является исходной основой для габаритного обмера законченных строительством зданий и сооружений.

По окончании строительства жилого массива или промышленного комплекса составляется исполнительный генеральный план. Он является единственной и окончательной проверкой правильности перенесения проекта в натуру в соответствии с требованиями строительных допусков.

Исполнительный генеральный план, например, большого промышленного предприятия состоит из целого комплекса дополняющих друг друга документов: 1) исполнительный генеральный план территории площадки в масштабе 1 : 500 на отдельных планшетах стандартного размера; 2) исполнительные планы отдельных сложных участков застройки, узлов и установок в масштабе 1 : 200; 3) свободный план инженерных коммуникационных сетей в масштабе 1 : 1000—1 : 2000 с приложением каталога координат сетей, эскизов подземных колодцев и опор наземных сетей; 4) сводный план железнодорожных путей в масштабе 1 : 2000; 5) сводный план автомобильных дорог в масштабе 1 : 2000; 6) сводный план (с координатами) наземных зданий и сооружений в масштабе 1 : 2000 с приложением альбома обмерных чертежей; 7) технический отчет о геодезических работах, выполненных на площадке, с приложением пояснительной записки, схем опорных сетей, каталога координат и высот пунктов геодезического обоснования, альбома зарисовок местоположения геодезических знаков и центров и привязок их к постоянным предметам местности; 8) материалы полевых геодезических работ и результаты камеральной обработки. Для небольших предприятий часть отчетной документации объединяют.

Генеральный исполнительный план составляет в цветных условных знаках по общепринятым инструкциям.

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение исполнительных съемок?
2. Что является плано-высотной опорой исполнительных съемок в пределах цехов и установок, в пределах промплощадки и за ее пределами?
3. Что такое исполнительный генплан?
4. Какую документацию прилагают к исполнительному генплану?

ГЛАВА XIX. СВЕДЕНИЯ О ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ ПРИ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 122. Общие положения

Улучшение качества и надежности строительных конструкций и инженерных сооружений при минимуме материальных затрат в настоящее время является одной из важнейших задач народного хозяйства. В связи с этим создание новых конструкций и сооружений и оценка надежности уже возведенных должны носить комплексный характер и строиться на органической связи экспериментальных и теоретических разработок, натуральных обследований, лабораторных и производственных испытаний.

Практика современного строительства предусматривает проведение испытаний в процессе возведения и эксплуатации зданий и сооружений. При этом решаются следующие основные задачи: 1) контроль качества сборных элементов сооружений при массовом изготовлении их на предприятиях строительной индустрии; 2) проверка состояния сооружения при обнаружении фактов ненормальной работы его и износа несущих конструкций; 3) проверка ответственных сооружений пробной нагрузкой перед сдачей в эксплуатацию.

Натурные испытания — один из наиболее эффективных путей изучения действительной работы конструкций, который, в свою очередь, является важнейшим направлением совершенствования и развития конструктивных форм сооружения. В натуральных условиях лучше всего выявляются физические стороны работы конструкций и особенности воздействия на них нагрузок.

В практике натуральных испытаний строительных конструкций и инженерных сооружений геодезические методы применяются давно и в настоящее время занимают одно из ведущих мест в общем комплексе изучения действительной работы как строящихся, так и эксплуатируемых инженерных сооружений.

§ 123. Виды и причины деформаций сооружений

Как строящиеся, так и эксплуатируемые здания и сооружения с течением времени претерпевают некоторые изменения. Под давлением сооружения грунты в основании фундамента несколько сжимаются, что приводит к осадке сооружения. Если сжимаемость грунтов под фундаментами неодинакова или нагрузка на разные части фундамента различная, осадка имеет неравномерный характер, что приводит к перекосам, прогибам, кренам и другим деформациям сооружений. При значительных величинах этих деформаций в фундаментах и стенах зданий образуются трещины.

Причинами деформаций сооружений являются: упругие и пластические деформации грунтов основания; неоднородное геологическое строение основания; гидрометрические условия, связанные

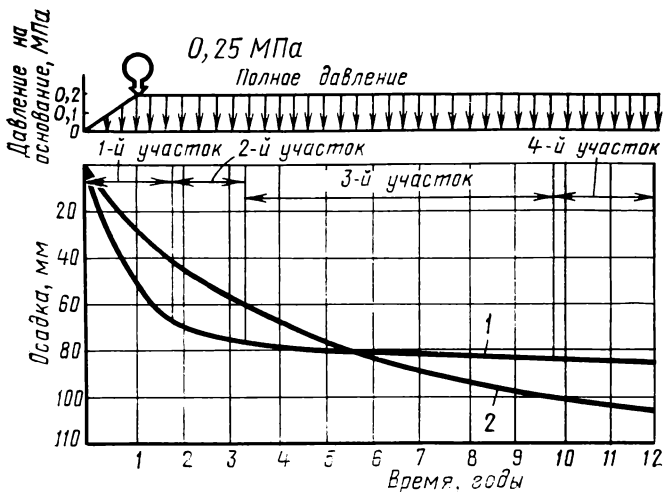


Рис. 169. Графики осадок сооружений

с колебанием уровня грунтовых вод; морозное пучение и увлажнение грунтов основания; изменение давления от массы сооружения; неравномерное распределение давления от массы сооружения по подошве фундамента; форма, размеры и жесткость фундамента; динамические нагрузки на основание и многие другие факторы.

Осадки от собственной массы сооружения по мере уплотнения грунтов в основании с течением времени прекращаются. Причем, как правило, на песчаных грунтах осадки характеризуются большими скоростями в начальный период с последующим быстрым затуханием. В глинистых грунтах, наоборот, осадки происходят с незначительными скоростями вначале и медленно затухают в течение 10—15 лет и более. На рис. 169 показаны две обобщенные кривые протекания осадок для песков 1 и глин 2.

§ 124. Наблюдения за осадками сооружений

Систематические инструментальные измерения осадок фундаментов являются одним из основных методов изучения деформаций оснований сооружений и имеют большое практическое и научное значение. Такие наблюдения являются одним из основных материалов, характеризующих устойчивость основания и сооружения в целом, и позволяют своевременно принять соответствующие меры по предупреждению деформаций, а также дать необходимые данные для уточнения методов расчета оснований, установления предельных допускаемых величин осадок для различных грунтов и групп сооружений и т. д.

Наиболее распространенным методом наблюдений за осадка-

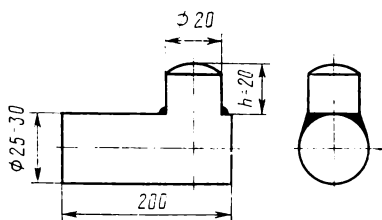


Рис. 170. Осадочная марка

ми является периодическое геометрическое нивелирование знаков, установленных на исследуемом сооружении. Эти знаки принято называть осадочными марками.

Высотной основой для измерения осадок сооружений является сеть фундаментальных реперов, устанавливаемых на некотором расстоянии от сооружения с таким расчетом, чтобы

осадочные процессы зданий не оказывали влияния на их положение. Таких реперов у исследуемого сооружения должно быть не менее трех-четырех. Закладываются они в основном на коренные породы, поэтому их часто называют глубинными реперами. Конструкции глубинных реперов самые разнообразные.

Осадочные марки представляют собой металлический штырь, в торцевой части которого приварена головка полусферической формы (рис. 170). Такую марку закладывают в цоколь здания на цементном растворе. В настоящее время при изучении осадок сооружений широкое распространение получили шкаловые марки (рис. 171), которые обеспечивают достаточно высокую точность определения осадок.

Проект размещения марок составляют с учетом конструкции фундамента и конкретно поставленных задач исследования осадок сооружения. После закладки марок их привязывают к отдельным выступам зданий и составляют исполнительный план их размещения.

Наблюдения за осадками начинают с нивелирования опорных реперов. Для этого применяют метод высокоточного геометрического нивелирования. Схема нивелирования опорных реперов, заложенных у наблюдаемого цеха, показана на рис. 172.

Измерение осадок сводится к проложению нивелирных ходов по заложенным в цоколе здания маркам между опорными реперами. Такие наблюдения проводят по циклам, частота которых зависит в основном от интенсивности осадки сооружения. Схема нивелирования осадочных марок, заложенных для наблюдений за осадками цеха, показана на рис. 173.

Как показывает опыт, если скорость осадки сооружения превышает 5—10 мм в месяц, то для наблюдений могут применяться нивелиры типа НЗ или равноценные им по точности и двусторонние шашечные рейки с круглыми урвнями. Нивелирование при этом ведут двумя нивелирами или одним нивелиром при двух горизонтах инструмента.

Устойчивость опорных (глубинных) реперов периодически контролируют высокоточным нивелированием.

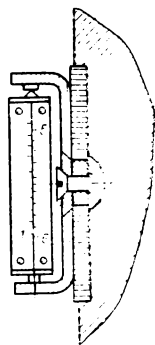


Рис. 171. Шкаловая осадочная марка

Камеральную обработку результатов наблюдений за осадками сооружений, как правило, начинают с проверки полевых записей в журнале. Затем обрабатывают журналы нивелирования и вычисляют отметки всех осадочных марок. Такую обработку материалов производят после каждого цикла наблюдений (см. § 67 и 68).

Если H_1 — отметка осадочной марки в момент времени t_1 , а H_2 — отметка той же марки в некоторый момент времени t_2 , то

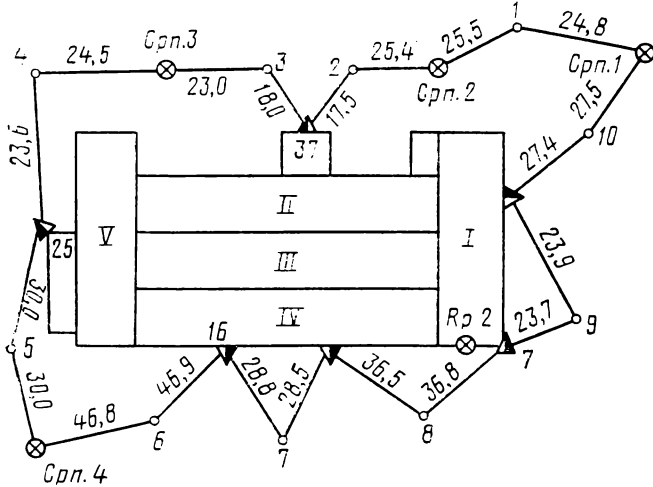


Рис. 172. Схема нивелирования опорных реперов:

1—10 — номера станций; ○ — станции; Срп.1—Срп.4 — свайные реперы; ▲ — осадочные марки; Rp2 — стеновой репер; I—V — отделения цеха

осадка этой марки за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$ определится по формуле

$$S = H_2 - H_1. \quad (295)$$

По результатам периодических натуральных наблюдений составляют ведомости, в которых указывают величины осадок отдельных

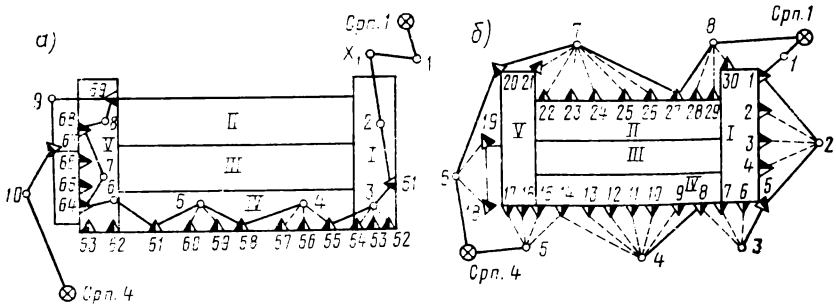


Рис. 173. Схема нивелирования осадочных марок:

а — в цехе; б — вне цеха. Остальные обозначения те же, что на рис. 172

марок между двумя последними циклами и суммарные осадки с начала наблюдений. Для наглядного представления о ходе осадок дополнительно составляют совмещенные графики осадок марок, профили осадок по продольным и поперечным осям фундамента или по другим характерным направлениям, а также чертежи кривых равных осадок на дату наблюдения.

§ 125. Измерение сдвигов сооружений

Наиболее широко в практике определения сдвигов конструкций и сооружений применяются способы створных наблюдений. Они обладают большой производительностью и обеспечивают необходимую точность измерений.

Боковые смещения конструкций измеряют от прямых линий, проходящих через пункты опорной сети, расположенные вдоль конструкций. Прямые линии можно располагать вблизи конструкций в любом месте, удобном для измерений. Наиболее часто прямые линии, относительно которых определяют положение конструкций, проходят через две точки, расположенные в начале и конце конструкции. При большой длине конструкции или сооружения линия может быть разделена на ряд отрезков, не лежащих на одной прямой линии. В таком случае замеряют углы поворота этих отрезков.

В качестве прямой линии, относительно которой измеряют отклонения конструкций и сооружений, используют струну, натянутую между двумя точками прямой линии, либо оптический луч, проходящий через эти точки. В соответствии с этим способы измерений получили название «способ струны» и «способ оптического луча» (см. § 116 и 117).

Способ струны заключается в том, что на верхней грани конструкции в характерных точках определяют положение оси симметрии боковых ее граней и фиксируют их. Точки отмечают керном и нумеруют. Затем вблизи конструкции на уровне верхней ее грани натягивают струну из тонкой стальной проволоки или капроновой нити. Расстояния между струной и точками конструкции измеряют линейкой с миллиметровыми делениями шкалы.

Способ оптического створа заключается в том, что в качестве створной линии используют оптический луч, в частности визирный, проходящий в коллимационной плоскости теодолита. Преимущество способа состоит в том, что теодолит можно устанавливать в удобном для наблюдений месте. Отсчет по измерительной линейке, устанавливаемой в определяемых точках, производят дистанционно.

Сдвиг конструкций или сооружений можно также определять по положению их точек, координируемых относительно пунктов опорной сети. Этот метод разделяется на ряд способов, которые различаются как по виду опорных сетей, так и по определению положения конструкций и сооружений относительно этих сетей. Наиболее маневренным из этих способов является способ микротриангуляции, который применяют в основном для на-

блюдений за сдвигами инженерных сооружений, имеющих значительную протяженность (мосты, плотины гидроэлектростанций и т. п.). Суть метода сводится к тому, что на исследуемом сооружении разбивается цепь треугольников или геодезических четырехугольников, которая опирается на твердые пункты. Измерение перемещений точек сооружения сводится к периодическим наблюдениям на них с последующим определением горизонтальных векторов смещения для каждой точки по изменению ее координат между циклами наблюдений.

Если x_1 и y_1 — координаты некоторой точки сооружения в первом цикле наблюдений, а x_2 и y_2 — координаты этой же точки во втором цикле наблюдений, то полная величина сдвига

$$r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \quad (296)$$

Если величина r превышает двойную точность определения сдвига, то факт наличия горизонтальных смещений точек сооружения считается установленным.

§ 126. Измерение прогибов строительных конструкций

Методы измерения прогибов строительных конструкций разнообразны, а применяемые при этом приборы отличаются различной точностью.

В последнее время при натурных и в ряде случаев при лабораторных испытаниях строительных конструкций все больше применяются геодезические методы. Если по условиям строительства или эксплуатации инженерных сооружений установка прогибомеров затруднена или совсем невозможна, геодезические методы являются незаменимыми. Они могут применяться как самостоятельно, так и совместно с другими методами испытаний.

Чаще других в настоящее время применяются методы геометрического и гидростатического нивелирования (см. § 46 и 55). При измерении прогибов конструкций методом геометрического нивелирования применяют высокоточные и точные нивелиры и рейки или специально изготовленные небольшие подвесные и устанавливаемые реечки. Наблюдения выполняют при небольшой длине визирного луча (10—20 м). При этом нивелир в каждом из циклов наблюдений необходимо устанавливать на надежном основании в одном и том же месте. Обычно для этих целей закладывают знаки специальной конструкции, на которые и устанавливают нивелир для наблюдений. Исследования, выполненные в Московском институте инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (МИИГАиК), показали, что методом геометрического нивелирования можно определять разность высот точек, расположенных на расстоянии 10—15 м, со средней квадратической погрешностью 0,03—0,05 мм.

Применение метода гидростатического нивелирования дает возможность измерять прогибы строительных конструкций дистанционно и с достаточно высокой точностью (порядка 0,001 мм).

§ 127. Измерение кренов сооружений

Наблюдения за креном высоких инженерных сооружений проводят с помощью теодолита. Теодолит периодически устанавливают над постоянной точкой, находящейся от сооружения на расстоянии не менее полуторной его высоты, и проектируют заметную точку верхней части сооружения на некоторую плоскость внизу его (например, на цоколь). Проектирование выполняют при двух положениях вертикального круга теодолита. При этом желательно иметь накладной уровень на горизонтальную ось вращения зрительной трубы теодолита. Полученный на цоколе в течение некоторого времени ряд точек будет представлять собой проекцию траектории верхней наблюдаемой точки на плоскость, перпендикулярную коллимационной плоскости зрительной трубы теодолита.

Для определения полной величины крена сооружения необходимо одновременно производить наблюдения и в другой плоскости, перпендикулярной первоначальной (рис. 174, а). Крен сооружения можно также определить путем периодического измерения теодолитом углов в точках А и В (рис. 174, б) между некоторыми неизменными направлениями AN и BM и направлениями на наблю-

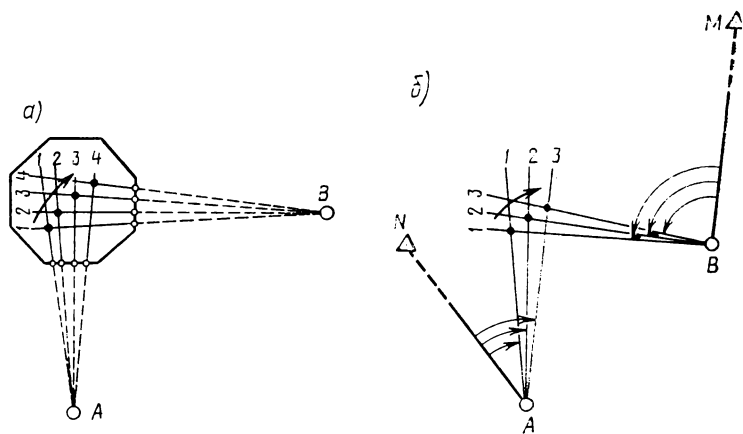


Рис. 174. К определению крена сооружения

даемую верхнюю точку сооружения. Крен сооружения можно также определить по результатам наблюдений неравномерных осадок фундамента сооружения.

Для автоматизации наблюдений за приращениями кренов инженерных сооружений используют кренометры.

Вопросы для самопроверки

1. Какие основные виды и причины деформаций сооружений?
2. Как определяют осадки зданий и сооружений?
3. Что такое сдвиги сооружений и как их определяют?
4. Что такое крен сооружения и как его определяют?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица поправок за наклон линий

Углы наклона	Поправки, мм, при расстояниях, м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1°00'	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15
1°30'	3	7	10	14	17	20	24	27	30	34
2°00'	6	12	18	24	30	37	43	49	55	61
2°30'	10	19	29	38	48	57	67	76	86	95
3°00'	14	27	41	55	69	82	96	110	124	137
3°30'	19	37	56	75	94	112	131	149	168	187
4°00'	24	49	73	98	122	146	171	195	220	244
4°30'	31	62	92	123	154	185	216	246	277	308
5°00'	38	6	114	152	190	229	267	305	343	381
5°30'	46	92	138	184	230	276	322	368	414	460
6°00'	55	110	164	219	274	329	384	438	493	548
6°30'	64	129	193	257	322	386	450	514	579	643
7°00'	75	149	224	298	373	447	522	596	671	745
7°30'	86	171	257	342	428	514	599	685	770	856
8°00'	97	195	292	389	487	584	681	778	876	973
8°30'	110	220	329	439	549	659	769	878	988	1098
9°00'	123	246	369	492	616	739	862	985	1108	1231
9°30'	137	274	411	549	686	823	960	1097	1234	1371
10°00'	152	304	456	608	760	912	1063	1215	1367	1519

Приложение 2

$R = 1000$ м

Угол	T , м	K ,	L , м	B , м
32°00'	286,75	555,51	14,99	40,30
02'	287,06	559,09	15,03	40,39
04'	287,38	559,67	15,08	40,47
06'	287,69	560,25	15,13	40,56
08'	288,01	560,83	15,18	40,65
10'	288,32	561,41	15,23	40,73
12'	288,64	562,00	15,27	40,82
14'	288,95	562,58	15,32	40,91
16'	289,27	3,16	15,37	41,00
18'	289,58	563,74	15,42	41,08
20'	289,90	564,32	15,47	41,17
22'	290,21	584,90	15,52	41,26
24'	290,53	565,49	15,57	41,35
26'	290,84	566,07	15,62	41,44
28'	291,15	566,65	15,67	41,52
30'	291,47	67,23	15,71	41,61

R=300 м

k	Координаты, м		k	Координаты, м		k	Координаты, м	
	X	Y		X	Y		X	Y
1	1,00	0,00	45	44,83	3,37	90	88,66	13,40
5	5,00	0,04	50	49,77	4,16	95	93,42	14,92
10	9,99	0,17	55	54,70	5,03	100	98,16	16,51
15	14,99	0,38	60	59,63	5,98	105	102,87	18,19
20	19,99	0,67	65	64,49	7,01	110	107,55	19,94
25	24,97	1,04	70	69,37	8,13			
30	29,95	1,50	75	74,22	9,33			
35	34,92	2,04	80	79,06	10,60			
40	39,88	2,66	85	83,87	11,96			

ЛИТЕРАТУРА

- Видуев Н. Г., Григоренко А. Г.* Математическая обработка геодезических измерений. Киев, 1978.
- Ганьшин В. Н., Хренов Л. С.* Таблицы для разбивки круговых кривых. М., 1958.
- Инженерная геодезия/Под общ. ред. Л. С. Хренова. М., 1968.
- Гловов Г. Ф.* Геодезия. М., 1979.
- Григоренко А. Г., Киселев М. И.* Инженерная геодезия. М., 1975.
- Григоренко А. Г., Сердюков В. М., Чмлян Т. Т.* Геодезическое обслуживание строительного-монтажных работ. Киев, 1973.
- Григоренко А. Г., Сисин И. А., Сердюков В. М.* Технический контроль при эксплуатации подкрановых сооружений. М., 1977.
- Захаров А. И.* Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., 1978.
- Инженерная геодезия/Под общ. ред. П. С. Закатова. М., 1976.
- Инструкция о построении государственной геодезической сети Союза ССР. М., 1966.
- Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. М., 1974.
- Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского, поселкового и промышленного строительства (СН 212—73). М., 1974.
- Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. М., 1973.
- Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве/Под общ. ред. проф. В. Д. Большакова. М., 1976.
- Практикум по курсу прикладной геодезии/Под ред. Н. Н. Лебедева. М., 1977.
- Сердюков В. М., Григоренко А. Г., Кривелев Л. И.* Испытание сооружений. Киев, 1976.
- Сытник В. С.* Строительная геодезия. М., 1974.

Предисловие ко второму изданию	3
Предисловие к первому изданию	4
Введение	5
Общая часть	
Геодезические измерения	8
Глава I. Общие сведения	8
§ 1. Понятие о форме и размерах Земли	8
§ 2. Метод проекций в геодезии	9
§ 3. Определение положения точек на земной поверхности	9
§ 4. Влияние кривизны Земли на измерение горизонтальных и вертикальных расстояний	13
Глава II. Ориентирование линий на местности. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости	14
§ 5. Азимуты. Дирекционные углы. Сближение меридианов. Склонение магнитной стрелки. Румбы	14
§ 6. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости	18
Глава III. Геодезические планы, карты и чертежи	20
§ 7. Понятие о геодезических планах, картах и чертежах	20
§ 8. Масштабы	21
§ 9. Номенклатура карт и планов	22
§ 10. Условные знаки на планах, картах, геодезических и строительных чертежах	28
§ 11. Рельеф местности и способы его изображения	29
§ 12. Уклон линии. График заложений	31
§ 13. Ориентирование на местности с помощью карты	32
§ 14. Способы измерения площадей на планах и картах	33
§ 15. Решение задач на топографических планах (картах)	35
§ 16. Копирование и размножение планов и карт	37
Глава IV. Элементы теории погрешностей геодезических измерений	39
§ 17. Общие понятия об измерениях	39
§ 18. Погрешности измерений	40
§ 19. Свойства случайных погрешностей измерений	41
§ 20. Принцип арифметической середины	42
§ 21. Средняя квадратическая погрешность	43
§ 22. Предельная, абсолютная и относительная погрешности	44
§ 23. Средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин	44
§ 24. Двойные измерения	46
§ 25. Понятие о весе измерения. Общая арифметическая середина	47
§ 26. Понятие о правилах и технике геодезических вычислений	48
Глава V. Угловые измерения	50
§ 27. Схема измерения горизонтального угла	50
§ 28. Зрительная труба	52
§ 29. Уровни и их устройство	54

§ 30.	Отсчетные приспособления	56
§ 31.	Типы теодолитов	58
§ 32.	Инструментальные погрешности	64
§ 33.	Поверки и юстировка теодолита	65
§ 34.	Центрирование теодолита. Приведение измеренных направлений к центрам знаков	67
§ 35.	Измерение горизонтальных углов	69
§ 36.	Точность измерения горизонтальных углов	70
§ 37.	Измерение вертикальных углов	71
§ 38.	Экер и его применение	73
Глава VI.	Линейные измерения	76
§ 39.	Общие сведения о линейных измерениях	76
§ 40.	Обозначение точек и вешние линии на местности	76
§ 41.	Приборы для непосредственного измерения расстояний	78
§ 42.	Измерение расстояний стальной лентой	79
§ 43.	Точность измерения расстояний стальной лентой	82
§ 44.	Дальномерные определения расстояний	83
§ 45.	Понятие о параллактическом способе линейных измерений и определение недоступных расстояний	89
Глава VII.	Измерение превышений	91
§ 46.	Сущность и методы измерения превышений	91
§ 47.	Способы геометрического нивелирования	92
§ 48.	Нивелиры и их устройство	94
§ 49.	Поверки и юстировка нивелиров	98
§ 50.	Нивелирные рейки и башмаки. Марки и реперы	100
§ 51.	Основные источники погрешностей геометрического нивелирования	102
§ 52.	Точность передачи отметок техническим нивелированием	103
§ 53.	Сущность тригонометрического нивелирования	104
§ 54.	Понятие о барометрическом нивелировании	106
§ 55.	Понятие о гидростатическом нивелировании	106
§ 56.	Понятие о механическом нивелировании	107
Глава VIII.	Понятия о государственных геодезических сетях и сетях сгущения	108
§ 57.	Принцип определения взаимного положения точек	108
§ 58.	Назначение и виды государственных геодезических сетей	109
§ 59.	Плановые государственные геодезические сети	109
§ 60.	Высотные государственные геодезические сети	112
§ 61.	Геодезические сети сгущения	112
§ 62.	Каталоги координат	113
Глава IX.	Плановое съёмочное обоснование	114
§ 63.	Виды планового съёмочного обоснования	114
§ 64.	Полевые работы при прокладке теодолитных ходов	114
§ 65.	Обработка результатов измерений при прокладке теодолитных ходов	117
§ 66.	Другие методы определения пунктов планового обоснования съёмки	123
Глава X.	Высотное съёмочное обоснование	125
§ 67.	Нивелирование IV класса	125
§ 68.	Техническое нивелирование	128
§ 69.	Тригонометрическое нивелирование	130
§ 70.	Привязка пунктов высотного съёмочного обоснования к опорной геодезической сети	131
Глава XI.	Сведения о топографических съёмках местности	131
§ 71.	Съёмка местности и ее виды. Классификация съёмок	131
§ 72.	Способы съёмки ситуации и рельефа местности	132
§ 73.	Теодолитная съёмка	134

§ 74. Тахеометрическая съемка	138
§ 75. Нивелирование поверхности	141
Специальная часть	
Геодезические работы в строительном-монтажном производстве	143
Глава XII. Организация геодезических работ на строительной площадке	143
§ 76. Задачи геодезического обслуживания строительства	143
§ 77. Строительные допуски и нормы точности геодезических разбивочных работ	146
§ 78. Техническая документация для производства геодезических работ	147
§ 79. Организация геодезической службы в строительстве	149
Глава XIII. Инженерно-геодезические изыскания для строительства	150
§ 80. Общие сведения	150
§ 81. Инженерно-геодезические изыскания для проектирования инженерных сооружений	151
§ 82. Геодезические работы при изысканиях сооружений линейного типа	152
§ 83. Расчет и построение проектной линии на профиле	161
§ 84. Расчет вертикальных кривых	162
Глава XIV. Геодезические работы в подготовительный период строительства	163
§ 85. Общие положения	163
§ 86. Способы определения величин разбивочных элементов	165
§ 87. Плановая и высотная основы разбивочных работ	166
§ 88. Проектирование строительной сетки	167
§ 89. Разбивка строительной сетки на местности	168
§ 90. Последовательность выполнения геодезических работ на строительной площадке	170
§ 91. Способы перенесения в натуру проектных длин линий, горизонтальных углов, отметок и уклонов	170
§ 92. Способы разбивки осей и точек сооружений	173
§ 93. Закрепление осей сооружений на местности	176
§ 94. Способы детальной разбивки закруглений	178
§ 95. Передача отметок по вертикали	180
§ 96. Проектирование вертикальной планировки	181
§ 97. Подсчет объемов земляных работ при вертикальной планировке	183
Глава XV. Геодезические работы в период нулевого цикла строительства	188
§ 98. Расчеты при выполнении земляных работ	188
§ 99. Разбивочные работы при сооружении котлованов	193
§ 100. Разбивки траншей и смотровых колодцев	195
§ 101. Разбивочные работы при укладке трубопроводов	197
§ 102. Съемка инженерных подземных коммуникаций индукционным методом	198
§ 103. Разбивочные работы при устройстве фундаментов	199
§ 104. Разбивочные работы при монтаже стен подвала, цоколя, перекрытия над подвалом	203
Глава XVI. Геодезические работы при возведении надземной части зданий и сооружений	204
§ 105. Разбивочные работы при возведении кирпичных зданий	204
§ 106. Разбивочные работы при монтаже колонн	207
§ 107. Сведения о пространственных геодезических сетях	208
§ 108. Разбивочные работы при монтаже каркасно-панельных и бескаркасно-панельных зданий	211
§ 109. Разбивочные работы при монтаже многоэтажных зданий из сборных элементов	213
§ 110. Разбивочные работы при возведении высотных зданий	216
§ 111. Разбивочные работы при возведении зданий в скользящей опалубке	221
	255

§ 112. Разбивочные работы при монтаже промышленных зданий и сооружений	224
§ 113. Геодезические работы при выверке конструкций	229
Глава XVII. Геодезические работы при монтаже технологического оборудования	230
§ 114. Обзор геодезических измерений, выполняемых при установке машин и оборудования	230
§ 115. Геодезические монтажные сети	233
§ 116. Струнные и струнно-оптические способы и приборы створных измерений	234
§ 117. Способы и приборы оптического створения	235
§ 118. Технические линейные измерения	237
§ 119. Сведения о применении лазерной техники в инженерной геодезии	239
Глава XVIII. Исполнительные съемки и исполнительная документация	240
§ 120. Исполнительные съемки	240
§ 121. Исполнительная документация	242
Глава XIX. Сведения о геодезических наблюдениях при натуральных испытаниях инженерных сооружений	244
§ 122. Общие положения	244
§ 123. Виды и причины деформаций сооружений	244
§ 124. Наблюдения за осадками сооружений	245
§ 125. Измерение сдвигов сооружений	248
§ 126. Измерение прогибов строительных конструкций	249
§ 127. Измерение кренов сооружений	250
Приложения	251
Литература	252

**Анатолий Григорьевич Григоренко,
Михаил Иванович Киселев**

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Зав. редакцией *Б. А. Ягунов*. Научный редактор *В. Ф. Лукьянов*. Редактор *Т. Ф. Мельникова*. Мл. редактор *Ю. П. Кочергина*. Худож. редактор *Т. А. Дурасова*. Техн. редактор *Т. Д. Гарина*. Корректор *Р. К. Косинова*.

ИБ № 2902

Изд. № Стр — 425. Сдано в набор 10.12.82. Подп. в печать 11.02.83. Т-01267.
 Формат 60×90^{1/16}. Бум. тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая.
 Объем 16 усл. печ. л. 16 усл. кр.-отт. 16,76 уч.-изд. л. Тираж 40 000 экз. Зак. 905.
 Цена 85 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
 при Государственном комитете СССР
 по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
 Хохловский пер., 7.