В. Г. Афанасьев, А. П. Егоров

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В. Г. Афанасьев, А. П. Егоров

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Утверждено
Главным управлением кадров
и учебных заведений
Минтрансстроя СССР
в качестве учебника для техникумов
транспортного строительства
и учебного пособия для технических школ
и курсов повышения квалификации
инженерно-технических работников Минтрансстроя

МОСКВА «НЕДРА» 1978

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный учебник написан по программе, утвержденной Главным управлением кадров и учебных заведений Министерства транспортного строительства СССР для техникумов транспортного строительства для специальностей: 0201 — маркшейдерское дело; 1218 — строительство тоннелей и метрополитенов; 1219 — мосты и другие искусственные сооружения; 1220 — изыскание и строительство железных дорог; 1221 — строительство и эксплуатация аэродромов; 1203 — гидротехническое строительство.

В книге подробно освещены работы при ориентировании подземной маркшейдерской основы, подземной полигонометрии. Изложены все виды маркшейдерских и геодезических работ при строительстве транспортных сооружений.

Введение, главы I, II, III, IV, VIII и X написаны А. П. Егоровым, а остальные главы — В. Г. Афанасьевым.

ЧАСТЬ I

ГЕОДЕЗИЯ

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГЕОДЕЗИИ

§ 1. Предмет геодезия

Искусство «измерения земли» известно людям с весьма давних времен. Археологические раскопки свидетельствуют о том, что уже за 2000 лет до нашей эры передовые культурные народы древнего мира — египтяне, халдеи, индусы и др. — имели значительный запас практических сведений в области числа и меры и применяли эти сведения в жизни, воздвигая различные постройки и сооружения.

Впоследствии в древней Греции на основе этих опытных данных возникла отвлеченная наука о пространственных формах — «геометрия», которая ныне лишь своим названием свидетельствует, что она зародилась на основе «измерений земли».

С этого времени практическую часть геометрии, применение ее к земным измерениям стали называть особым именем — геодезия, что значит «землеразделение».

В настоящее время геодезией называют науку о геометрической форме и размерах всей Земли или отдельных участков ее поверхности.

В геодезии применяются преимущественно линейные и угловые измерения.

Такие измерения необходимы для определения формы и размеров нашей планеты Земли и ее частей, для определения координат пунктов, создания карт, планов и профилей и для строительства различных сооружений.

Геодезия имеет широкое применение в народном хозяйстве. Измерения на земной поверхности производятся при проведении железных или шоссейных дорог, при прорытии каналов и прочих инженерно-строительных работах.

Геодезические измерения производятся также и под земной поверхностью (в связи с горными работами, сооружением тоннелей и т. п.), под водой (при съемках дна морей, океанов и озер) и в околоземном пространстве.

Геодезия при решении поставленных перед нею задач пользуется достижениями других наук и прежде всего математики и физики.

Научное и практическое значение геодезических работ велико. В условиях планового социалистического хозяйства нашей страны с ее огромными и разнообразными природными богатствами эти работы особенно важны.

Создаваемые по результатам геодезических работ топографические планы и карты являются необходимыми не только для планирования различных народнохозяйственных мероприятий, но также и для целей обороны страны.

В армии и во флоте по топографическим планам и картам решают тактические, военно-инженерные, стрелковые и артиллерийские задачи.

Большое значение геодезия имеет в городском хозяйстве и инженерном деле. Велика ее роль в сельском и лесном хозяйстве, при изучении географии и геологии страны.

В настоящее время трудно назвать область народного хозяйства нашей страны, где бы геодезия ни имела применения.

При подготовке техников-маркшейдеров для работы в системе Министерства транспортного строительства геодезия является одним из профилирующих предметов.

§ 2. Вид и размеры Земли

Физическая поверхность Земли представляет собой сочетание возвышенностей и углублений, бóльшая часть которых заполнена водой океанов и морей. Так как суша занимает сравнительно небольшую часть земной поверхности (29%) и так как, кроме того, суша в среднем возвышается весьма немного над поверхностью воды в океане, то под формой земной поверхности принято считать уровенную поверхность, совпадающую с поверхностью воды в океанах и морях в спокойном состоянии.

Эта поверхность, как показывают исследования, имеет весьма сложную форму и не подходит ни под какую математическую поверхность. Ее называют поверхностью геоида (рис. 1, *а*). Наиболее близко к поверхности геоида подходит поверхность эллипсоида вращения вокруг малой оси, или, иначе, сфероида (рис. 1, *б*).

Размеры Земли неоднократно определялись и уточнялись. С 1946 г. в нашей стране приняты элементы земного сфероида, вычисленные под руководством проф. Ф. Н. Красовского. Числовое значение их следующее:

большая полуось (экваториальная) $a = 6\,378\,245$ м;

малая полуось (полярная) $b = 6\,356\,863$ м;

сжатие $\frac{a-b}{a} = \frac{1}{298{,}3}$.

Ввиду малости сжатия — 1 : 300 — при решении многих практических задач геодезии земной сфероид принимается за шар радиусом $R = 6371$ км.

Сечения сфероида плоскостями, проходящими через ось вращения, образуют на его поверхности м е р и д и а н ы; сечения же плоскостями, перпендикулярными к оси вращения, дают на поверхности сфероида линии, называемые п а р а л л е л я м и.

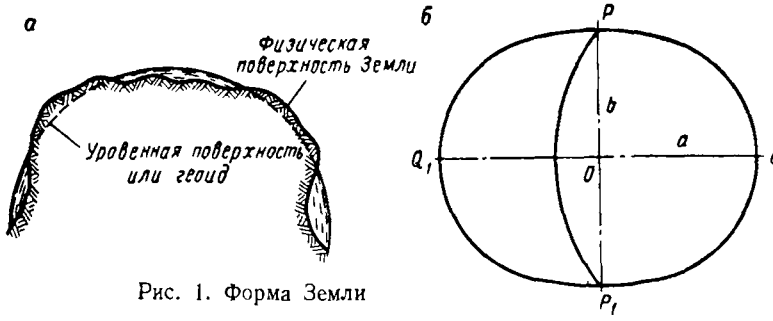


Рис. 1. Форма Земли

Высоту любой точки земной поверхности, недр или сооружений относительно уровенной поверхности геоида, называют абсолютной отметкой этой точки и обозначают буквой H.

§ 3. Методы изображения земной поверхности

Для изучения определенного участка земной поверхности необходимо определить форму и размеры горизонтального проложения этого участка и абсолютные или относительные высоты его точек. Измерительные действия, производимые для этой цели на местности, называются в первом случае с ъ е м к о й, во втором — н и в е л и р о в а н и е м.

Очевидно, что для производства съемки участка необходимо уметь определять горизонтальные проложения линий и углов местности.

Для получения горизонтального проложения все точки, расположенные на действительной земной поверхности, проектируют на уровенную или на горизонтальную плоскость. Так получают проекции точек, линий, углов на уровенную поверхность или на горизонтальную плоскость. В первом случае проекции называются горизонтальными с ф е р и ч е с к и м и проложениями линий, углов и участков, во втором случае проекции называются п л о с к и м и горизонтальными проложениями тех же элементов.

На геодезических планах расстояние между двумя точками земной поверхности изображают горизонтальной проекцией этой линии.

В фактические длины измеренных в натуре линий вводят поправки за «приведение линии к горизонту», иначе говоря, определяют г о р и з о н т а л ь н о е п р о л о ж е н и е каждой измеренной линии.

Конечным результатом геодезических измерений, т. е. съемки, является не только составление планов и карт, но и обозначение на местности положения основных точек, линий и углов различных сооружений, так называемые разбивки.

§ 4. Понятие о плане, карте и профиле

Планом местности называется изображение в подобном и уменьшенном виде проекции ее на горизонтальную плоскость.

Планы, на которых показаны только контуры (границы) элементов местности (дорог, рек, озер, пашен, построек и т. п.) без изображения рельефа, называются контурными.

Если на планах, кроме ситуации, показан рельеф местности, то их называют топографическими.

В геодезии сферичность земной поверхности при съемках участков радиусом до 20 км не учитывают. В этих случаях поправка за кривизну Земли составляет в натуре величину около 15 см. В масштабе плана эта величина настолько незначительна, что не может быть выражена графически.

При изображении на бумаге значительных по площади территорий необходимо учитывать кривизну Земли. Поэтому при составлении карт на такие территории контуры местности проектируют не на горизонтальную плоскость, а на сферическую поверхность.

Полученную таким образом проекцию местности нельзя перенести на плоскость (бумагу) в подобном и уменьшенном виде, так как сферическую поверхность невозможно развернуть на плоскости без складок или разрывов.

Неизбежные искажения на картах практически сводятся к искажению длин линий, площадей и углов. *И картой называется уменьшенно обобщенное изображение на плоскости бумаги всей Земли в целом или значительных ее частей с учетом кривизны уровенной поверхности.*

Для изображения всей или значительной части земной поверхности на картах с возможно меньшими искажениями пользуются картографическими проекциями.

Изображение вертикального разреза местности по заданному направлению называют профилем. Для наглядности профили составляют в двух масштабах: для горизонтальных и вертикальных расстояний.

§ 5. Понятие о координатах

Географические координаты

Положение любой точки, лежащей на поверхности земного шара, можно определить, зная ее географические координаты (рис. 2): λ — долготу и φ — широту, определяемые из астрономи-

ческих наблюдений или вычисляемые по данным геодезических измерений на местности. В последнем случае их называют геодезической широтой и геодезической долготой и обозначают соответственно буквами B и L.

Географической долготой данного меридиана называется двугранный угол, заключенный между его плоскостью и плоскостью начального меридиана. За начальный (нулевой) меридиан для счета долгот принят меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию (вблизи Лондона). Счет долгот ве-

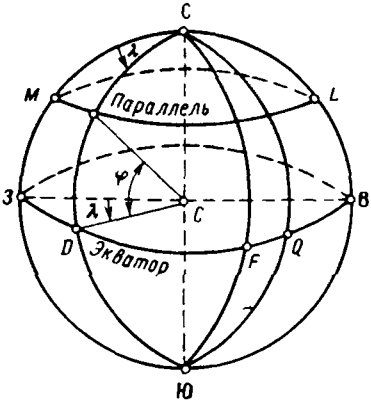


Рис. 2. Географические координаты

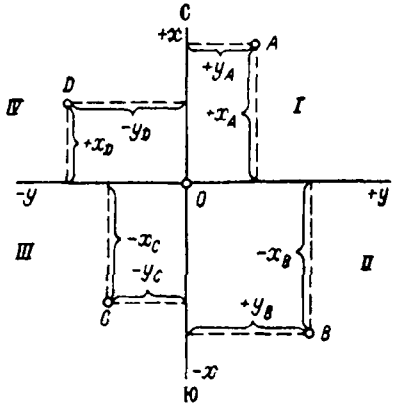


Рис. 3. Плоские прямоугольные координаты

дут от начального меридиана в обе стороны — на восток и на запад и называются они соответственно восточными и западными долготами.

Географической широтой данной параллели называется угол, составленный плоскостью экватора и отвесной линией, проходящей через точку, лежащую на этой параллели. Широты, отсчитываемые от экватора к северу, называются северными, а к югу — южными.

Прямоугольные координаты

В этой системе (рис. 3) плоскость координат совпадает с плоскостью горизонта в данной точке O, являющейся началом этих координат. Ось абсцисс xx совмещается с направлением меридиана, проходящего через начало координат, или с направлением, параллельным некоторому меридиану. Ось ординат yy проходит через точку O перпендикулярно к оси абсцисс.

Этой системой координат участок местности в точке O делится на четыре четверти, отсчитываемые по направлению хода часовой стрелки: I (СВ), II (ЮВ), III (ЮЗ) и IV (СЗ). Положение на горизонтальной плоскости любых точек местности, например A, C,

Таблица 1

Название четверти	Координаты	
	x	y
I — Северо-восточная (СВ)	+	+
II — Юго-восточная (ЮВ)	−	+
III — Юго-западная (ЮЗ)	−	−
IV — Северо-западная (СЗ)	+	−

при помощи этой системы определяют их координатами $+x_A$, $+y_A$, $-x_C$, $-y_C$. В табл. 1 показаны знаки абсцисс x и ординат y для точек, находящихся в разных четвертях, и даны их названия.

Плоские прямоугольные координаты Гаусса

В СССР все топографические карты, начиная с масштаба 1 : 500 000 и крупнее, составляют в проекции Гаусса. Каждый лист такой карты представляет плоское изображение отдельных участков уровенной поверхности, ограниченные с востока и запада меридианами, а с севера и юга — параллелями. В пределах любого листа этих карт практически сохраняется один и тот же масштаб и подобие изображаемых на них деталей местности.

Для получения плоских прямоугольных координат Гаусса земной эллипсоид меридианами разбивают на координатные зоны — шести- или трехградусные по долготе. Нумерация зон проводится с запада на восток от Гринвичского меридиана. В этой системе за начало координат в каждой зоне принимают точку O (рис. 4) — пересечение среднего (осевого) меридиана данной зоны с экватором. В СССР протяженность зоны по долготе установлена в 6 и 3°. При этом за начальный принят Гринвичский меридиан с долготой $\lambda = 0°$ и счет зон ведется от него на восток (рис. 5).

В табл. 2 приведены числовые значения долгот крайних и осевых (средних) меридианов шестиградусных зон для европейской части СССР.

Территория СССР включает 29 зон — с 4 по 32 включительно.

Таблица 2

Меридианы	Зоны							
	4	5	6	7	8	9	10	11
Западный	18°	24°	30°	36°	42°	48°	54°	60°
Восточный	24°	30°	36°	42°	48°	54°	60°	66°
Осевой	21°	27°	33°	39°	45°	51°	57°	63°

В проекции Гаусса наибольшие относительные искажения длин линий будут на краях шестиградусных зон и в худшем случае достигать величины 1 : 1200, что не имеет практического значения при съемках в мелких масштабах, но недопустимо при крупномасштабных съемках. Поэтому при съемках в масштабе 1 : 5000 и крупнее в СССР принята система трехградусных зон, в которых относительные искажения длин линий имеют значительно меньшие

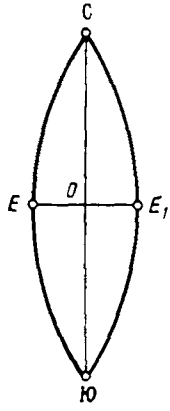


Рис 4. Плоские прямоугольные координаты Гаусса. Шестиградусная зона

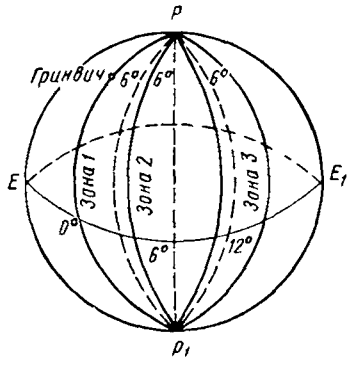


Рис. 5. Проекция шестиградусной зоны на плоскость

размеры. При делении на трехградусные зоны осевые меридианы этих зон должны совпадать с осевыми и крайними меридианами шестиградусных зон.

В каждой зоне координаты x и y могут иметь положительные или отрицательные значения. Абсциссы считаются положительными, если их отсчитывают от экватора к северу, и отрицательными — к югу. Ординаты, отсчитываемые от осевого меридиана к востоку, считают положительными, а к западу — отрицательными.

В этой системе координат для всех точек на территории СССР абсциссы имеют положительные значения. Во избежание отрицательных ординат (для удобства при вычислениях) в СССР для шестиградусных зон принято условно считать ординату точки О

Таблица 3

Номер зоны	Действительные значения ординат, м	Условные значения ординат, м
6	+34 123,7	6 534 123,7
11	—173 198,3	11 326 801.7

равной не нулю, а 500 км. В таком случае ординаты (так же, как и абсциссы) всех точек каждой зоны СССР будут иметь положительные значения (наибольшая ширина шестиградусной зоны не превышает 385 км). Чтобы знать, в какой зоне находится данная точка, впереди ее ординаты пишут номер зоны, т. е. пользуются условными значениями ординат (табл. 3).

§ 6. Масштабы съемок и чертежей

При изображении участков земной поверхности на бумаге размеры этих участков уменьшают в известное число раз. Степень уменьшения линий на плане горизонтальных проложений соответственных линий на местности называют масштабом и обозначают буквой *M*. Иными словами, под масштабом разумеется отношение длины линии на плане к длине горизонтального проложения соответствующей линии местности. Для удобства расчетов это отношение принято представлять в виде дроби с числителем единица, например, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{500}$, $\frac{1}{1000}$ и т. д.

Масштаб $\frac{1}{500}$ и $\frac{1}{1000}$ показывает, что 1 см на плане соответствует 5 и 10 м на местности.

Такой масштаб называется ч и с л е н н ы м масштабом. Чем больше знаменатель численного масштаба, тем масштаб считается мельче, и наоборот.

Зная численный масштаб плана, легко определить по длине линии на местности соответствующую длину линии на плане и наоборот. Например, длина горизонтальной проекции линии на местности равна 145 м, масштаб плана $\frac{1}{500}$. На таком плане соответствующая линия будет 145 м : 500. Выражая эту длину в сантиметрах, будем иметь $\frac{145 \times 100}{500} = 29$ см.

Линия на плане 5,23 см. Численный масштаб $\frac{1}{2000}$. Соответствующая линия на местности будет $5{,}23 \times 2000 = 104{,}6$ м.

Чтобы при пользовании масштабом не производить расчетов, пользуются специальным графическим построением, которое называется л и н е й н ы м масштабом. Для построения линейного масштаба берут прямую линию и на ней несколько раз откладывают отрезки определенной длины, называемые о с н о в а н и е м масштаба, которое обычно будет равным 2 см (рис. 6, *а*).

Крайний левый отрезок делят на 10 интервалов по 2 мм.

В соответствии с численным масштабом над штрихами интервалов надписывают их значения в натуре, принимая за нуль границу первого (левого) и второго оснований. Например, при масштабе 1 : 200 величина основания на местности равна 4 м. В этом случае значения штрихов левого основания в метрах составят

0; 0,4; 0,8; ···; 2; ···; 4, а значения штрихов целых оснований направо от 0 подписывают у концов отрезков: 4, 8, 12 м и т. д.

На рис. 6, *а* показано, как определить действительную длину линии на плане при помощи измерителя. Правую иглу измерителя прикладывают к одному из штрихов правой стороны масштаба, а по левой игле определяют величину измеряемого расстояния в данном масштабе. Величину неполного деления левого основания оценивают на глаз.

Для того чтобы мелкие доли оценивать не на глаз, а с большой уверенностью и точностью, применяется особый линейный мас-

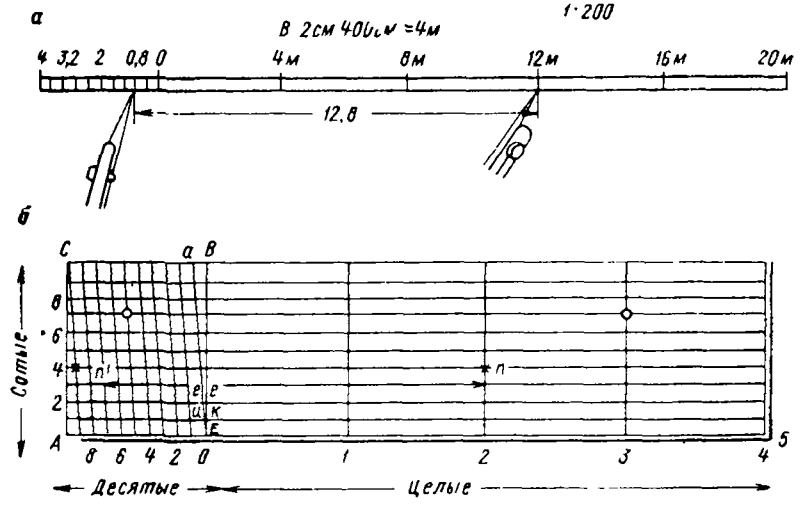


Рис. 6. Масштабы:

а — линейный, *б* — нормальный поперечный

штаб, называемый п о п е р е ч н ы м. Поперечный масштаб строится следующим образом. На прямой откладывается несколько раз основание (2 см). На концах оснований восставляются к ней перпендикуляры одинаковой высоты ($h > 2$ см). Крайние перпендикуляры делят на 10 равных частей и через разметки проводят 10 линий, параллельных нижней прямой (рис. 6, *б*).

Далее нижнюю и верхнюю линии крайнего левого основания делят на 10 равных частей (по 2 мм). В пределах этого основания проводят наклонные линии, как показано на рис. 6, *б*.

Такой масштаб дает возможность определять сотую долю основания, и его принято называть сотенным или н о р м а л ь н ы м п о п е р е ч н ы м м а с ш т а б о м.

Если требуется определить по масштабу длину линии, взятой с плана, то, взяв эту линию циркулем, ставят ножки циркуля на горизонтальные линии масштаба и подыскивают такое место, чтобы одна ножка лежала на каком-нибудь перпендикуляре, а дру-

гая приходилась на пересечение наклонной линии с горизонтальной (на рис. 6, *б* точки *n* и *n'*). Длина отрезка *nn'* составит 2,73 единицы основания, или 5,46 см, что в масштабе 1 : 100 составит 5,46 м.

В практике принято считать 0,1 мм наименьшим расстоянием, различимым простым глазом на плане, и в соответствии с этим линейное расстояние на местности, соответствующее в данном масштабе 0,1 мм на плане, называют точностью масштаба.

Предельной точностью данного масштаба называется расстояние на местности, соответствующее на плане 0,1 мм.

Для различных численных масштабов предельная точность масштаба будет различна.

Легко рассчитать, что при численном масштабе $\frac{1}{5000}$ точность масштаба 0,5 м; при численном масштабе $\frac{1}{500}$ точность масштаба 0,05 м и при численном масштабе $\frac{1}{200}$ точность масштаба 0,02 м.

Точность масштаба плана необходимо знать для того, чтобы иметь возможность определить, какие предметы местности могут изобразиться на плане в виде подобной фигуры и какие, за малостью своих размеров, обратятся на плане в точку или в линию.

Если предмет не может по своим размерам изобразиться на плане при данном масштабе в виде подобной фигуры и если в то же время этот предмет имеет важное для целей съемки значение, такой предмет изображается на плане особым условным знаком.

§ 7. Условные знаки планов и карт

Чтобы облегчить чтение планов, детали контуров и предметов местности должны изображаться с достаточной наглядностью.

В СССР для планов съемок разных масштабов изданы обязательные для всех ведомств и учреждений таблицы условных знаков.

Условные знаки для ситуации местности делят на контурные и внемасштабные.

Контурными, или масштабными, условными знаками называют такие, при помощи которых предметы местности изображают в масштабе плана с соблюдением их действительных размеров и формы. Границы таких знаков совпадают с внешним контуром изображаемого объекта. Следовательно, по такому условному знаку можно определить не только местоположение данного объекта, но и его форму и размеры.

Внемасштабными условными знаками изображают предметы местности, размеры которых меньше графической точности масштаба данного плана. Например, геодезические знаки, колодцы, трубопроводы, линии связи и т. п. Такие

знаки не дают представления о размерах изображаемого ими предмета и позволяют определять лишь его местоположение на плане.

В дополнение к основным знакам принимают пояснительные знаки и надписи: породу леса (хвойный или лиственный) показывают соответствующими силуэтами деревьев, а средние их высоты и диаметры стволов — сокращенными подписями.

Условные обозначения железных, автомобильных и прочих дорог занимают среднее положение между контурными и внемасштабными знаками. Длину их изображают в масштабе плана, но ширину для наглядности увеличивают, оставляя ось дороги на измеренных промерах.

Имеют значение и подписи на планах, в частности, их шрифт, а также размер и наклон его. Например, высота букв названия населенного пункта зависит от количества дворов в нем, названия рек пишут с наклоном букв влево и т. п.

План располагают на бумаге так, чтобы его северная рамка размещалась в верхней части листа, восточная — с правой стороны и т. д. При изображении участка вытянутой формы (дороги, тоннели и пр.) план сооружения располагают вдоль длинной стороны листа бумаги. В этих случаях направление меридиана указывают на плане стрелкой. Значения координатной сетки подписывают у вершин квадратов ее: значения абсцисс — в левой стороне плана и притом горизонтально, значения ординат — в нижней части плана — вертикально.

§ 8. Рельеф земной поверхности и его формы

Рельефом местности называется совокупность различных по форме неровностей (возвышений и понижений) земной поверхности.

Все формы рельефа, представляющие сочетание его элементов, можно разделить на положительные (выпуклые) и отрицательные (вогнутые).

К главным положительным формам относят хребты, горы, холмы, курганы.

К главным отрицательным относят овраги, балки, лощины, долины, ущелья, котловины.

Хребтом называют вытянутую возвышенность. Линия, идущая по самым высоким точкам хребта, называется водоразделом. Вертикальный разрез хребта по водораздельной линии представляется волнообразной линией. На ней можно отметить ряд вершин, более или менее высоких, и между ними ряд перевальных точек, наиболее низких. Поперечные сечения хребта изображаются двумя линиями разного наклона, по которым можно судить о крутизне обоих скатов хребта. От главного хребта обыкновенно идут второстепенные хребты — отроги. Хребты постепенно понижаются и переходят в равнину.

Гора представляет собой куполообразную или конусообразную возвышенность; она имеет вершину, скаты (склоны) и подошву. Небольшие возвышенности называются холмами, а искусственные — курганами.

Лощина — углубление, имеющее вытянутую форму, с постепенно понижающимся дном. Линия, проходящая по самым низким точкам лощины, называется тальвегом. Разновидностями лощины являются: долина, имеющая пологие скаты; овраг, имеющий крутые и отвесные скаты; ущелье (в горах).

Котловина имеет котлообразную вогнутую форму. В ней можно отметить скаты, или щеки, дно и край, от которого котловина переходит в равнину. Небольшое углубление принято называть ямой.

Положение по высоте отдельных точек земной поверхности характеризуется их абсолютными или относительными высотами. В зависимости от *абсолютного значения* высот точек и их взаимного расположения различают равнинную, холмистую и горную местности.

§ 9. Изображение рельефа на планах и картах

Для полной характеристики местности на плане или на карте необходимо, кроме местных предметов и контуров, изображать неровности местности. Наилучшим графическим изображением на картах и планах рельефа местности являются горизонтали, т. е. кривые линии на плане или карте, полученные как следы пересечения горизонтальных плоскостей с земной поверхностью, проведенных по высоте через равные промежутки. Интервалы (равные по высоте), через которые проведены горизонтальные плоскости, называются высотами сечения рельефа (рис. 7, *а*). Расстояние между горизонталями на плане называют заложением горизонталей. Горизонтали не могут пересекаться, они всегда замкнуты, хотя в границах листа плана или карты они могут быть и разомкнутыми.

Выпуклый и вогнутый элементы рельефа (холм и котловина) изображаются в горизонталях тождественно, поэтому для облегчения чтения рельефа ставят короткие штрихи (бергштрихи), перпендикулярные к горизонтали и направленные в сторону ската.

Для топографических планов установлены нормы высот сечения рельефа в зависимости от масштаба. Например, для масштаба 1 : 500 высота сечения принята равной 0,25 и 0,50 м, а для 1 : 1000 — 0,50 и 1,00 м в зависимости от характера рельефа и технических требований.

В случае когда некоторые детали рельефа не выражаются горизонталями принятого сечения, проводят полугоризонтали с высотой сечения, равной половине высоты основного

сечения. Полугоризонтали проводят на плане пунктирными линиями.

Каждую пятую горизонталь (иногда десятую) утолщают и надписывают ее отметку. Отметки характерных точек рельефа (вершин, глубин оврагов и пр.) также надписывают на планах. Горизонтали, отметки и бергштрихи вычерчивают коричневой тушью (жженой сиеной).

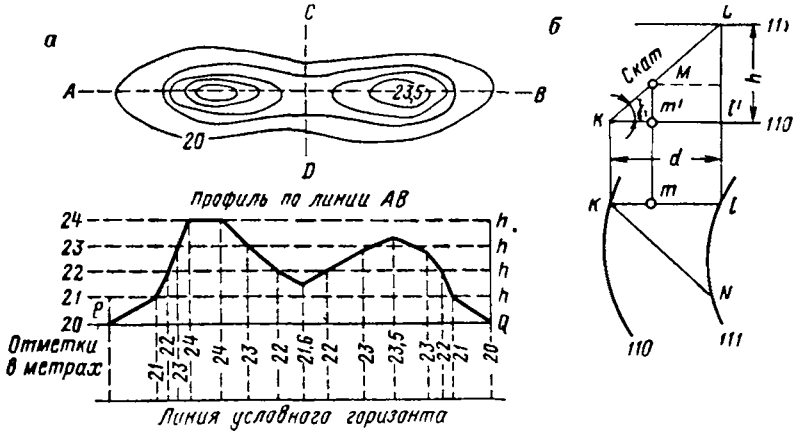


Рис. 7. Построение профиля по плану с горизонталями

§ 10. Задачи, решаемые по плану с горизонталями

Отметку любой точки на плане определяют значением горизонтали, на которой находится точка. При этом исходят из отметок, подписанных на горизонталях, а также из величины сечения рельефа. Отметки точек, расположенных между горизонталями, определяют методом интерполяции. Для интерполяции на плане через определяемую точку m проводят отрезок кратчайшего заложения Kl, части которого (Km и ml) используют при интерполяции (рис. 7, *б*).

Для построения профиля местности по линии AB (рис. 7, *а*) отмечают на плане точки пересечения этой линии с горизонталями, а затем переносят ее со всеми точками пересечения на линию PQ. Из этих точек восставляют перпендикуляры и откладывают на них от условного горизонта величины высот горизонталей. Для наглядности эти величины следует откладывать в увеличенном масштабе по сравнению с масштабом плана. Точки профиля, полученные на перпендикулярах, соединяют прямыми линиями.

Определение крутизны скатов (уклонов) показано на рис. 7, *б*. Отрезок Kl является проекцией ската KL и называется з а л о ж е н и е м. При этом отрезок Kl проложен по кратчайшему расстоянию между горизонталями и является заложением по наибольшей

крутизне. Зная высоту сечения горизонталей h плана и измерив в масштабе плана величину заложения d, можно получить величину $\operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}$. В инженерной геодезии наклон выражают не угловой мерой, а величиной тангенса угла наклона, которую называют у к л о н о м i. Следовательно, $i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}$. В практике уклоны часто выражают в миллиметрах на 1 м заложения и записывают в следующем виде: $i = 0{,}030$ или $i = 30‰$.

На топографические карты, кроме линейного масштаба, наносят графики масштабов уклонов и заложений. По таким графикам легко определить фактическую крутизну любого ската, а также величину заложения для заданного уклона.

§ 11. Ориентирование линий, истинный и магнитный азимуты, дирекционный угол, румбы

Ориентировать линию — значит определить ее положение на местности или на чертеже относительно другого направления, принятого за начальное.

В качестве начального обычно принимается направление меридиана: истинного, магнитного или осевого. Для ориентирования линии нужно измерить угол, составленный этой линией с направлением, принятым за исходное.

Направление географического или истинного меридиана определяется из астрономических наблюдений.

Направление магнитного меридиана определяется по магнитной стрелке. Свободно подвешенная стальная намагниченная стрелка располагается в плоскости магнитного меридиана, проходящего через данную точку. Один конец стрелки направлен на север, он называется северным, другой — на юг (южный). Так как магнитный полюс Земли не совпадает с географическим полюсом, то стрелка обычно образует некоторый угол с истинным меридианом данной точки. Этот угол называют с к л о н е н и е м магнитной стрелки и обозначают буквой δ; оно бывает восточным и западным. При восточном склонении магнитный меридиан уклоняется к востоку от географического, а при западном — к западу. Восточное склонение принято обозначать знаком + (плюс), а западное — знаком — (минус).

В каждой точке склонение непрерывно изменяется. Различают вековое, годовое и суточное изменение склонений. Поэтому ориентирование по магнитной стрелке можно сделать с точностью не выше 15′.

Для ориентирования направлений по сторонам света пользуются азимутами или румбами.

Азимуты. Истинным азимутом линии местности в данной точке называется угол A, измеренный по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана, проходящего через

данную точку, до ориентируемой линии; по абсолютному значению азимуты изменяются от 0 до 360°.

На рис. 8, *а* показаны азимуты A_1, A_2, A_3, A_4 линий *0—1*, *0—2*, *0—3*, *0—4*.

Дирекционные углы. Для ориентирования на плоскости линий в пределах каждой зоны вместо географического или магнитного меридиана за исходное принимают положительное направление оси абсцисс; оно параллельно осевому меридиану данной зоны.

В этом случае вместо азимутов пользуются дирекционными углами, которые измеряют от положительного направления оси

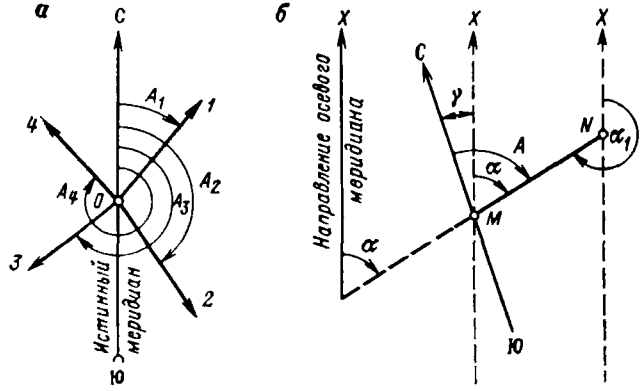


Рис. 8. Ориентирование линий

а — по географическому меридиану, *б* — по осевому меридиану зоны

абсцисс до ориентируемой линии. Дирекционные углы, как и азимуты, всегда положительны и могут иметь значения от 0 до 360°.

Если через точку M, являющуюся началом линии MN (рис. 8,*б*), проходит географический меридиан $СЮ$ и линия MX, параллельная осевому меридиану зоны, в которой находится точка M, то угол между ними γ будет у г л о м с б л и ж е н и я этих меридианов, а α — дирекционным углом линии MN. Из рис. 8, *б* видно, что истинный азимут $A = \alpha + \gamma$.

Для линии MN угол α будет прямым, а α' — обратным дирекционным углом. Так как направления MX и NX параллельны осевому меридиану, то $\alpha' = \alpha + 180°$, а в общем случае

$$\alpha' = \alpha \pm 180°,$$

т. е. прямой и обратный дирекционные углы одной и той же линии по абсолютному значению отличаются между собой на 180°.

Румбы. Часто вместо дирекционных углов линий пользуются их р у м б а м и.

Румб — острый угол между ближайшим концом меридиана и данным направлением. Румб обозначается через r с индексами,

например $r_{СВ}$, $r_{ЮВ}$, $r_{ЮЗ}$, $r_{СЗ}$, а его величина называется табличным углом и обозначается через t.

Зависимость между азимутами, дирекционными углами и румбами линий, расположенных в разных четвертях, устанавливают по формулам:

I	четверть	СВ	$\alpha = r$	или	$r = \alpha$;
II	»	ЮВ	$\alpha = 180° - r$	или	$r = 180° - \alpha$;
III	»	ЮЗ	$\alpha = 180° + r$	или	$r = \alpha - 180°$;
IV	»	СЗ	$\alpha = 360° - r$	или	$r = 360° - \alpha$.

§ 12. Связь между горизонтальными и дирекционными углами

Для определения дирекционного угла любой линии, например α_{n+1}, нет необходимости проектировать направление осевого меридиана в точке начала этой линии. Достаточно связать определяемую линию углом β с линией, дирекционный угол которой определен ранее, например α_n. Таким путем дирекционный угол линии определяют по углу, примычному к стороне, дирекционный угол которой известен.

Из схемы, приведенной на рис. 9, видно, что

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180° - \beta_{пр},$$

т. е. дирекционный угол следующей линии равен дирекционному углу предыдущей линии плюс 180° и минус угол, вправо по ходу лежащий.

Если известны левые по ходу углы $\beta_{лев}$, то формула несколько меняется:

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - 180° + \beta_{лев},$$

т. е. дирекционный угол следующей линии равен дирекционному углу предыдущей линии минус 180° и плюс угол, влево по ходу лежащий.

В случае когда значение α_{n+1} окажется более 360°, следует из полученного результата вычесть 360°. Если же при вычитании окажется, что уменьшаемое меньше вычитаемого, то к первому необходимо прибавить 360°, а затем выполнить вычитание.

Иногда возникает необходимость определить величину угла, дирекционные углы сторон которого известны. Из рис. 9 видно, что величину угла β можно получить вычитанием: $\beta = \alpha_{n+1} - \alpha_n$. Иногда может оказаться, что $\alpha_{n+1} < \alpha_n$. Тогда следует предварительно к α_{n+1} прибавить 360°. После чего получится искомый результат $\beta = (\alpha_{n+1} + 360°) - \alpha_n$.

§ 13. Вычисление прямоугольных координат

В системе прямоугольных координат положение каждой точки определяется величинами отрезков осей координат от начала координат до оснований перпендикуляров, опущенных на оси координат из данной точки.

Пусть дана линия *1—2* (рис. 10). Опустив из точек *1* и *2* перпендикуляры на координатные оси, получим на оси X: $x = 0—1'$ и $x_2 = 0—2'$; на оси Y: $y = 0—1''$ и $y_2 = 0—2''$ — координаты точек *1* и *2*. В прямоугольном треугольнике $1—2—2_1$ катет

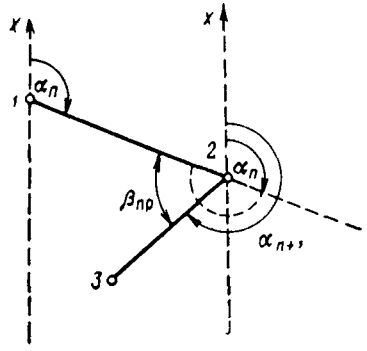


Рис. 9. Связь между горизонтальными и дирекционными углами

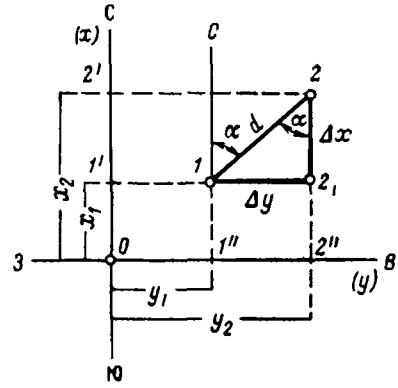


Рис. 10. Приращения прямоугольных координат

$2—2_1$ представляет разность абсцисс, а катет $1—2_1$ — разность ординат точек *2* и *1*.

Разность координат двух точек *2* и *1*

$$\Delta x = x_2 - x_1,$$

$$\Delta y = y_2 - y_1$$

называют приращениями координат. Из этих равенств следует, что

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

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

т. е. *координаты определяемой точки равны координатам известной точки плюс соответствующие приращения координат.*

Следовательно, для нахождения координат второй точки, когда даны координаты первой, нужно иметь приращения координат Δx и Δy.

Через точку *1* параллельно оси X проведем линию *1—C*. Тогда угол *C—1—2* представит дирекционный угол α данной линии *1—2*. Угол $1—2—2_1$ прямоугольного треугольника $1—2—2_1$ равен дирекционному углу α. Обозначим горизонтальное про-

Таблица 4

Приращения координат	Дирекционные углы в градусах			
	0—90°	90—180°	180—270°	270—360°
	I четверть СВ	II четверть ЮВ	III четверть ЮЗ	IV четверть СЗ
Δx	+	−	−	+
Δy	+	+	−	−

ложение линии *1—2* через *d*. Тогда из прямоугольного треугольника *1—2—2*$_1$ имеем для вычисления приращений координат формулы

$$\left.\begin{aligned}\Delta x &= d\cdot\cos\alpha\\ \Delta y &= d\cdot\sin\alpha\end{aligned}\right\}.$$

Определение координат x_2 и y_2 последующей точки по данным горизонтальному проложению d, дирекционному углу линии α и координатам предыдущей точки называют прямой геодезической задачей.

Горизонтальное проложение d всегда положительно. В зависимости от величины дирекционного угла определяют знак тригонометрических функций $\sin\alpha$ и $\cos\alpha$, а следовательно, и знак приращений координат Δx и Δy.

В табл. 4 приведены знаки приращений Δx и Δy для различных значений дирекционных углов.

§ 14. Прямая и обратная геодезические задачи

В геодезической практике часто приходится решать прямую и обратную геодезические задачи.

Если при решении прямых геодезических задач, как было приведено в предыдущем параграфе, вычислялись приращения и координаты пунктов, то при решении обратных задач — по известным координатам начальной и конечной точек вычисляется горизонтальное проложение линии и ее дирекционный угол.

Обратные геодезические задачи решают по формулам

$$\left.\begin{aligned}\Delta x &= x_2 - x_1\\ \Delta y &= y_2 - y_1\end{aligned}\right\}\qquad \operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}\qquad d = \frac{\Delta y}{\sin\alpha} = \frac{\Delta x}{\cos\alpha}.$$

Решение прямых геодезических задач выполняют на счетных машинах, пользуясь специальными таблицами приращений, таблицами натуральных значений тригонометрических функций или таблицами логарифмов.

1. Прямая геодезическая задача

Требуется вычислить координаты точки № 2, если известны координаты точки № 1, а также дирекционный угол α и горизонтальное проложение линии *1—2*.

а. Выписывают исходные данные:

$y_1 = 2538{,}895$; $x_1 = 1408{,}022$;

$\alpha_{1-2} = 34^\circ 49' 17''$; $d = 24{,}952$.

б. Вычисляют приращения координат:

При наличии счетной машины

$\Delta y = d \sin \alpha = 24{,}952 \times 0{,}571020$

$\Delta x = d \cos \alpha = 24{,}952 \times 0{,}820939$

$\Delta y = +14{,}247$

$\Delta x = +20{,}484$

По таблицам логарифмов

Δy	$+14{,}247$
$\lg \Delta y$	1.1537568
$\lg \sin \alpha$	9.7566514
$\lg d$	1.3971054
$\lg \cos \alpha$	9.9143108
$\lg \Delta x$	1.3114162
Δx	$+20{,}484$

2. Обратная геодезическая задача

Даны координаты точек № 1 и № 2. Вычислить дирекционный угол α и горизонтальное проложение линии 1—2.

а) Выписывают исходные данные:

$y_1 = 618{,}591$; $y_2 = 538{,}895$;

$x_1 = 548{,}319$; $x_2 = 508{,}022$.

б) Вычисляют приращения координат:

$y_2 = 538{,}895$ $\qquad$ $x_2 = 508{,}022$

$y_1 = 618{,}591$ $\qquad$ $x_1 = 548{,}319$

$\Delta y = -79{,}696$ $\qquad$ $\Delta x = -40{,}297$

в) Вычисляют значение дирекционного угла и длину линии:

При наличии счетной машины	По таблицам логарифмов
$\Delta y = -79{,}996$	$\lg \Delta y = 1.9014365$
$\Delta x = -40{,}297$	$\lg \Delta x = 1.6052727$
$\operatorname{tg} r = 1.977715$	$\lg \operatorname{tg} r = 0.2961638$
$r = 63^\circ 10' 38''$	$r = 63^\circ 10' 38''$
$\alpha_{1-2} = 243^\circ 10' 38''$	$\alpha_{1-2} = 243^\circ 10' 38''$
$\Delta y = 79{,}699$	$\Delta x = 40{,}297$
$\sin r = 0.892407$	$\cos r = 0.451232$
$d_{1-2} = 89{,}305$	$d_{1-2} = 89{,}304$
$\lg \Delta y = 1.9014365$	$\lg \Delta x = 1.6052727$
$\lg \sin r = 9.9505628$	$\lg \cos r = 9.6544002$
$\lg d = 1.9508737$	$\lg d = 1.9508725$
$d_{1-2} = 89{,}305$	$d_{1-2} = 89{,}304$

Длину линии также можно вычислить по такой формуле:

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

§ 15. Краткие сведения из теории погрешностей результатов измерений

Вследствие ряда причин результаты измерений сопровождаются неизбежными погрешностями, поэтому весьма важно с учетом свойств этих погрешностей определить точность полученных результатов.

Погрешности по своим свойствам подразделяются на три вида:

1. Грубые погрешности (или промахи) могут возникнуть вследствие невнимательности наблюдателя, в результате просчетов, неисправности инструментов, погрешности при опознавании знаков и пр.

Измерения, содержащие грубые погрешности, должны выполняться заново. Чтобы избежать грубых погрешностей, следует повторять измерения и контролировать их.

2. Систематические погрешности происходят преимущественно от недостатков в конструкции инструментов. При одинаковых условиях измерений имеют одну и ту же величину и один и тот же знак, поэтому их нужно учесть и исключить из результатов измерений.

3. Случайные погрешности не поддаются точному предварительному учету, потому что при многократных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях эти погрешности имеют разную величину и разный знак. Влияние случайных погрешностей не может быть исключено из результатов наблю-

дений. Теоретические исследования, подтвержденные опытом, установили следующие четыре свойства случайных погрешностей измерений одной и той же величины:

1) при данных условиях измерений случайные погрешности не могут превосходить по абсолютной величине известного предела;

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

3) возникновение случайных погрешностей, равных по величине и противоположных по знаку, одинаково возможно;

4) с увеличением числа равноточных измерений среднее арифметическое из случайных погрешностей измерений одной и той же величины стремится к нулю:

$$\frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \cdots + \Delta_n}{n} \to 0,$$

где n — число измерений, Δ — истинные случайные погрешности отдельных измерений.

Полагая, что l_1, l_2, l_3, $\cdots$, l_n — результаты равноточных измерений одной и той же величины, за окончательное значение принимают среднюю арифметическую величину из всех результатов

$$L = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \quad + l_n}{n} = \frac{[l]}{n}.$$

При конечном числе измерений величина L будет в е р о я т н е й ш и м з н а ч е н и е м определяемой величины. Когда истинное значение измеряемой величины неизвестно, для определения случайных погрешностей берут разность между каждым измеренным значением l и средним арифметическим L из результатов измерений.

Погрешности, полученные таким образом, называют уклонениями от арифметической середины и обозначают буквой v. Эти уклонения иначе называют в е р о я т н е й ш и м и п о г р е ш н о с т я м и,

$$v = L - l_{\text{изм}}.$$

Для оценки точности ряда измерений принято пользоваться средней квадратической погрешностью, определяемой по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}},$$

где $[\Delta^2]$ — сумма квадратов случайных (истинных) погрешностей ряда измерений, n — количество измерений Квадратная скобка условно обозначает сумму.

Средняя квадратическая погрешность является наиболее подходящей оценкой точности произведенных измерений. Это происходит потому, что, во-первых, на величину средней квадрати-

ческой погрешности оказывают сравнительно сильное влияние большие по абсолютной величине случайные погрешности, т. е. как раз те, которые и определяют собой степень надежности полученных результатов измерений; во-вторых, практически достаточно сравнительно небольшого числа измерений для того, чтобы определить значение этой погрешности с удовлетворительной степенью точности; в-третьих, по средней квадратической погрешности можно судить о предельной погрешности, возможной при данных условиях измерений.

Это достигается при помощи установленного теоретическими изысканиями и подтвержденного опытным путем правила, по которому абсолютная величина случайной погрешности измерения не превосходит утроенной средней квадратической погрешности:

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m.$$

Так как в практике геодезических работ имеют дело не с истинными, а с вероятнейшими погрешностями, то оценку точности производят по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}},$$

где $[v^2]$ — сумма квадратов вероятнейших погрешностей ряда измерений, n — количество измерений.

Эта формула характеризует точность одного отдельного в ряду измерения. Средняя квадратическая погрешность арифметической середины вычисляется по формуле

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}}.$$

Пример. Угол в натуре измерен шестью приемами (табл. 5). Требуется определить среднюю квадратическую погрешность измерения этого угла.

Таблица 5

Порядок измерений	Результаты измерений	Уклонения от арифметической середины		
		v	v^2	
1	45° 26′ 38,3″	+1,1	1,21	$m = \sqrt{\frac{63{,}20}{6-1}} = \sqrt{12{,}64}$
2	43,3	—3,9	15,21	
3	34,7	+4,7	22,09	$m = 3{,}5''$
4	41,1	—1,7	2,89	
5	42,8	—3,4	11,56	$M = \frac{3{,}5''}{\sqrt{6}} = 1{,}4''$
6	36,2	+3,2	10,24	
Среднее	45° 26′ 39,4″	$[v] = 0$	$[v^2] = 63{,}20$	

В топографо-геодезических работах с целью повышения точности измерений предельную погрешность принимают равной двухкратной средней квадратической погрешности:

$$\Delta_{\text{пред}} = 2m.$$

В приведенном примере предельная погрешность измеренного угла равна

$$\Delta_{\text{пред}} = 2 \times 3{,}5'' = 7{,}0''.$$

Для оценки точности линейных измерений пользуются величиной относительной погрешности, определяемой как отношение абсолютной погрешности к измеренной величине:

$$\frac{\Delta D}{D},$$

где ΔD — расхождение результатов измерений, называемое абсолютной погрешностью, D — длина измеряемой линии. Если, например, имеются два результата измерения линии: 75,045 и 75,050, то $\Delta D = 0{,}005$ м и относительная погрешность равна

$$\frac{0{,}005}{75{,}048} = \frac{1}{15\,000}.$$

ГЛАВА II

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

§ 16. Теодолиты, их устройство и поверки

Для составления плана или при выполнении разбивок нужно знать, кроме горизонтальных проложений линий, также и величины горизонтальных углов. Эти углы можно измерить угломерными инструментами, называемыми т е о д о л и т а м и.

Основными частями теодолита служат лимб, алидада, вертикальный круг, верньеры или другие отсчетные приспособления, уровни, различные оси и винты.

Л и м б о м называется металлический или стеклянный круг, разделенный на градусы или более мелкие части. При измерении угла лимб располагается горизонтально, а центр его помещается на одной вертикальной линии с вершиной измеряемого угла. Такая установка выполняется при помощи нитяного или оптического центрира и называется ц е н т р и р о в а н и е м.

Чтобы на неподвижном лимбе отметить проекции сторон измеряемого угла, имеется круг, вращающийся вокруг вертикаль-

ной оси, совпадающей с осью вращения лимба, и называемый алидадой. На алидаде имеется нулевой штрих, по которому производят отсчеты на лимбе, соответствующие наведению алидады на сторону измеряемого угла. Для увеличения точности этих отсчетов, кроме нулевого штриха, наносят еще дополнительную шкалу, называемую верньером.

Вертикальный круг теодолита предназначен для измерения вертикальных углов. При нем имеется алидада с верньерами или с другими приспособлениями для отсчета.

Уровни теодолита служат для приведения плоскости лимба в горизонтальное положение, установка по уровням называется нивелированием инструмента и достигается при помощи подъемных винтов.

1. Тахеометры с металлическими лимбами. Эти теодолиты повторительные, отличаются простотой конструкции, имеют два диаметрально расположенных верньера, позволяющих исключить влияние эксцентриситета горизонтального и вертикального кругов при измерении углов одним приемом. К ним относятся теодолиты ТТ-50, ТТ5, ТН и ТТП. Эти инструменты как устаревшие промышленностью больше не выпускаются. В настоящее время применяются теодолиты со стеклянными лимбами, называемые оптическими.

2. Оптические теодолиты. Государственный стандарт ГОСТ 10529—63 санкционировал с 1.1.1965 г. выпуск следующих типов оптических теодолитов, которые объединяются в четыре группы:

I группа: теодолиты высокоточные оптические, предназначенные для триангуляции и полигонометрии 1 и 2 классов, позволяющие производить измерение горизонтальных углов со средней квадратической погрешностью 0,5″ и 1″. Теодолиты этой группы обозначаются Т05 и Т1.

II группа: теодолиты точные оптические, предназначенные для триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов, позволяющие вести измерение горизонтальных углов со средними квадратическими погрешностями 2″. Эти теодолиты имеют обозначение Т2.

III группа: теодолиты точные оптические, предназначенные для аналитических сетей и полигонометрии 1 и 2 разрядов, позволяющие измерять горизонтальные углы со средними квадратическими погрешностями 5″ и 10″. Обозначаются эти теодолиты соответственно Т5 и Т10.

IV группа: теодолиты технической точности (оптические) предназначаются для теодолитных и тахеометрических ходов, маркшейдерских работ на поверхности и под землей, позволяющие вести измерение горизонтальных углов со средними квадратическими погрешностями 15″, 20″ и 30″. Эти теодолиты имеют обозначения Т15, Т20 и Т30. В 1970 г. принят новый ГОСТ 10529—70; из него Т20 и Т10 исключены, оставлены технические теодолиты Т30 и Т15.

Ниже дается описание теодолитов Т30 и Т2. Эти инструменты по своим техническим характеристикам нашли широкое применение в системе Минтрансстроя.

Теодолит Т30

Теодолит Т30 (рис. 11) — геодезический угломерный инструмент 30-секундной точности, предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов, определения магнитных азимутов, нивелирования горизонтальным лучом с помощью уровня УТ20-Т2 при трубе, измерения расстояний нитяным дальномером и с помощью оптической дальномерной насадки ДН10.

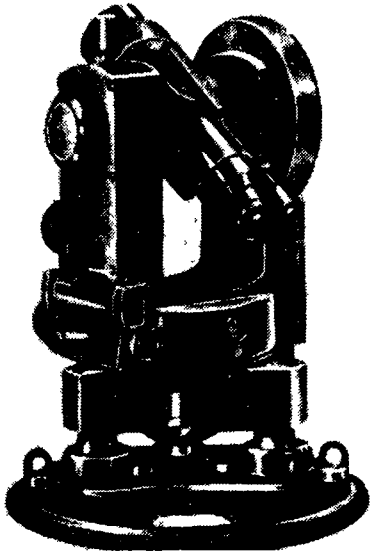


Рис. 11. Теодолит Т30

Применение такой насадки дает возможность измерять расстояния от 20 до 200 м с относительной средней квадратической погрешностью 1 : 1200. Температурный диапазон безотказной работы инструмента — от —40° до +50° С.

Т30 относится к повторительным теодолитам и позволяет при измерении углов использовать как метод круговых приемов, так и метод повторений. Средняя квадратическая погрешность измерения углов из одного приема равна 30″.

Основные преимущества этого теодолита — малая масса и размеры, простейший способ отсчитывания по кругам, возможность оборудования его приспособлениями, расширяющими круг выполняемых работ, безотказность, надежность в работе.

Все это дает возможность широко использовать инструмент для топографических съемок, решения задач инженерной геодезии, для разбивочных и трассировочных, проектных и изыскательских работ.

Техническая характеристика

Увеличение зрительной трубы	20×
Пределы фокусирования	От 1 м до ∞
Коэффициент дальномера	100
Цена наименьшего деления кругов	10′
Точность отсчета по кругам	1′
Цена деления уровня при алидаде горизонтального круга	45″

Теодолит Т30—оптический повторительный теодолит с цилиндрической вертикальной осью. Основание инструмента является одновременно и дном металлического футляра. Это не только уменьшает массу комплекта, но и создает удобство при перенесении прибора с точки на точку закрепленным на штативе и в футляре.

Теодолит не имеет специального оптического центрира, но в нем предусмотрена возможность использовать зрительную трубу для центрирования инструмента над точкой. В этом случае на окуляры трубы и микроскопа надевают окулярные насадки, а зрительную трубу устанавливают вертикально объективом вниз так, чтобы отсчет по микроскопу был равен 270° — МО. При центрировании вертикальная ось теодолита подъемными винтами треножника устанавливается в отвесное положение.

Отсчетный микроскоп расположен рядом с окуляром зрительной трубы. В поле зрения микроскопа видны одновременно штрихи горизонтального и вертикального кругов. Отсчеты ведут по неподвижному индексу.

Теодолит не имеет наводящего устройства алидады вертикального круга и уровня при алидаде вертикального круга. Последний заменен уровнем алидады горизонтального круга. Поэтому определение места нуля (МО) вертикального круга и приведение его к нулю производится в следующем порядке.

МО вычисляется по формуле

$$\text{МО} = \frac{\text{КП} + \text{КЛ} + 180^\circ}{2}.$$

К каждому отсчету КП или КЛ, если он меньше 90°, необходимо прибавить 360°, прежде чем подставить его в эту формулу. При исправлении МО на вертикальном круге устанавливают отсчет, равный КЛ—МО. Вертикальными исправительными винтами сетки нитей совмещают крест нитей с изображением наблюдаемой точки.

При выполнении этих действий нужно следить, чтобы пузырек уровня при алидаде горизонтального круга был на середине ампулы.

Отсчитывание по угломерным кругам

В теодолите оценка доли деления угломерных кругов производится по неподвижному индексу. Такой способ отсчитывания является наиболее простым и позволяет оценивать десятые доли наименьшего интервала. На рис. 12 показано поле зрения отсчетного микроскопа. В верхнюю часть поля зрения, отмеченную буквой В, проецируются штрихи вертикального круга, в нижнюю, отмеченную буквой Г, — штрихи горизонтального круга.

Штрихи на горизонтальном круге нанесены на нижней поверхности и оцифрованы через каждый градус. Штрихи вертикального

круга нанесены на внутренней поверхности круга, обращенной к зрительной трубе, и оцифрованы через каждый градус. Штрихи обоих кругов разделены перемычкой. Отсчетный индекс — штрих находится в центре поля зрения. Для большего удобства отсчитывания изображение штрихов, не участвующих в отсчете, закрыто диафрагмой. Отсчет по вертикальному кругу (см. рис. 12) равен 358°48′, отсчет по горизонтальному кругу равен 70°04′.

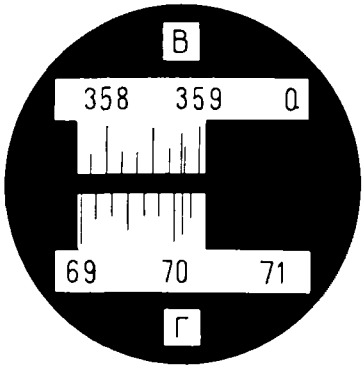


Рис. 12. Вид поля зрения отсчетного микроскопа теодолита Т30

Измерение углов

Горизонтальные углы измеряют в соответствии с методикой и требованиями, изложенными в «Инструкции по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей». Углы измеряют в основном способом круговых приемов. Однако, с целью уменьшения влияния погрешности отсчитывания измерения теодолитом Т30 лучше производить способом повторений, поскольку этот способ повышает точность измерения угла. При измерении вертикальных углов формулы для их вычисления имеют следующий вид:

$$\alpha = \frac{КЛ - КП - 180°}{2},$$

$$\alpha = КЛ - МО,$$

$$\alpha = МО - КП - 180°,$$

где КЛ и КП — отсчеты при вертикальном круге слева и справа, МО — место нуля вертикального круга. К величинам, меньшим 90°, следует предварительно прибавлять 360°. Измерение вертикальных углов связано с необходимостью следить за положением пузырька уровня при алидаде горизонтального круга, приводя его подъемными винтами на середину перед наведением зрительной трубы на точку визирования.

Теодолит Т2

Оптический теодолит Т2 (рис. 13, *а*, *б*) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции 3 и 4 классов со средней квадратической погрешностью, не превышающей 2″.

Его можно использовать при строительстве и эксплуатации сооружений, при монтаже машин и заводского оборудования,

при измерении углов тоннельной триангуляции и полигонометрии, а также для приближенных астрономических определений широты, долготы и азимута.

Для измерения расстояний теодолит можно применять с дальномерными насадками (ДН-04, ДНР-06 и ДН-08).

Теодолит приспособлен для прокладывания полигонометрических ходов по трехштативному способу. Относится к типу непов-

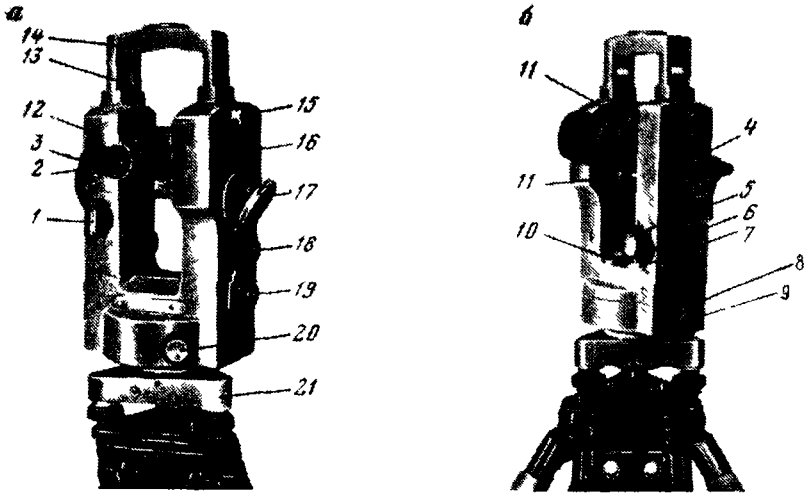


Рис 13 Теодолит Т2.

1 — рукоятка переключения кругов, *2* — окуляр зрительной трубы, *3* — окуляр микроскопа, *4* — барабан микрометра, *5* — наводящее устройство зрительной трубы, *6* — закрепительный винт зрительной трубы, *7* — исправительный винт уровня, *8* — закрепительный винт алидады, *9* — наводящее устройство алидады, *10* — цилиндрический уровень, *11* — оптические визиры, *12* — крышка, *13* — винты крепления ручки, *14* — ручка для переноски теодолита, *15* — лупа призма уровня вертикального круга, *16* — уровень вертикального круга, *17* — зеркало, *18* — винт алидады вертикального круга, *19* — окуляр оптического центрира, *20* — барабанчик для перестановки лимба, *21* — подставка треножник

торительных теодолитов. Отсчет производят после совмещения диаметрально противоположных штрихов лимба (рис. 14), благодаря чему исключается влияние эксцентриситета. Отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам берут при помощи одного микроскопа, расположенного параллельно зрительный трубе. Закрепительные и наводящие винты расположены на одной оси, что упрощает управление инструментом. Зрительная труба переводится через зенит обоими концами. Для центрирования над точкой теодолит снабжен оптическим центриром, расположенным внутри алидадной части, что упрощает его регулировку. Уровень при алидаде вертикального круга расположен внутри корпуса теодолита. За совмещением концов пузырька уровня наблюдают

через поворотную призму-лупу, расположенную на боковой крышке инструмента.

К теодолиту прилагается накладной уровень, устанавливаемый сверху колонок алидады.

Основными особенностями теодолита Т2 являются схема отсчетной системы, позволяющая использовать при отсчитывании принцип совмещенного отсчета по двум диаметрально противоположным сторонам угломерных кругов, и наличие микроскопа с микрометром, который дает возможность повысить точность отсчитывания до 0,1″. Эти особенности определили высокую точность измерения углов теодолитом Т2.

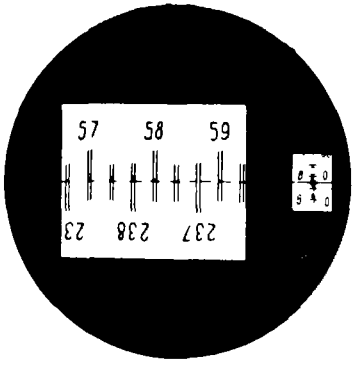


Рис 14 Вид поля зрения отсчетного микроскопа теодолита Т2

Производство отсчетов по кругам

Перед взятием отсчета по горизонтальному кругу винт *5* (см. рис. 13, *б*) переключателя устанавливают горизонтально, при этом поле зрения микроскопа будет иметь белый фон, на котором видны двойные штрихи (см. рис. 14). Для взятия отсчета по вертикальному кругу рукоятку *1* надо повернуть до щелчка в вертикальное положение, при этом поле зрения микроскопа будет иметь желто-зеленый фон, видимые штрихи лимба будут одинарные.

В поле зрения микроскопа видны два окна (см. рис. 14). В левом, большом, окне находятся два изображения штрихов круга, разграниченные темной чертой: верхнее, прямое изображение штрихов одной стороны круга и нижнее обратное изображение штрихов диаметрально противоположной стороны круга. В правом, малом, окне видны шкала микрометра и горизонтальный неподвижный индекс, по которому берется отсчет по шкале.

Перед взятием отсчета нужно вращением барабанчика *4* (см. рис. 13, *б*) микрометра тщательно совместить штрихи верхнего и нижнего изображений частей круга в большом окне.

Отсчет числа градусов производят по верхнему, прямому, изображению: определяют число, стоящее в центре изображения или расположенное левее этого центра, руководствуясь тем, что соответствующее диаметрально противоположное (отличное на 180°) число должно быть или непосредственно под ним, или правее его. Так, на рис. 14 в центре верхнего изображения находится число 58, но так как диаметрально противоположное число 238 расположено в нижнем изображении не правее, а левее его, то за число градусов в отсчете надлежит взять 57 (число, отличное на 180°, т. е. 237 в данном случае будет правее). При этом

число делений, на которое удалены друг от друга эти два числа, является десятками минут в отсчете. Так как на рис. 14 число 237 удалено от 57 вправо на пять делений круга, то отсчет (с точностью до десятков минут) будет: 57° 50′.

Единицы минут отсчитывают в малом окошке по левому ряду цифр. Десятки секунд отсчитывают так же, но по правому ряду цифр. Секунды и их доли отсчитывают по неподвижному индексу, имея в виду, что каждое малое деление шкалы соответствует 1″.

Отсчеты по вертикальному кругу производят аналогично отсчетам по горизонтальному кругу. Перед отсчетом следует совместить концы пузырька уровня при алидаде вертикального круга, наблюдая их через лупу-призму *15* (см. рис. 13, *а*).

В теодолите Т2 за основной круг принят КЛ.

Поверки и юстировки теодолитов

Основные условия, которым должно отвечать взаимное расположение частей теодолитов:

1. *Ось уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита.*

Для поверки этого условия: 1) ставят ось уровня при алидаде горизонтального круга по направлению двух (любых) подъемных винтов и, действуя ими в разные стороны, совмещают центр пузырька уровня с нульпунктом ампулы, 2) затем ось уровня ставят по направлению третьего подъемного винта и, действуя им, вновь совмещают центр пузырька с нульпунктом ампулы, затем поворачивают алидаду на 180° и, если пузырек уровня при этом останется на середине ампулы, то условие выполнено, а если отойдет от него, то исправительным винтом уровня перемещают пузырек уровня на половину дуги отклонения центра его от середины ампулы, а при помощи подъемного винта, по направлению которого стоит уровень, вновь совмещают центр пузырька с серединой ампулы. Поверку повторяют до тех пор, пока поверяемое условие не будет выполнено.

2. *Визирная ось должна быть перпендикулярна к оси вращения зрительной трубы.*

При соблюдении этого условия визирная ось при вращении трубы вокруг ее оси будет описывать плоскость, называемую коллимационной. В противном случае визирная ось будет описывать две конические поверхности.

Угол *с* между визирной осью и перпендикуляром к оси вращения трубы называется коллимационной ошибкой.

Для поверки этого условия устанавливают теодолит на штативе и приводят его ось вращения в вертикальное положение. Затем наводят трубу на отдаленный ясно видимый предмет и делают отсчет по горизонтальному лимбу (a_1). После этого переводят трубу через зенит и вновь наводят визирную ось на ту же точку (лимб должен оставаться неподвижным) и вторично делают отсчет

по лимбу (a_2). Разность отсчетов, получаемых при двух положениях вертикального круга, будет равна двойной коллимационной ошибке, т. е.

$$a_1 - a_2 = 2c,$$

Если $a_1 = a_2$, то условие соблюдено. В противном случае вычисляют среднее арифметическое из двух отсчетов, т. е.

$$\frac{a_1 + a_2}{2} = a,$$

и на этот отсчет устанавливают алидаду наводящим устройством. После этого центральная точка пересечения сетки нитей (центр сетки нитей) сойдет с наблюдаемого предмета. Тогда, ослабив один из вертикальных винтов сетки нитей, двумя другими винтами, расположенными горизонтально, перемещают сетку нитей до совпадения ее центра с наблюдаемым предметом. После этого поверку повторяют.

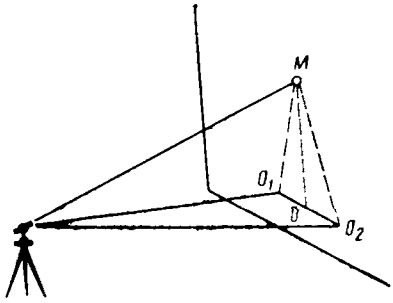


Рис. 15. Юстирование визирной плоскости теодолита

Очевидно, что, измеряя углы при двух положениях трубы и вычисляя среднее арифметическое из этих измерений, получают результат, в котором исключается влияние коллимационной ошибки.

3. *Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна к основной оси вращения инструмента.*

Для поверки этого условия теодолит, укрепленный на штативе, ставят вблизи высокого предмета, например здания, и приводят основную ось инструмента в отвесное положение. Затем, закрепив лимб, наводят центр сетки нитей на хорошо видимую высокую точку M (рис. 15) и закрепляют алидаду. После этого зрительную трубу опускают до тех пор, пока она не примет горизонтального положения (на глаз), и отмечают на стене точку O_1. То же делают при другом положении трубы. При наличии наклона оси трубы получают новую точку O_2. Намечают посередине отрезка O_1O_2 точку O. После этого необходимо один конец горизонтальной оси поднять или опустить так, чтобы центр сетки нитей совместился с точкой O. Для этого под один край верхней части теодолита (ТТ5, ТН, ТТП), привинченной к алидаде, следует подложить лист бумаги или станиоля, предварительно отпустив соответствующие винты.

Оптические теодолиты в этом случае исправляют в мастерской.

4. *Вертикальная нить сетки (или биссектор нитей) должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.*

Это условие поверяют наведением визирной оси на нить свободно висящего отвеса. В случае перекоса сетки нитей поверты-

вают всю сетку до совмещения средней нити или биссектора с нитью отвеса.

Поверки этих условий для теодолита Т2 производят так же, как и для других теодолитов.

Кроме того, в теодолите Т2 необходимо выполнить поверку оптического центрира; визирная ось оптического центрира должна совпадать с осью вращения инструмента.

Для поверки этого условия теодолит устанавливают на штатив, приводят основную ось в вертикальное положение и намечают на поверхности земли по центру оптического отвеса точку. При вращении алидады теодолита изображение точки не должно смещаться с центра сетки оптического отвеса. Для юстировки следует вывинтить винты крышки *13* (см. рис. 13, *а*), под которой расположены два винта, скрепляющие окулярную часть оптического отвеса с теодолитом. Отпустив эти винты, можно передвинуть окулярную часть, добиваясь совмещения визирной оси отвеса с основной осью теодолита.

Общие указания по изменению углов

До работы в поле наблюдатель выполняет поверки и исследования инструмента, предусмотренные соответствующими инструкциями и наставлениями.

На каждой станции надлежит установить трубу «по глазу», добиваясь вращением окулярной трубочки четкого изображения сетки нитей, и «по предмету», стремясь получить за счет фокусировки трубы резкое изображение наблюдаемого предмета. Желательно, чтобы при измерении углов установка окуляра и фокусировка трубы оставались неизменными.

Окуляр микроскопа устанавливают на наиболее резкое изображение штрихов круга, обращая внимание на отсутствие параллакса. Необходимо обеспечить равномерное по яркости освещение поля зрения микроскопа при наблюдении всех пунктов.

При совмещении штрихов барабан оптического микрометра следует вращать только по ходу часовой стрелки.

Окончательную наводку биссектора трубы на предмет следует производить только ввинчиванием наводящего устройства *7* (см. рис. 13, *б*). Закрепительные винты нужно закреплять не сильно. В противном случае вызываются дополнительные напряжения и упругие деформации в частях инструмента, что может существенно снизить качество измерений.

§ 17. Способы измерения горизонтальных углов

Перед измерением угла на местности необходимо над вершиной установить теодолит и привести его в рабочее положение: 1) подъемными винтами привести лимб в горизонтальное положение; 2) при помощи нитяного отвеса или оптического центрира

вертикальную ось инструмента возможно точнее установить над вершиной угла; 3) установить зрительную трубу для визирования на предметы «по глазу».

При измерении горизонтальных углов получают либо левые, либо правые по ходу углы (рис. 16).

Для получения правого угла следует из направления (отсчета) на задний предмет вычесть направление на передний предмет. Если же вычесть из отсчета на передний предмет отсчет на заднюю точку, то получится левый по ходу угол.

В зависимости от наличия инструмента и заданной точности измерения угла применяют два способа измерения углов: способ приемов и способ повторений.

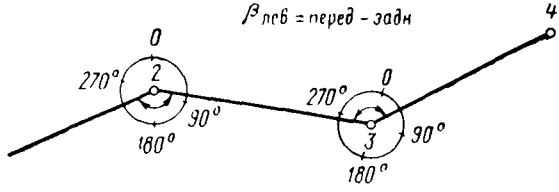


Рис 16 Вычисление левых и правых по ходу углов

Теодолиты ТТ5, ТН, ТТП и Т30 (повторительные) могут применяться для измерения углов способом повторений.

Теодолит Т2 можно применять только для способа круговых приемов.

Общим для обоих способов является то, что каждый прием состоит из двух полуприемов: а) первое измерение (I полуприем) делают при круге право (КП), б) второе (II полуприем) — при круге лево (КЛ).

Для перехода от КП к КЛ достаточно перевести трубу через зенит и повернуть алидаду на 180°. Величину угла, измеренного одним приемом, вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{КП + (КЛ \pm 180°)}{2}.$$

Способ приемов

Углы измеряют двумя, тремя приемами и более в зависимости от требований точности.

Если на данном пункте требуется измерить углы между несколькими направлениями, то применяют способ круговых приемов. Сущность способа состоит в следующем: установив теодолит над центром, выбирают за начальное направление один из пунктов и визируют на него. Записывают отсчеты и, вращая алидаду по ходу часовой стрелки, наблюдают последовательно все направления. Завершают наблюдения снова отсчетом на начальное направление. Повторный отсчет дает возможность убедиться, что в про-

Таблица 6

№ станций	№ точек	Отсчеты КП	Отсчеты КЛ	Среднее из отсчетов	Направления	Примечания
				0° 45′ 26″		
	1	0° 45′ 24″	180° 45′ 32″	0 45 28	0° 0′ 0″	
4	2	34 21 16	214 21 22	34 21 19	33 35 53	
	3	102 59 08	282 59 16	102 59 12	102 13 46	
	4	0 45 20	0 45 28	0 45 24		

цессе измерения лимб оставался неподвижным. Такой способ текущего контроля называется замыканием.

Если в первом полуприеме углы измерялись при КП, то второй полуприем выполняется при КЛ.

Наблюдения при КЛ выполняются так же, как и при КП, но алидаду вращают против хода часовой стрелки, т. е. наблюдения производят в обратном порядке.

По полученным отсчетам вторично вычисляют значения измеряемых углов и полученные результаты записывают в журнал. На этом заканчивается второй полуприем.

Для облегчения дальнейшей камеральной обработки из отсчетов на каждый пункт вычитают средний отсчет на начальный пункт.

Журнал измерения углов способом круговых приемов имеет такую форму (табл. 6).

При измерении углов n приемами лимб между приемами перемещают на величину, равную $\frac{180^\circ}{n}$.

Способ повторений. При этом способе, который может быть выполнен только повторительным теодолитом, угол измеряют при одном положении вертикального круга n раз.

Сущность способа повторений заключается в последовательном откладывании на лимбе n раз величины измеряемого угла. Если A — начальный отсчет по лимбу при наведении на передний предмет, а B_n — заключительный отсчет на задний предмет, то искомый угол β вычисляется по формуле

$$\beta = \frac{B_n - A}{n}.$$

Угол измеряют в следующем порядке: закрепляют алидаду на делениях, близких к 0, и, открепив лимб, наводят трубу теодолита на передний знак, после чего закрепляют лимб и делают отсчет A. Далее, вращая алидаду, визируют на задний пункт и делают отсчет B_1, необходимый для контроля окончательного значения измеряемого угла; при этом на лимбе отложится угол β.

Затем открепляют лимб и визируют снова на переднюю точку. Далее открепляют алидаду и визируют на задний пункт, после чего на лимбе получают двойное значение измеряемого угла; затем, не производя отсчета, снова открепляют лимб и визируют на переднюю точку. Закрепив лимб, снова вращают алидаду для наведения трубы на заднюю точку.

При этом на лимбе будет трижды отложена величина измеряемого угла.

Задавшись числом повторений, заканчивают измерение угла отсчитыванием B_n при визировании на заднюю точку.

Измерение угла повторяют при другом круге, начиная с тех же отсчетов, на которых закончилось измерение угла при первом круге. При этом откладывание на лимбе углов пойдет против хода часовой стрелки, и тем самым будет устранена возможность погрешности за увлекание лимба алидадой.

Результаты записывают в журнал.

Если в процессе измерения угла нулевой штрих алидады совершит полный оборот и пройдет через нулевой штрих лимба, то к последнему отсчету нужно прибавить 360°.

§ 18. Теодолитная съемка

Теодолитной или угломерной называется горизонтальная контурная съемка местности, выполняемая теодолитом; она применяется при съемках населенных пунктов городского и сельского типов, железных, шоссейных и грунтовых дорог, предприятий горной промышленности, сельскохозяйственных угодий и т. д.

В результате теодолитной съемки получают план местности с изображением на нем подробностей, называемых ситуацией.

Теодолитная съемка состоит из следующих процессов:

I. Полевые работы:

1. Рекогносцировка местности и составление плана работ.
2. Создание съемочного обоснования в виде теодолитных ходов и полигонов.
3. Плановая привязка съемочного обоснования к пунктам геодезической опорной сети.
4. Съемка подробностей (ситуации).

II. Камеральные работы:

1. Обработка результатов измерений.
2. Вычисление координат пунктов теодолитных ходов.
3. Составление плана местности.

I. Полевые работы

В теодолитных ходах измеряют углы, вправо или влево по ходу лежащие, одним полным приемом теодолитами 30″ или 1′ точности со смещением лимба примерно на 90° после первого полуприема. Линии измеряют стальной 20-метровой мерной лентой

или дальномерами соответствующей точности в прямом и обратном направлениях с относительной погрешностью порядка 1 : 2000. Если стороны хода больше 100 м, их провешивают.

В тоннелестроении теодолитная съемка в масштабе 1 : 500 и крупнее необходима на небольших участках, а именно на шахтных и строительных площадках, а также в застроенных кварталах над трассой тоннеля. Для съемки небольших участков достаточно проложить вдоль их границ замкнутый теодолитный ход, иначе называемый полигоном, от вершин и сторон которого можно заснять ситуацию данного участка. В более сложных условиях съемке предшествует создание на участке сети опорных съемочных точек. Между точками опорной сети прокладывают теодолитные ходы.

Теодолитный ход прокладывают так, чтобы он своими концами примыкал к пунктам опорной геодезической сети или чтобы так называемый замкнутый полигон примыкал непосредственно хотя бы к одному пункту геодезической опорной сети.

Съемку подробностей производят непосредственно с вершин теодолитных ходов методами, изложенными ниже.

§ 19. Обозначение точек на местности. Вешение линий

Положение линий или направлений на местности определяется двумя точками — началом и концом, поэтому при геодезических работах возникает необходимость закрепления и обозначения точек на местности.

Закрепление точек геодезических съемок на местности выполняют в зависимости от назначения точек и их роли в процессе дальнейших работ.

Временные точки, потребные на короткий срок, закрепляют деревянными кольями длиной 30—40 см, толщиной 5 см.

Колья забивают вровень с землей или на 2—3 см выше поверхности земли. Для обозначения номера точки, а также для ее быстрого отыскания на расстоянии 10—15 см от колышка забивают второй колышек, называемый сторожком. На одной стороне сторожка делают затес, на котором пишут номер точки. Сторожок устанавливают с надписью в сторону последующей точки теодолитного хода и забивают так, чтобы верхняя часть его выступала на 20—30 см над поверхностью земли.

В городских условиях деревянные колышки заменяют гвоздями или металлическими стержнями. При измерении длин линий и углов на точках съемочного обоснования отвесно устанавливают веху.

Веха представляет собою круглую жердь диаметром 4—5 см, высотой 2—3 м. На вехе наносят деления в 15—20 см, которые окрашивают в белый и красный (или черный) цвет.

Для облегчения отыскания геодезических знаков их «привязывают» к постоянным предметам местности (рис. 17).

Как правило, в геодезических каталогах знаков сети приведены их адреса и привязки.

В подземных сооружениях, где точность геодезических работ повышенная, при измерении углов визирование производится на нитяные отвесы, которые тщательно центрируют над знаками.

После закрепления точек часто возникает необходимость установить дополнительные точки так, чтобы они располагались в одной вертикальной плоскости, проходящей через какие-либо две закрепленные точки. Такую вертикальную плоскость, проходящую через две точки линии, называют створом этой линии, а процесс установки промежуточных точек в створе линии называют вешением этой линии. Линии всегда измеряют по их створам. Поэтому для измерения линий их предварительно провешивают, т. е. устанавливают в створе линий вехи, отвесы или специальные марки на штативах. В зависимости от требуемой точности вешение производят «на глаз» или инструментально, с помощью зрительной трубы.

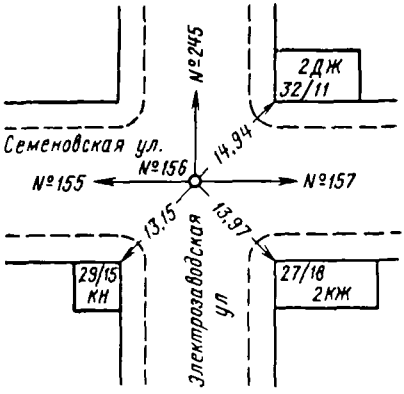


Рис. 17. Привязка геодезических знаков

Вешение начинают, как правило, с отдаленной вехи (отвеса штатива) «на себя».

§ 20. Приборы для измерения длин линий на местности

В зависимости от заданной точности измерения длин линий на местности выполняют различными методами и приборами или путем непосредственного укладывания мерного прибора по створу линий или «на вису». Для измерения линий применяют стальные мерные ленты, стальные рулетки, стальные и инварные проволоки, дальномеры.

Стальные мерные ленты имеют метровые деления, закрепленные латунными бляшками с указанием на них числа метров; полуметры, отмеченные латунными заклепками, и дециметры, обозначенные круглыми отверстиями. Вблизи концов ленты нанесены штрихи и сделаны вырезы для пропуска шпилек (рис. 18, *а*). К концам ленты прикреплены ручки. Длиною ленты считается расстояние между ее конечными штрихами равное 20 м. Такая лента называется штриховой лентой. К ленте прилагаются 6 или 11 металлических шпилек.

На рулетках нанесены сантиметровые деления, отсчеты по которым производят до 0,1 см. Встречаются рулетки с миллиме-

тровыми делениями. Стальные и инварные мерные проволоки длиною 24 м имеют на обоих концах металлические шкалы с миллиметровыми делениями. Длина шкал равна 80 мм (рис. 18, *б*). Мерные приборы длины делятся на рабочие, образцовые и эталонные.

Номинальная длина рабочих мерных приборов часто не соответствует ее фактической длине. Поэтому длину рабочих мерных приборов определяют с большой точностью путем сравнения с образцовыми мерами. При этом каждую образцовую меру снаб-

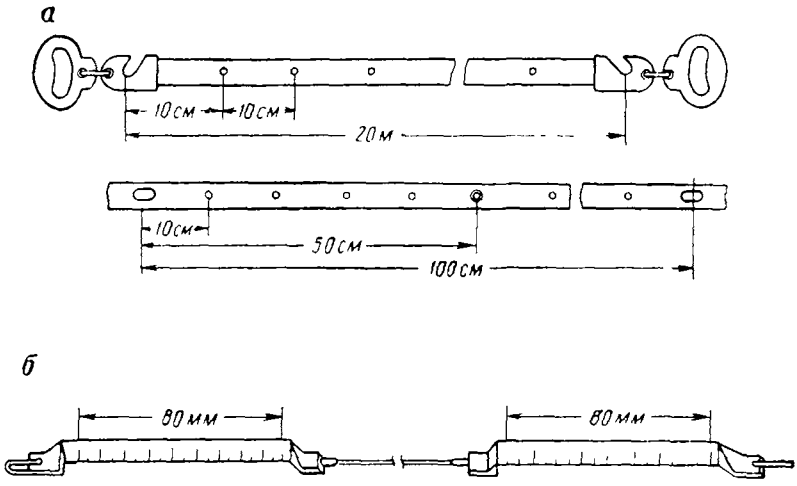


Рис. 18. Приборы для измерения линий.
а — лента, *б* — проволока

жают аттестатом (паспортом), в котором указывают ее длину и температуру, при которой она была определена при сравнении с эталонной длиной.

Сравнение производят на компараторе. Компараторы бывают стационарные, установленные в помещениях, и полевые.

Сравнение длины рабочего мерного прибора с образцовой мерой называется компарированием. По окончании компарирования к каждому прибору (проволоке, ленте, рулетке) прилагают свидетельство (аттестат) о компарировании. В нем указывают название компаратора, дату компарирования, длину прибора, температуру воздуха t_0 и натяжение, при котором была определена эта длина.

Разность действительной l и номинальной l_0 длин мерного прибора называется поправкой за компарирование Δl, т. е.

$$\Delta l = l - l_0.$$

Действительную длину рабочего мерного прибора определяют по формуле

$$l = l_0 + \Delta l.$$

Поправку Δl на полевом компараторе определяют следующим образом: рабочей мерой, например, лентой, измеряют длину компаратора, точное значение которой $D_{\text{н}}$, и по формуле

$$\Delta l = \frac{D_{\text{н}} - D_{\text{изм}}}{n}$$

определяют поправку за компарирование Δl, где n — число уложенных лент с номинальной длиной l_0, т. е.

$$n = \frac{D_{\text{изм}}}{l_0}.$$

Если действительная длина l рабочей ленты отличается от номинальной (принятой) $l_0 = 20$ м на величину Δl, то каждое откладывание ленты на измеряемой линии сопровождается погрешностью Δl. Погрешность Δl может быть с плюсом и минусом, т. е. действительная длина l рабочей ленты может быть больше (длиннее) или меньше (короче) номинальной l_0.

Действительную длину измеряемой линии D определяют по формуле

$$D = D_{\text{изм}} + n\ \Delta l,$$

где n — число укладок ленты, Δl — поправка за компарирование.

§ 21. Способы измерения линий мерными приборами

Длина линии может быть измерена либо путем укладки мерного прибора по земле, либо измерениями «на вису». Измерение по земле дает менее точные результаты, чем измерение «на вису». При изысканиях и геодезических съемках линии измеряют по земле 20-метровыми стальными лентами. На наклонных участках для вычисления горизонтального проложения линии определяют угол наклона с помощью вертикального круга угломерного прибора. При точных наземных и подземных геодезических измерениях линии измеряют «на вису» отдельными отрезками между целиками, укрепленными на специальных штативах. Для определения горизонтальных проложений отдельных отрезков измеряемой линии целики нивелируют. В подземных условиях вместо целиков и штативов для вешения линии часто пользуются отвесами, закрепленными в створе измеряемой линии на расстояниях, примерно равных длине рулетки (проволоки) (рис. 19).

Одновременно с вешением на нитях отвесов на уровне, удобном для производства измерения, отмечают узелками горизонты, общие для каждой пары отвесов. Для линейных измерений, про-

водимых в подземных условиях, применяют стальные проволоки и рулетки длиною 20, 24, 30, 48 и 50 м.

В комплект приборов, необходимых для измерения линий проволокой по штативам, входят: 1) измерительная проволока длиною 24 м, 2) штативы с закрепленными на них целиками, имеющими крестообразные насечки, 3) два блочных штатива с двумя грузами по 10 кг и тросиками для натяжения проволоки,

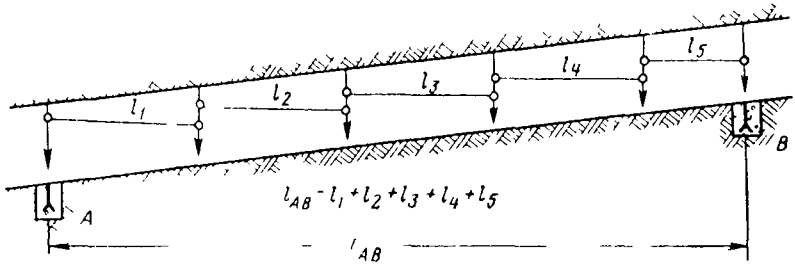


Рис 19 Измерение линий отрезками по отвесам

4) 24-метровый стальной тросик для расстановки штативов, 5) стальная рулетка и держатель для нее, 6) термометр-пращ

По теодолиту в створе линии расставляют штативы, намечая места их установки при помощи тросика (рис 20)

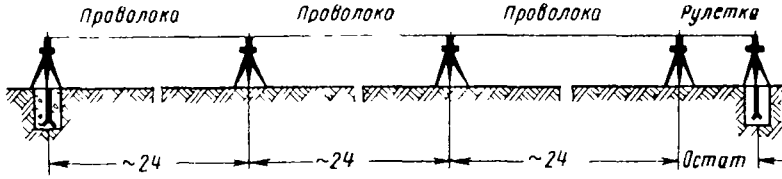


Рис 20 Схема измерения линии «на весу» по отвесам

После установки штативов производится нивелирование их целиков

Далее к концам проволоки прикрепляют тросики блочных штативов и подвешивают к ним грузы Уравновешивают грузы так, чтобы середины шкал примерно находились над целиками смежных штативов.

После этого наблюдатели по команде одновременно берут по обеим шкалам отсчеты до 0,1 мм Отсчеты повторяют трижды, сдвигая каждый раз проволоку на новые деления. При удовлетворительной сходимости разностей отсчетов из них берут среднее и переходят к измерению следующего отрезка и т д

Длина измеряемого отрезка (пролета) равна длине проволоки, сложенной с разностью отсчетов по шкалам (передний минус задний).

Неполные пролеты измеряют стальной рулеткой При измерении записывают температуру воздуха

Таким же способом измеряют рулеткой отрезки между отвесами. Разность трех измерений каждого отрезка не должна превышать 2 мм для рулетки и 0,8 мм — для проволоки.

§ 22. Приведение длин наклонных линий к горизонту

Проекция наклонной линии AB на горизонтальную плоскость AB_1 называется горизонтальным проложением этои линии (рис 21)

Если линия AB наклонена к горизонту под углом ν, то на местности стальной лентой измеряют длину D, угломерным инструментом — угол наклона ν и по формуле

$$d = D \cos \nu$$

вычисляют ее горизонтальное проложение (проекцию) d Вычисление d можно производить при помощи таблиц логарифмов, таблиц натуральных значений тригонометрических функций и счетной машины или таблиц приращении координат

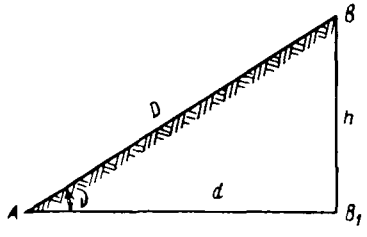


Рис 21 Горизонтальное проложение линии

На практике чаще всего вычисляют поправку за наклон линии Разность между длинои наклоннои линии D и ее проекциеи d называют поправкои ΔD за наклон линии, т е

$$\Delta D = D - d = D - D \cos \nu = D(1 - \cos \nu) = 2D \sin^2 \frac{\nu}{2}.$$

На практике применяется и другои способ определения ΔD. В этом случае вертикальный угол ν не измеряется, а взамен этого нивелируются конечные точки линии Тогда поправка ΔD определяется по формуле

$$\Delta D = \frac{h^2}{2D},$$

где h — превышение концов линии

Длина наклоннои линии D всегда больше длины проекции d, поэтому для получения горизонтального проложения поправку ΔD всегда вычитают из измереннои длины наклоннои линии D, т е.

$$d = D - \Delta D$$

§ 23. Дальномеры

Приборы, которыми измеряют линии без мерных инструментов (лент, рулеток, проволок), называют дальномерами.

В гопографо-геодезических работах применяют оптические, свето- и радиодальномеры, в последнее время появились лазерные дальномеры.

Оптические дальномеры подразделяются на нитяные и двойного изображения. Свето- и радиодальномерами можно с высокой точностью выполнять линейные измерения больших расстояний.

Простейшим и наиболее распространенным дальномером является нитяный, которым снабжены все зрительные трубы теодолитов.

Для определения таким дальномером длины линии достаточно установить на одном конце этой линии теодолит, а на другом — рейку с делениями. Подсчитав по количеству делений рейки длину ее отрезка, помещающегося между дальномерными нитями трубы, и зная коэффициент дальномера, вычисляют расстояние.

§ 24. Способы съемки ситуации

Съемочно-измерительные работы, по результатам которых определяют плановое положение точек местности относительно опорных точек и линий, называют съемкой подробностей (ситуации), производимой после проложения основных и диагональных ходов.

В зависимости от условий местности и геометрических формул снимаемых предметов съемку ситуации производят одним из следующих способов:

1. *Способ перпендикуляров и засечек от линии съемочного обоснования* (рис. 22). Для каждого перпендикуляра необходимо измерить расстояние по ходу от начальной точки до перпендикуляра, а также длину самого перпендикуляра.

2. *Способ промеров с вехи на веху* (*способ створов*) (рис. 23). Этот способ применяется в случаях видимости с точки теодолитного хода на другую точку, которую можно выставить в створе двух смежных точек хода. Съемка ситуации производится перпендикулярами от полученной таким образом линии.

В этом способе не измеряются ни углы, ни направления. Способ очень простой, но в то же время дающий хорошие результаты.

3. *Способ обхода.* При съемке контуров закрытого участка (лесного, застроенного и др.) прокладывается замкнутый теодолитный ход так, чтобы его стороны располагались возможно ближе к контуру подлежащего съемке участка. В полученном многоугольнике измеряются все углы и линии. При измерении линий съемку контура производят от них перпендикулярами и засечками. Съемочный ход *abcd* должен быть привязан к опорной сети *4—5—6* (рис. 24, *а*).

4. *Полярный способ* применяют для съемки контуров, открытых для сквозного просмотра (кустарники, болота и др.), а также отдельно стоящих предметов (мачты, столбы, колодцы и т. д.) местности.

Для съемки примерно в центре контура определяют теодолитную точку *M*. Устанавливают на ней теодолит и визируют на точку теодолитного хода *10*, принимая направление на нее за на-

чальное. Далее снимают все характерные точки контура полярным способом. Для этого на каждую точку устанавливают рейку и отсчитывают по горизонтальному кругу направление на нее, а по нитям дальномера определяют расстояние до точки.

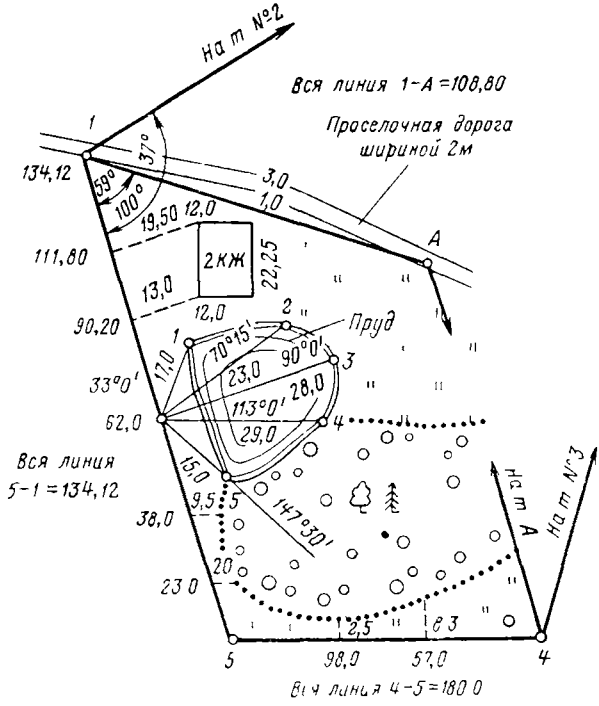


Рис 22 Абрис при полевых съемках

На листе абриса наносят съемочную точку, а также характерные точки контура, которые нумеруют. Рядом помещают табличку, в которую вписывают данные измерений (рис. 24, *б*, табл. 7).

5. *Способ угловых засечек.* Если на местности даны три точки *А*, *В* и *С* (рис. 25, *а*), причем положение точек *А* и *В* на плане из-

Таблица 7

№ точек	Отсчеты по горизонтальному кругу	Расстояния, м	Примечания
10	0° 0′	36,7	
1	59° 35′	42,6	
2	97° 20′	40,7	
3	131° 45′	40,7	
		и т д	

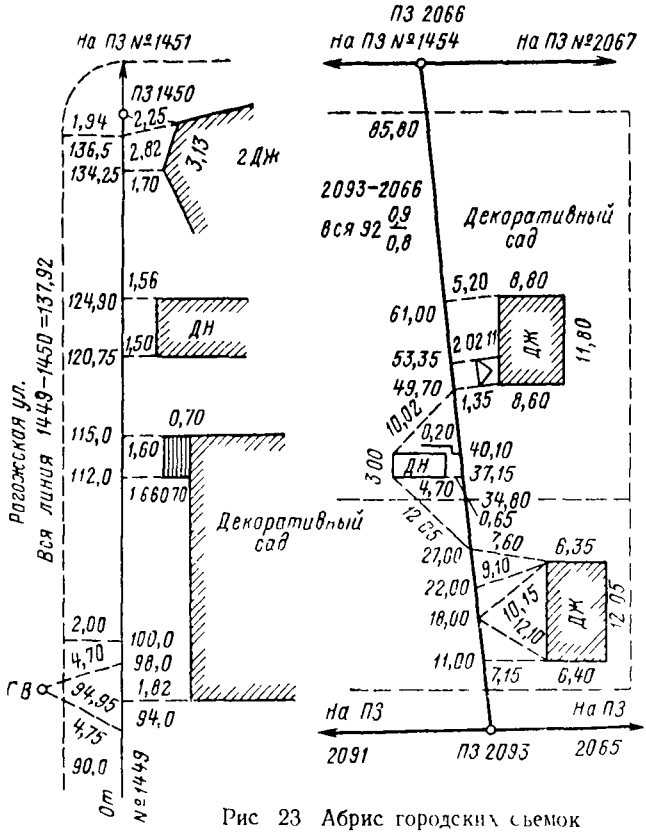


Рис 23 Абрис городских съемок

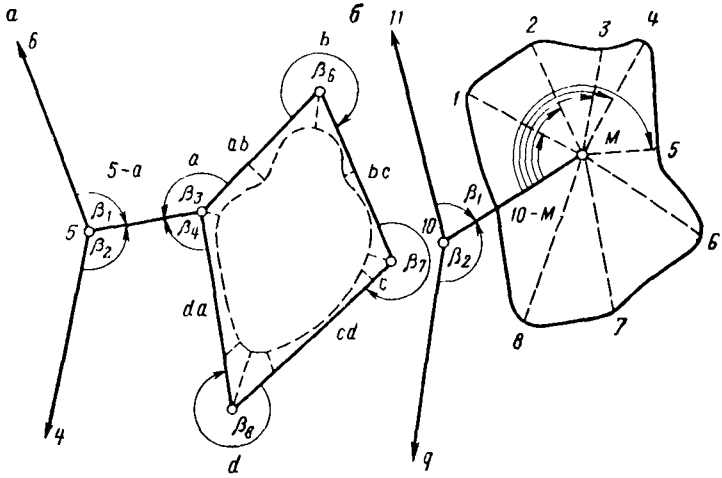


Рис 24 Съемка

а — обходом, *б* — полярным способом

вестно, а положение третьей точки C нужно определить, то для этого следует измерить теодолитом углы в точках A и B. Тем самым треугольник ABC будет определен. Этот прием называется прямой засечкой. Если в одной из данных точек встать с теодолитом нельзя, например в точке B, то измеряют углы в точке A и в определяемой точке C. По полученным данным также можно определить положение точки C. Это будет случай обратной засечки.

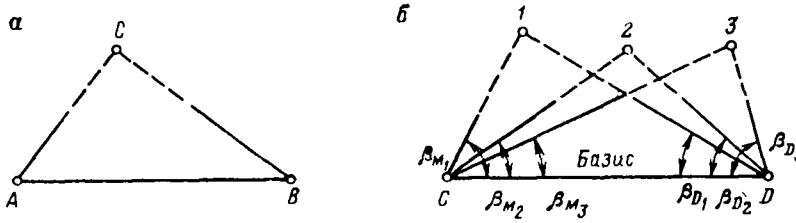


Рис. 25. Съемка засечками
а — прямыми; *б* — угловыми

Для надежного определения положения точки нужно, чтобы при определяемой точке C угол был не менее 30° и не более 150°.

Способ засечки обычно применяется при определении неприступных расстояний (рис. 25, *б*).

II. Камеральные работы

§ 25. Обработка результатов съемки

Камеральные работы при теодолитной съемке складываются из обработки результатов полевых измерений, вычисления координат точек и составления плана.

Вначале с помощью транспортира составляют схематический чертеж теодолитных ходов по измеренным на местности горизонтальным проложениям сторон и горизонтальным углам. У вершин теодолитного хода надписывают средние значения углов, а против каждой стороны — горизонтальные проложения.

Угловая невязка. Ведомость для вычисления прямоугольных координат точек замкнутого теодолитного хода приведена в табл. 8. В графе 1 этой ведомости записывают номера вершин теодолитного хода. В графу 2 вносят из полевого журнала средние значения измеренных горизонтальных углов. После этого измеренные углы проверяют, для чего полученную сумму их $\sum \beta_{изм}$ сравнивают с теоретической суммой $\sum \beta_{теор}$ внутренних углов для плоского многоугольника, которая равна $\sum \beta_{теор} = 180\ (n - 2)$, где n — число углов в замкнутом многоугольнике. Полученная разность между этими суммами

$$f_\beta = \Sigma\beta_{изм} - \Sigma\beta_{теор}$$

Таблица 8

Ведомость вычисления координат

№ точек	Измеренные углы		Исправленные углы		Дирекционные углы		Румбы	Горизонтальное проложение линий	Вычисленные приращения		Исправленные приращения		Координаты	
									Δy	Δx	Δy	Δx	y	x
1	2		3		4		5	6	7	8	9	10	11	12
1	83°	16,0′	83°	16,2′									100,00	0,00
					325°	10,0′	СЗ 34 | 50,0	160,03	—1 —91,41	—1 +131,36	—91,42	+131,37		
2	68	44,0	68	44,3									8,58	131,37
					76	25,7	СВ 76 | 25,7	119,02	+115,70	+1 +27,93	+115,70	+27,94		
3	115	32,0	115	32,2									124,28	159,31
					140	53,5	ЮЗ 39 | 06,5	103,20	- 65,10	—80,08	+65,10	—80,08		
4	92	27,0	92	27,3									189,38	79,23
					228	26,2	ЮВ 48 | 26,2	119,44	—1 —89,37	—1 —79,24	—89,38	—79,23		
													100,00	0,00
1									+180,80	+159,29	+180,80	+159,31		
$\Sigma\beta_{изм}$	359°	59,0′	360	00,0					—180,78	—159,32	—180,80	—159,31		
$\Sigma\beta_{нор}$	360	00,0			325	10,9								
f_β		—01,0′												

$$P = 501{,}69 \sum \Delta y - - 0{,}02 \sum \Delta x - —0{,}03 \sum \Delta y = 0{,}00 \sum \Delta x = 0{,}00$$

$$\Delta P = \sqrt{(f_y)^2 + (f_x)^2} = \sqrt{0{,}02^2 + 0{,}03^2} = 0{,}04$$

$$\frac{\Delta P}{P} \quad \frac{0{,}04}{501{,}69} = \frac{1}{12\,542}.$$

называется угловой невязкой. Предельная величина ее не должна превышать $f\beta_{\text{пред}} \leqslant 2t\sqrt{n}$, где t — точность верньера (микроскопа) горизонтального круга теодолита.

Если полученная угловая невязка не превышает допустимую, ее нужно распределить по измеренным углам таким образом, чтобы сумма их равнялась теоретической. Для исправления измеренных углов надо внести в них поправки со знаком, обратным знаку полученной невязки. Сумма поправок по абсолютной величине должна равняться величине невязки. Исправленные углы вписываются в графу 3 ведомости.

Поправки можно вводить поровну во все углы или только в те из них, которые образованы короткими сторонами, полагая, что эти углы измерены с большей погрешностью, чем остальные.

§ 26. Вычисление дирекционных углов сторон замкнутого теодолитного хода

Для вычисления дирекционных углов (графа 4 табл. 8) необходимо знать дирекционный угол одной из сторон хода. Исходный дирекционный угол получают в результате привязки одной из сторон хода к стороне, дирекционный угол которой известен.

Для проверки вычисленных дирекционных углов необходимо к полученному дирекционному углу последней стороны хода прибавить 180° и вычесть угол при первой вершине. Если в результате этого получится дирекционный угол исходной стороны, то вычисления дирекционных углов выполнены правильно.

По дирекционным углам вычисляют румбы, которые записывают в графу 5.

Вычисление приращений координат

В качестве примера в табл. 8 приведено вычисление приращений и координат вершин замкнутого четырехугольника. Имея вычисленные горизонтальные проложения (графа 6) сторон теодолитного хода и их дирекционные углы, приступают к вычислению приращений прямоугольных координат, пользуясь формулами (§ 13)

$$\Delta x = d\cos\alpha = \pm d\cos r;$$

$$\Delta y = d\sin\alpha = \pm d\sin r.$$

Приращения координат по этим формулам вычисляют по специальным таблицам или по таблицам натуральных значений тригонометрических функций. Вычисленные приращения записываются в графы 7 и 8. Знаки приращений определяют по наименованию румба (см. табл. 4).

§ 27. Линейные невязки в приращениях координат замкнутого теодолитного хода

Для контроля все приращения вычисляют дважды. После проверки вычислений берут алгебраическую сумму по x, обозначаемую $\sum \Delta x$, и по y — $\sum \Delta y$. Практически поступают следующим образом.

В графе 8 табл. 8 складывают отдельно положительные Δx (+159,29) и отдельно отрицательные (—159,32). Из большего числа вычитают меньшее и ставят знак большего. Так получают $\sum \Delta x = -0{,}03$; подобным приемом определяют $\sum \Delta y = +0{,}02$.

Приращения координат являются проекциями горизонтальных расстояний сторон теодолитного хода на оси координат. Из аналитической геометрии известно, что сумма приращений координат замкнутого многоугольника равна нулю. Поэтому в замкнутом теодолитном полигоне сумма приращений координат на любую ось должна быть равна нулю, т. е.

$$\Sigma \Delta x = 0; \quad \Sigma \Delta y = 0.$$

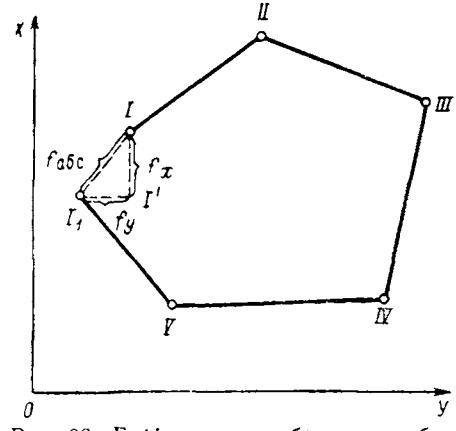


Рис 26 Графическое изображение абсолютной линейной невязки

Вследствие неизбежных погрешностей в измеренных углах и линиях теоретические и фактические суммы приращений не совпадают, т. е. имеются невязки

$$f_x = \Sigma \Delta x'; \quad f_y = \Sigma \Delta y'.$$

В результате полученных невязок f_x и f_y замкнутый теодолитный полигон окажется разомкнутым на некоторую величину, называемую абсолютной линейной невязкой и обозначаемую ΔP.

Проекции абсолютной линейной невязки на оси координат соответственно равны f_x и f_y. Из прямоугольного треугольника $I—I'—I_1$ (рис. 26) абсолютная невязка равна

$$\Delta P = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}.$$

Абсолютная невязка относится ко всему периметру полигона, поэтому по ее величине, без учета периметра, нельзя судить о точности измерений. За критерий оценки точности теодолитного полигона принимают относительную невязку (погрешность $\frac{\Delta P}{P}$, отношение абсолютной невязки ΔP к периметру P полигона,

где P — сумма горизонтальных проложений сторон теодолитного хода, т. е. периметр полигона).

Допустимую относительную невязку для благоприятных условий местности принимают 1 : 2000, для средних условий 1 : 1500 и при неблагоприятных — 1 : 1000.

Если абсолютная невязка недопустима, то тщательно проверяют полевой журнал и весь вычислительный материал. При отсутствии погрешностей в журнале и вычислениях производят контрольное измерение длин сторон полигона.

Если относительная погрешность допустима, то допустимы и невязки f_x и f_y, которые распределяют с обратным знаком пропорционально длинам горизонтальных проложений сторон.

Поправки в приращения координат записывают над вычисленными приращениями в графах 7 и 8. Затем подсчитывают и записывают в графах 9 и 10 значения исправленных приращений. Сумма исправленных приращений должна быть равна нулю.

Далее подсчитывают и записывают в графах 11 и 12 значения координат для каждой вершины теодолитного хода. Координаты вычисляют последовательно от начальной до конечной точки по исправленным приращениям. Координаты последующей точки равны координатам предыдущей точки плюс (алгебраически) исправленные приращения, т. е.

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{1-2}; \quad y_2 = y_1 + \Delta y_{1-2};$$

$$x_3 = x_2 + \Delta x_{2-3}, \quad y_3 = y_2 + \Delta y_{2-3}.$$

§ 28. Построение координатной сетки

Для составления плана теодолитной съемки необходимо иметь чертежную бумагу хорошего качества, на которой разбивают сетку квадратов со сторонами 10 см, по координатам наносят вершины полигона, а затем ситуацию по абрисам.

Координатную сетку разбивают при помощи линейки Дробышева или циркуля-измерителя и масштабной линейки. Линейка Дробышева (рис. 27, *а*) представляет собой металлическую линейку с шестью окнами, расположенными на расстоянии 10 см. Одно длинное и одно короткое ребро линейки и одна из граней окон, расположенных перпендикулярно к оси линейки, скошены под углом. Край скошенной грани первого окна представляет прямую линию. Края остальных скошенных граней представляют дуги окружностей, радиусы которых соответственно равны 10, 20, 30, 40, 50 и 70, 711 см от центра в конце штриха, нанесенного по оси линейки на скошенной грани первого окна.

Линейкой Дробышева можно построить квадрат со сторонами 50 см или прямоугольник со сторонами 30×40 см; в первом случае по катетам 50 см и гипотенузе 70, 711 см, а во втором — по катетам 30 и 40 см и гипотенузе 50 см.

Для построения сетки линейку кладут по диагонали листа и по краю длинной скошенной грани остро отточенным карандашом проводят линию (рис. 27, *б*); смещая линейку параллельно прочерченной линии, устанавливают ее так, чтобы конец штриха на краю скошенной грани первого окна совместился с прочерченной линией, а последняя — с осью линейки. Остро отточенным карандашом вдоль скошенных краев первого окна и торцевого конца

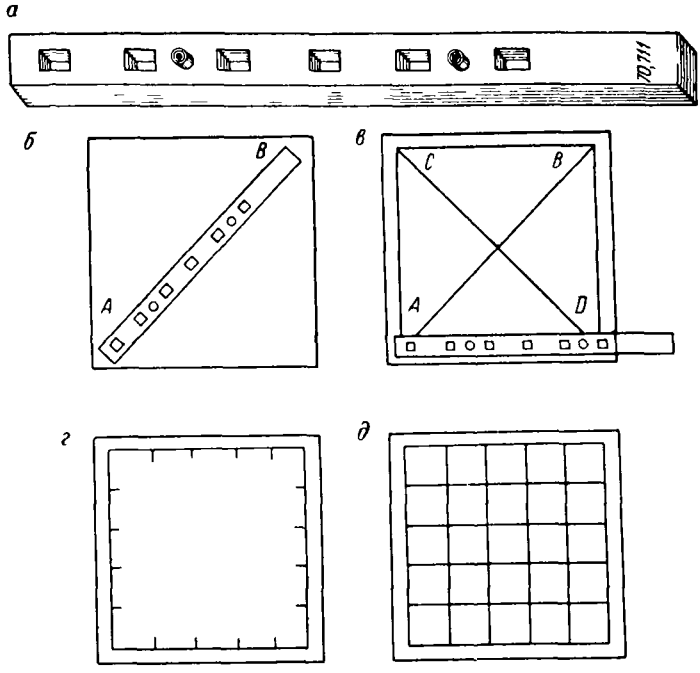


Рис. 27. Построение координатной сетки

а — линейка Дробышева, *б*, *в*, *г*, *д* — построение координатной сетки

линейки прочерчивают две линии. Пересечения их с линией, прочерченной вдоль диагонали, дают точки A и B (рис. 27, *в*). Расстояние между ними равно 70,711 см, т. е. длине гипотенузы прямоугольного треугольника с катетами по 50 см. Для получения остальных вершин квадрата поочередно совмещают конец штриха на скошенном крае первого окна с точками A и B; радиусами 50 см прочерчивают дуги AC и BC, AD и BD, пересечением которых получают другие вершины квадрата C и D. Расхождения между длинами диагоналей AB и CD не должны превышать 0,3 мм. При большем расхождении построение квадрата следует произвести заново.

Построенный квадрат со сторонами 50 см разбивают на малые квадраты со сторонами 10 см (рис. 27, *г*, *д*). Для этого, совместив конец штриха на скошенном крае первого окна с начальной точ-

кой, а ось линейки с каждой стороной квадрата *ABCD* (см. рис. 27, *в*), вдоль скошенных краев окон прочерчивают линии.

Расстояния между пересечениями этих линий со сторонами квадрата получатся 10 см (см. рис. 27, *д*). Противоположные пересечения соединяют прямыми линиями и получают сетку квадратов со сторонами 10 см.

При правильном построении сетки квадратов вершины малых квадратов должны лежать на диагоналях большого квадрата или на линиях, параллельных им. Расхождения между диагоналями маленьких квадратов не должны превышать 0,3 мм. При несоблюдении этих условий сетку строят заново.

Для построения координатной сетки квадратов циркулем и масштабной линейкой на листе бумаги остро отточенным карандашом проводят диагонали. От пересечения их по всем четырем направлениям откладывают произвольные, но равные между собой расстояния. Соединив точки, полученные на диагоналях, прямыми линиями, строят прямоугольник. Стороны четырехугольника делят пополам. Полученные средние точки противоположных сторон прямоугольника соединяют прямыми линиями, которые обязательно должны проходить через пересечение диагоналей. Далее от средних точек по сторонам прямоугольника в обе стороны откладывают отрезки по 10 см и точки одноименных делений противоположных сторон соединяют прямыми. Правильность построения сетки квадратов проверяют так же, как и в первом случае, после чего лишние линии стирают и получают сетку квадратов.

§ 29. Накладка точек и контуров на план

После построения и проверки координатной сетки обозначают цифрами ее углы в соответствии с координатами вершин теодолитного полигона.

Для этого из ведомости координат выписывают наибольшие и наименьшие значения x и y и находят разности. По разностям максимальных и минимальных значений координат определяют размер плана по x и y и устанавливают число квадратов в координатной сетке, необходимое для составления плана в заданном масштабе.

Подпись координатной сетки показана на рис. 28.

Абсциссы подписывают сбоку вертикальных линий симметрично выходам линий ординат; ординаты — симметрично над и под линиями абсцисс. На расстоянии 16 мм от координатной сетки вычерчивают оформительную рамку толщиной 2 мм.

После оцифровки координатной сетки на план наносят вершины теодолитного полигона по их координатам. Для этого сначала находят квадрат, внутри которого расположена искомая точка.

Затем из абсциссы точки вычитают меньшую абсциссу стороны квадрата и полученную разность, взятую в масштабе плана,

откладывают на вертикальных линиях квадрата, а точки соединяют прямой линией. Далее из ординаты точки вычитают меньшую ординату стороны квадрата и полученную разность, взятую в масштабе плана, от точки с наименьшей ординатой откладывают по прочерченной линии и находят искомую вершину теодолитного хода. Аналогично наносят и все остальные вершины хода.

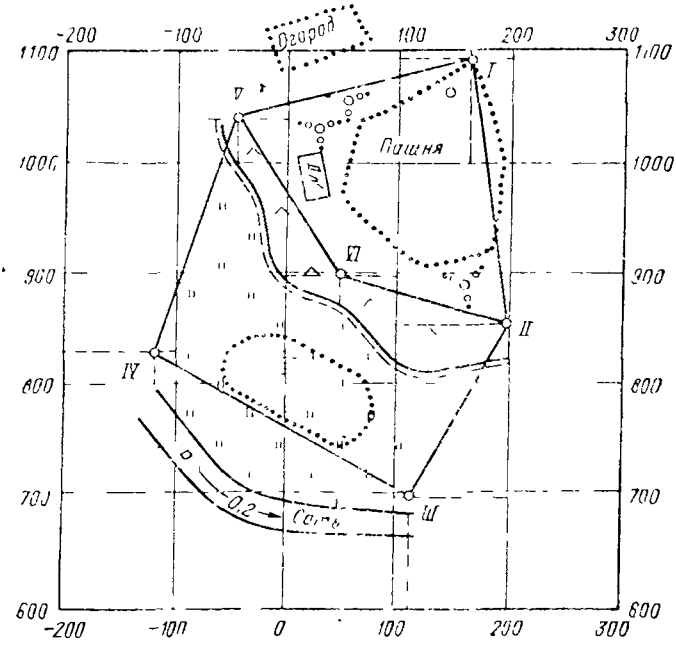


Рис 28 Подпись координатной сетки

Правильность нанесения вершин хода по координатам проверяют по горизонтальным расстояниям между ними. Для этого на плане измеряют расстояния между вершинами хода и сравнивают с соответствующими горизонтальными проекциями. Расхождение допускается не более 0,2 мм на плане.

После этого приступают к нанесению на план контуров и местных предметов по данным абриса съемки подробностей. Прежде всего накладывают предметы местности, съемку которых производили способом обхода. Контуры, снятые перпендикулярами, накладывают с помощью масштабной линейки и треугольника. Линейкой отмеряют расстояния по ходу линии, а треугольником восставляют перпендикуляр и откладывают его величину.

Точки, снятые полярным способом, накладывают с помощью большого транспортира, который прикладывают к линии так, чтобы центр его совместился с точкой стояния теодолита. По записям в абрисе транспортиром откладывают измеренные направления, затем убирают транспортир и соединяют точку стояния

инструмента с каждой из отмеченных точек. На полученных линиях откладывают расстояния, измеренные по дальномеру. Точки контуров, снятые угловыми засечками, накладывают тем же способом, которым выполнялись измерения, т. е. их получают путем пересечения направлений, отложенных транспортиром.

Точки, снятые линейными засечками, получают на планах засечками циркулем-измерителем.

Все местные предметы и контуры после нанесения их на план и вычерчивания в карандаше обводят тушью соответствующего цвета.

ГЛАВА III

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 30. Общие сведения о нивелировании

Нивелирование является одним из видов вертикальной съемки, имеющей целью определение превышений и высот точек.

Высоты (абсолютные отметки) точек необходимы при строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений, для обоснования геодезических съемок, для изучения форм рельефа и т. п.

Разность уровней или превышение h одной точки местности над другой может определяться различными методами и инструментами. Различают геометрическое, тригонометрическое, барометрическое, гидростатическое, механическое и аэрорадионивелирование. Геометрическое нивелирование выполняется горизонтальным лучом визирования и основано на теоремах геометрии. Тригонометрическое, в отличие от геометрического, ведется наклонным лучом визирования, и превышения вычисляют по формулам тригонометрии. Барометрическое нивелирование основано на определении величины атмосферного давления барометром. Известно, что плотность воздуха с поднятием на высоту уменьшается, поэтому по измеренному барометром давлению можно определить высоту точек. При гидростатическом нивелировании превышения определяют по уровню жидкости в сообщающихся сосудах.

В последние годы при решении многих инженерных задач находит применение механическое или автоматическое нивелирование, выполняемое особыми приборами — профилографами (установленными на автомашинах, велосипедах и др.), вычерчивающими профиль проходимого пути.

§ 31. Геометрическое нивелирование

Геометрическое нивелирование — метод определения превышения точек горизонтальным лучом визирования. Оно производится особым инструментом, который называется нивелиром и предназначен для того, чтобы достаточно точно давать горизонтальный луч зрения. В своем общем виде нивелир представляет собой такое сочетание зрительной трубы и цилиндрического уровня, при котором визирная ось трубы параллельна

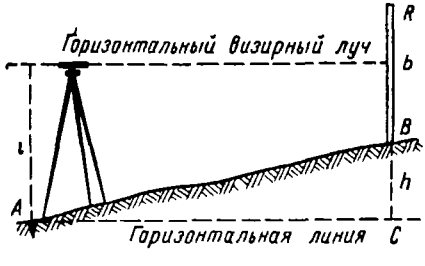


Рис. 29 Нивелирование вперед

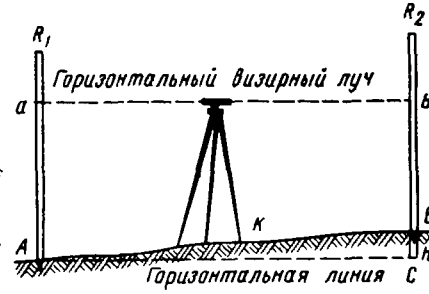


Рис 30 Нивелирование из середины

оси уровня и, следовательно, горизонтальна, если пузырек уровня стоит на середине ампулы. Необходимыми принадлежностями всякого нивелира, всегда ему сопутствующими, являются специальные нивелирные рейки с сантиметровыми делениями.

При помощи такого инструмента и реек работа по определению превышения может быть произведена по двум основным схемам. Можно в одной точке, например A (рис 29), поставить нивелир, а в другой точке B — отвесно рейку. Тогда, очевидно, будет иметь место равенство

$$h = i - b,$$

где h — искомое превышение, i — высота горизонтального луча зрения над точкой A, называемая высотой инструмента, а b — отсчет, который даст горизонтальный луч зрения на рейке и который называется взглядом вперед (по ходу работы). Следовательно, по этой схеме превышение равно высоте инструмента минус взгляд вперед. Но можно поступить иначе, а именно — поставить нивелир между точками A и B (рис. 30), а в обеих этих точках — по рейке. Тогда:

$$h = a - b,$$

где a — отсчет по задней рейке, или взгляд назад, а b — отсчет по передней рейке, т. е. взгляд вперед. Следовательно, по этой второй схеме превышение равно взгляду назад минус взгляд вперед. Если

$i < b$ или $a < b$, то превышение h получится отрицательное, т. е. точка B ниже точки A.

Нивелирование по первой схеме называется нивелированием вперед, или нивелированием с конца линии, а по второй — нивелированием из середины линии. В обоих случаях искомая величина превышения получается как результат непосредственного вычитания из одного вертикального отрезка другого.

Зная отметку H_A точки A и превышение ее h над точкой B, легко получить отметку точки B (см. рис. 30)

$$H_B = H_A + h,$$

т. е. абсолютная отметка последующей точки равна абсолютной отметке предыдущей точки плюс соответствующее превышение.

Абсолютные отметки точек, превышение которых определено с одной станции, удобно вычислять через абсолютную отметку горизонта инструмента, т. е. через абсолютную отметку $H_{ГИ}$ визирной оси нивелира,

$$H_{ГИ} = H_A + a,$$

тогда отметка любой точки, пронивелированной с данной станции,

$$H_i = H_{ГИ} - b_i$$

§ 32. Поправки за кривизну Земли и рефракцию

Поправка за кривизну Земли. Поправка за кривизну Земли при определении высоты точки земной поверхности выражается формулой

$$q = \frac{S^2}{2R},$$

где S — длина визирного луча от инструмента до рейки, R — радиус Земли, равный 6371 км. Поправка за кривизну Земли растет пропорционально квадрату расстояния; следовательно, пренебрегать ею нельзя даже при сравнительно коротких расстояниях; например, при расстояниях, равных 100, 200, 300, 1000 м, соответственно q равно 0,8; 3,1; 7,1; 78 мм.

Поправка за рефракцию. Влияние рефракции состоит в том, что слои земной атмосферы имеют различную плотность и температуру, поэтому визирный луч, проходя через слои атмосферы разной плотности, отклоняется от горизонтального положения.

Из многочисленных наблюдений определено, что влияние рефракции составляет 0,16 влияния кривизны Земли, т. е.

$$r = \frac{1}{7} q.$$

При способе нивелирования вперед в превышение входит суммарная погрешность в отсчет по рейке за кривизну Земли и рефракцию, равная

$$f = q - r = \frac{S^2}{2R} - \frac{1}{7} \cdot \frac{S^2}{2R} = 0{,}42 \frac{S^2}{2R}.$$

Поправка за счет этой погрешности вводится всегда со знаком минус. При расстоянии от нивелира до точки $K = 100$ м $f = 0{,}7$ мм.

Сравнение двух способов геометрического нивелирования позволяет установить, что способ нивелирования из середины дает бо́льшую точность, чем способ нивелирования вперед, по следующим причинам:

1) при равных расстояниях от нивелира до реек погрешности вследствие непараллельности визирной оси нивелира и оси цилиндрического уровня взаимно погашаются;

2) по той же причине отпадает необходимость введения поправок за кривизну Земли и рефракцию визирного луча.

Кроме того, при сравнении его со способом нивелирования вперед оно выполняется быстрее и точнее приблизительно в 1,5 раза. Поэтому на практике применяют нивелирование из середины.

§ 33. Нивелиры и нивелирные рейки

Современные нивелиры делят на высокоточные, предназначенные для нивелирования I и II классов; точные — для нивелирования III и IV классов и технические — для технического нивелирования и инженерно-геодезических работ.

Нивелир НЗ. На рис. 31 показан нивелир НЗ — точный глухой нивелир с контактным уровнем и элевационным винтом. Нивелир НЗ предназначен преимущественно для нивелирования III класса, имеет зрительную трубу с увеличением 31 ×. Его применяют также и на инженерных работах.

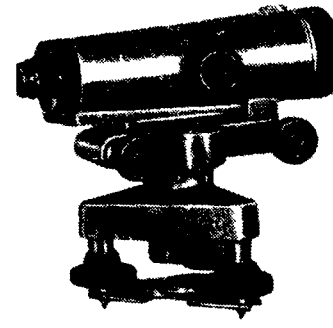


Рис. 31. Нивелир НЗ

Цилиндрический уровень нивелира прикреплен сбоку к зрительной трубе, имеющей внутреннюю фокусировку, и закрыт коробкой, в которой со стороны окуляра имеются четыре исправительных винта, при помощи которых один конец оправы цилиндрического уровня можно перемещать в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Предварительную установку инструмента в рабочее положение на каждой станции производят при помощи подъемных винтов по

круглому уровню, а точное совмещение концов пузырька цилиндрического уровня в момент отсчета по рейке достигается вращением элевационного винта.

Поверки нивелира Н3. Перед работой необходимо произвести поверки нивелира. Должны быть выполнены следующие условия.

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения инструмента.*

Пользуясь подъемными винтами, совмещают пузырек круглого уровня с центром ампулы и вращают верхнюю часть нивелира

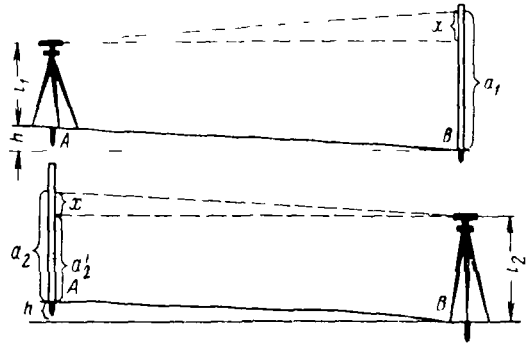


Рис 32. Схема двойного нивелирования

вокруг оси на 180°. Если пузырек уровня будет оставаться в центре ампулы, то условие выполнено. В противном случае исправительными винтами круглого уровня перемещают пузырек его на половину дуги отклонения, а на вторую половину — подъемными винтами. Так повторяют эти действия, пока будет выполнено поверяемое условие.

2. *Горизонтальная нить сетки должна быть горизонтальна.*

Приведя ось вращения нивелира в вертикальное положение, наводят горизонтальную нить сетки на рейку и, закрепив трубу, передвигают ее наводящим винтом в горизонтальной плоскости так, чтобы нить сетки перемещалась поперек рейки от одного своего конца до другого. Если при этом перемещении отсчеты по рейке получаются одни и те же, то условие выполнено. В противном случае можно ослабить винты сетки, повернуть ее и повторять поверку до удовлетворения условия.

3. *Ось цилиндрического уровня и визирная ось зрительной трубы должны находиться в отвесных параллельных плоскостях, когда основная ось нивелира отвесна.*

Для выполнения этой поверки приводят нивелир в горизонтальное положение и ставят трубу в направлении одного из подъемных винтов. Затем элевационным винтом добиваются контакта концов пузырька уровня и делают отсчет по рейке. Действуя подъемными винтами, придают нивелиру некоторый боковой уклон, следя а тем, чтобы отсчет по рейке не менялся, и одновременно

замечают положение концов пузырька уровня. После чего приводят нивелир в исходное положение, проверяют, сохранился ли отсчет на прежнем месте рейки, а затем вновь наклоняют нивелир теми же подъемными винтами, но в противоположную сторону, также сохраняя неизменным отсчет по рейке. Если изображение концов пузырька не разойдется или разойдется в ту же сторону, что и при первом наклоне, то условие параллельности соблюдено. При отклонении концов пузырька в другую сторону более чем на два деления положение оси уровня исправляют боковыми исправительными винтами уровня.

4. *Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня.* Это условие поверяют способом двойного нивелирования (рис. 32).

На местности с небольшим уклоном забивают два колышка A и B на расстоянии 50—70 м один от другого. В точке A устанавливают нивелир так, чтобы окуляр его проектировался над точкой A, а в точке B — рейку и берут по рейке отсчет a_1. Одновременно при помощи рейки измеряют высоту инструмента i_1 над точкой A. Очевидно, что в отсчет a_1 входит погрешность x из-за непараллельности визирной оси и оси уровня. Тогда превышение между A и B

$$h = a_1 - x - i.$$

Далее, меняя местами нивелир и рейку, берут отсчет a_2 по рейке и измеряют i_2. Величина превышения h из второго нивелирования составит

$$h = i_2 + x - a_2.$$

Приравняв правые части полученных двух выражений, найдем

$$a_1 - x - i = i_2 + x - a_2$$

или

$$2x = (a_1 + a_2) - (i_1 - i_2),$$

откуда

$$x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}.$$

Если визирная ось параллельна оси уровня, то $x = 0$, а, следовательно,

$$\frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{i_1 + i_2}{2},$$

т. е. при двойном нивелировании сумма отсчетов по рейкам должна равняться сумме высот нивелира над точками. Если значение x не превышает 4 мм для расстояния в 70 м от нивелира до рейки, то поверяемое условие считают выполненным. В противном случае, действуя элевационным винтом, совмещают среднюю гори-

зонтальную нить сетки с точкой на рейке, соответствующей исправленному отсчету a_2' (см. рис. 32): $a_2' = a_2 - x$; после этого пузырек цилиндрического уровня отойдет от центра ампулы. Для совмещения пузырька уровня с центром ампулы пользуются исправительными винтами этого уровня.

Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования

Инструменты с самоустанавливающейся линией визирования типа НС имеют компенсаторы, автоматически приводящие визирную ось в горизонтальное положение.

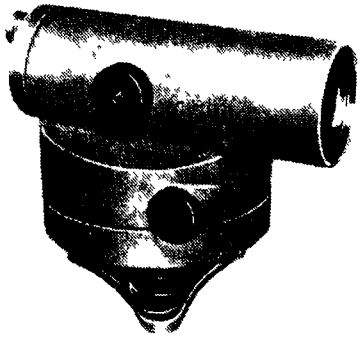


Рис 33 Нивелир НС4

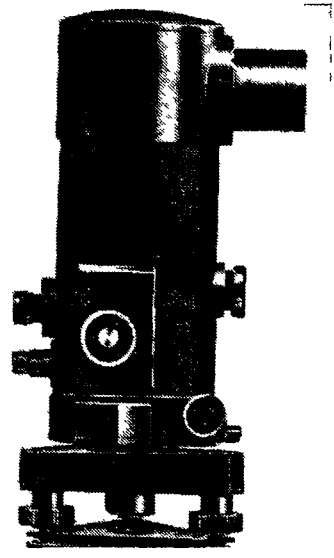


Рис 34 Нивелир Кони 007

Благодаря такому усовершенствованию нивелировщик освобожден от наблюдения за пузырьком уровня перед отсчетом по рейке. К отечественным нивелирам этой конструкции относятся инструменты НС2, НС3, НСМ2, НСМ2а, НС4.

Оптико-механическая промышленность выпускает нивелиры следующих типов: Н3, НС3, НС4, НТ, НТС и НЛС.

Точный нивелир НС3 с самоустанавливающейся линией визирования предназначен для нивелирования III класса. Средняя квадратическая погрешность на 1 км хода не превышает ± 4 мм, а на одной станции — не более $\pm 1{,}5$ мм. Рейки от нивелира устанавливают не далее 75 м. Его используют также и на инженерных работах.

Точный нивелир НС4 (рис. 33) предназначен для нивелирования IV класса со средней квадратической погрешностью ± 8 мм

на 1 км хода при расстояниях до реек не более 100 м. Погрешность определения превышения на станции — не более ±3 мм. Пользуются этим инструментом и для технического нивелирования.

Нивелир снабжен призменным компенсатором, обеспечивающим автоматическую установку линии визирования в горизонтальное положение при углах наклона инструмента в любом направлении в пределах ±15′. Точное визирование на рейку осуществляется с помощью винта бесконечной наводки вращением одного из двух его барабанчиков, расположенных с обеих сторон инструмента. Быстрая установка нивелира в рабочее положение производится по круглому уровню вращением подъемных винтов с увеличенным шагом резьбы.

В практике, наряду с отечественными нивелирами этой конструкции, употребляются аналогичные зарубежные инструменты, к которым, в частности, относятся изготовляемые фирмой Карл Цейсс нивелиры Ni007 и Ni025 (Кони 007 и Кони 025).

Нивелир Кони 025 предназначен для нивелирования III и IV классов, а также для технического нивелирования. Средняя квадратическая погрешность ±3 мм на 1 км хода.

Нивелир Кони 007 (рис. 34) позволяет работать в двух классах точности. При употреблении обычных нивелирных реек с сантиметровыми делениями средняя погрешность на 1 км двойного хода ±2 мм. С применением микрометра с плоскопараллельной пластинкой совместно с прецизионными нивелирными рейками с инварной лентой и 0,5 см делениями средняя погрешность на 1 км двойного хода ±0,5 мм.

Нивелирные рейки

Рейки, используемые при геометрическом нивелировании, бывают цельные и складные.

В соответствии с ГОСТ 11158—76 для нивелирования III и IV классов применяют рейки РН3 и РН4, а для технического — рейки РНТ.

Рейки изготовляют двутаврового сечения из сухой древесины хвойных пород толщиной 2—2,5 см, шириной до 10 см. Длина реек РНТ4м.

Рейки покрывают прочной масляной краской, нижний и верхний концы реек (пятки) обивают железными пластинками. На обеих сторонах рейки по белому фону нанесены сантиметровые деления (рис. 35), на одной стороне рейки, называемой черной, деления показаны черным цветом, а на другой, называемой красной, — красным цветом.

На черной стороне нуль совпадает с пяткой рейки и деления возрастают от 0 до 30 или 40 дм; на красной стороне с плоскостью пятки совпадает отсчет, равный 4687 и 4787 мм. На эту величину считается опущенным нуль красной стороны рейки. Две

рейки составляют комплект. В комплектных рейках на красных сторонах нули не совпадают на ±100 мм. На боковой стороне рейки иногда прикрепляют круглый уровень и две ручки, позволяющие держать рейку отвесно.

Перед использованием каждую рейку проверяют — компарируют; деления рейки должны быть одинаковыми и соответствовать их номинальной длине. Длину рейки и деления ее проверяют контрольным метром или выверенной стальной рулеткой с миллиметровыми делениями.

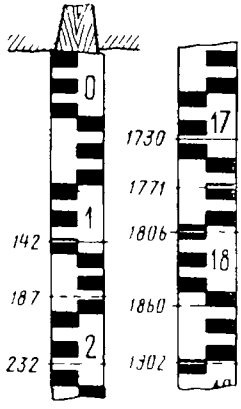


Рис. 35. Нивелирные рейки

Отсчеты берут по средней горизонтальной нити, причем в поле зрения трубы они возрастают сверху вниз; вначале отсчитывают метры и дециметры, затем сантиметры и на глаз миллиметры.

На рис. 35 приведены примеры отсчетов по рейке.

Рейки, применяемые в инженерно-техническом нивелировании, для приведения их в вертикальное положение не имеют уровней (или отвесов); поэтому если отсчет по рейке меньше 1 м, то ее устанавливают вертикально на глаз; если отсчет больше 1 м, то рабочий медленно покачивает рейку на себя и от себя в направлении луча визирования, а наблюдатель берет наименьший отсчет, что соответствует вертикальному положению рейки.

§ 34. Инженерно-техническое нивелирование

Нивелирование, связанное с проектированием и строительством инженерных сооружений, называют *инженерно-техническим нивелированием*.

В зависимости от вида сооружения для определения характерных точек рельефа на территории его размещения выполняют такие виды геометрического нивелирования:

1) продольное нивелирование;
2) поперечное нивелирование;
3) нивелирование площадей.

При изысканиях дорог, тоннелей и каналов для получения отметок продольного профиля трассы производят *продольное нивелирование*.

Для более подробного и полного изучения рельефа местности вдоль трассы с обеих ее сторон одновременно с продольным нивелированием выполняют нивелирование некоторой полосы вдоль трассы способом *поперечного нивелирования*, или способом *нивелирования площадей*, с тем, чтобы иметь данные для составления поперечных профилей.

Плановым геодезическим обоснованием при продольном нивелировании служит теодолитный ход, называемый магистральным ходом.

§ 35. Продольное и поперечное нивелирование по трассе линейного сооружения

Работы по продольному нивелированию узкой полосы земли состоят из полевых и камеральных работ. В полевые работы входит:

1) рекогносцировка трассы на местности;

2) разбивка оси трассы, провешивание магистрали, измерение углов поворота, разбивка пикетажа и главных точек кривых, нивелирование магистрали и поперечников;

3) камеральные работы: обработка результатов нивелирования, составление профиля.

По завершении графического оформления на составленном продольном профиле и поперечниках, согласно заданным техническим условиям, проектируют инженерное сооружение.

Рекогносцировка. Задача рекогносцировки узкой полосы земли заключается в осмотре местности, выборе мест для закладки нивелирных реперов, осмотре переходов через реки, овраги, ручьи, заболоченные места и т д.

Рекогносцировка должна дать полное представление о местности, на которой будет выполняться то или другое инженерное сооружение.

В процессе рекогносцировки провешивают прямые участки трассы и надежно закрепляют вершины углов поворота. Одновременно подбирают для каждой вершины радиусы кривых, посредством которых будут соединены прямые участки трассы. При рекогносцировке должны быть намечены способы и места плановой и высотной привязки магистрали к пунктам геодезической основы.

По окончании рекогносцировки выполняют геодезические работы по измерению теодолитом углов поворота при вершинах, измерению линий между вершинами с одновременной разбивкой пикетажа и главных точек кривых.

§ 36. Разбивка пикетажа и главных точек кривых

Трасса на всем протяжении должна быть разбита по горизонтальному проложению на участки — пикеты по 100 м каждый. Начальную и конечную точки каждого такого пикета закрепляют колышками со сторожками. В начальной точке, от которой начата прокладка магистрали, на сторожке подписывается ПК0, на следующей — ПК1 и т. д. Нумерация пикетов продолжает нарастать до конца трассы. На кривых участках трассы длины пикетов откладывают по кривым. Каждый пикетный участок ограничен

двумя порядковыми числами, например: пикет (7—8), где 7 называют младшим значением, а 8 — старшим значением пикета.

Местоположение любой точки на трассе определяется пикетажем, значение которого характеризуется двумя числами: числом целых пикетов и расстоянием от младшего значения пикета до определяемой точки. Например, точка расположена на ПК 7 + 58,025. Это означает, что от начала трассы до точки — 7 целых пикетов + 58,025 м, т. е. всего 7 × 100 м + 58,025 м = = 758,025 м. Такая система указаний положения точек на трассе облегчает расчеты при строительстве линейных сооружений, а также при их эксплуатации. При продольном нивелировании все пикеты должны быть занивелированы, вычислены их абсолютные отметки H и нанесены на продольный профиль.

Помимо целых пикетов, в магистральном ходе отмечают колышками характерные точки перегибов поверхности, пересечение оси трассы с канавами, ручьями, дорогами, трассами наземных сетей и т. п. От ближайшего меньшего пикета измеряют до этих точек расстояния, которые надписывают со знаком плюс, поэтому такие промежуточные точки называют п л ю с о в ы м и.

В зависимости от характера рельефа местности на протяжении трассы разбивают ряд поперечников по линиям, перпендикулярным к магистрали. В местах спокойного рельефа поперечники разбивают через 50—100 м по трассе. Поперечниками охватывают полосу трассы от 20 до 60 м, т. е. по 10—30 м в обе стороны. На поперечниках отмечают колышками характерные точки рельефа, чтобы в процессе нивелирования по трассе занивелировать их.

Смежные отрезки прямых участков трассы сопрягают к р у г о в ы м и к р и в ы м и. В процессе разбивки пикетажа и нивелирования по трассе размечают только главные точки кривых: НК — начало кривой, СК — середина кривой, КК — конец кривой.

П и к е т а ж н ы й ж у р н а л

При разбивке пикетажа производят съемку ситуации в полосе трассы по обе стороны от ее оси на расстоянии 25—50 м, в зависимости от характера инженерного сооружения. Съемке подлежат основные контуры и предметы местности. Съемку выполняют методом ординат и засечек.

Для удобства ведения абриса в заданном масштабе изготовляют из миллиметровой бумаги п и к е т а ж н у ю к н и ж к у в виде альбома продолговатой формы (рис. 36).

Вдоль правой стороны каждого листа проводят ось магистрали, а также наносят результаты съемки ситуации. Левую сторону заполняют различным цифровым материалом замеров, расчетов кривых и пр. По оси трассы наносят и подписывают пикетные и плюсовые точки, а также обозначают места поперечников, их пикетаж и прочие данные съемки. Пикетажный журнал ведут примерно в масштабе 1 : 2000. В местах со сложной ситуацией

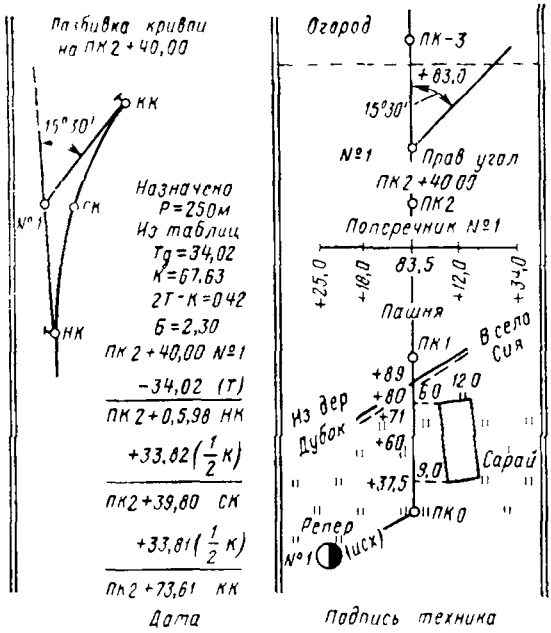


Рис 36. Образец записи в пикетажном журнале

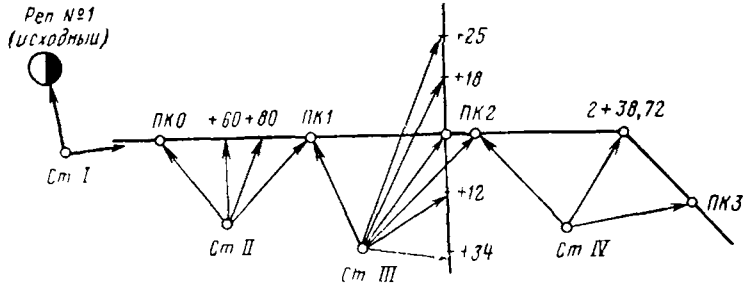


Рис 37 Схема нивелирования

или сложным рельефом принято увеличивать против масштаба расстояние между пикетами и, наоборот, в местах со спокойным рельефом и несложной ситуацией эти расстояния принято уменьшать.

§ 37. Нивелирование магистрали

Инженерно-техническое нивелирование производят с целью определения отметок всех закрепленных на местности точек: реперов, пикетов, плюсовых точек, главных точек кривых и точек, расположенных на поперечниках. Нивелирование производят способом «из середины» по связующим точкам, т. е. по основным целым пикетам с одновременным нивелированием промежуточных плюсовых точек. Работа начинается с привязки нулевого пикета к реперу или марке с известной абсолютной отметкой (рис. 37).

Если вблизи трассы нет государственного или ведомственного репера, то для привязки прокладывают специальный нивелирный ход без разбивки пикетажа. В таком нивелирном ходе рейки устанавливаются на металлические «башмаки» или колья. Нивелирование производят в прямом и обратном направлениях при двух горизонтах инструмента или с применением двусторонних реек. После передачи отметки с репера на пикет приступают к нивелированию оси трассы.

Устанавливают нивелир приблизительно на середине между нулевым и первым пикетами, а на пикетах — рейки. Приводят нивелир в рабочее положение и делают отсчеты по рейкам, сначала на заднюю связующую точку (ПК0), а затем на переднюю (ПК1). Вторую пару отсчетов берут после изменения высоты инструмента (нивелирование при двух горизонтах), а при нивелировании с двусторонними рейками горизонт инструмента не меняется; вторую пару отсчетов берут по обратным сторонам реек.

Пронивелировав нулевой и первый пикеты и сделав контроль, переходят с нивелиром на вторую станцию между первым и вторым пикетами.

Задний реечник с нулевого пикета переходит на второй пикет, а передний поворачивает рейку на 180° и снова, как и на предыдущей станции, берут отсчеты на заднюю и переднюю рейки.

В такой последовательности производится нивелирование всей трассы.

При нивелировании на крутых скатах приходится делать больше одной установки нивелира между двумя соседними пикетами. В этом случае в процессе нивелирования устанавливают дополнительные точки, так называемые иксовые, и закрепляют их на местности временными колышками. Расстояния до них не измеряют, так как они не являются характерными точками рельефа, а служат как связующие; на профиль иксовые точки не наносят.

§ 38. Работа на нивелирной станции

Установку нивелира на каждой станции производят так, чтобы вертикальная плоскость, проходящая через ось вращения инструмента и один из подъемных винтов, располагалась примерно параллельно линии нивелирования, а головка штатива после вдавливания ножек в грунт была приблизительно горизонтальной. Этим подъемным винтом пользуются потом для точной установки пузырька уровня перед отсчетом по рейке, если у нивелира нет элевационного винта. Закрепив винтами верхнюю часть штатива, приводят ось вращения нивелира в вертикальное положение, т. е. устанавливают инструмент по уровню. Теперь инструмент приготовлен для наблюдений. Рейки ставятся на точки пикетажа вертикально, причем реечники располагаются сами сзади реек лицом к инструменту.

Когда инструмент и рейки установлены, нивелировщик направляет трубу на рейку, стоящую на предыдущей связующей точке, т. е. на заднюю рейку. При помощи элевационного винта он совмещает концы пузырька уровня в поле зрения трубы и делает отсчет по рейке, т. е. делает взгляд назад.

Далее нивелировщик поворачивает трубу вокруг вертикальной оси и наводит ее на рейку, поставленную на следующей связующей точке, т. е. на переднюю рейку, и делает отсчет при совмещенном изображении концов пузырька уровня, т. е делает взгляд вперед.

Одновременно с продольным нивелированием производится нивелировка поперечников и отсчеты по рейкам записываются в тот же журнал технического нивелирования.

При работе на каждой станции должен быть хорошо организован контроль. Необходимость последнего вызывается возможностью грубых погрешностей как следствия неправильных отсчетов по рейкам и систематических погрешностей вследствие плохой юстировки инструмента.

Существуют два способа контроля работы на станции:

1. Проверка правильности отсчетов по рейкам путем изменения высоты инструмента. Для этого после отсчетов по задней и передней связующим точкам повышают или понижают штатив, снова устанавливают нивелир и повторяют отсчеты. Если разности отсчетов на каждой точке при двух горизонтах колеблются в пределах до 4 мм, то наблюдения считают правильными. За истинное значение превышений между связующими точками принимают среднее арифметическое.

Нивелирование поперечников и плюсовых точек ведут при втором горизонте инструмента.

2. Проверка правильности отсчетов при пользовании комплектом двусторонних реек путем повторения отсчетов по обратным сторонам реек.

Таблица 9

Журнал нивелирования (рейки односторонние)

Нивелируемые точки	Отсчеты по рейкам					Превышение h		Горизонт инструмента $H_{г.и}$	Абсолютные отметки H	Примечание
	задние	передние	промежуточные	средние						
				задние	передние	+	−			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Реп. 1	1530			1514					140,000	Вычисление отметок связующих точек:
	1499					865				
ПК0		665			649					$140{,}000 = H_1$
		633								$+865 = h$
										$140{,}865 = H_{ПК0}$
ПК0	1474								140,865	
	1430			1452				142,295		
+60			1230				385		141,065	Вычисление горизонта инструмента:
+80			1799						140,496	$140{,}865 = H_{ПК0}$
ПК1		1860			1837				140,480	$+1{,}430 = a$
		1814								$142{,}295 = H_{г.и}$

§ 39 Нивелирные журналы

Все виды нивелирных журналов можно свести к двум формам (табл. 9).

В журнале первой формы в графу 1 записывают наименования всех точек, которые нивелируют. Далее записывают отсчеты по задней и передней рейкам: 1530 (графа 2) и 665 (графа 3) и соответственно 1499 и 633 при втором горизонте. Здесь делают первый полевой контроль: подсчитывают разности отсчетов по двум горизонтам, что составило соответственно 31 и 32. В графах 5 и 6 проставляют среднее из двух горизонтов, а в графах 7 и 8 — превышение h. Абсолютную отметку ПК0 вносят как исходную в запись на следующей станции, на которой при втором горизонте инструмента взяты отсчеты на промежуточные точки +60 и +80. Отметки этих точек подсчитаны через горизонт инструмента, который вычисляют по отсчету a при втором горизонте. В конце записей по каждой станции проводят сплошную черту, чем отделяют все записи на данной станции от последующих.

В журнале второй формы принцип записей остается тот же. Сначала записывают отсчеты по черной стороне реек, затем отсчеты по красной стороне. Полевой контроль производят подсчитыванием превышений по обеим сторонам реек. После этого нивелируют все промежуточные точки и поперечники, пользуясь черной стороной рейки.

§ 40. Обработка журнала нивелирования

Кроме контроля работы на станции делается постраничная поверка журнала, для чего берут сумму задних отсчетов $\sum З$ и вычитают из нее сумму передних отсчетов $\sum П$. Полученное число должно равняться разности между отметками последней и начальной точек данной страницы. В противном случае нужно проверить вычисление отметок, найти погрешность и внести исправления в журнал. На следующую страницу переносят номер и отметку последней точки предыдущей станции.

В результате нивелирования составляют схему хода, на которой показывают все исходные марки и реперы с их отметками и суммы превышений по ходу. Подписывают также количество станций и длину хода.

При сооружении тоннелей Инструкцией установлен допуск невязок нивелирных ходов $f_h = \pm 2\sqrt{n}$ мм, где n — количество станций в ходе.

§ 41. Составление продольного и поперечного профилей

В результате нивелирования по трассе составляют ее продольный профиль. Для составления профилей применяют миллиметровую бумагу в рулонах.

Для продольных профилей применяют разные масштабы. Обычное соотношение масштабов 1 : 10. При сооруже-

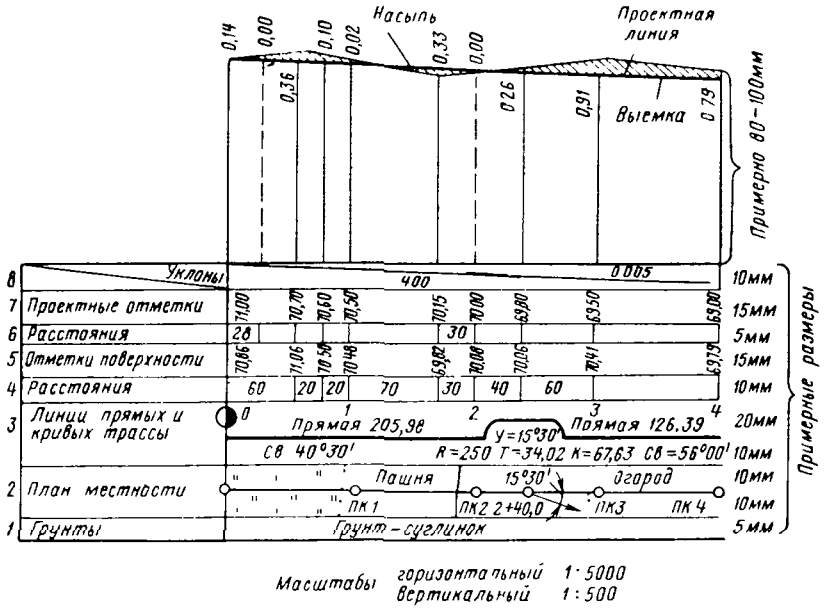


Рис. 38 Продольный профиль дороги

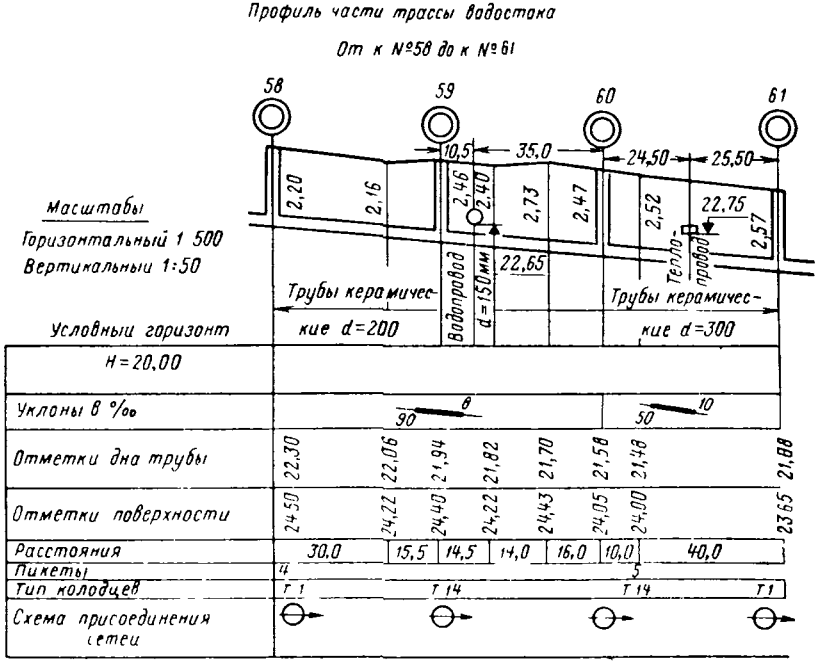


Рис. 39. Профиль водостока

нии тоннелей приняты масштабы: для горизонтальных расстояний — 1 : 2000 и для вертикальных — 1 : 200.

Составление профилей заключается в накладке «черного профиля», построенного по фактическим отметкам поверхности, и построении на нем «красной линии», т. е. профиля запроектированной оси трассы (рис. 38). При построении профиля важно правильно выбрать отметку условного горизонта. Необходимо, чтобы линия поверхности земли располагалась в среднем выше условного горизонта на 80—100 мм, абсолютная отметка которого берется кратной 10 м. Ниже линии условного горизонта вычерчивают ведомость профиля, которую заполняют данными нивелирования, пикетажных работ, съемки поверхности, а также проектными (красными) отметками.

Поперечные профили часто составляют в одном масштабе. Это упрощает методы проектирования и позволяет измерять площади с помощью планиметра. Поперечные профили размещают над соответствующими местами продольного профиля. В других случаях поперечные профили составляют на отдельном рулоне миллиметровой бумаги.

На рис. 39 показан образец профиля, составленного в результате прокладки самотечного водостока от шахтной площадки к колодцу городского водостока. Такие профили составляются в метростроении при сооружении подземных коммуникаций (канализация, водостоки, водопровод, связь и др.) в масштабах: горизонтальный — 1 : 500 и вертикальный — 1 : 50 на бумажной кальке в пяти экземплярах на каждое присоединение к городским сетям.

§ 42. Построение на профиле проектной линии. Уклоны. Рабочие отметки

Окончательную проектную линию на плане намечают в результате анализа вариантов, из которых принимается наиболее целесообразный.

Варианты наносят карандашом на продольном профиле. Проектный уклон линии вычисляют по формуле

$$\operatorname{tg} \nu = i = \frac{h}{d},$$

где $h = H_B - H_A$ и d — величина отрезка по горизонтали. Затем подсчитывают проектные отметки для каждого пикета и промежуточных точек по формуле

$$H_i = H_{\text{исх}} + id.$$

Разность между черной и красной отметками точки называется рабочей отметкой и показывает высоту насыпи или глубину выемки. Рабочие отметки подписывают на профиле над проектной линией, если она соответствует насыпи, и под проектной линией — для выемки.

§ 43. Нивелирование площадей

При вертикальной планировке для строительства различных инженерно-технических сооружений возникает необходимость изображения рельефа на планах площадок горизонталями.

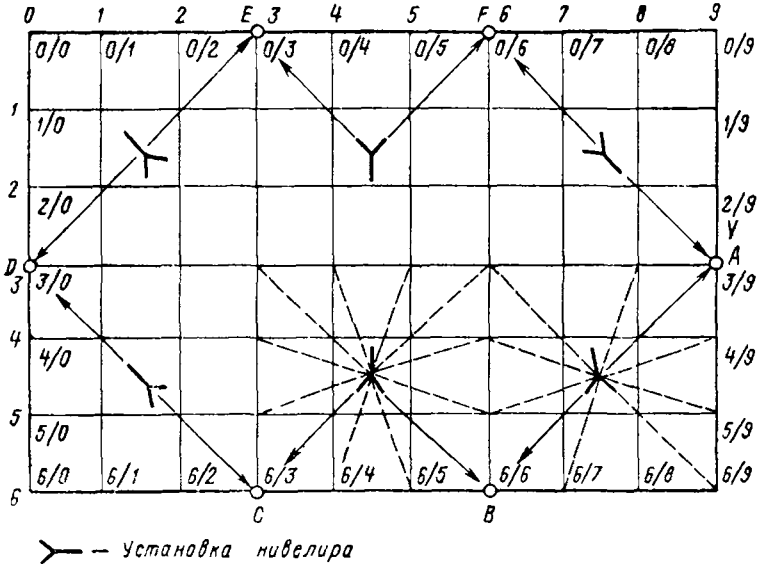


Рис. 40. Схема нивелирования площади по квадратам

В зависимости от характера контуров и рельефа местности применяют следующие способы нивелирования площадей: по квадратам, по параллельным линиям и магистралям с поперечниками.

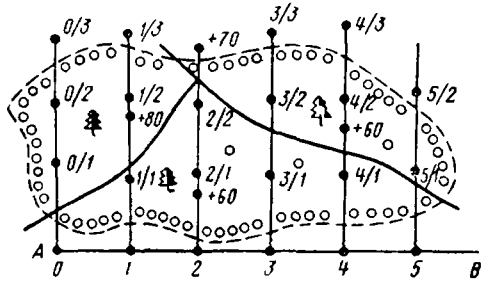


Рис. 41. Схема нивелирования по параллельным линиям

Нивелирование площади по квадратам применяется в тех случаях, когда поверхность представляет открытый участок со спокойным рельефом. До начала нивелирования на местности разбивают при помощи теодолита и стальной ленты сеть квадратов со сторонами от 10 до 100 м.

Длины сторон квадратов определяют в зависимости от заданного сечения горизонталей. При разбивке квадратов следует в середине участка наметить начальную точку и теодолитом, установленным в этой точке, разбить две взаимно

перпендикулярные линии. Направление одной линии часто выбирают по меридиану или по длинной стороне участка. По этим линиям откладывают стальной лентой, согласно заданию, стороны квадратов. Вершины квадратов закрепляют временными знаками—колышками. Каждый колышек подписывают в соответствии с принятой системой обозначения, например 0/1, 0/2, 3/1 и т. д. (рис. 40). Одновременно с разбивкой сетки квадратов производят съемку подробностей промерами до характерных точек контуров.

Абрис ведут на листе бумаги по нанесенной на ней сетке квадратов. На абрис наносятся также характерные точки рельефа (бугры, ямы и т. п.).

Разбивку производят особенно тщательно, если сетка квадратов служит для горизонтальной планировки сооружений.

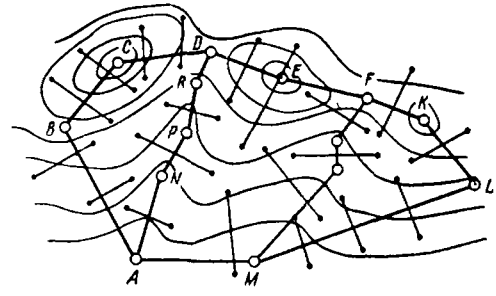


Рис. 42. Схема нивелирования по магистралям с поперечниками

Нивелирование начинают с хода *А*, *В*, *С*, *Д*, *Е*, для чего используются некоторые из закрепленных вершин (см. рис. 40). Ход увязывают и на базе его производят нивелирование всех закрепленных точек. Места стоянки нивелира отмечены на схеме значком ≻ (см. рис. 40).

Взгляды на точки изображены пунктирными линиями.

Нивелирование по параллельным линиям применяют на местности со спокойным рельефом, но заросшей кустарником, или занятой мелкими строениями, не дающими возможности разбить сеть квадратов. В таких случаях внутри или вне границ участка прокладывают магистраль *АВ* (рис. 41) и на ней отмечают отрезки, равные стороне сетки, и в этих точках восставляют перпендикуляры, образующие сеть параллельных линий, являющихся основой как для съемки контуров, так и для нивелирования. На перпендикулярных к магистрали линиях отмечают точки в характерных местах рельефа, измеряя расстояния от магистрали. Закрепив концевые точки параллельных линий и привязав одну из них к реперу государственного нивелирования, приступают к нивелированию магистрали (двойным ходом), затем и точек параллельных линий. Нивелирование производят с изменением горизонта инструмента или по двум сторонам реек; отсчеты записывают в журнал продольного нивелирования.

Нивелирование по магистралям с поперечниками выполняют преимущественно на участках со сложной ситуацией и с резким разнообразным рельефом (рис. 42).

Магистрали с поперечниками прокладывают по линиям водоразделов, перегибам и подошвам скатов, т. е. по характерным

линиям рельефа. По магистральным линиям прокладывают теодолитные ходы и в результате получают координаты вершин, по которым наносят на план магистральные линии. Нивелирование магистралей и поперечников производят так же, как и продольное нивелирование. Отметки точек на магистральной линии вычисляют по увязанным превышениям и абсолютной отметке одной из вершин магистрального хода, которая привязывается к реперу.

Для составления нивелирного плана на листе бумаги в заданном масштабе вычерчивают сетку квадратов или по координатам наносят магистральные ходы со всеми поперечниками. По абрису наносят ситуацию и при каждой пронивелированной точке подписывают отметку, округленную до 1 см.

По отметкам проводят горизонтали согласно заданному сечению.

ГЛАВА IV

РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ СЪЕМОК

§ 44. Общие сведения

Тахеометрической съемкой или тахеометрией называется такая съемка, которая наиболее быстро, при достаточной точности, может дать план участка с изображением ситуации и рельефа.

При тахеометрической съемке при помощи одного только визирования зрительной трубой инструмента на рейку, находящуюся в снимаемой точке, получают все данные для определения трех координат этой точки — направления, расстояния и превышения.

Тахеометрия применяется для съемки небольших участков местности с несложной ситуацией и хорошо выраженным рельефом.

Снимаемый участок может иметь или форму узкой полосы при линейных изысканиях (всех видов) транспорта, линий связи, электропередач и т. п., или форму площади при съемке территории, предназначенной под строительство различных инженерных сооружений. Съемка обычно производится для составления планов в масштабе не мельче 1 : 5000. Рельеф может быть изображен или горизонталями, или одними числовыми отметками, если этого по условиям работы достаточно.

Съемку контуров ведут исключительно полярным способом, измеряя направления при помощи горизонтального круга теодолита, а расстояния — по нитяному дальномеру, при этом съемку рельефа выполняют методом тригонометрического нивелирования, измеряя угол наклона с помощью вертикального круга тахеометра.

§ 45. Тахеометры

Инструмент, которым в полевых условиях получают полярные координаты, называется круговым тахеометром.

Круговой тахеометр — это теодолит с нитяным оптическим дальномером и вертикальным кругом такой же точности, как горизонтальный круг.

Тахеометры обычно снабжены буссолью с азимутальным кольцом, деления на котором нанесены против хода часовой стрелки. Деления 0° и 180° буссоли совпадают с коллимационной плоскостью трубы инструмента. Поэтому на станции после ориентирования лимба по магнитному меридиану при наведении визирной оси на какой-либо предмет отсчет по северному концу магнитной стрелки будет показывать величину магнитного азимута этого направления, что может быть использовано для контроля измерений.

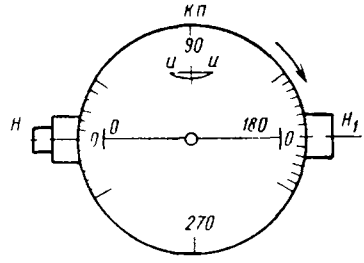


Рис. 43 Вертикальный круг тахеометра

Кроме обычных тахеометров (ТТ-50, ТТ5, ТОМ, Т30) широкое применение в производстве получают тахеометры-автоматы, позволяющие без дополнительных вычислений получать превышение и горизонтальное проложение. Тахеометры-автоматы значительно ускоряют и облегчают работу при тахеометрической съемке.

Вертикальный круг тахеометра (рис. 43). При помощи вертикального круга определяют одну из полярных координат — угол наклона ν.

Во всех тахеометрах вертикальный круг наглухо соединен и центрирован на оси вращения трубы, перпендикулярно к ней, причем 0° вертикального круга располагается вблизи окуляра. При вращении трубы в вертикальной плоскости вместе с трубой вращается вертикальный круг. Градуировка делений вертикального круга тахеометров ТТ50, ТТ5, ТОМ, Т30 такая же, как у горизонтального круга. Цена одного деления вертикального круга различна. Так, у ТТ-50 и ТТ5 $t = 20'$, у ТОМ и Т30 $t = 10'$.

Основное условие, которому должен удовлетворять вертикальный круг тахеометра, состоит в том, чтобы визирная ось зрительной трубы была параллельна оси уровня при алидаде вертикального круга, когда отсчеты по верньерам на этом круге равны нулю градусов.

В § 16 главы II изложен способ измерения вертикальных углов теодолитом Т30. Поэтому в дальнейшем будет рассмотрена методика измерения вертикальных углов тахеометрами с металлическими кругами (ТТ-50, ТТ5).

Для получения отсчетов по вертикальному кругу на горизонтальную ось трубы прикреплен алидадный круг с двумя верньерами и уровнем ИИ при нем. Точность верньера $t = 30''$ (ТТ-50, ТТ5). При вращении трубы, а следовательно, и вертикального круга алидада остается неподвижной. Перед каждым отсчитыванием пузырек уровня алидады вертикального круга приводится на середину.

При установке визирной оси трубы и оси уровня на алидаде в горизонтальное положение отсчет по вертикальному кругу называется м е с т о м н у л я МО. В невыверенном инструменте

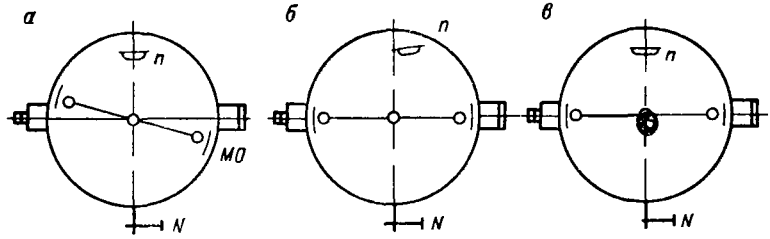


Рис 44 Схема исправления МО

МО может быть не равным нулю, в таком случае оно должно учитываться при измерении вертикальных углов.

Непосредственно МО вертикального круга определить нельзя; определяют его косвенным путем по двум отсчетам при КП и КЛ при наведении трубы на один и тот же предмет

Пусть при круге право отсчет по вертикальному кругу по своей величине будет больше отсчета места нуля. Тогда угол наклона равен ν = КП—МО. При круге лево отсчет будет меньше величины МО и ν = МО—КЛ Сложив оба выражения и разделив на 2, получим

$$\nu = \frac{КП - КЛ}{2}.$$

Вычтя одно равенство из другого и разделив разность также на 2, получим

$$МО = \frac{КП + КЛ}{2}.$$

Если место нуля вертикального круга известно, то угол наклона можно измерять при одном положении вертикального круга. В производственных условиях обычно исправляют МО так, чтобы оно было не больше точности отсчитывания по вертикальному кругу; тогда практически считают МО равным нулю.

Место нуля исправляют следующим образом.

По отсчетам КП и КЛ, полученным из двух наведений на один и тот же предмет, определяют МО и закрепляют на этом отсчете трубу теодолита, причем пузырек уровня приводят на середину (рис. 44, *а*).

Вращая винт N алидадного круга (рис. 44, *б*), совмещают нуль верньера с нулем вертикального круга; при этом пузырек уровня на алидаде сойдет с середины; исправительным винтом n уровня устанавливают пузырек на середину (рис. 44, *в*).

Для контроля вторично определяют МО и при необходимости исправления повторяют.

Вертикальный угол измеряют при двух положениях круга или при одном.

Устанавливают тахеометр над пунктом местности, нивелируют его и затем грубо (от руки) наводят трубу на точку визирования так, чтобы она попала в поле зрения. Закрепляют зажимной винт трубы и винтом наводят среднюю горизонтальную нить на точку, которая соответствует высоте инструмента. Затем винтом алидады вертикального круга приводят пузырек уровня на середину, после чего берут отсчеты: по первому верньеру — полный отсчет в градусах, минутах и секундах, а по второму — в минутах и секундах.

Измерив угол при первом положении трубы, при необходимости повторяют измерение таким же образом при втором положении, переведя трубу через зенит. Углы наклона вверх от горизонта считаются положительными, а вниз от него — отрицательными.

§ 46. Нитяный оптический дальномер

Второй полярной координатой, определяющей положение точки на местности, является расстояние от инструмента до точки наблюдения. При тахеометрической съемке расстояния определяют дальномером. Простейшим и наиболее распространенным дальномером является нитяный, которым снабжены все зрительные трубы теодолитов. Нитяный дальномер представляет собой две дополнительные параллельные горизонтальные нити сетки нитей зрительной трубы теодолита. Если такую трубу навести на вертикальную рейку с делениями и подсчитать число сантиметровых делений (21,3) между нитями дальномера aa и bb (рис. 45), то можно определить расстояние от инструмента до рейки.

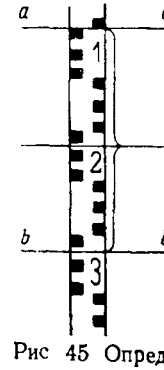


Рис 45 Определение расстояний нитяным дальномером

На рис. 46 приведена схема нитяного дальномера.

Как видно из чертежа, лучи от точек m и K, пройдя через объектив и фокус F, пересекут рейку в точках M и K. Из подобия треугольников MFK и $m'FK'$ можно написать

$$\frac{FQ}{f} = \frac{n}{p}$$

или

$$FQ = \frac{f}{p} \cdot n.$$

В практике определяют расстояние не от переднего фокуса до рейки, а от вертикальной оси инструмента. Обозначая расстояние от оси вращения инструмента до объектива трубы через δ, получаем

$$d = FQ + f + \delta \quad \text{или} \quad d = \frac{f}{p} \cdot n + f + \delta.$$

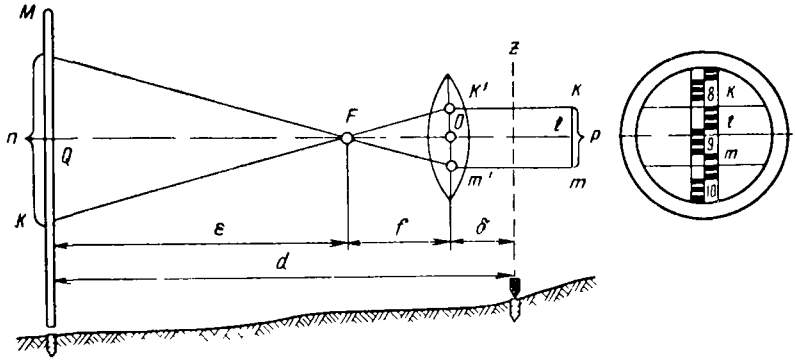


Рис 46 Схема нитяного дальномера

O — оптический центр объектива трубы, *f* — фокусное расстояние объектива, *F* — передний фокус, *d* — измеряемое расстояние, δ — расстояние от объектива до оси вращения инструмента, *Ql* — визирная ось зрительной трубы

Для данного дальномера $\frac{f}{p}$ и $f + \delta$ — величины постоянные. Обозначив их $\frac{f}{p} = K, f + \delta$ *c* и подставив эти значения в последнюю формулу, получим

$$d = Kn + c,$$

где K — коэффициент дальномера, n — количество сантиметров, отсчитанных по рейке, c — постоянная дальномера.

Обычно в теодолитах коэффициент дальномера $K = 100$.

В зрительных трубах с внутренней фокусировкой постоянная c близка к нулю. Поэтому при определении расстояний дальномерами со зрительными трубами с внутренней фокусировкой практически пользуются формулой

$$d = Kn,$$

если визирная ось горизонтальна, и формулой

$$d = Kn \cos^2 \nu.$$

если визирная ось составляет с горизонтом угол ν.

Нитяный дальномер дает сравнительно невысокую точность определения расстояний — порядка 1 : 300, но достаточную при тахеометрических съемках подробностей и рельефа.

§ 47. Определение горизонтальных проложений расстояний, измеренных дальномером

В оптических дальномерах формула для расстояний выведена в предположении, что дальномерная рейка перпендикулярна к визирной оси трубы и визирная ось горизонтальна. Практически же приходится визировать на рейку не горизонтальным, а наклонным лучом.

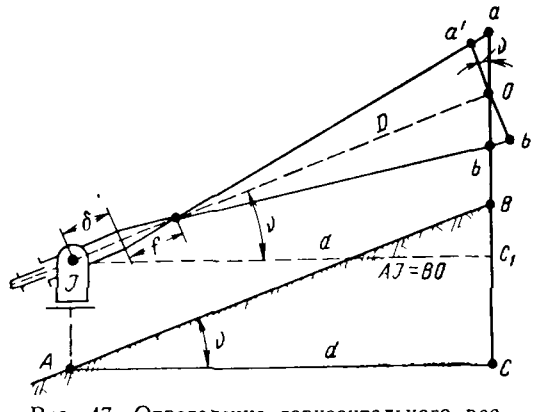


Рис 47. Определение горизонтального расстояния наклонным лучом

Положим, что линия AB местности (рис 47) имеет угол наклона ν.

В точке A установлен тахеометр, в точке B — вертикально дальномерная рейка, причем визирная ось трубы параллельна линии AB местности Это происходит, если при измерении вертикального угла средняя нить трубы наводится на высоту инструмента, отмеченную на рейке.

Расстояние от инструмента до рейки равно

$$JO = D = Kn' + c,$$

где

$$n' = a'b'.$$

Так как рейка не перпендикулярна к визирной оси трубы, то вместо отсчета $a'b'$ по рейке получим отсчет $ab = n$, но

$$\frac{a'b'}{2} = \frac{ab}{2} \cdot \cos \nu$$

или

$$n' = n \cos \nu.$$

Поэтому расстояние от инструмента до рейки определится формулой

$$D = Kn \cos \nu + c.$$

Обозначая горизонтальную проекцию линии D через d, получаем

$$d = D \cos \nu$$

и окончательно

$$d = Kn\cos^2\nu + c\cos\nu.$$

Член $c\cos\nu$ — малая величина, поэтому при определении расстояния нитяным дальномером ею можно пренебречь.

Тогда горизонтальное проложение наклонного расстояния, измеренного дальномером по вертикальной рейке, будет равно $d = Kn\cos^2\nu$.

Дальномерные рейки. Для тахеометрической съемки можно применять обычные нивелирные рейки с сантиметровыми делениями.

Однако при расстояниях от инструмента до наблюдаемой рейки, превышающих 100 м, деления рейки трудно различимы. Поэтому для таких съемок изготовляют специальные рейки с двух- и пятисантиметровыми делениями, при этом последние имеют деления в виде равносторонних треугольников.

Определение превышений. Таблицы. При тахеометрической съемке, как уже было сказано выше, превышения определяют тригонометрическим нивелированием, пользуясь наклонным лучом визирования. Обычно в практике при определении превышений среднюю горизонтальную нить трубы наводят на точку рейки, находящуюся на высоте инструмента.

Тогда превышение h определится из формулы

$$h = d\,\mathrm{tg}\,\nu = D\sin\nu.$$

Точность определения превышений при тригонометрическом нивелировании зависит главным образом от точности определения по дальномеру расстояния D и угла наклона ν. С увеличением расстояния D погрешность в определении h возрастает.

Для вычисления превышений и горизонтальных проложений пользуются специальными тахеометрическими таблицами, содержащими значения

$$h = \frac{D}{2}\sin 2\nu \text{ и } d = D\cos^2\nu.$$

§ 48. Опорные точки при тахеометрической съемке

Для тахеометрических съемок исходными опорными точками служат пункты государственной и местных опорных сетей, а так как их бывает недостаточно, чтобы только с них произвести тахеометрическую съемку местности, поэтому сеть таких пунктов сгущают проложением на местности между этими пунктами специальных ходов для создания достаточно густой сети дополнительных опорных пунктов, составляющих плановое и высотное съемочное обоснование.

При детальной тахеометрической съемке расстояния между соседними пунктами в среднем не превышают 250—300 м. Поэтому густота опорных пунктов съемочного обоснования в зависимости от масштаба съемок бывает различной.

Каждый пункт съемочного обоснования используется непосредственно для тахеометрической съемки окружающей ее местности. Кроме того, бывают так называемые тахеометрические ходы, прокладываемые между пунктами с известными координатами, для сгущения на местности высотной съемочной сети.

§ 49. Тахеометрическая съемка

Тахеометрические съемки бывают маршрутные (для линейного строительства) и площадные (съемки отдельных участков).

Для маршрутной съемки, например, между опорными пунктами A и B необходимо определить координаты

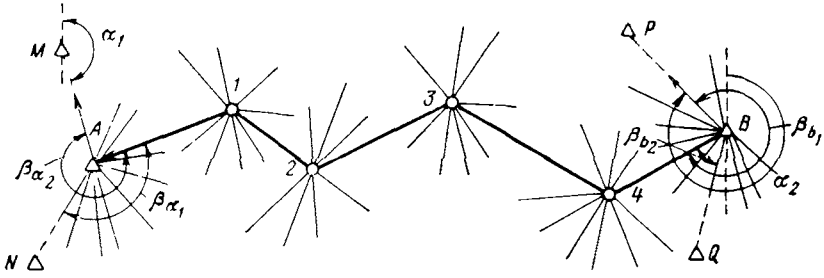


Рис. 48 Схема маршрутного тахеометрического хода

точек *1*, *2*, *3*, *4* проложением тахеометрического хода (рис. 48). После этого производят съемку ситуации и рельефа вокруг станции по характерным точкам, в которых последовательно устанавливают дальномерную рейку. Эти точки называют пикетами. Пикеты бывают контурные, высотные и высотно-контурные. Контурные пикеты служат только для съемки контуров, поэтому на них вертикальный угол не измеряют. Высотные пикеты дают возможность определить высоты точек рельефа, хотя в отношении контура эти точки могут и не быть характерными.

Высотно-контурные пикеты служат для определения контура и высоты.

Густота реечных точек на местности зависит от сложности рельефа и ситуации участка.

При измерении углов и расстояний до реечных точек все полевые наблюдения и вычисления записывают в полевой журнал (табл. 10).

Горизонтальные углы на каждой станции измеряют от одной начальной линии (нулевого направления), за которое берут одну из сторон хода — заднюю или переднюю. С этой целью на каждой станции хода перед съемкой реечных точек горизонтальный лимб инструмента ориентируют на заднюю (или переднюю) точку хода. Для этого, совместив нулевой индекс первого верньера (микроскопа) алидады со штрихом 0° на лимбе горизонтального круга,

закрепляют алидаду на лимбе и, отпустив закрепительный винт лимба, визируют на заднюю (или переднюю) точку хода. Отпустив закрепительный винт алидады горизонтального круга, визируют на реечные точки; полученные отсчеты, которые берут только по одному верньеру горизонтального круга, и будут искомыми горизонтальными углами. По окончании съемки реечных точек ориентирование лимба тахеометра проверяют на каждой станции, для чего визируют на заднюю (переднюю) точку хода; отсчет по первому верньеру горизонтального круга не должен отличаться от 0° более чем на 2τ, где τ — точность верньера (микроскопа).

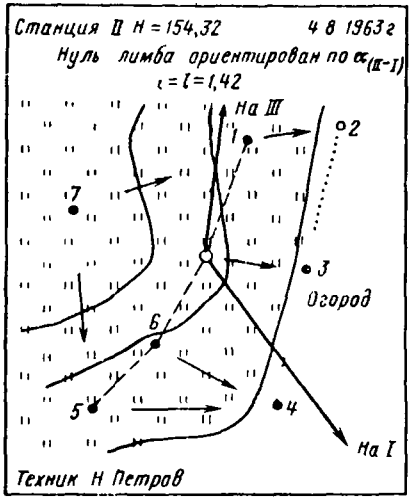


Рис. 49. Абрис

На каждой тахеометрической станции ведут абрис.

Абрис должен давать полную картину снимаемого участка местности как в отношении границ контуров, так и форм рельефа.

В абрис наносят все реечные точки, стрелками указывают направления скатов, пунктиром показывают главные водосборные и водораздельные линии; ясно выраженные формы рельефа изображают схематически частями горизонталей (рис. 49). Абрис используют при составлении плана тахеометрической съемки.

Таблица 10

№ наблюдаемых точек	Отсчеты по горизонтальному кругу	Расстояние $D = Kn + c$	Отсчеты по вертикальному кругу	Угол наклона ν	$d = D\cos^2\nu$	$\pm h$	H
1	2	3	4	5	6	7	8
			Станция II				
			i 1,42; H_{II} — 154,32; МО — 359° 59′				
			Лимб ориентирован по точке I при КП по дирекционному углу 201° 30′				
I	201° 30′		359° 42′				
III	238 15		359 32				
			КЛ				
I	21° 31′	195.0	0° 16′	—0° 17′	195.0	—0.97	
III	58 13	162.2	0 26	—0 27	162.2	—1.27	
1	253 40	37.2	1 03	—1 04	37.2	—0.69	153.63
2	6 50	42.7	2 03	—2 04	42.7	—1.52	152.80
3	350 10	105.3	2 18	—2 19	105.3	—4.24	150.08
4	309 57	85.1	3 22	—3 23	84.8	—5.01	149.31

Реечные точки следует выбирать так, чтобы интерполирование горизонталей можно было бы производить по линиям, имеющим характерный уклон.

Необходимо обращать особое внимание на то, чтобы реечными точками была покрыта вся территория съемки без пропусков.

Съемка отдельного участка. При съемке отдельного участка прокладывают замкнутый съемочный ход. Стороны такого хода измеряют дальномером, а горизонтальные и вертикальные углы определяют при КП и КЛ.

Стороны тахеометрического хода всегда измеряют дважды. Разность между прямым и обратным измерением длины линии дальномером не должна превышать 1 : 300 длины, а при измерении лентой — 1 : 2000. За окончательное значение берут среднее с округлением до 0,1 м при измерении дальномером и до 0,01 м — при измерении лентой.

§ 50. Камеральные работы

При камеральной обработке тахеометрической съемки вычисляют прямоугольные координаты каждой станции тахеометрических ходов, их отметки и отметки всех пикетов и составляют план тахеометрической съемки.

Вычислению координат станций предшествует проверка тахеометрического журнала с выводом значений горизонтальных и вертикальных углов и расстояний между станциями.

Угловую невязку замкнутого тахеометрического хода вычисляют по формуле

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

где n — число вершин хода.

Угловая невязка не должна превышать величины $1{,}5\tau\sqrt{n}$, где τ — точность отсчета по верньеру (микроскопу).

Если угловая невязка допустима, то ее с обратным знаком распределяют поровну на все углы хода, округляя до 1′. После исправления углов вычисляют по начальному дирекционному углу дирекционные углы всех сторон тахеометрического хода.

Далее вычисляют горизонтальные проекции измеренных дальномером наклонных расстояний между станциями.

Для вычисления расстояний до пикетов пользуются формулой

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

где

$$D = Kn + c,$$

или формулой

$$d = D - \Delta D,$$

где

$$\Delta D = D \sin^2 \nu.$$

Вычисляют окончательные значения вертикальных углов как среднее из прямых и обратных измерений.

Затем вычисляют приращения координат и координаты станций, превышения и отметки их.

Линейная невязка в замкнутом тахеометрическом ходе, стороны которого определены дальномером, не должна быть больше 1 : 600 длины всего хода. Если стороны измерены стальной лентой, то относительная невязка хода не должна превышать 1 : 2000. Приращения уравнивают, как и в теодолитном ходе, пропорционально длинам сторон.

Отметку H станции находят по формуле $H_n = H_{n-1} + h$, где H_{n-1} — отметка предыдущей по ходу станции, h — превышение между станциями.

Превышения между станциями тахеометрического хода вычисляют с точностью до 0,01 м. Допустимое расхождение в превышениях, полученных из прямого и обратного ходов, не должно превышать 4 см на 100 м.

Невязку f_h замкнутого тахеометрического хода подсчитывают по формуле

$$f_h = \Sigma h,$$

причем она должна быть меньше

$$f_{\text{пред}} = \frac{0{,}04p}{\sqrt{n}} \text{ см},$$

где p — периметр хода в метрах, n — число линий хода.

Допустимую невязку f_h распределяют на превышения пропорционально длинам сторон хода.

Обработка данных тахеометрической съемки заключается в вычислении горизонтальных расстояний до пикетов и отметок последних.

Отметки пикетов вычисляют по формуле $H_{\text{пик}} = H_{\text{ст}} + h$, где h — превышение пикета над станцией.

Закончив вычисления, составляют план тахеометрической съемки. Для этого на соответствующем листе чертежной бумаги строят сетку координат, рассчитывают значения координат вершин квадратов, надписывают их и наносят опорные точки тахеометрических ходов.

После нанесения на план станций наносят пикеты при помощи круглого транспортира или транспортира — квадрата с линейкой, внутри которого вырезан круг с делениями от 0 до 360°.

Для построения пикета по его полярным координатам на градусном круге откладывают дирекционный угол направления, а по скошенному краю линейки — расстояние в масштабе плана съемки.

У каждого нанесенного на план пикета подписывают его номер и отметку.

После нанесения всех пикетов на данной станции контурные пикеты соединяют плавными кривыми, а по высотным пикетам проводят горизонтали в соответствии с абрисом.

После составления плана в карандаше и полевой его проверки план вычерчивают в установленных условных обозначениях.

§ 51. Мензульная съемка

Рассмотренные в предыдущих главах виды съемок дают непосредственно только цифровой материал, требующий последующей обработки для составления по нему графической документации — плана, профиля и т. д.

Существует иной способ съемки, когда ситуацию и рельеф вычерчивают в поле. Такой вид съемки называют м е н з у л ь н о й.

Мензульная съемка производится для получения топографических планов, как правило, небольших участков местности. Она имеет применение при изысканиях для гидромелиоративного строительства, при съемках мостовых переходов и в других случаях инженерной практики. В настоящее время мензульные съемки производятся преимущественно в масштабах 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000.

Мензульная съемка выполняется при помощи мензулы и кипрегеля.

§ 52. Мензула

Мензула состоит из трех основных частей: доски—планшета, подставки и штатива. Подставка служит для установки планшета в рабочее положение, для центрирования, нивелирования и ориентирования его.

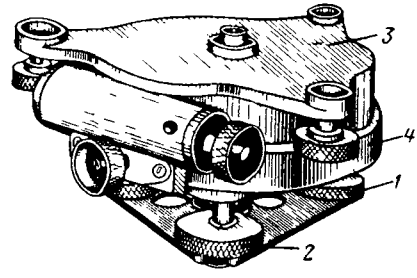


Рис. 50. Металлическая подставка мензулы

На рис. 50 показана металлическая подставка мензулы, выпускаемой под маркой КМ-2. У нее верхний корпус *3* вращается на нижнем основании *4*; она имеет закрепительный и наводящие винты. Нижнее основание подставки тремя подъемными винтами *1* ставят на головку штатива и укрепляют становым винтом, который входит в гайку пружинящей пластинки *2*. Планшет мензулы прикрепляют к верхнему корпусу тремя винтами

П о в е р к и м е н з у л ы

1. *Верхняя поверхность планшета мензулы должна быть плоскостью.*

Поверку производят выверенной линейкой, прикладывая ее ребром к планшету в разных направлениях. Если между ребром

линейки и планшетом по любому направлению нет просветов, планшет удовлетворяет требованиям; в противном случае он должен быть исправлен в мастерской.

2. *Верхняя плоскость планшета должна быть перпендикулярна к оси вращения мензулы.* При помощи трех подъемных винтов приводят верхнюю плоскость планшета в горизонтальное положение по заранее выверенному уровню.

Вращают планшет по азимуту вокруг вертикальной оси мензулы и замечают положение пузырька уровня. Если пузырек уровня сходит, то условие не выполнено. Исправить этот недостаток можно только в мастерской.

3. *Мензула должна быть достаточно устойчивой.*

Устанавливают мензулу и, закрепив все винты штатива и мензулы, ставят на планшет кипрегель, визируют им на какой-нибудь предмет и по скошенному ребру линейки прочерчивают на планшете карандашом линию. Затем слегка нажимают пальцем на угол планшета. Если после прекращения нажима ребро линейки не сдвинулось с прочерченной прямой, а центральная точка сетки нитей кипрегеля совпадает с предметом, на который визировали вначале, то условие выполнено.

Для мензульной съемки употребляется чертежная бумага «Гознак» лучшего качества. Бумагу наклеивают яичным белком, взбитым в пену, непосредственно на планшет или на жесткую основу — фанерный или алюминиевый лист так, чтобы верхняя поверхность ее была совершенно гладкой.

Для защиты бумаги от пыли и грязи во время работы планшет покрывается еще вторым листом чертежной бумаги, которая сверху слегка смачивается водой и приклеивается загнутыми краями (клеем) к бокам доски. На этом листе строится сеть опорных точек мензульной съемки и перекалывается на основной лист. Над этими точками осторожно прорываются перочинным ножом окошки, обозначаются точки на планшете и окошки заклеиваются бумажной калькой. По мере производства съемки вырезаются соответствующие места в верхнем листе бумаги и после зарисовки контуров и рельефа эти места вновь заклеиваются.

Принадлежности мензулы. Для центрирования и ориентирования планшета применяются центрировочная вилка и ориентир-буссоль. Погрешность центрирования не должна превышать половины точности масштаба, равной 0,1 м для масштаба 1 : 2000 и 0,05 м — для масштаба 1 : 1000; для этих масштабов обязательно применение центрировочной вилки (рис. 51).

Острие и точка прикрепления отвеса центрировочной вилки должны лежать на одной отвесной линии. Это условие поверяют проектированием одной и той же точки планшета при двух противоположных положениях вилки. Если отвес проектируется в одну точку, то условие выполнено. В противном случае место прикрепления нити отвеса нужно передвинуть так, чтобы он

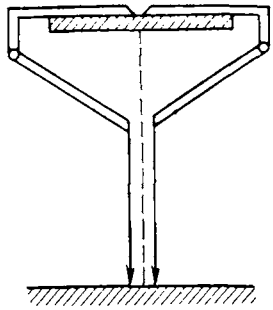


Рис. 51. Центрировочная вилка

Рис. 52. Ориентир-буссоль

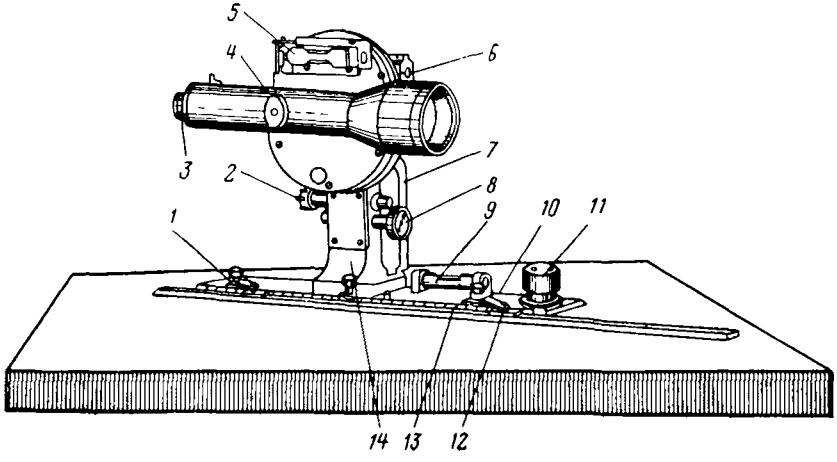


Рис. 53. Кипрегель-автомат КА-2

проектировался в средней точке между первым и вторым положением отвеса.

Ориентир-буссоль имеет вид продолговатой коробки (рис. 52) с неполным румбическим градусным кольцом, в центре которого вращается магнитная стрелка. Ориентир-буссоль применяется для ориентирования планшета при мелкомасштабных мензульных съемках; при крупномасштабных съемках она обычно не применяется.

§ 53. Кипрегель

Кипрегель-автомат КА-2 (рис. 53) служит для прочерчивания на планшете направлений на соответствующие предметы местности, для определения расстояний и превышений. Кипрегель-автомат КА-2 относится к автоматическим топографическим инструментам, при помощи которых непосредственно определяют превышение и расстояние до предмета визирования.

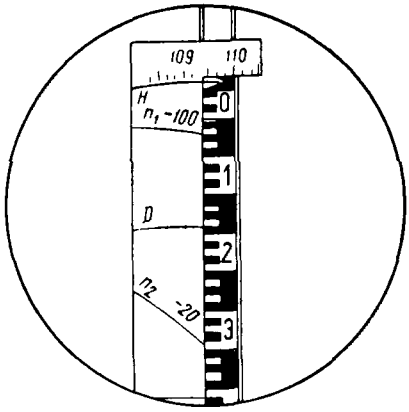


Рис. 54. Вид поля зрения кипрегеля КА-2

Кипрегель состоит из широкой линейки *10* с микрометренным винтом *11* и узкой линейки *13*, соединенной шарнирами *1*, *12* с широкой линейкой, позволяющей наносить на планшет снимаемые точки без передвижки кипрегеля.

К линейке прикреплены цилиндрический уровень *9* для приведения планшета в горизонтальное положение и колонка *7—14* с микрометренными винтами трубы *2* и алидады *8*. В горизонтальной втулке колонки на оси вращается горизонтальная труба *4*. Неподвижен вертикальный круг *6*, к кожуху которого прикреплен цилиндрический уровень *5*. Зрительная труба с внутренней фокусировкой представляет оптическую систему, состоящую из объектива, фокусирующей линзы и окуляра *3*. В окуляр рассматривают изображение кривой горизонтальных проложений и одновременно кривых превышений.

Для определения расстояний от инструмента до рейки (горизонтальных проекций) и превышений трубу кипрегеля наводят на рейку с сантиметровыми делениями на нуль, начальной окружностью H (рис. 54), причем нуль рейки должен быть установлен на высоте инструмента, для чего нижняя часть рейки делается раздвижной. Отсчет по кривой D, равный (в данном рисунке) 19,0 см, умножается на 100 (коэффициент дальномера). Горизонтальное расстояние в этом случае согласно формуле $d = Kn$ получится

$$d = 19{,}0 \text{ см} \times 100 = 19{,}0 \text{ м}.$$

Превышение определяется по кривым n_1 и n_2

$h = K_1 n_1$ и $h = K_2 n_2$.

В данном примере: $h = -100 \times 6{,}9$ см $= -6{,}9$ м и по второй кривой: $h = -20 \times 34{,}4$ см $= -6{,}88$ м; если на подвижных нитях коэффициенты n_1 и n_2 будут положительными, то превышение будет со знаком плюс.

Поверки кипрегеля. Все основные поверки кипрегеля, указанные ниже, выполняют аналогично поверкам теодолита, но вместо отсчетов по лимбу прочерчивают карандашом на планшете направления.

1. Ось цилиндрического уровня на линейке должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

2. Вертикальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.

3. Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.

Место нуля вертикального круга определяют по формуле

$$\text{МО} = \frac{\text{КП} + \text{КЛ}}{2}.$$

Место нуля исправляют так же, как у вертикального круга тахеометра.

§ 54. Мензульная топографическая съемка

Мензульная съемка, выполненная в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, считается съемкой крупного масштаба; она производится на базе опорной сети, как и другие съемки. Опорные сети на участке крупномасштабной съемки создаются путем проложения теодолитных и нивелирных ходов. Теодолитные и нивелирные ходы должны быть привязаны к пунктам государственной опорной сети с целью получения точек съемочного обоснования в единой государственной системе координат.

Способы проложения теодолитных и нивелирных ходов и обработка этих измерений изложены выше. В результате для каждой точки съемочного обоснования получают плановые координаты x, y и абсолютную отметку H.

Для крупномасштабных съемок принята квадратная разграфка рамок планшета, если площадь съемки не более 20 км^2.

Размер рамок планшета для масштаба 1 : 5000 принимается 40×40 см, что соответствует площади 2×2 км $= 400$ га. Для масштаба 1 : 2000 размер рамок 50×50 см (площадь 1×1 км $=$ $= 100$ га). Для масштаба 1 : 1000 размер рамок 50×50 см (площадь $0{,}5 \times 0{,}5$ км $= 25$ га).

Рамки квадратной разграфки планшетов наносят так же, как координатную сетку на планах других видов съемки, при помощи линейки Дробышева.

После вычерчивания рамки и координатной сетки приступают к нанесению опорных пунктов по их координатам. Правильность нанесения точек проверяют по расстояниям между ними, которые определяют по масштабу циркулем-измерителем, и сличают с соответствующими горизонтальными расстояниями из ведомости вычисления координат. Нанесенные на планшет точки нумеруют и около них надписывают абсолютные отметки. После нанесения опорных точек с планшета снимают две копии на кальке, называемые «кальками контуров и высот»; на них в ходе съемки ежедневно переносят на первую контуры, на вторую — высотные точки. Кальками контуров и высот в последующем пользуются при окончательном вычерчивании планшета.

Перед началом полевых работ производят поверку инструментов и рекогносцировку территории: находят пункты съемочного обоснования, на некоторых опорных пунктах, расположенных на возвышенностях, выставляют постоянные вехи для ориентирования по ним мензулы.

Съемка контуров и рельефа. Съемку контуров и рельефа местности производят одновременно полярным способом; она отличается от тахеометрической съемки тем, что горизонтальные углы и направления не измеряют, а строят на планшете при помощи линейки и кипрегеля. На станции мензулу центрируют при помощи вилки с отвесом, нивелируют уровнем, находящимся на линейке кипрегеля, и ориентируют по линии, соединяющей две точки на планшете, одна из которых является точкой стояния мензулы. Для ориентирования мензулы совмещают скошенный край линейки кипрегеля с линией на планшете и наводят трубу на другую точку вначале грубо вращением планшета от руки, затем точно наводящим устройством мензулы.

При съемке подробностей и рельефа направления на планшете на определяемые точки не проводят; точки наносят по измеренным до них расстояниям, откладываемым в масштабе циркулем-измерителем вдоль скошенного ребра линейки кипрегеля, наведенного на определяемую точку. На каждой станции в процессе съемки вычисляют по измеренным расстояниям и углам наклона превышения и по данной отметке станции и превышениям — абсолютные отметки пикетных точек, которые подписывают на планшете около соответствующих пикетов с округлением до 0,1 м.

Все отсчеты по дальномеру и вертикальному кругу, а также все вычисления записывают в журнал мензульной съемки (табл. 11).

При работе кипрегелем-автоматом КА-2 в журнале мензульной съемки заполняют только графы 1, 4, 7, 8, 9.

Расстояния до реечных точек не должны превышать расстояний, установленных и для тахеометрической съемки. По пикетным точкам, не сходя со станции и не нарушая ориентировки планшета, проводят горизонтали и рисуют контуры ситуации.

Таблица 11

Станция 5
Высота инструмента $i = 1{,}40$
Коэффициент дальномера $K = 100$
$H_{станции} = 124{,}15$

Дата 17 июля 1970 г.
Высота рейки $v = 3{,}10$
МО $= 0° 0'$
Наблюдатель А Егоров

№ пикетов	Расстояние по дальномеру D в м	Поправка за угол наклона ΔD	Горизонтальное проложение d в м	Отсчет по вертикальному кругу КЛ	Угол наклона ν	Превышение h в м	Отметка пикета H в м	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	92,0	0,0	92,0	1° 48′	—1° 48′	—2,89	121,26	
2	74,0	0,0	74,0	1 12	—1 12	—1,55	122,60	
3	81,0	0,0	81,0	359 54	+0 6	+0,14	124,29	
4	52,0	0,3	51,7	4 03	—4 03	—3,66	120,49	
5	43,0	0,3	42,7	5 05	—5 05	—3,80	120,35	

Нанесение на планшет в поле контуров и рельефа дает возможность верно и полно отразить особенности рельефа и ситуации снимаемого участка местности.

Часто при съемке сказывается недостаточность точек съемочного обоснования; в таком случае определяют на планшете дополнительные опорные точки, которые называют переходными.

Переходные точки определяют мензульными ходами следующим образом: в начальной точке ориентируют, нивелируют и центрируют планшет, а на переходной точке устанавливают рейку. Визируют на эту точку, прочерчивают линию вдоль скошенного края линейки кипрегеля и откладывают на планшете расстояние, измеренное лентой или определенное по дальномеру; получают положение переходной точки.

При двух положениях вертикального круга измеряют угол наклона, после чего мензулу устанавливают на переходной точке, ориентируя планшет на предыдущую точку стояния. Установив рейку на предыдущей точке, проверяют по дальномеру расстояние и измеряют обратный угол наклона при двух положениях вертикального круга.

Поверив прямое и обратное превышения по среднему арифметическому его значению, определяют отметку переходной точки. Съемку контуров и рельефа производят с переходной точки так же, как и с основных опорных пунктов.

Перед съемкой рельефа реечнику следует указать места постановки рейки; в закрытых местах, прежде чем проводить горизонтали, необходимо путем обхода изучить характер рельефа местности, подлежащей съемке с данной станции.

Снимая рельеф, визируют зрительной трубой кипрегеля на рейки при том же положении вертикального круга, при котором

ориентировали планшет мензулы на данной станции, преимущественно при КЛ.

При съемке подробностей на планшет наносят только такие точки контура и рельефа, которые отчетливо видны с данной станции. Все контуры и рельеф зарисовывают на планшете на месте тотчас же после их съемки. Здесь же устраняют недоразумения и невязки, встретившиеся при съемке.

Для повышения точности съемки ситуации и рельефа открытых участков следует на каждой следующей станции повторно снимать несколько точек, связанных с предыдущей станцией; закрытые участки снимают, как правило, способом обхода и только после съемки окружающих их открытых участков местности.

§ 55. Сводка планшетов и их вычерчивание

При съемках участков местности, размещающихся не на одном, а на нескольких мензульных планшетах, для осуществления контроля этих работ съемку ситуации и рельефа на всех таких планшетах производят еще и за его рамкой в пределах не менее 5 мм, являющейся общей с соседним планшетом.

Перед окончательным вычерчиванием планшета производят сводку (сравнение) ситуации и горизонталей по общим для соседних планшетов рамкам. Для этого с каждого планшета снимают на восковку копию ситуации и рельефа вдоль каждой общей стороны для соседних планшетов в полосе шириной 2 см внутри своего планшета и за ее пределами шириной 5 мм.

Накладывая соответствующие выкопировки одну на другую, устанавливают совпадение одноименных контуров ситуации и горизонталей по границе на соседних планшетах. При обнаружении несовпадений контуров ситуации или горизонталей, выходящих за пределы установленных для данного масштаба допусков, производят соответствующую проверку в поле и после этого вносят необходимые исправления, а если эти расхождения будут в пределах допустимых, то в этом случае устанавливают их окончательное положение на обоих соседних планшетах.

Вычерчивание планшетов и другие работы, связанные с графическим оформлением их, выполняют в полевых и камеральных условиях.

В поле чертежные работы выполняют карандашом, и только в перерывах между съемками отдельные части планшетов вычерчивают тушью.

Окончательно вычерчивают планшеты в камеральных условиях после завершения съемочных работ и сводки контуров ситуации и горизонталей по рамкам с соседними планшетами, если таковые имеются.

Вычерчивание планшетов начинают с надписей, затем наносят условные знаки ситуации местности и только после этого вычерчивают горизонтали и штрихи для склонов круче 35°.

§ 56. Понятие о фотограмметрических методах съемки

В настоящее время для составления планов и карт, а также при решении различных инженерных задач, связанных с работами на больших территориях или на участках значительной протяженности используются фотографические снимки, полученные при помощи специальных фотоаппаратов.

Наука, которая рассматривает способы получения и использования фотографических снимков для составления топографических планов и карт или для решения других задач, связанных с измерениями на снимках, называется фотограмметрией.

По способу получения снимков различают съемки: воздушную (аэрофотосъемку) и наземную. Аэрофотосъемку производят установленными на специальных самолетах аппаратами, а наземную съемку — фототеодолитами. В настоящее время аэрофотосъемка получила широкое применение в топографии, картографии, геологии, в горном, дорожном, строительном, лесном деле и т. д.

Аэрофотосъемку обычно производят специальным фотоаппаратом типа АФА-ТЭ; его устанавливают на особой подвеске над люком, на полу кабины самолета. Съемку выполняют по маршрутам с интервалами, устанавливаемыми в зависимости от скорости и высоты полета самолета и заданной величины перекрытия аэроснимков.

Каждый последующий аэроснимок маршрута должен перекрывать предыдущий на 60% вдоль полета и на 40% по поперечному направлению.

Первое перекрытие называется продольным, а второе — поперечным.

Наземную стереофотограмметрическую съемку производят фототеодолитами, устанавливаемыми на определенных точках земной поверхности — концах базисов. Фототеодолит — сочетание фотоаппарата и теодолита.

Фототеодолитный метод применяется преимущественно при железнодорожных, геологических и гидротехнических изысканиях, а также для съемки небольших участков в горных труднодоступных районах.

Различают два метода фототопографической съемки: комбинированный и стереофотограмметрический.

Если по аэроснимкам получают только контурную часть карты (фотоплан), а рельеф снимают в поле обычным мензульным методом, такая съемка называется комбинированной. Если по аэроснимкам составляют и контурную часть карты, и рельеф, такой метод называется стереофотограмметрическим или стереотопографическим. При этом дешифрирование контуров и рельеф местности наносятся на план (карту) в камеральных условиях.

Стереотопографический метод съемки основан на так называемом стереоскопическом зрении, т. е. на свойстве зрения двумя глазами воспринимать предметы объемно.

При фотографировании участка местности с двух точек два фотографических изображения одного и того же участка рассматриваются одновременно обоими глазами: левым глазом — изображение на левом снимке, правым глазом — на правом.

При таком стереоскопическом просмотре отдельные одноименные изображения (объекты) сольются и дадут одно пространственное изображение местности или предмета, которое называют стереоскопической моделью.

Необходимо в этом случае, чтобы снимки были правильно ориентированы один относительно другого. Для просмотра аэроснимков применяют стереоскопические приборы. Создающаяся при этом стереоскопическая модель дает возможность возвышенные участки видеть приподнятыми, низменные — расположенными внизу.

Стереотопографический метод в настоящее время является основным методом съемки как для целей государственного картографирования, так и для удовлетворения нужд ведомственных организаций.

За последнее время, с развитием и совершенствованием стереофотограмметрического приборостроения и аэрофотосъемочной аппаратуры, он с успехом применяется и при съемках в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000 с сечением рельефа через 0,5 м. Комбинированный метод топографической съемки применяется только в плоскоравнинной местности, а там, где по каким-либо причинам аэрофотосъемку выполнить нельзя или вследствие незначительности величины снимаемого участка производство аэрофотосъемки нецелесообразно, производится мензульная съемка.

По назначению различают контурную и высотную фототопографическую съемки.

По материалам контурной съемки составляют ситуационные планы и карты, по результатам высотной съемки — топографические планы и карты.

Камеральную обработку снимков для составления планов и карт производят универсальными и дифференцированными методами.

При работе дифференцированным методом все процессы выполняются отдельно один от другого разными исполнителями при помощи сравнительно простых приборов и приемов: определение элементов ориентирования — на стереокомпараторе, рисовка рельефа — на стереометре, составление по аэроснимкам плана — на оптическом проекторе.

Основным прибором при работе этим методом является топографический стереометр, на котором по высотным точкам производят ориентирование плановых аэроснимков и рисовку рельефа. Часть высотных точек определяют в поле геодезическими

методами в порядке «привязки снимков», вторую часть получают путем фотограмметрического сгущения высот.

Универсальный метод стереотопографической съемки базируется на использовании приборов двойного пространственного проектирования. В отличие от дифференцированного метода в универсальном применяются сложные приборы, позволяющие одному исполнителю выполнять все процессы создания рабочего оригинала карты по аэроснимкам. К этим процессам относятся взаимное ориентирование аэроснимков, геодезическое ориентирование модели, рисовка рельефа и контуров, фотограмметрическое сгущение плановых и высотных опорных точек.

Главное преимущество универсального метода перед дифференцированным состоит в том, что задача построения модели местности на универсальных приборах решается строго, а не приближенно. Эту модель стереоскопически наблюдают и измеряют с высокой точностью в пространственной системе координат и планы местности строят в ортогональной проекции. Поэтому универсальные приборы с одинаковым успехом применяются как в равнинных, так и в горных районах.

Универсальные стереоприборы делятся на три типа:

— приборы оптического проектирования, основанные на способе проектирования соседних аэроснимков на общий экран, и стереоскопического измерения модели. На этом способе основаны двойные проекторы и мультиплексы. В камеры проектора, расположенные одна относительно другой на расстоянии избранного базиса, устанавливают диапозитивы аэроснимков в натуральном или уменьшенном виде;

— приборы оптико-механического и механического типов. В этих приборах засечка точек выполняется подвижными оптическими или механическими элементами. Карта создается в различных масштабах непосредственно на приборе или на координатографе. К этому типу приборов относятся стереографы, стереопланиграфы;

— приборы с фотопечатающими устройствами. К таким приборам относятся фотостереограф Ф. В. Дробышева (ФСД), ортофототрансформатор Ф. В. Дробышева (ОФТД). В связи с особой трудностью конструирования этих приборов создана фотоприставка (ФПД2) к стереографу СД-2 (ОФПД).

§ 57. Характеристика аэроснимков

Аэроснимок представляет собой изображение местности в центральной проекции прямолинейных лучей, идущих от точек местности к оптическому центру объектива.

В зависимости от расположения оптической оси аэрокамеры относительно отвесной линии различают горизонтальную аэрофотосъемку, если оптическая ось аэрокамеры строго отвесна горизонтальный снимок), плановую аэрофотосъемку, если

ось уклоняется от отвесной линии до 3° (плановый снимок), перспективную аэрофотосъемку, когда уклонение больше 3° (перспективный снимок).

Аэроснимок равнинной местности, полученный при горизонтальном положении аэропленки, представляет план местности.

В верхнем правом углу аэроснимка указывают шифр объекта съемки, порядковый номер аэроснимка и дату съемки. На соответствующих углах аэроснимка отпечатаны показания круглого уровня и время в момент фотографирования. Время фотографирования (показания часов) используют при дешифрировании аэроснимков для распознавания объектов по направлениям и размерам теней. Показание пузырька круглого уровня позволяет приблизительно определить величину угла наклона аэроснимка.

Контактные отпечатки аэроснимков получают непосредственно прикладыванием фотобумаги к эмульсии аэронегатива. Контактные отпечатки хотя и содержат искажения за наклон аэроснимка, рельеф местности и разномасштабность, обусловленную колебаниями высоты фотографирования, но очень удобны для практического использования.

Контактные отпечатки применяют для составления фотосхем, опознавания контурных точек при привязке аэроснимков, для дешифрирования и рисовки рельефа местности.

Аэроснимки, приведенные к заданному масштабу, получают проекционной печатью при помощи фотоувеличения с учетом соответствующих масштабных коэффициентов.

Аэроснимки, свободные от искажения за наклон и приведенные к масштабу составляемого плана, называют трансформированными.

Такие аэроснимки получают при помощи специальных приборов — фототрансформаторов. Трансформированное изображение, полученное на экране прибора, экспонируют на фотобумагу. Трансформированные снимки содержат только искажение за рельеф местности и являются горизонтальными; они применяются для составления фотоплана.

§ 58. Элементы внутреннего и внешнего ориентирования аэроснимков

При использовании аэроснимка необходимо знать положение его главной точки относительно точек пересечения прямых, проходящих через метки аэроснимков. Координаты Δx_0, Δy_0 главной точки, а также значение $f_к$ называют элементами внутреннего ориентирования аэроснимка.

В процессе изготовления аэрофотоаппарата и его юстировки величины Δx и Δy стремятся привести к нулю, поэтому точка пересечения прямых, проходящих через координатные метки прикладной рамки аэрокамеры, является началом координат

точек аэроснимка. Значение фокусного расстояния камеры $f_к$ можно получить из паспорта аэрофотоаппарата.

Положение аэроснимка в момент фотографирования относительно системы координат фотографируемой местности определяют элементами внешнего ориентирования.

К элементам внешнего ориентирования относятся координаты центра проекции в пространстве, угол наклона аэроснимка в плоскости вокруг главной вертикали, угол поворота аэроснимка в своей плоскости вокруг главной точки по отношению главной вертикали и азимут линии направления съемки.

Элементы внешнего ориентирования определяют либо непосредственно в процессе фотографирования, либо фотограмметрическим путем с использованием пунктов геодезической основы.

Определение масштаба аэроснимка. Масштаб горизонтального аэроснимка (рис. 55) определяют по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{f_к}{H},$$

где $f_к$ — фокусное расстояние аэрокамеры; H — высота фотографирования, определяется в полете радиовысотомером.

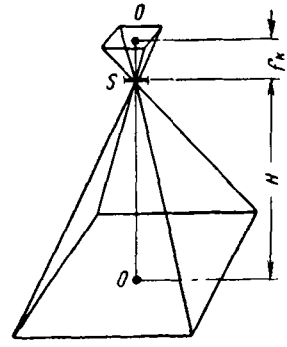


Рис. 55. Схема определения масштаба аэроснимка

Масштаб горизонтального аэроснимка постоянен на всей его площади.

Масштаб наклонного аэроснимка непостоянен и изменяется по различным направлениям. Так как разномасштабность наклонных аэроснимков создает неудобства при пользовании ими, для планового аэроснимка находят средний масштаб, которым и пользуются при определении расстояний и площадей.

Пример. По показанию радиовысотомера высота фотографирования аэроснимка $H = 2550$ м. Определить масштаб аэроснимка, если $f_к = 150$ мм

$$\frac{1}{m} = \frac{150 \text{ мм}}{2550 \text{ м}} = \frac{150}{2\,550\,000} = \frac{1}{17\,000}.$$

Отношение измеренного отрезка d линии на аэроснимке, легко опознаваемого на местности, к длине D в натуре даст с достаточной точностью средний масштаб аэроснимка

$$\frac{1}{m} = \frac{d}{D}.$$

§ 59. Аэрофотоаппараты и аэронавигационные приборы

Основные аэрофототопографические съемки в СССР выполняются аэрофотоаппаратами с форматом кадра 180×180 мм. В отдельных случаях применяются аэрофотоаппараты с форматом кадра 300×

$\times$300 мм. Современные аэрофотоаппараты полностью автоматизированы. В настоящее время наиболее совершенным является топографический аэрофотоаппарат АФА-ТЭ. Комплект АФА-ТЭ состоит из следующих основных частей: корпуса камеры, кассеты с двумя катушками, из которых одна предназначена для зарядки неэкспонированной (незаснятой) пленки, а другая — для перемотки заснятой пленки, прижимной доски и командного прибора, работающего от электромотора.

Объективы аэрофотоаппаратов представляют собой сложные оптические системы, обеспечивающие высокую разрешающую способность изображения и его ортоскопичность.

Корпус имеет форму цилиндра той или иной высоты в зависимости от величины фокусного расстояния объектива (55, 70, 100, 140, 200 и 350 мм). В него вставляется конус, в нижней части которого имеется объектив и затвор, а верхней — прикладная рамка формата 180$\times$180 мм. Прикладная рамка имеет координатные метки в виде треугольных выступов. Линии, проведенные через вершины меток, после их юстировки определяют положение главной точки аэроснимка.

В некоторых АФА-ТЭ в треугольных выступах имеются отверстия, через которые на аэропленку проектируются небольшими оптическими системами дополнительные метки-крестики. Установлено, что центрирование негативов по белым меткам-крестикам точнее, чем по механическим меткам, и достигает $\pm$ 0,003 мм.

В углах рамки расположены вспомогательные объективы, регистрирующие показания уровня, часов и порядкового номера аэроснимка. Кольцевые риски уровня нанесены с ценой интервала в 1° и дают возможность оценивать углы наклона аэроснимков в момент съемки в пределах до $\pm$ 5′.

В корпусе монтируется привод затвора аэрофотоаппарата в виде электромотора МС-160 (26В, 15Вт, 160 об/мин).

Аэрофотосъемочные объективы. Центрами проектирования объектива служат передняя и задняя узловые точки.

Аэрофотосъемочный объектив характеризуется углом поля зрения, величиной фокусного расстояния f, степенью точности изображения (дисторсией), разрешающей силой, распределением освещенности по полю изображения.

Отечественные аэрофотоаппараты АФА-ТЭ выпускаются с различными объективами и фокусными расстояниями. При этом, чтобы иметь возможность одним аэрофотоаппаратом выполнять съемку с различными фокусными расстояниями, он имеет сменные объективные конусы.

Затвор. Из многочисленных типов затворов в настоящее время в советских аэрофотоаппаратах применяются затворы типа жалюзи и центральные. В АФА-ТЭ при конусах с $f_к$ = 350 и 500 мм используются затворы жалюзи с выдержками до 1/300 с.

Кассета представляет собой механизм, выполняющий процессы перемотки, выравнивания и остановки аэропленки. Она вмещает 60 м аэропленки шириной 19 см, что позволяет получить около 300 аэроснимков формата 18×18 см. Выравнивание пленки в плоскость в момент экспонирования выполняется вакуумным способом. В зависимости от типа конструкции полный цикл совершается в 1,4—4 с.

Фотоустановка предназначена для того, чтобы придавать аэрофотоаппарату горизонтальное положение, поворачивать его на угол упреждения и уменьшать влияние вибрации самолета на резкость изображения.

В СССР применяется гиростабилизирующая установка Н-55, являющаяся двухгирорамной системой. Каждая гирорама стабилизирует площадку, в которой подвешен аэрофотоаппарат, в направлении одной из осей. Гиростабилизирующая установка Н-55 обеспечивает получение аэроснимков с углами наклона в среднем ±10—15′ при наибольшей их величине около 40′. Четырехгироскопическая установка ГСУ-М, разработанная С. П. Шокиным, дает возможность получить аэроснимки с углами наклона в среднем ±5—10′.

Современные аэрофотоаппараты снабжены статоскопом, позволяющим определять разности высот фотографирования; радиовысотомером, определяющим высоты фотографирования, и прибором для горизонтирования аэроснимков.

Статоскоп представляет собой высокочувствительный дифференциальный барометр, построенный по принципу барометра Д. И. Менделеева. Применение статоскопа основано на измерении разности давления воздуха в точках, превышения между которыми необходимо определить.

Радиовысотомер. Для определения высот станций фотографирования относительно поверхности земли применяется радиовысотомер, представляющий собой радиолокационную установку, излучающую радиоволны и принимающую их после отражения от земной поверхности. По времени прохождения радиоволны до поверхности земли и обратно может быть определена высота фотографирования

$$H = \frac{c\,t}{2},$$

где c — скорость распространения радиоволны, t — время прохождения волны.

Так как скорость распространения радиоволн равна около 300 000 км/с, а высота фотографирования не превышает нескольких километров, то время прохождения радиволн в этом случае составляет миллионные доли секунды. Для измерения таких малых отрезков времени радиовысотомеры снабжены специальным устройством — индикатором.

Аэронавигационные приборы, применяемые при аэрофотосъемке, обеспечивают прямолинейность маршрутов, заданные перекрытия, заданные высоты фотографирования и горизонтальность аэроснимков.

Теневой указатель курса служит для прокладки прямолинейных маршрутов и основан на использовании солнечной тени, падающей от вертикального стержня на равномерно вращающийся путевой лимб.

Палубный оптический визир служит для определения угла сноса и путевой скорости. В комплект прибора входят зрительная труба, универсальная пята, секундомер, электрокабель. Прибор крепится в полу самолета.

В настоящее время созданы приборы для автоматического выдерживания заданного продольного перекрытия аэроснимков.

Бортовой визир применяется для определения величины поперечного перекрытия аэроснимков.

Кренозадатчик в сочетании с секундомером дает возможность пилоту правильно строить элементы захода на следующий маршрут

§ 60. Изготовление фотоплана

Для создания фотоплана местности трансформированные аэроснимки накладывают на планшет так, чтобы опорные точки их и планшета совпадали; для удобства совмещения точки пробивают пуансоном с диаметром бойка 1,5 мм.

Посередине перекрытия соседних аэроснимков делают прорезь ланцетом, при этом линия прореза должна пересекать наименьшее количество контуров. Затем лишние части аэроснимков удаляют, а оставшиеся наклеивают на планшет, соединяя их в фотоплан.

Несовмещение контуров на линии прореза не должно превышать 0,5 мм. Аэроснимки наклеиваются амилацетатным клеем, не вызывающим деформации; клей с поверхности фотоплана удаляют ацетоном

Фотоплан применяют:

1. В сельском и лесном хозяйстве, при строительстве, изысканиях и железнодорожном строительстве, для мелиоративных и гидротехнических работ, при геологоразведочных и других работах.

2. Для создания топографических карт комбинированным методом, при котором рельеф местности снимается в полевых условиях при помощи мензулы и кипрегеля и наносится на фотоплан горизонталями.

При комбинированном методе аэросъемки полевое дешифрирование контуров ведут обычно одновременно с рисовкой рельефа, имея запасной комплект аэроснимков для стереоскопического изучения местности. При сочетании камерального дешифрирования с полевым вначале под стереоскопом изучают модель местности и камерально дешифрируют объекты и контуры, надежность которых не вызывает сомнений. Затем намечают маршруты полевого обследования и дешифрируют в натуре все сомнительные места.

Дешифрированием называется процесс опознавания по фотографическому изображению на фотоплане, фотосхеме и аэроснимках отдельных объектов местности, границ разных контуров и их содержания. В зависимости от назначения выполняют различные виды дешифрирования: топографическое, геологическое, почвенное, лесное и др.

Для создания топографических карт производят топографическое дешифрирование, при этом отдельные объекты и контуры местности изображают топографическими условными знаками, утвержденными в установленном порядке.

Иногда съемку рельефа и дешифрирование ведут по фотосхемам и отдельным аэрофотоснимкам сразу же после аэрофотосъемки

Фотосхемой называется фотографическое изображение участка местности, составленное из центральных рабочих площадей аэроснимков, не приведенных к одному масштабу Преимущество использования фотосхем состоит в том, что она может быть изготовлена очень быстро после залета.

ГЛАВА V

ОСНОВНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

§ 61. Государственная геодезическая сеть

Научные и практические задачи изучения территории страны требуют создания для их решения государственной опорной сети. Различают два вида сети:

1) горизонтальная (плановая) геодезическая основа, которая создается методом триангуляции, полигонометрии и трилатерации;

2) вертикальная (высотная) геодезическая основа, которая создается методами точного нивелирования.

Триангуляция является основным методом определения положения пунктов плановой основы. Методы триангуляции заключаются в построении и закреплении на местности системы смежно расположенных треугольников со сторонами дли-

ной от 25 км и короче. Геодезические работы здесь сводятся к измерению всех углов в треугольниках и длины двух сторон в ряду треугольников, называемых базисными сторонами. Длины этих сторон измеряют с помощью свето- и радиодальномеров. Длины всех остальных сторон последовательно определяют тригонометрическими вычислениями.

При помощи астрономических наблюдений получают исходные данные; координаты каждой из вершин определяемой системы находят путем последовательных вычислений. Государственная триангуляция 1 класса состоит из рядов треугольников со сторонами 20—25 км. Ряды располагают преимущественно по меридианам и параллелям. Общий периметр четырехугольников, образованных этими рядами, не превышает 800 км. Триангуляцию 1 класса используют в научных целях, для определения фигуры и размера Земли, а также для создания единой системы координат. Пространство внутри полигонов 1 класса заполняется сетью треугольников 2 класса со сторонами в среднем 13 км. Государственная триангуляция 2 класса служит опорой для заполняющей сети 3 и 4 классов (рис. 56).

Трилатерация *— метод определения положения геодезических пунктов путем построения на местности систем смежно расположенных треугольников, в которых измеряются длины их сторон. С появлением точных светодальномеров, таких как МСД-1, ЕО-2000 и др., при строительстве тоннелей и метрополитенов трилатерация находит все большее применение. При создании тоннельной триангуляции измеряют в треугольниках все углы и стороны, в результате получают очень жесткое и надежное наземное обоснование, обеспечивающее с требуемой точностью перенесение проектов подземных сооружений в натуру и хорошую сбойку встречных глухих забоев. В населенных пунктах и лесных массивах триангуляцию 4 класса заменяют полигонометрией — методом определения положения геодезических пунктов путем проложения на местности ломаной линии или системы связанных между собой ломаных линий. Ходы полигонометрии образуют систему многоугольников (полигонов), сопрягающихся с пунктами опорной сети высшего класса через примычные углы. В отличие от триангуляции в ходах полигонометрии измеряют все углы и все стороны.

Одновременно с горизонтальной опорной сетью создается также государственная высотная (нивелирная) опорная сеть I—IV классов. Нивелирная сеть I и II классов является главной высотной основой, посредством которой на территории СССР установлена единая система высот, началом которой является высотный нуль Кронштадтского футштока (Балтийская система). Нивелирная сеть III и IV классов опира-

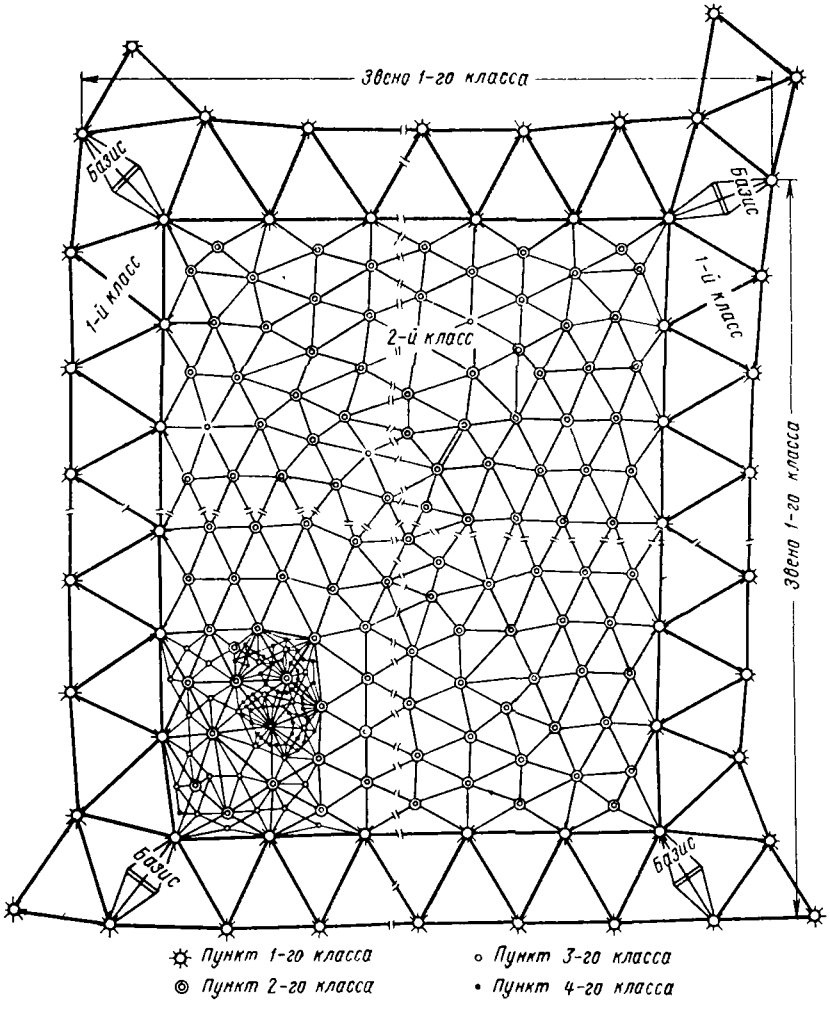


Рис. 56. Схема государственной геодезической основы

ется на пункты высотной основы I и II классов и служит высотным обоснованием для всех видов съемок.

Развитие государственной геодезической сети осуществляет Главное управление геодезии и картографии.

§ 62. Тоннельная триангуляция, основная и подходная полигонометрия

Первоочередной задачей геодезических работ при постройке тоннелей всех назначений является обеспечение будущих разбивок в натуре точным и надежным плановым наземным геодезическим обоснованием — триангуляцией и полигонометрией, а также высотной основой.

Плановой геодезической основой при строительстве тоннелей служит сеть триангуляции, опирающаяся на пункты государственной триангуляции.

Для тоннелей небольшой протяженности и подземных сооружений, располагающихся на незначительной площади, возможно создание планового обоснования в виде основной полигонометрии или аналитической сети. Для правильной организации основных геодезических работ в каждой цепи триангуляции или ходе полигонометрии взамен триангуляции рекомендуется подсчитать среднюю квадратическую погрешность взаимного определения конечных точек. Она не должна превышать допусков, приведенных в табл. 12.

Для повышения точности сеть тоннельной триангуляции создают из треугольников, близких к равносторонним и не имеющих

Таблица 12

Условия построения геодезической основы	Формулы подсчетов допусков
Тоннели сооружаются через порталы или штольни:	
без последующего сгущения ходами основной полигонометрии	$m = 0{,}6\,\Delta\sqrt{\frac{L}{l}}$
при последующем сгущении	$m = 0{,}4\,\Delta\sqrt{\frac{L}{l}}$
Тоннели сооружаются через стволы:	
без последующего сгущения ходами основной полигонометрии	$m = 0{,}45\,\Delta\sqrt{\frac{L}{l}}$
при последующем сгущении	$m = 0{,}3\,\Delta\sqrt{\frac{L}{l}}$
В указанных формулах:	

Δ — величина допустимого отклонения рабочей оси тоннеля от окончательной оси, определяемой после сбойки встречных тоннелей;

L — длина сооружаемого тоннеля;

l — среднее расстояние между смежными стволами, порталами, штольнями.

углов меньше 30°; в каждом четырехугольнике, составленном из двух треугольников, предусматривают две диагонали (рис. 57).

При отсутствии государственной сети вблизи строящегося тоннеля тоннельная триангуляция опирается на собственные базисы, располагаемые не реже чем через 6 треугольников, образующихся после отбрасывания диагоналей. В качестве базисов используются стороны сети, расположенные в направлениях, удобных для проведения точных линейных или светодальномерных измерений.

Пункты триангуляции размещаются таким образом, чтобы от каждого входа в тоннель (портал, шахта) была обеспечена види-

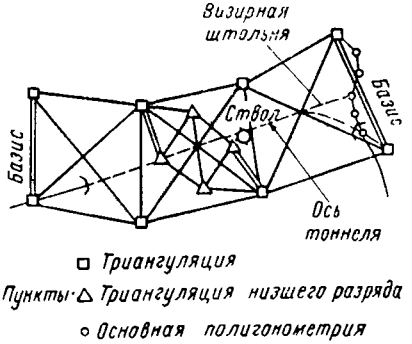


Рис. 57. Схема триангуляции для перевального тоннеля

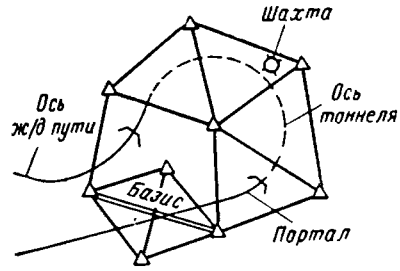


Рис. 58. Схема триангуляции для петлевого тоннеля

мость не менее двух пунктов. Пункты размещают за пределами полосы возможных осадок поверхности. Желательно также размещение пунктов триангуляции, при котором встречные проходки ориентируют по одной и той же стороне треугольника, так как при этом исключается влияние на сбойку осей погрешностей в определении дирекционного угла и координат пунктов. При строительстве петлевых тоннелей достаточно проложить сеть, жестко соединяющую припортальные пункты. Если проходка тоннеля осуществляется не только с порталов, но и через промежуточные входы (стволы шахты, штольни), целесообразно располагать пункты по центральной системе (рис. 58). При строительстве подводных тоннелей всегда обеспечена видимость в полосе их расположения. В этих случаях базисы, как правило, прокладывают на обоих берегах водотоков (рис. 59). При невозможности размещения пунктов триангуляции вблизи от входов в тоннель у последних создают пункты основной полигонометрии.

Согласно инструкции по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей (ВСН—160—69) для обеспечения предельной погрешности сбойки тоннелей (допуск) 100 мм при создании триангуляции руководствуются требованиями, приведенными в табл. 13.

Основная полигонометрия на дневной поверхности прокладывается вдоль трасс метрополите-

Таблица 13

Общая длина тоннеля	Разряд триангуляции	Длина сторон триангуляции в км	Средняя квадратическая погрешность измеренного угла, подсчитанная по невязкам в треугольниках	Допустимая невязка треугольника	Относительная погрешность измерения длины базиса	Средняя относительная погрешность выходной стороны	Допустимое увеличение базисной сети ромбического вида	Относительная погрешность определения длины наиболее слабой стороны сети	Средняя погрешность дирекционного угла наиболее слабой стороны сети
Более 8 км	I	4—10	± 0,7″	± 3″	1 800 000	1 : 400 000	2,5	1 : 200 000	± 1,5″
От 5 до 8 км	II	2—7	± 1,0	± 4	1 . 500 000	1 . 300 000	2,5	1 : 150 000	± 2,0
От 2 до 5 км	III	1,5—5	± 1,5	± 6	1 400 000	1 · 200 000	3	1 : 120 000	± 3,0
От 1 до 2 км	IV	1—3	± 2,0	± 8	1 : 300 000	1 : 150 000	3	1 : 70 000	± 4,0

Примечание. В таблице длина L учитывает случай сооружения тоннеля из двух крайних его точек. При наличии промежуточных стволов или штолен необходимо определять величину $L_{экв}$ по формуле

$$L_{экв} = \sqrt{L\,l},$$

где L — общая длина тоннеля, l — среднее расстояние между смежными точками открытия фронта тоннельных работ.

ов и тоннелей различного назначения с целью обеспечения опорыми пунктами: трассирования тоннелей; перенесения проекта оружения в натуре; сбоек тоннелей в плане. Она прокладывася в виде сети замкнутых полигонов или одиночных ходов ежду пунктами триангуляции; при этом длины полигонометриеских ходов должны быть в пределах 3—4 км.

Линейная привязка к пунктам триангуляции чаще чем через км разрешается при условии, если погрешности в определении унктов триангуляции не внесут заметного искажения в резуль-

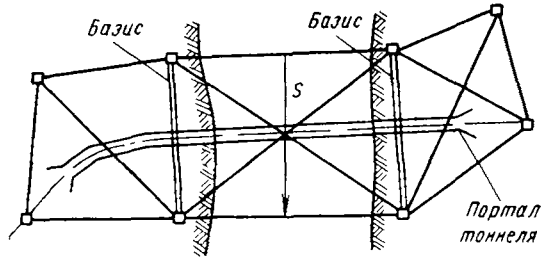


Рис. 59. Схема триангуляции для подводного тоннеля

ıты полевых измерений. Направления для прокладки наземной олигонометрии выбирают благоприятные для закладки знаков, змерений линий и углов.

Средняя длина линий полигонометрии составляет 250 м, причем аибольшая длина не превышает 500 м, а наименьшая не должна ыть короче 100 м.

Полигонометрические знаки, в зависимости от места их по-ановки, применяют различных типов. Независимо от выбрано типа полигонометрический знак должен удовлетворять слеющим основным условиям;

а) иметь вполне определенную точку, принимаемую за центр ака;

б) должен быть прочен и устойчив;

в) должен быть удобен для производства угломерных и линейых измерений.

Для незастроенной территории полигонометрическими знаами могут служить рельсы (рис. 60) или металлические трубы якорем, забетонированные ниже глубины промерзания грунта, также бетонный монолит с металлическим стержнем. В застроных районах применяются знаки типа, показанного на рис. 61, также марки, закрепленные в бетонном основании мостовом и бортовом камне. Разрешается использовать ободки смотвых колодцев.

После закладки полигонометрического знака производится ивязка его к местным предметам; составляется исполнительная ема заложенных знаков, а также альбом привязок с указанием типа аков. Для измерения углов основной полигонометрии приме-

няются оптические теодолиты типа Т2, ТБ-1 или им равноточные. Инструменты, не имеющие заводского паспорта, исследуются. В процессе работ они должны систематически проверяться; особое внимание необходимо уделять тщательной выверке оптического центрира.

Измерение углов производится способом круговых приемов четырьмя приемами, с перестановками лимба через 45°, при

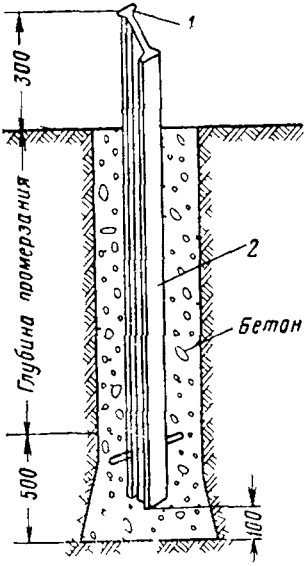


Рис 60 Закрепление капитального грунтового полигонометрического знака

1 — центр знака, отверстие диаметром 2 мм с медной расчеканкой, *2* — рельс

Размеры указаны в мм

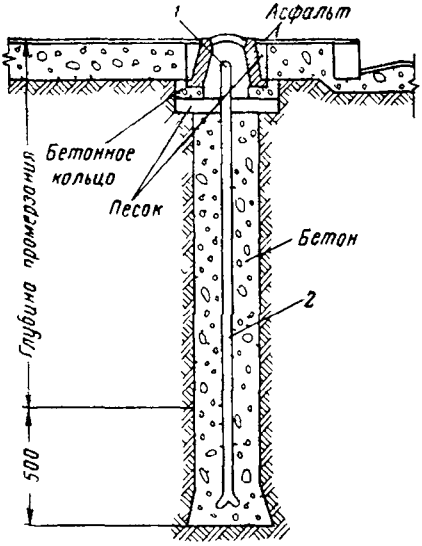


Рис 61. Закрепление капитального грунтового полигонометрического знака с колпаком

1 — центр знака, отверстие диаметром 2 мм с медной расчеканкой, *2* — металлический стержень диаметром 40 мм Размеры указаны в мм

этом два приема наблюдаются при одном положении оптического центрира, а два других — при центрире, повернутом на 180°.

Каждому изменению положения центрира инструмента должна соответствовать новая центрировка визирных марок с поворотом на 180°.

Погрешность центрирования не должна превышать 0,8 мм.

Предельная невязка в сумме углов по горизонту f_β не должна превышать величины, определяемой формулой

$$f_\beta = 2m_\beta \sqrt{n'} = 6'' \sqrt{n},$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность собственно измерения угла, n' — число углов.

Допустимая угловая невязка f_β в отдельном ходе или замкнутом полигоне не должна превышать величины, определяемой формулой

$$f_\beta = 2m_\beta\sqrt{n} = 6''\sqrt{n},$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность измерения угла, n — число измеренных углов в ходе или полигоне.

Измерение линий

Линии основной полигонометрии измеряются светодальномерами или инварными проволоками на весу по штативам или кольям с постоянным натяжением в 10 кг при помощи блочных станков и грузов, подвешиваемых на концах проволок в прямом и обратном направлениях. Остатки линий измеряются компарированной рулеткой.

Температура воздуха при работе измеряется на каждом пролете и отсчитывается до 1°.

Расхождение в длине линии, измеренной в прямом и обратном направлениях, после введения поправок за температуру не должно превышать 0,5 мм.

Для определения поправок за наклон мерного прибора производится нивелирование целиков штативов или кольев.

Журналы измерений углов, линий и нивелирования целиков должны быть обработаны в две руки. По окончании обработки журналов линейных измерений производится вычисление длин линий с введением всех поправок (табл. 14, 15).

Таблица 14

Журнал измерения линий полигонометрии

Число, месяц и год: 7 марта 1976 г.

Наблюдатели: 1. Алферов — Линия 1072—1073
2. Петрова — Проволока № 345

Записывающий Сидоров

№ штативов	Прямо			Обратно		
	П	З	П − З	П	З	П − З
1072—1	449	102	+347	482	140	+342
	546	201	+345	562	217	+345
	584	240	+344	630	287	+343
			+34,5			+34,3
	$t^\circ = +2^\circ$			$t^\circ = +2^\circ$		
1—2	398	117	+281	528	246	+282
	531	253	+278	601	319	+282
	618	341	+277	680	399	+281
			+27,9			+28,2

Таблица 15

Ведомость вычисления длин линий полигонометрии

Дата	№ полигонометрических знаков	Число полных пролетов	nl в м	$\sum(\text{П}-\text{З})$ в мм	$t°_{ср}$	ΔS_t в мм	ΔS_l в мм	ΔS_h в мм
			Инварная проволока № 1179					
4. III. 1976 г.	1028—1027	13	312	+208,1	—1,5°	—2,4	11,7	—22,8
		13	312	+204,4	—1,3°	—2,4	11,7	—22,8
5. III. 1976 г.	1071—1065	9	216	+152,2	—1,8°	—1,6	—8,1	—5,0
		9	216	+157,4	—1,3°	—1,6	—8,1	—5,0

Дата	Остаток				Исправленная длина линии	Среднее из двух измерений в м	Относительная разность двух измерений	№ журналов линейных измерений и нивелирования
	r измерен. в м	$t°_{ср}$	Δr_t в мм	Δr_l в мм				
			Рулетка № 163					
4. III. 1976 г.	$16{,}135_3$	—2,0°	—4,4	+7,4	$328{,}309_5$	$328{,}307_9$	1 : 100 000	Лин журнал № 65, стр. 13—16
	$16{,}135_5$	—1,0	—4,1	+7,4	$328{,}306_3$			Нив журнал № 66, стр. 5—6
5 III 1976 г.	$3{,}269_0$	—3,0	—0,9	+1,5	$219{,}407_1$	$219{,}406_4$	1 : 150 000	Лин журнал № 65, стр. 17—19
	$3{,}262_3$	—2,0	—0,9	+1,5	$219{,}405_6$			Нив журнал № 66, стр. 7—8

По окончании обработки полевых журналов, вычисления длин линий и редуцирования их на принятый горизонт составляется схема ходов с указанием на ней окончательных значений углов, длин линий и угловых невязок фигур. Затем производят оценку точности угловых измерений по формуле (табл. 16)

$$m_\beta = \sqrt{\frac{\frac{f_\beta^2}{n'}}{N}},$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность измеренного угла, f_β — угловая невязка в полигоне или ходе, n — число углов в полигоне или ходе, N — число полигонов или ходов.

Средняя квадратическая погрешность измеренного угла, выведенная по невязкам в замкнутых полигонах и в ходах между твердыми дирекционными углами, вычисляется по формуле

$$m_\beta = \sqrt{\frac{\left[\frac{f_\beta}{n'}\right]}{N}} = \sqrt{\frac{136{,}0}{15}} = 3{,}0'',$$

где N — число полигонов или ходов.

Таблица 16

Оценка точности угловых измерений

№ полигона или хода	Угловая невязка f_β	Количество углов n'	f_β^2	$\frac{f_\beta^2}{n'}$
1	+15	12	225	18,0
2	—1	10	1	0,1
3	—16	9	256	28,2
4	+17	12	289	23,1
5	—1	9	1	0,1
6	+2	13	4	0,3
7	—10	9	100	11,0
8	—10	11	100	9,0
9	+15	13	225	18,0
10	—6	8	36	4,3
11	—5	7	25	3,5
12	+10	9	100	11,0
13	—8	7	64	9,0
14	+1	4	1	0,2
15	—1	5	1	0,2
Σ	+60 —58	138	1428	136,0

Примечание. Значительное преобладание угловых невязок с одним знаком свидетельствует о наличии влияния систематических погрешностей. В приводимой таблице указанного влияния не наблюдается.

Короткобазисная параллактическая полигонометрия

В геодезических и маркшейдерских работах большой объем занимают линейные измерения. Применение створно-короткобазисного способа определения расстояний позволяет производить измерения в стесненных городских условиях, на тесных шахтных площадках, а также значительно сократить количество рабочих, занятых измерением сторон полигонометрии. Параллактический способ измерения расстояний имеет также преимущество в том, что не требует введения поправок для приведения расстояния к горизонту.

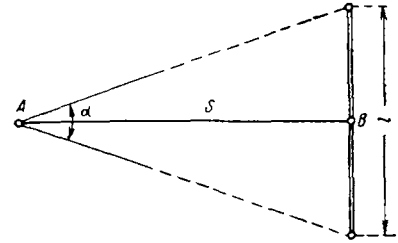


Рис. 62. Схема расположения рейки «Балла» и теодолита

Если в точке визирования (B) установить постоянный базис (базисную рейку) (рис. 62), расположенный горизонтально под прямым углом к направлению измеряемого расстояния, то, измерив величину параллактического угла (α) между направлениями на концы базиса, можно по формуле

$$S' = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

непосредственно определить величину горизонтального проложения измеряемого расстояния.

Для измерения параллактических углов пользуются теодолитами средней точности (типа Т2). В качестве постоянного базиса используют двухметровую базисную рейку «Балла» Народного предприятия «Карл Цейсс». Эта рейка состоит из двух трубок легкого сплава, соединенных вместе путем свинчивания их при помощи накидной гайки. На концах рейки точно на расстоянии двух метров укреплены две визирные марки. Постоянство расстояний между ними обеспечивается посредством двух инвар-

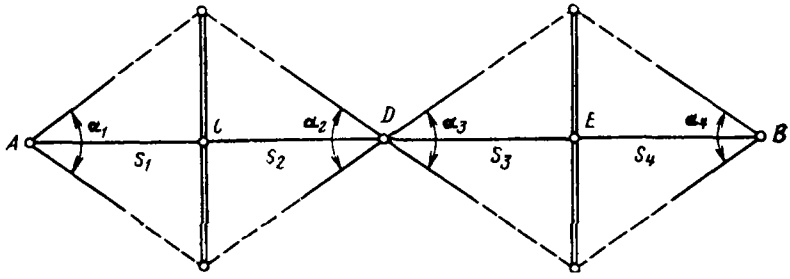


Рис. 63 Измерение линии створно-короткобазисным способом

ных стержней и биметаллического компенсатора. Рейка снабжена визиром для установки ее перпендикулярно к измеряемому расстоянию.

Таким образом, дальномерная рейка в сочетании с точным теодолитом представляет собой дальномер с постоянным базисом, где погрешность измерения расстояния прямо пропорциональна квадрату расстояния и обратно пропорциональна длине базиса (дальномерной рейки). Поэтому для уменьшения погрешности измерения необходимо либо увеличить точность измерения параллактического угла, либо уменьшить измеренное расстояние, либо увеличить длину дальномерной рейки.

Точность измерения линий подходной полигонометрии и полигонометрии, обеспечивающей сооружения тоннелей открытого способа работ, — 1 : 15 000. Для обеспечения этой точности необходимо, чтобы расстояние между инструментом и рейкой не превышало 30 м, а параллактический угол был измерен шестью полуприемами. Для ослабления влияния рена на результаты измерений обязательно использование всего барабана оптического микрометра.

При измерении линии AB створно-короткобазисным способом (рис. 63) теодолит устанавливают в точке A. Линию створят и разбивают на интервалы S_1, S_2 и т. д., приблизительно равные 30 м. Устанавливают рейку в т. C и измеряют параллактический угол α_1. Затем переносят теодолит в т. D и измеряют параллактические углы α_2 и α_3 и т. д.

Например, измерили параллактические углы:

$\alpha_1 = 3°50'08\overset{''}{3}$; $\alpha_2 = 3°47'48\overset{''}{3}$;

$\alpha_3 = 3°50'10\overset{''}{0}$ и $\alpha_4 = 6°35'33\overset{''}{8}$.

По таблицам натуральных значений тригонометрических функций находим длины линий:

$$S_1 = \operatorname{ctg}\frac{\alpha_1}{2} = 29{,}864_3, \quad S_2 = \operatorname{ctg}\frac{\alpha_2}{2} = 30{,}170_4,$$

$$S_3 = \operatorname{ctg}\frac{\alpha_3}{2} = 29{,}603_2, \quad S_4 = \operatorname{ctg}\frac{\alpha_4}{2} = 17{,}362_4.$$

Суммируя полученные значения, находим длину линии

$AB = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 107{,}000$ м.

ГЛАВА VI

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

§ 63. Разбивочные работы при строительстве гидротехнических сооружений и зданий

Перенесение на местность точек основных осей сооружений, в зависимости от расположения пунктов главного геодезического обоснования и условий местности, осуществляется одним из следующих способов.

Триангуляция. Этот способ применяется тогда, когда имеется возможность получить точки и пикетаж оси построением простейших систем триангуляции: цепочкой треугольников, геодезическим четырехугольником, центральной системой и пр. Форма треугольников должна быть близкой к равносторонней, а связующие углы должны быть не менее 30° и не более 120°.

Число треугольников в висячей цепи, опирающейся только на одну сторону треугольника главного геодезического обоснования, не должно быть более двух.

В цепях треугольников измеряются все три угла каждого треугольника.

Полигонометрические или теодолитные ходы прокладываются по основным осям сооружений в случаях, когда ни один из известных способов не может быть применен или когда ось сооружения имеет большое количество близко расположенных один к другому углов поворота. В этом случае де-

лается расчет длин и углов, которые необходимо отложить на местности для перенесения оси сооружений.

Теодолитные и полигонометрические ходы должны опираться обоими концами на пункты главного геодезического обоснования.

Существо изложенных двух способов заключается в следующем: между координатами пунктов близко расположенного пункта триангуляции или полигонометрии и проектными координатами главных узловых точек трассы или сооружения решаем обратную геодезическую задачу, имея в виду, что проектные координаты составлены в единой системе координат геодезического обоснования. В результате решения обратных геодезических задач геодезист получает угол на пункте обоснования и длину линий до проектной узловой, осевой или другой основной точки сооружения. Получив несколько таких точек на местности, геодезист разбивает от этих основных точек сооружения все остальные вспомогательные точки и таким образом переносит на местность все проектные данные, необходимые для строительства.

Так же поступают и с высотными данными. Имея проектные отметки сооружения в единой системе с геодезическим обоснованием, вычисляют превышение между отметкой, пунктом геодезического обоснования и точкой оси сооружения, далее при помощи нивелира передают проектную отметку сооружения на местность.

Комбинированная засечка. Применяется тогда, когда с определяемой точки оси или пикета устанавливается видимость только на три пункта главного геодезического обоснования. В этом случае, кроме наблюдений с определяемой точки, предусматривается наблюдение точки оси одного из пунктов главного геодезического обоснования.

Обратная засечка. Когда с определяемой точки имеется видимость не менее чем на четыре пункта главного геодезического обоснования, применяется обратная засечка. Определяемая точка оси не должна находиться вблизи окружности, проходящей через три любых из четырех пунктов, используемых для определения требуемой точки оси сооружения.

Прямая засечка. Применяется тогда, когда имеется видимость на точку оси сооружения не менее чем с трех пунктов главного геодезического обоснования. Углы между смежными направлениями на определяемом пункте должны быть не более 120° и не менее 30°.

Вычисляют дирекционные углы направлений и длины линий из решения обратных геодезических задач с пунктов обоснования на определяемую точку, а по ним и углы, которые нужно отложить на местности.

Полярный способ. Применяется в случаях, когда переносимая на местность точка, характерная для сооружения, находится вблизи пункта главного геодезического обоснования, имеется видимость и возможность измерения линии.

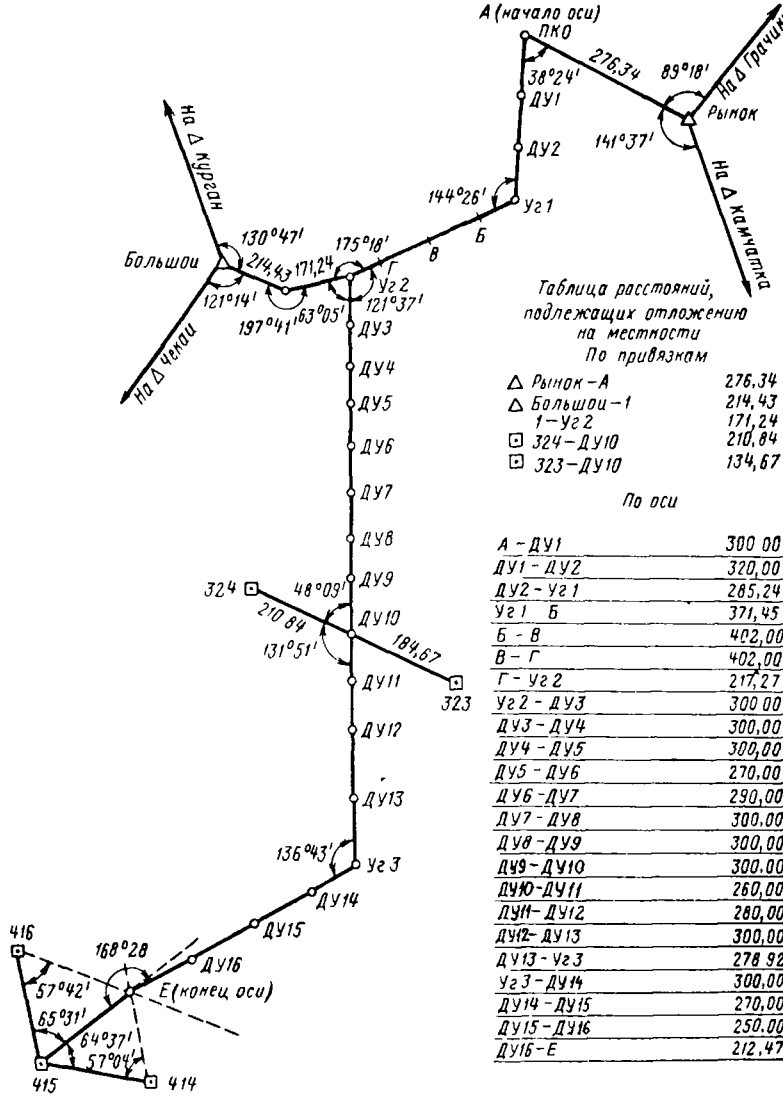


Таблица расстояний, подлежащих отложению на местности

По привязкам

△ Рынок – А	276,34
△ Большой – 1	214,43
1 – Уг 2	171,24
⊡ 324 – ДУ10	210,84
⊡ 323 – ДУ10	134,67

По оси

А – ДУ1	300 00
ДУ1 – ДУ2	320,00
ДУ2 – Уг 1	285,24
Уг 1 Б	371,45
Б – В	402,00
В – Г	402,00
Г – Уг 2	217,27
Уг 2 – ДУ3	300 00
ДУ3 – ДУ4	300,00
ДУ4 – ДУ5	300,00
ДУ5 – ДУ6	270,00
ДУ6 – ДУ7	290,00
ДУ7 – ДУ8	300,00
ДУ8 – ДУ9	300,00
ДУ9 – ДУ10	300,00
ДУ10 – ДУ11	260,00
ДУ11 – ДУ12	280,00
ДУ12 – ДУ13	300,00
ДУ13 – Уг 3	278 92
Уг 3 – ДУ14	300,00
ДУ14 – ДУ15	270,00
ДУ15 – ДУ16	250,00
ДУ16 – Е	212,47

Рис. 64 Типовой рабочий чертеж перенесения на местность осей гидроузла

Вычисляют расстояния от пункта обоснования до точки оси (другой характерной точки сооружения) и углы между направлениями на пункт главного геодезического обоснования и выносимую на местность точку оси сооружения.

Промеры по линии между двумя пунктами главного геодезического обоснования. Применяются в тех случаях, когда ось сооружения пересекают сторону триангуляции или полигонометрии. Расстояния вычисляют от точки пересечения до обоих пунктов обоснования, а также и углы в точке пересечения между стороной обоснования и осью сооружения.

В результате разработки проекта геодезических работ по перенесению на местность основных осей сооружений составляется рабочий чертеж, на котором, кроме данных проектного чертежа, показываются все длины линий и значения углов, определяющих на местности положение точек оси от пунктов главного геодезического обоснования. Все длины линий на рабочем чертеже даются в горизонтальном положении.

Типовой рабочий чертеж для перенесения на местности точек осей приведен на рис. 64.

§ 64. Геодезические работы при возведении земляного полотна, плотин

По своему назначению земляные сооружения делятся на гидротехнические, ирригационные, мелиоративные, дорожные и др. Земляные сооружения могут быть временными и постоянными. К постоянным относятся сооружения, предназначенные для долгосрочной эксплуатации (земляные плотины, каналы и др) Временные сооружения нужны, например, для ограждения постоянных сооружений на время их постройки от воздействия грунтовых и проточных вод (котлованы для устройства оснований гидростанции, плотин, шлюзов, перемычек ограждений и др.)

Земляные сооружения могут быть линейными (дорожное полотно, каналы, траншеи и др.) и сосредоточенными (котлованы под здания, бассейны и др.).

Производство земляных работ заключается в разработке линейных выемок, устройстве насыпей, планировке площадок, засыпке траншей и «пазух» фундаментов, уплотнении насыпных грунтов

В последние годы весьма быстрое развитие получила механизация земляных работ, которая в свою очередь вызвала необходимость проведения повседневных геодезических работ. Определяется сначала контур котлована сооружения на местности, а затем работа землеройных машин постоянно направляется в плане и по высоте при помощи намеченных на местности геодезистом осей и рабочих реперов. Предварительное перенесение контура сооружения на местность производится геодезическими методами, закрепляются они временными знаками, которые в процессе строительства уничтожаются

Допуски предварительного перенесения контура сооружения на местность для земляных работ установлены лишь при зачистке дна котлованов, откосов насыпей и выемок и при контроле геометрических форм постоянных сооружений.

Перенесение контура земляных сооружений на местность производится по специальным проектным (разбивочным) чертежам или по аналитическим данным, полученным после привязки точек проекта контура к пунктам геодезического обоснования, или по данным привязки к основной оси сооружения. На проектных чертежах указываются все данные, необходимые для перенесения на местность контура сооружения и закрепления его осей. Методы перенесения контура сооружения на местность устанавливаются в зависимости от вида сооружений.

А Перенесение проекта контура выемки на ровной местности

По обе стороны от оси выемки откладывают стальной рулеткой расстояние $\frac{b}{2}$, равное половине ширины земляного полотна (PC),

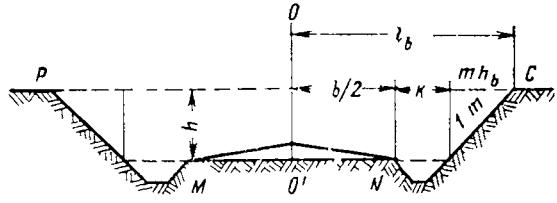


Рис 65 Перенесение проекта контура выемки на ровной местности

затем ширину K кювета и заложение откоса выемки mh_b (рис. 65). Таким образом, половина ширины выемки по верху определится по формуле

$$l_b = \frac{b}{2} + K + mh_b$$

Полученные в результате отложения отрезки l_b от оси OO' выемки точки P и C образуют бровки откоса выемки. В этих точках устанавливают шаблоны, по которым определяют направление скосов сооружаемой выемки.

Шаблон представляет длинную жердь или доску, которая на местности по мере углубления выемки устанавливается параллельно заданному откосу. В зависимости от глубины выемки шаблоны переставляются несколько раз.

Шаблоны применяются также и при возведении насыпей, плотин и дамб. Если местность с большим уклоном, то расстояния от оси выемки до бровки откосов измеряют геодезическими инструментами.

Б. Перенесение проекта контура выемки на косогоре

Для перенесения контура выемки на косогоре требуется знать длины отрезков l и l_1, определяющие границы земляных работ (рис. 66).

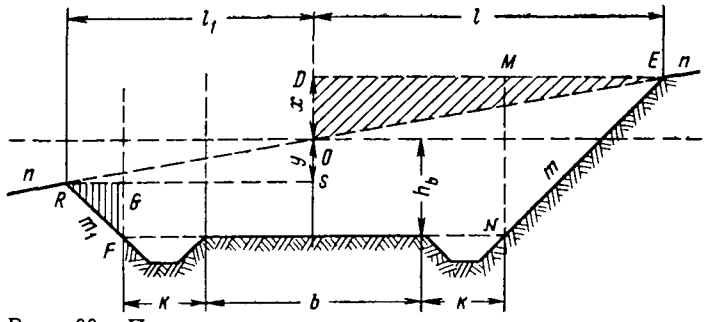


Рис. 66 Перенесение проекта контура выемки на косогоре

Допустим, что требуется разработать выемку с однообразным поперечным уклоном местности n и углом наклона α. Из треугольников DOE и MEN найдем

$$n = \operatorname{tg}\alpha = x \; l, \quad x = nl;$$

$$m = ME : MN = \frac{l - \frac{b}{2} - K}{h_b + x},$$

$$l = \frac{b}{2} - K = mh_b + mnl,$$

откуда

$$l = [1 : (1 - mn)]\left(\frac{b}{2} + mh_b + K\right).$$

Аналогичным путем из треугольников ROS и RGF находим и длину отрезка

$$l_1 = [1 : (1 + mn)]\left(\frac{b}{2} + m_1 h_b + K\right),$$

где h_b — глубина выемки, m и n — заданные откосы выемки, b — ширина земляного полотна выемки и K — ширина кювета по верху.

Найденные величины l и l_1 дадут возможность определить положение точек E и R верхних бровок выемки на поперечине, построенной перпендикулярно к оси выемки в точке O.

Пример. Для перенесения проекта контура выемки на косогоре требуется найти значения l, l_1, x, y при следующих заданных величинах: $h_b = 4$ м; $b = 10$ м; $m_1 = m = 1{,}5$; $n = 0{,}15$; $K = 2{,}0$ м.

Подставляя эти данные в формулы, найдем $l = 16{,}77$; $l_1 = 10{,}61$; $x = n \cdot l = 2{,}52$; $y = n \cdot l_1 = 1{,}59$.

Величины x и y, как видно из рис. 66, являются рабочими высотами верхних бровок выемки на данном поперечном сечении и могут быть взяты из поперечных профилей; из этих же профилей определяют и значение n естественных поперечных уклонов местности.

В. Геодезические работы при перенесении контура насыпи на ровной местности

Перенесение контура насыпи аналогично работам, производимым для перенесения контура выемки. Для сооружения насыпи на ровной местности высотой h, шириною по верху b и с откосами m половину ширину насыпи по низу l (см. рис. 67) определяют по формуле

$$l = \frac{b}{2} + a = \frac{b}{2} + mh.$$

При сооружении насыпи в точке O, лежащей на оси дороги, выставляют визирку (высотник) с прибитой наверху планкой.

Высота визирки исчисляется от верха пикетного колышка до верхнего обреза планки и должна быть равной разности между красной и черной высотами пикета (рабочая высота) с учетом величины осадки насыпи.

Через точку O строят поперечник перпендикулярно к оси насыпи и откладывают на нем отрезки OC_1 и OD_1, равные $\frac{b}{2}$. В точках C_1 и D_1 устанавливают вехи высотой h. Далее от точек C_1 и D_1 откладывают заложение, равное a, а в точках A и B, обозначающих подошвы насыпи, забивают колья.

Расстояния измеряют стальной рулеткой.

При помощи шаблона получают направление откоса насыпи.

Согласно ТУ, все насыпи подвергаются уплотнению катками, тракторами, автомашинами или трамбовками.

После трамбовки и укатки грунт все же будет осаждаться. Поэтому на осадку насыпей дается в процентах от высоты насыпи запас.

Отсыпка насыпей без искусственного уплотнения производится с запасом на осадку 1,5—3% при песчаных грунтах, 2—4% — при легких суглинистых грунтах, а при тяжелых суглинках и глинах с гравием 6—9%.

Г. Перенесение на местность контура котлована траншейного типа

В зависимости от свойств грунтов котлован отрывается с отвесными стенками без крепления или с откосами при более глубоких траншеях.

Оси сооружения с проекта на местность переносятся методами и способами, рассмотренными выше, или наносятся на обноску. Обноской называется временное ограждение из столбов и досок по внешнему контуру строящегося сооружения. После переноса на местность осей и на расстояния 3—4 м от них провешивают параллельные линии. На этих линиях делают разметку через 3—4 м для установки деревянных столбов. Деревянные столбы длиною 3—4 м и толщиною 15—20 см устанавливают строго по линии обноски и зарывают на глубину 1,00—1,25 м. С внешней стороны к столбам прибивают обрезные доски толщиной 40—50 мм. Верхняя кромка досок должна находиться в горизонтальной плоскости. На обноску наносятся оси сооружения, а от них откладываются на местности грани котлована. На поверхности земли при помощи отвесов закрепляют кольями оси *1—1*, *А—А* (рис. 68). Вправо и влево от этих осей откладывают половину ширины котлована и также закрепляют кольями; между кольями a, b и a_1, b_1 натягивают шнур, который и будет обозначать грани котлована. Зачистку дна котлована производят, используя методы нивелирования. Нивелирную рейку устанавливают на каждом пересечении строительных осей и не реже чем через 4—5 м между нивелирными точками. В глубоких котлованах длины обычной рейки не хватает, тогда рейку ставят на подставку постоянной длины. В плановом отношении готовый котлован проверяют промерами от отвесов, спущенных с натянутой проволоки, обозначающей ось.

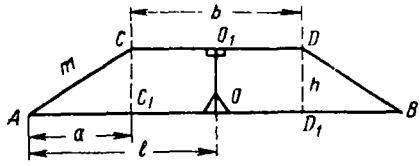


Рис. 67. Профиль насыпи на ровной местности

Таблица 17

Пересечение осей	Высоты поверхности земли $H_з$, м	Высоты дна котлована, м		Разности высот, м	
		проектные $H_{пр}$	фактические $H_ф$	$H_{пр} - H_ф$	$H_з - H_ф$
А/1	163,46	159,96	160,01	—0,05	3,45
Б/1	163,18	159,96	159,99	—0,03	3,19
В/1	163,69	159,96	160,02	—0,06	3,67
Г/1	163,29	159,96	159,98	—0,02	3,31
А/2	163,20	160,46	160,47	—0,01	2,73
Б/2	163,37	160,46	160,51	—0,05	2,86
В/2	163,19	160,46	160,45	+0,01	2,74
Г/2	163,23	160,46	160,52	—0,06	2,71
А/3	163,44	160,86	160,90	—0,04	2,54
Б/3	163,34	160,86	160,86	0,00	2,48
В/3	163,43	160,86	160,84	+0,02	2,59
Г/3	163,20	160,86	160,92	—0,06	2,28

Контрольные измерения по зачистке дна котлована (рис. 69) заносят в ведомость высот (см. табл. 17), по которой судят о качестве земляных работ. В этой же таблице указывают и данные, полученные при нивелировании поверхности земли до вскрытия

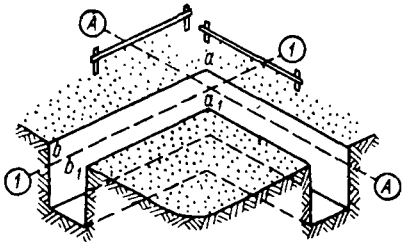


Рис. 68. Схема перенесения на местность контура котлована траншейного типа

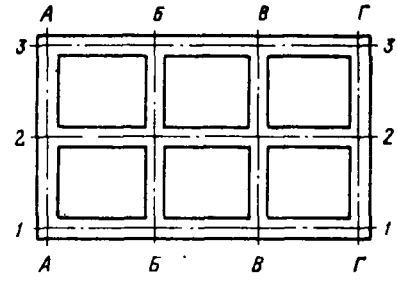


Рис. 69. Схема для определения высот дна котлована траншейного типа

котлована. По данным последней графы табл. 17 видно, что котлован имеет ступенчатую форму в направлении от оси *1—1* к оси *3—3*, что недобор грунта незначителен и может быть принят для сооружения фундамента.

Если котлован разрабатывается с откосами, то на земной поверхности следует наметить

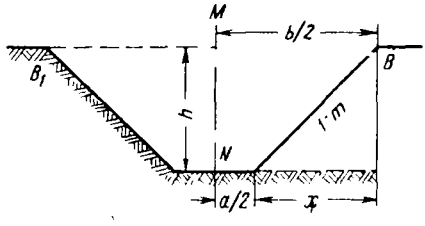


Рис. 70. Схема элементов котлована для траншей

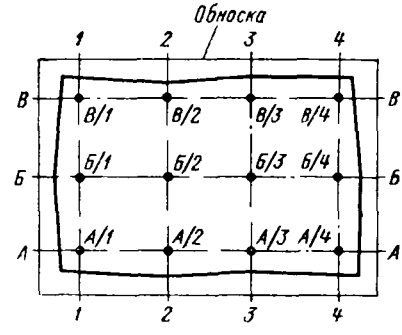


Рис. 71. Схема перенесения контура котлована под сплошную фундаментную плиту

очертание верхней бровки откоса. В зависимости от глубины котлована и свойства грунтов будет меняться и ширина котлована по верху.

Если местность не имеет поперечного уклона, то расстояние от оси траншеи *MN* до верхней бровки котлована *B* определяется, согласно рис. 70, по формуле

$$\frac{b}{2} = \frac{a}{2} + x = \frac{a}{2} + mh,$$

где b — ширина котлована по верху, a — ширина котлована по дну, h — глубина котлована в данном сечении и m — заданный коэффициент откоса котлована.

После окончания земляных работ в котловане с откосами составляют исполнительную схему согласно рис. 71 и табл 17, на которой дополнительно показывают очертание верхней бровки котлована и закрепление его угловых точек.

Д. Перенесение на местность проекта контура земляной плотины

Контур основания плотины может быть получен на местности при помощи поперечников, построенных перпендикулярно к оси плотины и имеющих длину в соответствии с заданными откосами. Для определения высоты и заданных откосов плотины поступают так же, как и при сооружении любой насыпи. Чтобы визирки, шаблоны, временные столбики и др. не остались в теле плотины, предпочитают пользоваться или временными переносными столбиками с указанием на них верха насыпи, или постоянными столбами, установленными вне насыпи.

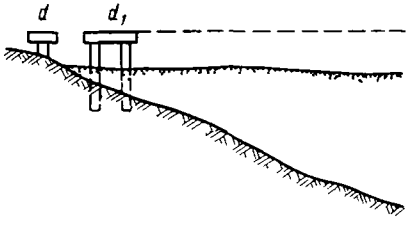


Рис. 72. Схема глазного визира

На верху столба прибивается доска длиной 1,5—2,0 м, верхний обрез которой устанавливается горизонтально и служит высотой гребня плотины При небольших плотинах вместо столбов можно устанавливать вне насыпи нивелирные рейки. Визированием с противоположной стороны плотины можно определить ее высоту с достаточной точностью для производства земляных работ. При приближении верха плотины к проектной высоте по ней прокладывается нивелирный ход

Высоту гребня плотины можно определить и с помощью визиров, расположенных на возвышенном берегу реки. Визиров устанавливают два — глазной и полевой.

Глазной визир представляет собой забитый в землю кол или столб, сверху которого прибивается горизонтальный обрезок доски d. Полевой визир покоится на двух кольях, перекрытых сверху доской d_1, установленной также в горизонтальное положение (рис. 72).

Подобные визиры можно установить с двух сторон сооружаемой плотины с таким расчетом, чтобы можно было охватить наблюдениями весь гребень плотины, а также обеспечить контроль за установкой переносных визиров.

§ 65. Плановая и высотная разбивка при возведении опалубки и укладке бетона

Опалубка представляет собой форму, в которую при возведении бетонных конструкций укладывается бетонная смесь, а при возведении железобетонных конструкций — арматура и бетонная смесь.

Установка опалубки производится от геодезического обоснования и вынесенных строительных осей, с соблюдением внутренних проектных размеров и габаритов конструкций.

Допуски на установку опалубки нормированы ТУ и проектом сооружения. Так, например, отклонения на 1 м расстояния между опорами изгибаемых элементов опалубки и между расшивинами, раскрепляющими стойки лесов, допускаются до 25 мм, а на весь пролет — 75 мм.

Отклонения от вертикали плоскостей опалубки и линий их пересечения на 1 м высоты — 5 мм; на всю высоту фундамента —

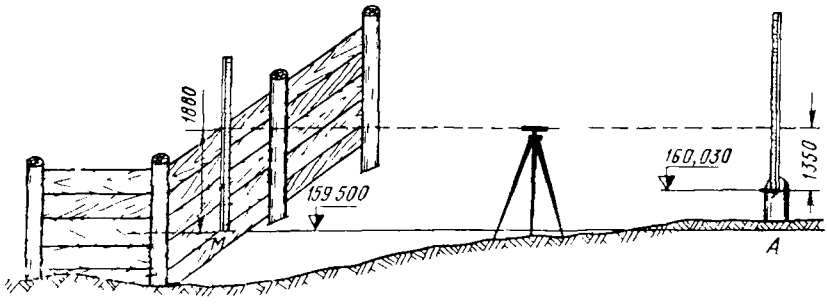


Рис 73 Передача проектной высоты с репера на опалубку

20 мм Местные неровности опалубки при проверке двухметровой рейкой допускаются до 3 мм [5]

Приведенные размеры отклонений не будут превышены лишь при условии применения на геодезических работах соответствующих инструментов для угловых и линейных измерений. Опалубка устанавливается в проектное положение для бетонных работ во всех случаях от натянутых проволок, закрепленных на специально установленных скобах или на обноске. Пользуясь подвешенными к проволоке отвесами, сначала устанавливают нижние элементы опалубки, а после их выверки и надежного закрепления устанавливают следующий блок опалубки и т. д.

По высоте укладку бетона контролируют по высотам, выносимым на стенки опалубки. Для этого нивелированием передается высота с рабочего репера на внешнюю сторону опалубки.

Пример. Требуется перенести отметку верха фундамента сооружения на опалубку, равную $H_{пр} = 159{,}50$ м. Проверенный нивелир устанавливают посредине между репером A с высотой 160, 030 м и опалубкой (рис 73). По рейке, установленной на репере, получаем отсчет $a = 1350$ мм.

Найдем, какой должен быть отсчет b по рейке, установленной у опалубки, чтобы высота нуля рейки (точка M) была бы равной проектной высоте 159,500 м. Отсчет b по рейке определится

$$b = H_A + a - H_{пр} = 1880 \text{ мм}.$$

Поднимая или опуская рейку, поставленную у опалубки, добиваются получения нужного отсчета по рейке.

На опалубку таких высот выносят несколько и закрепляют их гвоздями, между которыми натягивают шнур, указывающий верх фундамента сооружения. При бетонировании гидротехнических сооружений блоками к опалубке обычно прибивают рейку с сантиметровыми делениями, по которой определяют выработку за смену по мере наращивания бетона.

Для придания горизонтальной поверхности (на заданной проектной высоте) устанавливают при помощи нивелиров металлические штыри, погружая их в еще не затвердевший бетон. По верхушкам штырей или специально установленным маякам поверхность бетона затирают хорошо выстроганными деревянными досками.

Система контроля планировки лазерным прибором СКП-1

Система разработана на базе гелий-неонового оптического квантового генератора ОКГ-13. Предназначена для осуществле-

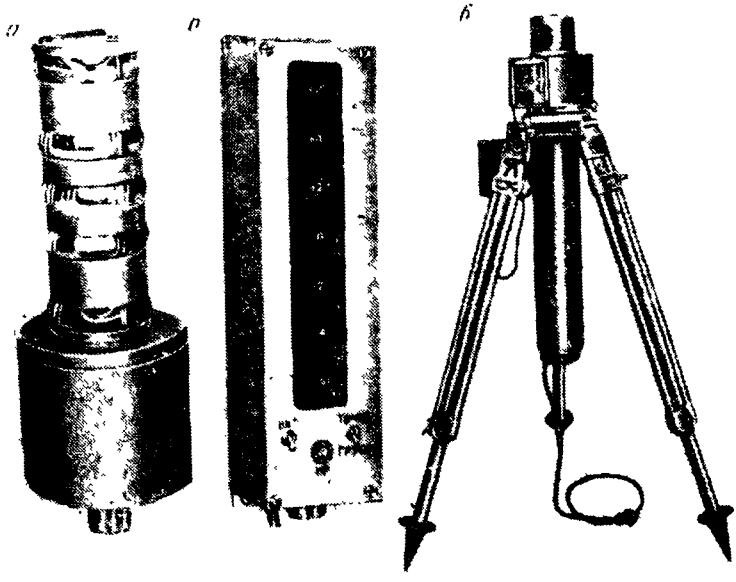


Рис. 74. Система контроля планировки лазерным прибором СКП-1

ния геодезического контроля процесса планировки земельных участков при строительстве плотин и др. сооружений под горизонтальную плоскость. Может быть также использована в качестве датчика опорной плоскости для нивелирования поверхности.

Система обеспечивает:

контроль планировки, выполняемой практически любым количеством машин (грейдеров, скреперов, планировщиков, работающих на площади 80 га радиусом до 500 м).

Система автоматического контроля состоит из трех функционально связанных между собою блоков: лазерного излучателя, неподвижно установленного в точке с известной высотной отметкой, фотоприемного устройства, закрепленного вертикально на строительной машине, и индикатора положения, установленного в кабине оператора или шофера машины.

Излучатель (рис. 74, *а*) создает оптическую плоскость, относительно которой определяются высотные отметки точек поверхности участка.

Фотоприемник (рис. 74, *б*) регистрирует положение машины относительно оптической опорной плоскости, в индикатор (рис. 74, *в*) вводится информация о высотном положении машины и отображается им. Получая информацию о высотном положении машины, оператор вручную управляет машиной, срезая или добавляя до нужной отметки землю.

Диапазон действия — от 5 до 500 м.

Погрешность определения высотного положения контролируемого объекта — не более ±30 мм.

Точность создания опорной плоскости — не более ±8′.

Размер поперечного сечения луча по вертикали: не менее 25 мм, не более 80 мм.

Частота вращения узла развертки излучателя не менее 72 об/мин, не более 108 об/мин.

Масса излучателя (вместе со штативом, блоком питания) — не более 30 кг.

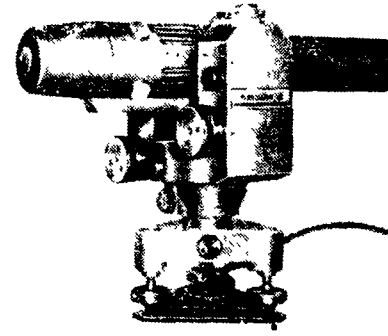


Рис. 75. Лазерный визир ЛВ5М

Лазерный визир ЛВ5М

Предназначен для задания направления и контроля положения строительных механизмов и машин (тоннельных щитов, бульдозеров, канавокопателей, скреперов и т. д.). В геодезических работах может применяться на строительных площадках для задания вертикальных и горизонтальных углов и тригонометрического нивелирования. При строительстве наклонных тоннелей дает направления проектной оси тоннеля непосредственно в забой.

Дальность действия прибора — 200 м. Диаметр луча на выходе — 34 мм. Предел фокусировки — от 2 м до ∞. Цена деления цилиндрического уровня 17″. Цена деления круглого уровня 7′.

Диаметр луча: на расстоянии 200 м — 20 мм; на расстоянии 500 м — 50 мм.

Прибор обеспечивает нормальную работу при температуре от —30° С до +40° С.

Масса прибора — 5,2 кг.

Габариты 400×190×260 мм (рис. 75).

Лазерный визир обеспечивает геодезический контроль в любое время суток.

ГЛАВА VII

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В МОСТОСТРОЕНИИ

§ 66. Виды искусственных сооружений

Искусственные сооружения — технически сложная часть строящихся дорог. Расходы на их постройку составляют значительную часть общей стоимости дороги. В период эксплуатации они требуют тщательного надзора и ухода.

Наиболее часто встречающиеся на дорогах искусственные сооружения — это мосты и водопропускные трубы, значительно реже — подпорные стены, тоннели, галереи, лотки и т. п.

В зависимости от материала, из которого построены пролетные строения, мост получает соответствующее название: металлический, железобетонный, каменный, деревянный.

По назначению дорог и роду пропускаемых подвижных нагрузок мосты могут быть:

железнодорожные для пропуска поездов;

автодорожные для пропуска транспортных средств, обращающихся на автомобильных дорогах;

городские для автомобильного, трамвайно-троллейбусного и пешеходного городского движения;

совмещенные для одновременного пропуска железнодорожного и автомобильного транспорта;

пешеходные для пешеходов;

специального назначения для пропуска водопроводов, газо- и нефтепроводов и каналов.

Водопропускные трубы — достаточно простые по конструкции и постройке искусственные сооружения.

При небольшой высоте насыпи и незначительном количестве пропускающей воды иногда сооружают лоток.

По общим размерам, сложности проектирования и строительства искусственные сооружения принято разделять на четыре группы:

малые, к которым относят мосты общей длиной до 25 м, а также водопропускные трубы под насыпями и лотки;

средние — это мосты, полная длина которых от 25 до 100 м, а величина отдельных пролетов не превышает 40—50 м;

большие мосты длиной свыше 100 м;

очень большие мосты, часто называемые уникальными или внеклассными сооружениями, возводимые через большие водные пространства.

По количеству строящихся на дороге сооружений наибольшее распространение имеют малые и средние искусственные сооружения.

Комплекс сооружений, устраиваемых при пересечении дороги постоянно действующего потока, называют мостовым переходом.

В его состав входят мост, земляное полотно, примыкающие к устоям моста, регуляционные сооружения, направляющие водный поток, подпорные и ограждающие стены, берегоукрепительные и другие сооружения.

Основными элементами моста являются опоры и пролетные строения. Опоры различают береговые, называемые устоями, и промежуточные — быки.

Каждая опора воспринимает нагрузку от массы пролетных строений и подвижной нагрузки, проходящей по ним. На устои, кроме того, может действоввать нагрузка от насыпи подходов к мосту.

Опоры имеют фундамент и верхнюю надфундаментную часть.

Фундаменты возводят или непосредственно на грунте, или если он ненадежен, то на искусственном основании.

Форма и размеры опор зависят от величины и характера нагрузок, а также в значительной мере определяются условиями прохода под мостом водного потока, ледохода и местными инженерно-геологическими условиями.

Пролетные строения имеют главные несущие элементы в виде балок сплошного сечения, сквозных ферм или комбинированных конструкций. На основных несущих элементах располагается проезжая часть моста с учетом характера подвижных нагрузок. Главные несущие элементы (балки и фермы) соединяют связями, обеспечивающими устойчивость и поперечную жесткость моста.

Основными размерами моста и его элементов принято считать:

полную длину его между задними гранями береговых устоев; отверстие моста, обеспечивающее пропуск высокой воды под мостом; высоту моста, исчисляемую от верха проезжей части до горизонта меженных вод; расчетные промеры, равные при балочных пролетных строениях расстоянию между центрами опорных частей, на которые устанавливают балки; высоту тела опор, глубину фундамента и др.

Перечисленные размеры моста и его элементов устанавливают в процессе проектирования с учетом инженерно-гидрологических, геологических и судоходных условий, выявленных в процессе изысканий.

С начала постройки фундаментов и до полного окончания всего сооружения на месте производятся геодезические работы. Основная их цель — обеспечивание проектного положения искусственного сооружения на местности путем разбивки осей как всего сооружения, так и отдельных его частей (фундаментов, опор, пролетных строений, насыпи подходов и регуляционных сооружений) и повседневный контроль всех размеров возводимых сооружений и их отметок. Неправильно выполненная разбивка осей сооружения или ошибочно вынесенные высотные отметки могут привести к нарушению запроектированной конструкции сооружения, вызвать переделку работ, а следовательно, задержку и удорожание строительства. Четкость и аккуратность выполнения геодезических работ, постоянный контроль за производством разбивочных работ — одна из основных задач технического персонала.

До начала строительства проектная организация, выполнявшая изыскания и проектирование мостового перехода, совместно с заказчиком должна передать строителям по акту исходные материалы плановой и высотной геодезической основы: пункты, закрепляющие в плане продольную ось моста, план трассы подходов к нему, а также оси регуляционных сооружений, стенные марки или грунтовые реперы. Ось трассы мостового перехода и пункты геодезической основы, как правило, должны быть привязаны к пунктам государственной сети.

Количество пунктов закрепления плановой и высотной геодезической основы для искусственных сооружений разного размера устанавливают согласно технической инструкции. Так, для начала строительства малых сооружений достаточно закрепление оси деревянными столбами в двух пунктах и закладка одного репера, а на больших мостах требуется не менее двух знаков и одного репера на каждом берегу. Пункты оси и репера закладывают в виде деревянных или бетонных столбов, достаточно заглубленных в грунт (знак должен быть прочен и устойчив).

Пункты геодезической основы должны быть увязаны с общим пикетажем трассы, а координаты и высотные отметки реперов должны быть в единой системе координат и отметок, принятых на строящейся дороге.

§ 67. Разбивка осей при постройке водопропускных труб и малых мостов

Разбивки осей сводятся к установлению положения на местности продольной и поперечной осей и характерных точек фундаментов, тела трубы, оголовков, положения осей фундаментов опор.

Предварительно до начала разбивки вычисляют пикетажное значение точек продольной оси трубы и поперечных осей опор моста.

Непосредственным промером от ближайшего пикетажного столбика устанавливают в натуре положение точек осей труб и опор. Для разбивки фундаментов труб и опор необходимы теодолит и стальная лента (или рулетка).

Угломерным инструментом, установленным в точке пересечения осей трассы и поперечных осей трубы или опор, производят их разбивку с закреплением на месте двумя столбами по обе стороны пути. Эти столбы устанавливают так, чтобы обеспечивалась их сохранность на все время постройки сооружения. Угловые или другие характерные точки будущего котлована для фундаментов трубы или положения свай для опор моста устанавливают непосредственно промерами от разбитых осей трубы или опоры и закрепляют кольями.

При разработке котлованов для фундаментов труб или опор, расположенных на суходолах, пойме или островках, часто применяют разбивочные обноски, выполняемые в виде столбов с горизонтально пришитыми к ним обрезными досками, на которых размечают положение характерных точек сооружения. Обноски устраивают на расстоянии 2—3 м от границы котлована.

Для определения и контроля высотных размеров непосредственно около трубы или опор моста закладывают реперы, абсолютные отметки которых определяют путем двойного нивелирования. Реперы должны сохраниться в неизменном положении до полного окончания строительных работ и сдачи сооружения в эксплуатацию. По мере возведения опор на плоскостях обрезов фундаментов или подферменных площадках закладывают дополнительные рабочие реперы, обозначаемые на конструкции несмываемой краской.

Разбивка малых мостов

После разбивки продольной оси моста, закрепленной на местности кольями или столбами в соответствии с проектом моста, разбивают на местности середину моста путем отмера соответствующего расстояния от ближайшего пикета трассы, с обязательным контрольным промером от другого пикета.

Все промеры нужно производить два раза.

От середины моста по направлению продольной оси отмеряют расстояния до оси крайних и промежуточных опор и закрепляют точки пересечения столбами. В направлении, перпендикулярном к продольной оси, разбивают оси опор. Для этого пользуются угловым шаблоном из досок (размером $1{,}5 \times 2{,}0 \times 2{,}5$ м), расположив вершину прямого угла на точках пересечения осей, а одну сторону шаблона — по оси моста.

Вдоль другой стороны шаблона отмеряют от оси расстояния до центров отдельных свай и закрепляют положение каждой сваи колышками.

Вместо углового шаблона применяются эккер или теодолит.

Все измерения при разбивке свай делают дважды, и, кроме того, для контроля измеряются диагонали в прямоугольниках, образованных в соседних опорах рядом свай.

Если опоры моста состоят не из одного ряда свай,и из двух или нескольких рядов, то закрепление осей опор моста вне пределов работ делается на обносках (рис. 76).

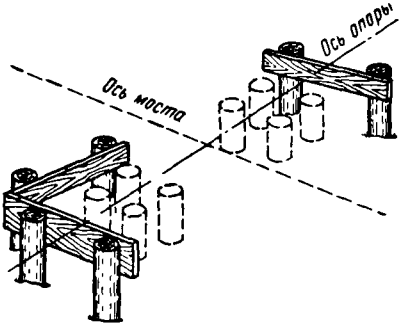


Рис. 76. Разбивка осей опор малых моста

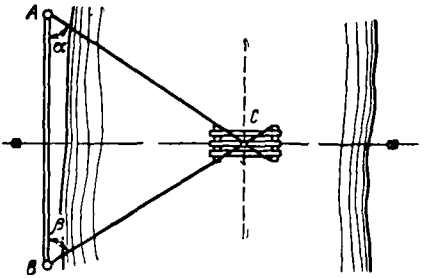


Рис. 77. Разбивка осей опор моста с базиса

Положение каждой отдельной сваи разбивается от оси моста вдоль оси каждого ряда свай и обозначается в земле колышками, на которых обозначается порядковый номер сваи согласно проекту.

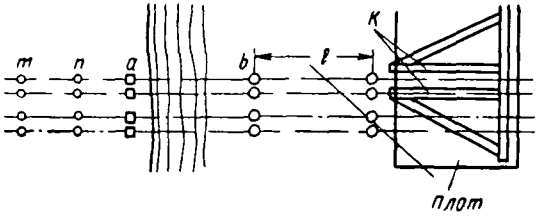


Рис. 78. Разбивка свай опор с помощью створа

Если опоры моста или часть их располагаются в воде, то для разбивки моста необходимо сначала построить на речной части помост с таким расчетом, чтобы настил его пришелся по оси моста.

Если расстояние между опорами большое, то подмостки для разбивки устраиваются только в пределах опор. Место расположения подмостей отмечается установкой шеста, втыкаемого в дно реки. Для определения местоположения шеста разбивается на берегу реки базис AB (рис. 77) длиною $^2/_3$ расстояния от него до опоры.

Базис желательно расположить перпендикулярно к оси моста и привязать концы к пикетажу трассы. Измерив тщательно (не менее двух раз) его длину, рассчитывают величину углов α и β засечек от концов A и B базиса на точку C пересечения оси опоры с осью моста.

Установив на каждом берегу по оси моста не менее двух вех, геодезист в лодке с шестом выезжает на реку, держась в створе вех на оси.

Одновременно теодолитом, установленным на конце базиса, визируют под углом α к базису. С помощью сигналов, подаваемых с берега, находящийся в лодке геодезист устанавливает шест в дно реки в створе оси моста и визирной оси угломерного инструмента. После этого вокруг опоры строятся обноски и делается разбивка свай опоры, как описано выше.

На многоводных реках, когда для разбивки свай применяют копер на плаву, разбивку свай иногда производят в процессе их забивки, причем возможно применение способа створов или засечек.

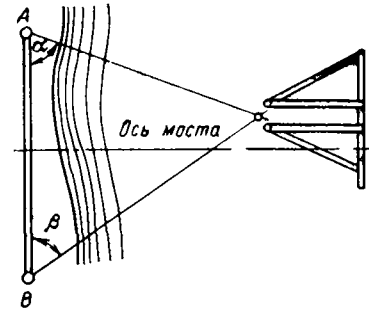


Рис. 79. Разбивка свай опор по способу засечек

По способу створа на берегу или на обоих берегах устанавливают вехи (рис. 78), определяющие своими створами ряды свай. Визируя по вехам *m*, *n* и одновременно отмеряя расстояние *l* от контрольных кольев на берегу реки или от уже забитого ряда свай *b*, устанавливают в требуемое положение копер *K*.

По способу засечек на берегу реки, перпендикулярно к оси моста, разбивается базис *AB*, привязанный к пикетажу трассы.

Положение копра устанавливается по заранее вычисленным для каждой разбиваемой сваи углам α и β (рис. 79), откладываемым от базиса *AB* с помощью двух теодолитов. Длина базиса должна быть не менее $^2/_3$ наибольшего расстояния от базиса до опоры.

§ 68. Разбивочные работы при строительстве больших мостов

А. Исходные материалы для геодезических работ при строительстве мостов

Проектная организация передает строительной организации следующий исходный материал для геодезических работ: план мостового перехода с нанесением осей и опор сооружения; схему расположения и описание геодезических знаков; выписку из каталога координат и высот геодезической основы; знаки геодезической основы в натуре; схему закрепления оси сооружения (моста, виадука, путевода) и трассы подходов к нему на местности, а также ведомость высотных реперов и осевых знаков.

Закрепительные знаки на подходе должны быть расположены на оси сооружения вне пределов строительных работ, на криволинейных участках продольная ось моста закрепляется по стягивающей хорде или по линии тангенсов.

В период строительства выполняются следующие геодезические работы:

1) контрольное определение длины перехода — расстояние между исходными пунктами, закрепляющими ось сооружения;

2) разбивку и закрепление осей опор;

3) разбивку и закрепление осей регуляционных сооружений;

4) определение и контроль осей, размеров и отметок элементов сооружения в процессе строительства;

5) дополнительные топографические съемки в пределах строительной площадки, разбивку временных путей и дорог, разбивку временных зданий и т. д.

Все геодезические работы фиксируются в геодезической дежурной книге, в которой указывают существо разбивочных работ, схему разбивки, как и чем закреплена разбивка каким строительным чертежом пользовались для получения исходных данных; должность, фамилии лиц, производивших и принявших разбивку, с их подписью и датой работ.

Б. Разбивочные работы при строительстве больших мостов

Разбивкой сооружения, или перенесением проекта в натуру, называют геодезические работы, выполняемые на местности для определения планового и высотного положения характерных точек строящегося сооружения согласно его проекту. Геометрической основой проекта для перенесения его в натуру являются разбивочные оси, относительно которых в чертежах проектной организацией даются размеры всех деталей сооружения.

Характерными точками мостового перехода являются центры опор. При строительстве несложных сооружений к опорной геодезической сети не предъявляется каких-либо повышенных требований. В этих случаях используется наличная опорная сеть, созданная ранее в период топографической съемки строительной площадки и при производстве изысканий. Разбивочную работу по выносу проекта в натуру производят обычными геодезическими методами, изложенными выше. Так, при расположении моста на суходоле измеряют длину мостового перехода и разбивают оси опор по продольной оси моста от исходных геодезических знаков. Теодолитом провешивают ось моста и дважды измеряют расстояния стальными рулетками или шкаловыми лентами, вводят поправки за компарирование и температуру мерного прибора и уклон местности. Центры опор переносят на местность откладыванием расстояния от исходных береговых знаков на оси моста до центра опор. Оси закрепляют парными столбами или сваями, располага-

емыми с каждой стороны опоры по продольной и поперечной ее осям.

Если нельзя непосредственно измерить длину моста и произвести разбивку оси опор, то геодезические работы ведут методом триангуляции.

Мостовая триангуляция может иметь разнообразную форму в зависимости от местных условий мостового перехода, ширины реки и запроектированных допусков. В практике мостостроения

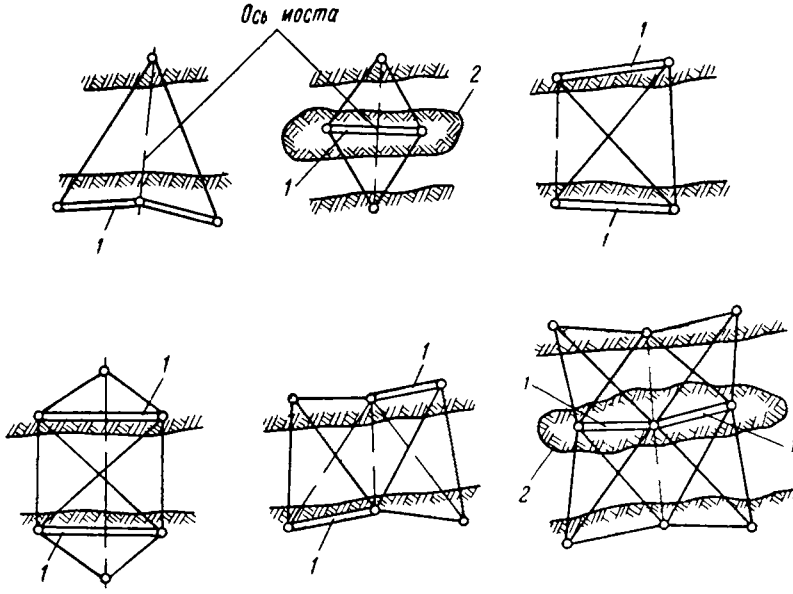


Рис 80 Схема триангуляционных сетей

1 — базис, *2* — острова

обычно применяют геодезические четырехугольники или другие фигуры (рис. 80).

Согласно требованию СНиП, необходимо соблюдать следующие условия при построении триангуляционной сети:

1) углы в треугольниках должны быть не менее 30° и не более 120°, а в геодезическом четырехугольнике не менее 25°,
2) в общую сеть должно быть включено не менее одного исходного знака, закрепляющего ось моста, на каждом берегу;
3) в общую сеть должны быть включены все пункты, с которых предполагается разбивать оси опор методом прямых засечек и контролировать положение осей в процессе строительных работ;
4) угол пересечения направления засечек с осью моста должен быть не менее 30° и не более 150°, а длина засечек (от инструмента до разбиваемой точки, например до центра опоры) не должна превышать:

100 м при разбивке теодолитом с точностью отсчета 30″;
300 м при разбивке теодолитом с точностью отсчета 10″;
1000 м при разбивке теодолитом с точностью отсчета 1″.

Базисы разбивают на ровном открытом месте с уклоном не более 1%; длина базиса обычно составляет не менее 0,5 длины определяемого расстояния.

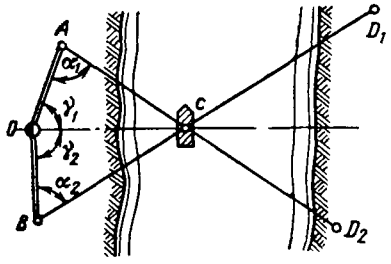


Рис 81 Схема разбивки центра опоры способом прямых засечек

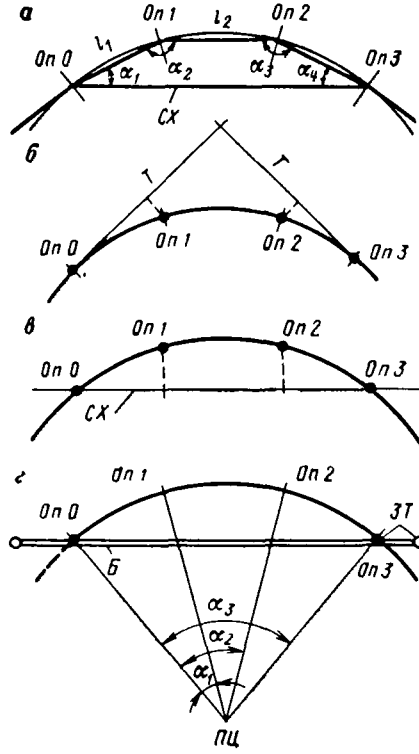


Рис 82. Схема разбивки мостов на кривой

Точность измерения базиса должна быть (не менее чем) в 2 раза больше точности измерения определяемого расстояния. Знаки триангуляции на местности строят в виде небольших деревянных или металлических пирамид высотой 4—6 м или устраивают наблюдательные вышки. Центром знака служат рельсы или отрезки труб, закладываемые на глубину 2,0—2,5 м.

При построении простой триангуляционной сети (с длиной сторон не более 1,5 км) уравнивают только угловые измерения; сети триангуляционные на больших мостах уравнивают по методу наименьших квадратов.

Как уже указывалось выше, характерными точками мостового перехода являются центры опор. Центры опор разбивают прямыми засечками с двух пунктов мостовой триангуляции.

Рассмотрим пример такой засечки. Для разбивки центра опоры *C* (рис. 81) по известным длинам *OA*, *OB*, *OC* и углам γ_1, γ_2 ана-

литически вычисляют углы α_1 и α_2, после чего теодолитами, установленными в точках A и B, на пересечении визирных лучей находят искомую точку C. Одновременно теодолитом из точки O проверяют, расположена ли точка C по оси моста; нестворность центра опоры допускается не более 1,5 см.

Найденный таким образом центр опоры закрепляют на противоположных берегах визирными знаками D_2, D_1. Если опора находится в русле реки, ее центр временно фиксируют сваей или плавающим буйком. Эти временные знаки служат ориентирами для забивки шпунтовых ограждений, отсыпки островков и т. п. Окончательную разбивку опоры производят после подготовительных работ.

Центры и оси опор моста на кривых участках трассы разбивают одним из следующих способов: при числе пролетов не более трех — по многоугольнику (рис. 82, *а*) или от линии тангенсов (рис. 82, *б*); при большом числе пролетов — от стягивающей хорды (рис. 82, *в*) или полярным способом (рис. 82, *г*); в сложных условиях — методом прямых засечек от пунктов триангуляции.

Для вертикальной разбивки закладываются основные реперы на строительной площадке по одному на каждом конце сооружения. Кроме основных реперов постоянного типа, в пределах строительной площадки устанавливают дополнительные рабочие реперы, пользуясь которыми выносят высотные отметки на элементы сооружения. На опорах моста устанавливают в низком и высоком уровнях вспомогательные реперы, отметку которых определяют от расположенных на берегу исходных реперов с погрешностью не более ± 15 мм.

Методы наблюдения за деформацией мостовых сооружений такие же, как при сооружении тоннелей, они изложены в гл. XXIII.

Геодезические работы при возведении земляного полотна, дороги, регуляционных сооружений и конусов изложены в гл. VI.

В. Точность геодезических измерений при строительстве мостов

Геодезические измерения при мостовой триангуляции должны производиться с погрешностями, не превышающими допусков, указанных в табл. 18, 19.

При разбивке осей надфундаментной части опор погрешность не должна превышать величины, определяемой по формулам: 1) для монолитных железобетонных, бетонных и каменных искусственных сооружений, а также для мостов, путепроводов и т. п., позволяющих смещать оси опорных частей в пределах ± 5 см,

$$\Delta_l = \sqrt{\Sigma \left(\frac{l_{пр}}{6000}\right)^2 + 0{,}5n};$$

Таблица 18

Допустимые погрешности геодезических измерений

Длина моста, м	Относительная погрешность		Погрешность в измерении углов, "	Допустимая невязка углов в треугольниках, "
	при определении длины мостового перехода	при измерении базиса		
До 200	1 : 5 000	1 : 10 000	±20	±35
От 200 до 500	1 : 15 000	1 : 30 000	±7	±10
От 500 до 1000	1 . 25 000	1 : 50 000	±3	±5
Более 1000	1 : 40 000	1 : 80 000	±1,5	±2

2) для сооружений со сборными железобетонными и стальными пролетными строениями с весьма ограниченным возможным смещением осей опорных частей

$$\Delta_l = \sqrt{\Sigma \left(\frac{l_{пр}}{1000}\right)^2 + 0{,}5n},$$

где Δ_l — допустимая погрешность в определении пролета или длины части моста, см; $l_{пр}$ — длина каждого пролета на измеряемом участке моста; см; n— число пролетов на измеряемом участке моста.

Допустимая погрешность при разбивке осей фундаментов опор может быть увеличена вдвое.

Отметки реперов, установленных согласно табл. 19, должны быть увязаны между собой; погрешность в нивелировании не должна превышать ±10 мм независимо от длины моста.

Таблица 19

Масштабы планов мостовых переходов и количество геодезических знаков

Вид и длина сооружения	Масштаб плана, не менее	Расстояние между горизонталями по высоте, м	Минимальное количество	
			высотных реперов	закрепительных знаков осей сооружения
Трубы и мосты длиной до 50 м	1 : 1000	0,5	Один	2 створных знака
Мосты длиной от 50 до 100 м	1 : 1000	0,5	По одному на каждом конце сооружения	По 2 створных знака на каждом конце сооружения
То же, от 100 до 300 м	1 : 2000	0,5		
То же, более 300 м	1 · 5000	1,0	По 2 на каждом конце сооружения	То же

Г. Определение длины моста

При строительстве мостового перехода необходимо знать расстояние между двумя исходными точками перехода, расположенными на берегах в незатопляемых местах. Длину перехода можно измерить светодальномерами, а в зимнее время эти измерения выполняются по льду инварными проволоками, шкаловыми лентами и компарированными рулетками. При применении параллактической полигонометрии важно правильно выбрать тип звена.

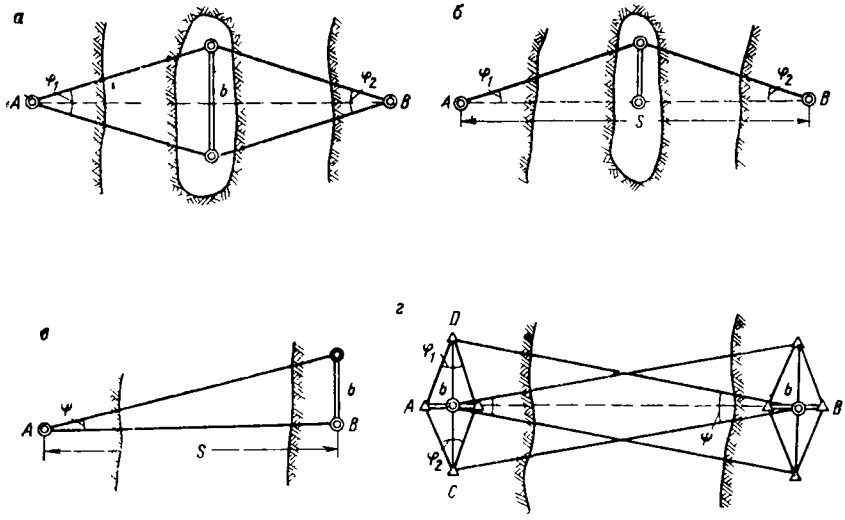


Рис. 83 Определение длины моста

Если посредине водотока имеется остров, звено выбирают расположенным посредине (на острове) симметрично (рис. 83, *а*) или несимметрично (рис. 83, *б*). В симметричном звене длина линии $AB = S$ определяется по формуле

$$S = \frac{b}{2}\left(\operatorname{ctg}\frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg}\frac{\varphi_2}{2}\right);$$

в несимметричном звене

$$S = b\,(\operatorname{ctg}\varphi_1 + \operatorname{ctg}\varphi).$$

В случае расположения звена на одном из берегов (рис. 83, *в*) длина моста определится:

$$S = b\operatorname{ctg}\varphi.$$

На больших мостовых переходах применяют сложное звено (рис. 83, *г*). Здесь длину большого базиса *CD* определяют посредством вспомогательного звена, в котором непосредственно изме-

ряют малый базис b. Длина мостового перехода AB вычисляется по формуле

$$S = \frac{b}{4}\left(\operatorname{ctg}\frac{\psi_1}{2} + \operatorname{ctg}\frac{\psi_2}{2}\right)\operatorname{ctg}\frac{\psi}{2}.$$

Д. Использование светодальномеров при создании мостовой триангуляции

В последние годы на строительстве больших мостов начали применять светодальномеры, выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью, которые позволяют значительно упростить работы по созданию геодезического обоснования при строительстве мостов, повысить производительность труда и сократить затраты.

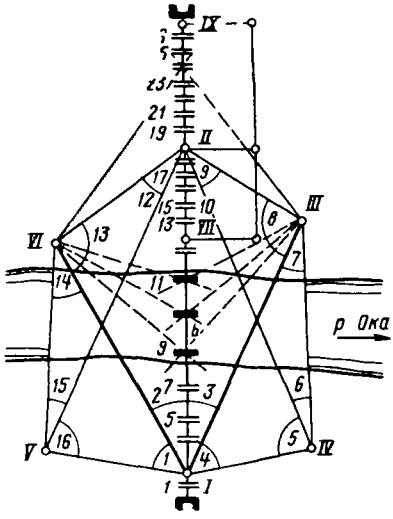


Рис. 84. Использование светодальномера при создании мостовой триангуляции

В качестве примера можно привести построения геодезического обоснования эстакадно-мостового перехода через р. Оку в г. Рязани (рис. 84) [5].

Замеры на местности производили с точек *II*, *III*, *IV*; отражатель был установлен в точке *I*.

На измерение длины трех диагоналей с точностью ±10 мм было затрачено 3 часа, тогда как для измерения двух базисов инварными проволоками потребовалось два дня. Относительная погрешность в длине базиса равнялась 1 : 20 000, угловые замеры были выполнены теодолитом Theo-010 в шесть приемов.

Точность измерения угла по невязкам в треугольниках равнялась ±1,7″.

Абсолютная погрешность в длине базисов, уравненных от диагоналей, составила ±5—6 мм, что обеспечивает необходимую точность выноса центров опор в проектное положение.

Значение длин сторон, полученных по результатам уравнивания от базисов и диагоналей, приведены в табл. 20.

Средняя квадратическая погрешность сторон определяется по формуле

$$m_\delta = \sqrt{\frac{\Sigma V^2}{n}},$$

где n — число сторон.

Отечественной промышленностью серийно выпускаются светодальномеры СТ-65, МСД и др.

Таблица 20

Стороны	Измеренные		Уравненные		V	V^2
	диагонали	базисы	диагонали	базисы		
I—II	708,196	—	708,199	708,184	—5	25
I—III	612,341	—	612,343	612,344	+1	1
I—VI	583,644	—	583,641	533,627	—14	196
II—VI	—	336,405	336,400	336,405	+5	25
II—III	—	312,612	312,618	312,612	—6	36
I—V	—	—	327,838	327,830	—8	64
I—IV	—	—	301,079	301,081	+2	4
IV—III	—	—	514,951	514,952	+1	1
V—VI	—	—	466,944	466,934	—10	100
II—V	—	—	733,328	733,922	—6	36
II—IV	—	—	735,934	735,930	—4	16
						$\sum V^2 = 504$

§ 69. Передача отметок через большие водотоки

Согласно требованиям СНиП для мостовых переходов длиною более 300 мм на каждом берегу должно быть установлено не менее двух постоянных реперов, при этом предельная погрешность в определении их отметок относительно исходного не должна превышать ± 10 мм. Передачу отметки через водное пространство производят зимой по льду (обычным) нивелированием, через воду — методом двойного нивелирования, тригонометрическим или гидростатическим нивелированием.

Для нивелирования зимой в лед вмораживают колья, на которых устанавливают ножки штатива, инструмента и рейки. Лед имеет подвижки по высоте, поэтому нивелирование по льду не дает удовлетворительных результатов. Летом отметки через водоток передают двойным нивелированием. На обоих берегах закладывают реперы R_1 и R_2 в местах, где визирный луч проходит не ниже 2—3 м над землей, и в 10—30 м от реперов выбирают станцию для нивелира J_1 и J_2 (рис. 85). При этом должно соблюдаться равенство расстояний:

$$\left.\begin{aligned} J_1R_{p1} &= J_2R_2 \\ J_1R_{p2} &= J_2R_1 \end{aligned}\right\}.$$

Нивелиром, установленным в точке J_1, берут отсчет $З_1$ по ближней задней рейке, установленной на репере R_{p1}, и после перемены фокусировки — отсчет $П_1$ по дальней рейке, установленной на репере R_{p2}. Затем нивелир снимают и перевозят на другой берег, не изменяя фокусировки трубы, и устанавливают на второй станции J_2. Берут отсчет $З_2$ по дальней (задней) рейке и затем

отсчет $П_2$ по ближней (передней) рейке. На этом заканчивается один прием. Таких приемов делают несколько в зависимости от требуемой точности передачи отметки.

Для передачи отметки с помощью тригонометрического нивелирования измеряют зенитное расстояние точным оптическим теодолитом в период спокойных изображений. Измерение выполняют

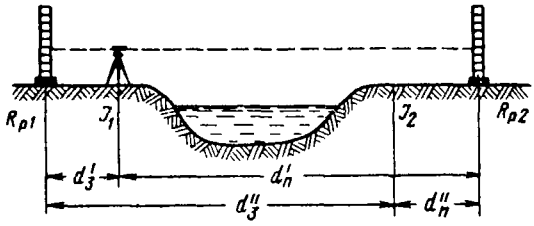


Рис. 85. Передача отметок через реку геометрическим нивелированием

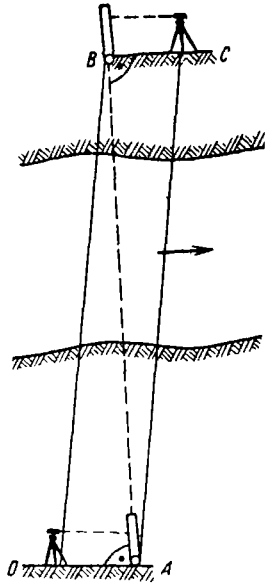


Рис. 86. Передача отметок через реку тригонометрическим нивелированием.

Теодолиты устанавливают в точках C и D, визирные цели — в точках A и B

в прямом и обратном направлениях одновременно двумя инструментами.

Высотные точки A и B (рис. 86), между которыми передается отметка, являются пунктами мостовой триангуляции и оформляются как реперы.

В вершинах параллелограмма устанавливают визирные цели и теодолиты, соблюдая равенство расстояний $АД$ и $ВС$. В качестве визирных целей используют три марки с утолщенным штрихом, укрепляя их на рейке (верхнюю, среднюю и нижнюю) и тщательно совмещая их оси с соответствующими штрихами рейки. Рейки в точках A и B устанавливают отвесно и закрепляют растяжками. После определения места зенита (Mz) у теодолита на вертикальном круге устанавливают отсчет $90° + Mz$, одновременно на обоих берегах наводят зрительную трубу на ближнюю рейку и, приведя уровень при вертикальном круге на нульпункт, производят отсчет по ней, отсчет будет высотой инструмента над репером. Зенитные расстояния измеряют на утолщенные штрихи дальней рейки при КП и КЛ, выполняя два-три приема. После окончания измерения на одном берегу теодолиты перевозят на другой берег и меняют их местами.

Здесь измерение начинают на дальние рейки и заканчивают определением высоты инструментов.

Для двустороннего тригонометрического нивелирования

$$h = S \operatorname{tg} \frac{z_2 - z_1}{2} + \frac{l_1 + i_1}{2} - \frac{l_2 + i_2}{2},$$

где z_1 и z_2 — зенитные расстояния одноименных визирных целей, одновременно измеренные разными теодолитами; l_1 и l_2 — высоты одноименных визирных целей над пятой рейки; i_1 и i_2 — высоты инструментов над реперами A и B; S — расстояние между реперами A и B, определяемое из мостовой триангуляции.

§ 70. Монтаж бетонных, железобетонных и стальных мостовых конструкций

Монтаж конструкций и механического оборудования винтовых, висячих и разводных мостов должен выполняться по особым указаниям проекта и специальным ведомственным техническим условиям.

Монтаж сборных конструкций мостов надлежит производить по утвержденным в установленном порядке проектам производства работ. Монтаж сборных конструкций допускается начинать только после инструментальной проверки отметок и положения в плане опор, фундаментов и временных устройств для монтажа, а также выполнения разбивочных работ, определяющих проектное положение монтируемых конструкций, с оформлением результатов проверки актом.

На опорах моста до начала монтажа пролетных строений должны быть размечены оси опорных частей.

Инструментальный контроль за сборкой конструкций должен осуществляться систематически от начала сборки до полного ее завершения.

Геодезическая проверка положения пролетного строения в плане и профиле производится после сборки каждой панели. При проверке следует учитывать осадку опор в процессе строительства.

В процессе надвижки (перекатки) необходимо вести постоянный геодезический контроль за положением надвигаемого пролетного строения (аванбека) и перекаточными опорами (пирсами), их деформациями, принимая соответствующие меры для своевременного выправления отклонения от проектного положения. Окончательный геодезический контроль положения пролетного строения в плане и профиле производится после установки его на опорные части. Опорные части пролетных строений во всех случаях, кроме специально оговоренных в проекте, должны устанавливаться на площадки подферменников, в соответствии с проектом.

§ 71. Наблюдения за осадками и смещениями мостовых опор

В начальный период эксплуатации мостов и во время строительства ведут наблюдения за осадками и смещениями опор. На подферменных площадках в местах, удобных для установки реек, закладывают небольшие марки. По этим маркам периодически производят точное нивелирование. Начальный и последующие нивелирные ходы увязывают между исходными реперами. Изменение отметок марок между циклами наблюдений характеризует величину осадки опор за этот период времени. Наблюдения за продольным смещением опор выполняют створным методом. Метод заключается в следующем: в створной плоскости устанавливают знаки на каждой опоре с правой и левой стороны от пролетного строения. Створные плоскости надежно закрепляют на каждом берегу в устойчивых местах двумя прочными знаками.

В каждом цикле наблюдений способом измерения малых углов или способом подвижной марки определяют отклонения установленных на опорах точек от закрепленного створа. Эти отклонения между циклами наблюдений и дают величины смещения опор, которые наносят на деформационные графики.

ГЛАВА VIII

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

§ 72. Геодезические работы при изысканиях трасс железных дорог

Железные дороги, как и всякие инженерные сооружения, строятся по утвержденным проектам, которые составляют на основании тщательно проведенных изысканий. Эти изыскания можно разделить на экономические и технические.

Главная задача технических изысканий — определить на местности детальное расположение проектируемой дороги в плане и профиле. Поэтому в процессе технических изысканий проводятся подробное топографическое изучение местности вдоль полосы трассы с необходимыми съемочными работами, изыскания мостовых и тоннельных переходов, детальные инженерно-геологические и гидрогеологические обследования.

Эти обследования необходимы для того, чтобы запроектировать трассу в наиболее благоприятных естественных условиях. Таким образом, технические изыскания дорог включают комплекс топо-

Таблица 21

Наименование	Категории дорог		
	I	II	III
Железные дороги			
а) Руководящие уклоны, ‰	15	15	20
б) Радиусы горизонтальных кривых, м			
наибольшие	4 000	4 000	4 000
наименьшие рекомендуемые	1 200	800	600
в) Радиусы вертикальных кривых (рекомендуемые), м	10 000	10 000	5 000

графических, геологических, гидрогеологических, дорожных и других вопросов, которые тесно связаны между собой и могут быть правильно решены только при всестороннем, комплексном ведении изысканий.

Основное требование, предъявляемое к дорожным трассам, — это плавность и безопасность движения с заданными скоростями.

В связи с этим на железных дорогах строго регламентируются максимальные (руководящие) уклоны и минимальные радиусы кривых (табл 21).

На кривых небольших радиусов предельно допустимый уклон смягчают (уменьшают). На железных дорогах это уменьшение уклона, выраженное в тысячных долях, определяется по формуле

$$\Delta i = \frac{700}{R}.$$

Например, при руководящем уклоне $i_р = 20‰$ максимально допустимый уклон на кривой $R = 700$ м

$$\Delta i = i_р - \Delta i = 20 - \frac{700}{700} = 19‰.$$

Площадки под станции и разъезды, а также крупные парки путей должны размещаться, как правило, на прямых горизонтальных участках, и только в трудных условиях допускают размещение разъездов и промежуточных станций на участках с уклонами, не превышающими 2,5‰, и на кривых, обращенных в одну сторону, с радиусами кривизны не менее 1000 м для магистральных дорог и 600 м для линий местного значения.

Задачи изысканий. В процессе изысканий трасс решаются две основные задачи:

1. Выбор оптимального варианта трассы, расположенной в благоприятных условиях и требующей на строительство и эксплуатацию минимальных расходов.

2. Сбор необходимых топографо-геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других материалов и данных для составления проекта трассы и всех сооружений на ней.

В соответствии со стадиями проектирования различают п р е д в а р и т е л ь н ы е и о к о н ч а т е л ь н ы е изыскания трассы.

П р е д в а р и т е л ь н ы е изыскания проводят главным образом к а м е р а л ь н ы м путем, используя имеющиеся топографические и геологические карты, материалы аэрофотосъемки, данные изысканий прежних лет. В результате этих изысканий определяются принципиальное направление трассы и ее основные технические параметры, а также даются в первом приближении проектные решения по выбранному варианту.

О к о н ч а т е л ь н ы е и з ы с к а н и я т р а с с ы — это в основном п о л е в ы е и з ы с к а н и я, которые проводятся по утвержденному направлению комплексными изыскательскими партиями. Главными задачами этой стадии изысканий являются:

1) установление на местности точного, закрепленного положения трассы, к пикетажу которой привязывают все проектируемые сооружения;

2) сбор достоверных и полных материалов и данных: топографо-геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других для составления проекта трассы.

В п о д г о т о в и т е л ь н ы й п е р и о д, до выезда в поле, подробно изучают материалы предварительных изысканий. По этим материалам составляют схему расположения трассы с указанием пикетажа, направления прямых участков, положения пунктов геодезической основы; вычисляют аналитические координаты для перенесения в натуру вершин углов поворота. Тщательно исследуют и юстируют все гидрометрические и геодезические инструменты и приборы.

В процессе п о л е в ы х и з ы с к а н и й на основании проекта трассы и детальной рекогносцировки местности определяют в натуре положение углов поворота и производят трассировочные работы: вешение линий, измерение углов и сторон хода, разбивку пикетажа и поперечников, нивелирование, закрепление трассы, а также крупномасштабную съемку переходов, пересечений, примыканий, мест со сложным рельефом и т. д. (см. §§ 35—37, гл. III).

На основании подробных полевых изысканий составляют п р о е к т т р а с с ы, состоящий из рабочих чертежей на все сооружения, пояснительной записки с обоснованиями, расчетами, ведомостями объемов работ, документами согласований, геодезическими и другими данными.

Закрепление трассы. Трасса должна быть надежно закреплена, чтобы ее легко можно было найти и восстановить перед строительством. Пикеты и плюсовые точки закрепляют кольями (точкой и сторожком) и окапывают канавкой. Вершины углов поворота и створные точки, места переходов через крупные препятствия

дополнительно закрепляют деревянными или железобетонными столбами и составляют абрис привязки их к местным предметам.

Мостовой переход закрепляют одним или двумя деревянными столбами по оси на каждом берегу. В верхушки столбов забивают гвозди так, чтобы шляпки их фиксировали направление оси моста, задаваемое теодолитом. На углах поворота столбы обычно ставят с внешней стороны угла по направлению биссектрисы на расстоянии около 1 м от закрепленной вершины.

Знаки маркируют масляной краской. При этом на угловых столбах надписи делают на стороне, обращенной к вершине угла; на створных точках — на стороне, обращенной к меньшему пикету.

§ 73. Восстановление трассы

Непосредственно перед началом строительных работ проводят восстановление трассы. В состав работ по восстановлению трассы входят:

1) инструментальное восстановление пикетажа с контрольными измерениями линий и углов и с детальной разбивкой кривых;

2) контрольное нивелирование по пикетажу с дополнительным сгущением сети рабочих реперов;

3) закрепление трассы с выносом знаков крепления за пределы зоны земляных работ;

4) возможная корректировка и местное улучшение трассы.

При восстановлении за основу принимают трассу, окончательно выбранную и закрепленную в натуре в процессе подробных технических изысканий; при этом руководствуются документами рабочего проекта: планом и профилем трассы, ведомостью прямых и кривых, схемой закрепления трассы.

Восстановление трассы начинают с отыскания на местности вершин углов поворота ее. Отдельные вершины, на которых не сохранились знаки крепления, находят промерами от постоянных местных предметов согласно абрисам привязки или прямой засечкой по проектным углам из двух соседних вершин трассы.

Если не сохранились знаки закрепления на нескольких подряд расположенных углах поворота и не представляется возможным восстановить их от местных предметов, то приходится этот участок трассировать вновь, придерживаясь взятых с проекта углов поворота и расстояний. Одновременно с восстановлением вершин измеряют углы поворота трассы и сравнивают полученные значения с проектными.

При обнаружении значительных расхождений направление трассы на местности не изменяют, а исправляют значение проектного угла поворота и перевычисляют по исправленному углу все элементы кривых.

Затем приступают к контрольному измерению линий с разбивкой пикетажа. Пикеты и точки пересечения трассой водотоков и магистралей устанавливают в створе по инструменту. При этом стараются не допускать сплошной передвижки старого пикетажа.

При обнаружении промахов в линейных измерениях или при значительном накоплении погрешностей делают «рубленые» пикеты, т. е. пикеты, не равные 100 м, с тем, чтобы в дальнейшем восстанавливаемый пикетаж был по возможности ближе к пикетажу, разбитому при трассировании, по которому составлялся проектный продольный профиль; в противном случае рабочие отметки, данные в проекте, не будут соответствовать натуре.

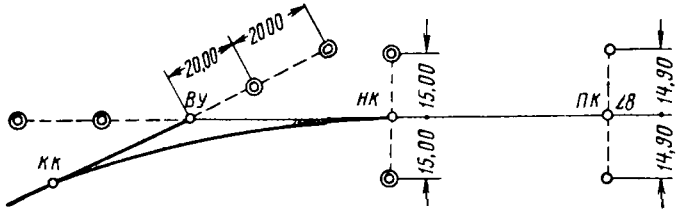


Рис 87. Закрепление оси трассы выносными точками

На закруглениях трассы детально разбивают переходные и круговые кривые, причем для кривых с радиусом 500 м и больше эта разбивка делается через 20 м, а при радиусе, меньшем 500 м, — через 10 м.

После восстановления пикетажа и детальной разбивки кривых трассу закрепляют. Знаки крепления устанавливают вне зоны земляных работ так, чтобы они сохранились на все время строительства.

Углы поворота обычно прочно закрепляют при трассировании. Если это закрепление повреждено, его возобновляют. Если вершина угла попадает в зону земляных работ, то ее закрепляют двумя знаками на продолжении сторон (рис. 87).

Знаки крепления окапывают и маркируют. При маркировке указывают наименование знака, в какую сторону от оси (по ходу пикетажа) знак вынесен, и расстояние от осевой точки до знака крепления. Все это записывают в журнал закрепления трассы.

Одновременно с закреплением трассы для удобства обслуживания строительных работ сгущают сеть рабочих реперов с таким расчетом, чтобы на 4—5 пикетов трассы был один репер. В качестве реперов стремятся использовать местные предметы, устойчивые по высоте, и знаки крепления, установленные ниже глубины промерзания.

В контрольное нивелирование трассы включают все пикетные и плюсовые точки и всю сеть постоянных и временных реперов. Для уточнения подсчета объемов земляных ра-

бот в местах, где поперечный уклон превышает 0,1, разбивают и нивелируют дополнительные поперечники.

При восстановлении трассы могут быть проведены некоторая ее корректировка и улучшение расположения на местности для уменьшения объема земляных работ и увеличения устойчивости отдельных сооружений.

Точность геодезических работ при восстановлении трассы должна быть не ниже точности этих работ на стадии окончательных изысканий.

Все изменения, внесенные в проект при восстановлении трассы, передаются в проектную организацию для рассмотрения и утверждения.

§ 74. Элементы закруглений. Разбивка главных точек круговой кривой

В местах поворота трассы ось дорожного сооружения должна располагаться по кривой, называемой закруглением (рис. 88). Предварительная разбивка кривой заключается в закреплении на местности при разбивке пикетажа главных точек закругления.

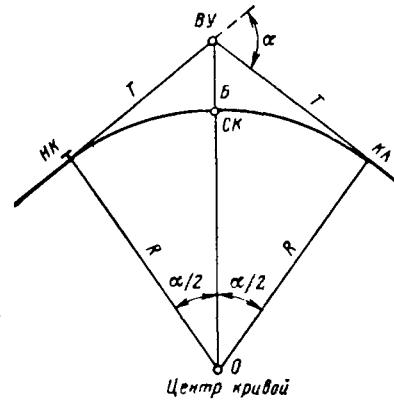


Рис 88. Основные элементы круговой кривои

Если соединить центр окружности O с вершиной угла поворота ($ВУ$), то образуются два равных прямоугольных треугольника с острыми углами $\frac{\alpha}{2}$ при точке O.

Отрезки касательных от точки $ВУ$ до точек $НК$ (начало кривой) и $КК$ (конец кривой) называют тангенсами (T). Дугу окружности от начала до конца закругления называют кривой (K). Разность между длиной двух тангенсов $2T$ и длиной кривой K называют домером $Д$. Отрезок $Б$ от вершины угла ($ВУ$) до середины кривой ($СК$) называют биссектрисой.

При изысканиях трассы на стадии технического проекта (предварительных изысканиях) на местности закрепляют точки $ВУ$, $НК$, $СК$ и $КК$.

Для этого необходимо знать основные элементы круговой кривой: тангенс, кривую, домер и биссектрису. Из рис. 88 следует, что элементы круговой кривой являются функциями угла поворота трассы α и радиуса закругления R.

Действительно (см. рис. 88),

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Длина дуги в 1° равна $\frac{2\pi R}{360^\circ}$, а длина кривой K — дуги в α° — будет равна

$$K = 2\pi R \frac{\alpha^\circ}{360^\circ} \text{ или } K = \pi R \frac{\alpha^\circ}{180^\circ}.$$

Длину дуги K можно также вычислить через радиан ρ

$$K = R \frac{\alpha''}{\rho''},$$

где α — центральный угол, ρ — радиан в секундах, равный 206 265″. (При вычислении дуги по этой формуле следует пользоваться страницей 288 семизначных таблиц логарифмов Г. Вега.)

Из определения понятия домера следует, что

$$Д = 2T - K.$$

Биссектрису можно вычислить как разность между гипотенузой прямоугольного треугольника и радиусом R закругления, т. е.

$$Б = \frac{R}{\cos\frac{\alpha}{2}} - R = R\left(\frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}} - 1\right)$$

или

$$Б = R\left(\sec\frac{\alpha}{2} - 1\right).$$

Из приведенных формул следует, что элементы закругления T, K, $Д$ и $Б$ при данном значении угла поворота α прямо пропорциональны радиусу кривой R. Это использовано при составлении таблиц основных элементов круговых кривых. В этих таблицах даны значения T, K, $Д$ и $Б$ для радиуса закругления $R = 1000$ м и углов поворота через одну минуту. Если радиус кривой равен не 1000 м, а, например, 1200 м, то найденные в таблицах значения элементов умножают на коэффициент 1,2.

Для удобства пользования формулами в полевых условиях составлены специальные таблицы для разбивки кривых (Гипротранс. Таблицы жел.-дор. кривых. Изд. МПС. 1960 г. Таблицы для разбивки жел.-дор. кривых. Трансжелдориздат. 1962. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. В. Н. Ганьшин, Л. С. Хренов. Недра, 1966).

В связи с тем что счет расстояний ведется по кривой, а измерение производят по касательным, а не по кривой $K < 2T$, то пикеты, расположенные за кривой, выносят вперед на величину домера.

Отложив на местности начало $НК$ и конец $КК$ кривой и отложив от конца кривой $КК$ домер, продолжают разбивку пикетов по прямой.

Для нахождения на местности середины кривой CK угол поворота хода делят пополам и по этому направлению откладывают длину биссектрисы $Б$.

Если в средней части кривой трасса попадает на препятствие, которое желательно обойти, то необходимо изменить радиус кривой, увеличив или уменьшив его. Для этого измеряют на местности величину биссектрисы, при которой трасса обходит препятствие и наиболее удачно вписывается в рельеф и ситуацию местности. По измеренной биссектрисе и углу поворота в таблицах находят ближайшую величину нового радиуса и новые значения элементов кривой, по которым ее вновь разбивают на местности.

Все три главные точки кривой закрепляют кольями со сторожками с соответствующими надписями на них. При точной разбивке последнюю закрепляют на кольях гвоздями.

§ 75. Детальная разбивка круговых кривых

Переходные кривые

При непосредственном сопряжении прямых участков трассы круговыми кривыми при движении транспорта в месте соединения мгновенно возникает центробежная сила и осуществляет резкий и сильный толчок вагонов о рельсы, что особенно опасно при больших скоростях движения. Для ослабления действия центробежной силы в начале и в конце круговой кривой делают вставку кривой, радиус которой изменяется от бесконечности (на прямой) до радиуса R круговой кривой и, наоборот, от R до бесконечности в конце закругления. Такие кривые, служащие для перехода подвижного состава с прямолинейных участков пути на круговые кривые, называют переходными кривыми. На закруглениях железных дорог на их верхние строения действуют две силы: масса подвижного состава и центробежная сила. Необходимо, чтобы их равнодействующая была направлена перпендикулярно к плоскости дороги. На железных дорогах с этой целью устраивают возвышение h наружного рельса по отношению к внутреннему. При устройстве переходных кривых описанным способом транспорт движется без толчков в начале и в конце каждого закругления.

В качестве переходной кривой в последнее время чаще всего используют радиоидальную спираль. Ее уравнение

$$\rho = \frac{C}{L},$$

где ρ — радиус кривизны в данной точке кривой, L — длина переходной кривой до этой точки, а C — постоянное число (параметр кривой).

Из этого уравнения получены значения для прямоугольных координат (x, y) любой точки переходной кривой и формулы для разбивки ее на местности:

$$x_n = K_n - \frac{K_n^5}{40C^2}; \quad y_n = \frac{K_n^3}{6C};$$

K_n — длина кривой от НПК до точки n. По этим формулам составлены таблицы для разбивки переходных кривых. Правила пользования этими таблицами можно найти в их описании.

Длина переходной кривой определяется из формулы

$$L = \frac{C}{R}.$$

Для магистральных железных дорог C принимают равным от 45 000 до 150 000 в зависимости от скорости движения поездов.

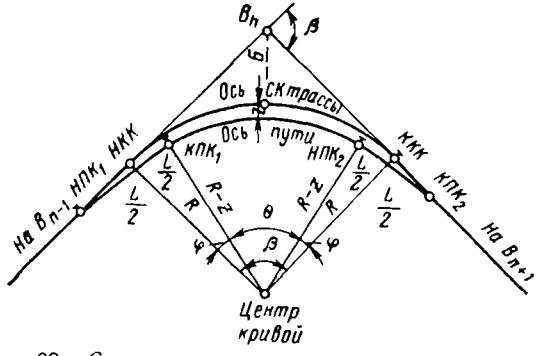


Рис. 89. Схема расположения переходных кривых

Для второстепенных линий, где скорости небольшие, C принимают менее 45 000.

Возвышение наружного рельса

$$h = 12{,}5\frac{v^2}{R},$$

где v — скорость на данном участке трассы. Разгон (отвод) возвышения рельса производится постепенно на протяжении переходной кривой, при этом нарастание уклона не должно превышать 0,001.

В настоящее время предельная величина h установлена в 120 мм.

Переходная кривая размещается симметрично относительно начала и конца круговой кривой, т. е. так, чтобы половина ее длины $\frac{L}{2}$ находилась на прямолинейном участке, а вторая половина на круговой кривой, соответствующей центральному углу φ (рис. 89).

Пикетаж точек переходных кривых определяется таким подсчетом: пикет $НПК_1$ = пикету $НК - \frac{L}{2}$. Пикет $НПК_2$ = пикету $КК$ минус $\frac{L}{2}$. Пикет $КПК_1$ = пикету $НПК_1 + L$. Пикет $КПК_2 = НПК_2 + L$.

При вставке обеих переходных кривых длина круговой кривой укорачивается на величину L. Оставшаяся часть круговой кривой соответствует центральному углу $\theta = \beta - 2\varphi$, весь путь в которой укладывается по круговой кривой, которая сдвинута к центру кривой на величину Z. Следовательно, радиус кривой будет равен $R - Z$.

Для разбивки главных точек переходной кривой также пользуются указанными выше таблицами. В них на каждое значение параметра C даны значения элементов переходных кривых для различных радиусов.

После разбивки и закрепления главных точек кривых выполняют детальную разбивку переходной, а за ней круговой кривой. С этой целью фиксируют на местности точки кривой через каждые 10, 20 м.

Круговые кривые

Для детальной разбивки круговых кривых пользуются разными способами.

Способ прямоугольных координат. В этом способе положение точек (рис. 90) на кривой определяется через равные дуги K координатами x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3; . . .; при этом за ось абсцисс принимают линию тангенса, за начало координат — начало или конец кривой.

Координаты точек круговых кривых вычисляют по формулам:

$$x_1 = R \sin \varphi;$$

$$y_1 = 2R \sin^2 \frac{\varphi}{2};$$

$$x_2 = R \sin 2\varphi;$$

$$y_2 = 2R \sin^2 2\,\frac{\varphi}{2};$$

$$x_3 = R \sin 3\varphi;$$

$$y_3 = 2R \sin^2 3\,\frac{\varphi}{2}.$$

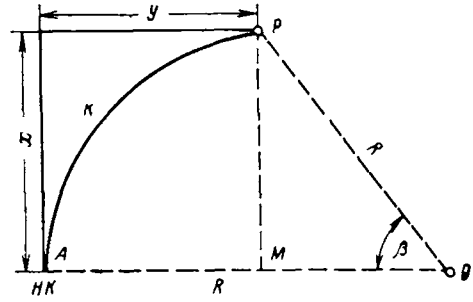


Рис. 90. Разбивка кривой способом прямоугольных координат

Вместо вычислений по приведенным формулам следует пользоваться таблицами для разбивки кривых. В таблицах обычно оттеняют жирным шрифтом места, где кончается разбивка переходной и начинается разбивка круговой кривой.

Детальную разбивку закругления ведут от обоих концов кривой к середине (CK) по тангенсу, последовательно откладывая десятиметровые отрезки. С конца каждого отрезка откладывают назад величину $K - x$ и от этой точки строят нормаль, по направлению которой откладывают величину y. Полученную точку закрепляют колом, на котором надписывают название точки и ее пикетаж.

Пикетаж точек вычисляют, прибавляя к пикету $НКК$ последовательно значения K. Для контроля измеряют расстояния между кольями, каждое из которых должно равняться 10 м. Для уточнения разбивки в верхушки кольев забивают гвозди.

Достоинство этого способа состоит в том, что каждая точка на кривой получается независимо, поэтому погрешности не нарастают в последующих точках. Этот способ применяют в открытой ровной местности.

В лесных районах, а также при укладке пути на насыпи или в выемке пользоваться этим способом не рекомендуется. В этих условиях применяют другие способы: способ продолженных хорд, способ углов и др.

Способ продолженных хорд. При этом способе построение точек круговой кривой выполняют при помощи ленты и рулетки (рис. 91). Первую на кривой точку B находят по прямоугольным координатам x и y, а точку C и все последующие получают линейными засечками радиусами a и b. Величину хорды a чаще при-

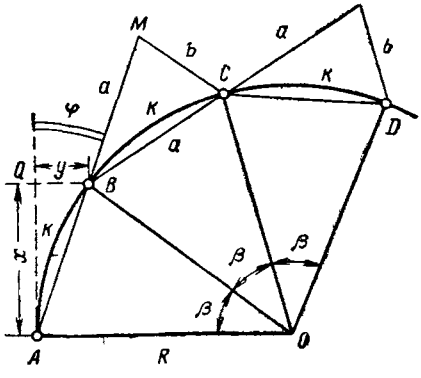


Рис. 91. Разбивка кривой способом продолженных хорд

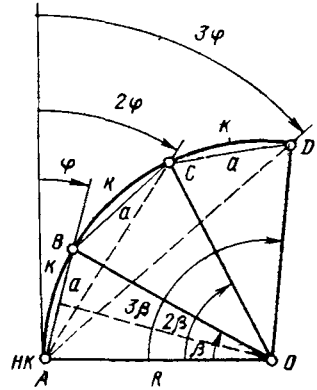


Рис 92 Разбивка кривой способом углов (хорд)

нимают равной 5, 10 или 20 м. Построив по прямоугольным координатам x, y точку B, продолжают хорду $AB=a$ на отрезок $BM=a$, а затем линейной засечкой радиусами $b = 2y$ и a (из точек M и B) определяют точку C на кривой. Точно так же определяют положение остальных точек, лежащих на круговой кривой. Выполняя разбивку способом продолженных хорд, все измерения делают около самой кривой, поэтому данный способ особенно удобен при разбивке в стесненных условиях (по насыпи, в выемке, в тоннеле). Этот способ целесообразнее применять для кривых с радиусом до 200 м.

Основным недостатком способа является накопление погрешностей в положении последующих точек.

В таблицах Главтранспроекта приведены данные для разбивки кривых способом углов (рис. 92). По заданной величине хорды, которую чаще всего принимают равной 20 м, определяют значение центрального угла β.

В точке $НК$ устанавливают теодолит и строят от линии тангенса углы $\varphi = \frac{\beta}{2}$, 2φ, 3φ, ... и лентой по створу откладывают отрезок $AB = a$, а затем линейно-угловой засечкой получают точки C, D и последующие.

В таблицах для разбивки круговых кривых приведены значения углов φ для хорды $a = 20$ м и различных радиусов R; там же указаны и правила пользования ими.

Следует учитывать, что и при этом способе погрешности измерений накапливаются.

§ 76. Вертикальные кривые

Сопряжение смежных уклонов продольного профиля

Сопряжение смежных уклонов продольного профиля осуществляется по дуге вертикального круга при алгебраической разности сопрягаемых уклонов

$$\Delta i = i_2 - i_1 = 0{,}002 \text{ и более.}$$

Радиус кривой вертикального круга, как правило, должен приниматься равным 5000 м.

В затруднительных условиях проектирования разрешается применять на главных путях радиус 4000 и 3000 м и в виде исключения радиусы 2500 и 2000 м. На парковых и служебных путях радиус кривой вертикального круга может приниматься равным 1500 м.

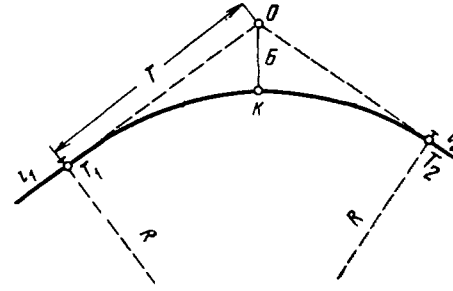


Рис 93 Схема сопряжения уклонов

На рис. 93 приведена схема сопряжения уклонов.

Величина тангенса вертикального сопряжения $OT_1 = OT_2 = T$ определяется по формуле

$$T = R \frac{\Delta i}{2},$$

где R — радиус кривой вертикального круга и $\Delta i = i_2 - i_1$ — абсолютная величина алгебраической разности сопрягаемых уклонов При подсчете этой разницы подъемы должны приниматься со знаком «плюс», а скаты — со знаком «минус».

Величина биссектрисы $OK = Б$ с достаточной степенью точности определяется по формуле

$$Б = \frac{T^2}{2R}.$$

Значения длины кривой и суммы двух тангенсов практически мало отличаются друг от друга и потому считаются равными, т. е.

$$K = 2T.$$

Положение любой точки на вертикальной кривой определяется прямоугольными координатами x и y. Абсциссы x отсчиты-

вают по пикетажу от начала вертикальной кривой, ординату y вычисляют по формуле

$$y = \frac{x^2}{2R}.$$

Отметки точек, лежащих на вертикальной кривой, определяют по формулам

$$H_к = H_т + \Delta H; \quad \Delta H = \frac{x^2}{2R},$$

где $H_к$ — искомая отметка точки кривой; $H_т$ — абсолютная отметка точки, лежащей на линии тангенса; ΔH — удаление точки вертикальной кривой от линии тангенса; x_1, x_2, x_3 — расстояния от начала (или конца) вертикальной кривой до определяемой точки.

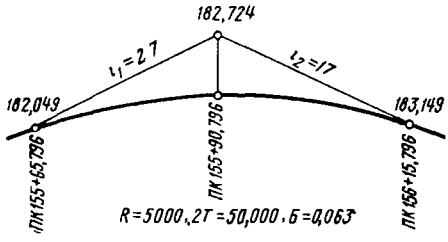


Рис. 94. Схема вертикальной кривой

Для определения элементов вертикальных кривых T и $Б$, а также координат x и y (ΔH) составлены специальные таблицы.

Ниже приводится формуляр вычисления отметок точек, лежащих на вертикальной кривой (рис. 94, табл. 22).

Для вычисления главных элементов кривой T и $Б$ определена величина Δi. В данном примере

$$\Delta i = i_2 - i_1 = +17 - (+27) = -10,$$

Таблица 22

Вычисление отметок точек вертикальной кривой

Пикетаж	Начальная $H_т$	ΔH	Окончательная $H_к$	Уклон i
1	2	3	4	5
155 + 65,796	182,049	0	182,049	+26,4
70,796	184	—3	181	+25,6
75,796	319	—10	309	+24,4
80,796	454	—23	431	+23,6
85,796	589	—40	549	+22,4
155 + 90,796	182,724	—63	182,661	
155 + 90,796	182,724	—63	182,661	+21,6
95,796	809	—40	769	+20,4
156 + 0,796	894	—23	871	+19,6
5,796	182,979	—10	182,969	+18,4
10,796	183,064	—3	183,061	+17,6
156 + 15,796	183,149	0	183,149	

тогда

$$T = R\frac{\Delta i}{2} = 5000 \times \frac{0{,}010}{2} = 25{,}000 \text{ м}$$

и

$$Б = \frac{T^2}{2R} = \frac{625}{10\,000} = 0{,}063 \text{ м}.$$

После вычисления главных элементов кривой приступают к детальному вычислению отметок от начала до середины кривой. В первой колонке ведомости выписывают пикетажное значение через 5 м. Во второй вписывают отметки точек, вычисленные по линии тангенса с проектным уклоном i_1 (в данном примере $i_1 = 0{,}027$).

Из таблиц или по формуле $\frac{x^2}{2R}$ определяют величину поправки к $H_т$ и вписывают эту поправку в графу 3. Поправки вводят в отметки $H_т$ со знаком минус в случае выпуклой кривой и прибавляют их в случае вогнутой кривой. Иными словами, поправки ΔH имеют те же знаки (плюс или минус), как и Δi.

§ 77. Разбивка земляного полотна

Основной частью железнодорожного полотна является верхнее строение — рельсы со шпалами, уложенные на балластный слой (рис. 95).

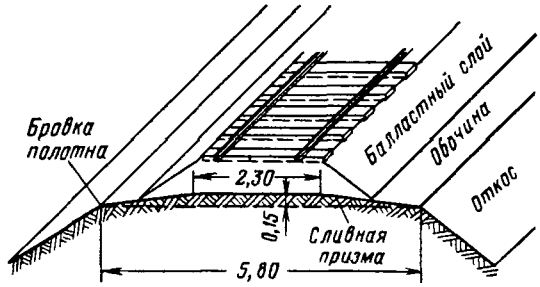


Рис 95. Строение железнодорожной насыпи

Для лучшего стока воды земляное основание под балластным слоем устраивают в виде так называемой с л и в н о й п р и з м ы. На однопутных дорогах, ширина земляного полотна которых равна 5,8 м, сливная призма в сечении имеет трапецеидальную форму с верхним основанием 2,30 м и высотой 0,15 м. На двухпутных железных дорогах шириной 10 м сливная призма строится с треугольным основанием и высотой 0,20 м.

Вдоль дорожного полотна устраивают боковые водоотводные канавы — к ю в е т ы. Средняя глубина кювета — 0,6 м, продольный уклон его должен быть не менее $3‰$.

Разбивка строительных поперечников. Для выполнения земляных работ производят детальную разбивку земляного полотна или, как говорят, разбивку строительных поперечников. Эта разбивка состоит в обозначении на местности в плане и по высоте всех характерных точек поперечного профиля полотна: оси, бровок, подошвы насыпей, кюветов и т. д.

Поперечники разбивают на прямолинейных участках через 20—40 м и на всех переломах продольного профиля. Для этого в створе оси разбивают между пикетами плюсовые точки, которые служат осевыми точками поперечников. Сами же поперечники разбивают вправо и влево от этих точек перпендикулярно к оси трассы. На закруглениях трассы поперечники разбивают через 10—20 м по направлению к центру кривой. Одновременно с разбивкой поперечников выносят в натуру красные отметки.

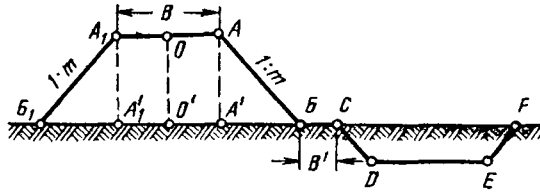


Рис. 96. Разбивка поперечников в насыпи

Красная (проектная) отметка дороги соответствует отметке бровки дорожного полотна в законченном виде. Рабочие отметки, т. е. высоты насыпей или глубины выемок, равняются разности красных отметок по бровке и черных отметок по оси. При этом, если красная отметка больше черной, то дорога идет по насыпи, а если меньше, то в выемке.

Для удобства выноса в натуру проектных отметок и уклонов перед выходом в поле составляют так называемый писаный профиль, в котором на основании продольного профиля дороги вычисляют для каждого разбиваемого в натуре поперечника красные и рабочие отметки, глубины кюветов и другие данные.

Разбивка поперечников в насыпи. При разбивке поперечных профилей в насыпи (рис. 96) на местности закрепляют положение осевой точки O', проекции бровок A', A'_1 и подошвы насыпи $Б_1Б$. Если поперечный уклон местности не больше 3—4°, то можно принять

$$O'A'_1 = O'A' = \frac{B}{2}$$

и

$$A'Б = A'_1Б_1 = hm,$$

где B — проектная ширина дорожного полотна; h — высота насыпи, $1 : m$ — крутизна (уклон) откоса, т. е. отношение высоты насыпи h к заложению откоса $A'_1Б_1$.

Расстояние от оси до подошвы насыпи $О'Б$ или $О'Б_1$ будет

$$l = \frac{B}{2} + hm.$$

Например, при ширине дорожного полотна $B = 10$ м, высоте насыпи $h = 3$ м и крутизне откосов $1 : m = 1 : 1{,}5$ расстояние от оси до подошвы насыпи

$$l = \frac{10}{2} + 3 \times 1{,}5 = 9{,}5 \text{ м}.$$

Таким образом, при разбивке поперечников в равнинных местах откладывают от оси в обе стороны расстояние $\frac{B}{2}$ для

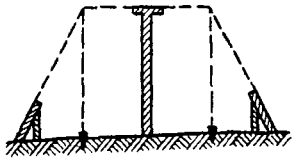


Рис. 97. Лекала в насыпи

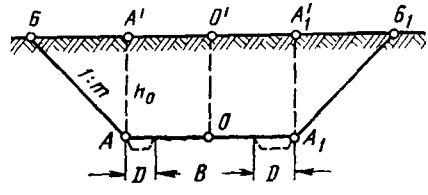


Рис. 98. Разбивка поперечников в выемке

обозначения бровок и расстояние $l = \frac{B}{2} + hm$ для фиксирования подошвы откосов. От подошвы откладывают ширину бермы $БС$ и резерва $CDEF$. Все точки закрепляют кольями и подписывают наименования: «ось», «бровка» и т. д.

При значительном поперечном наклоне местности (на косогорах) разбивка насыпей несколько усложняется. В таких случаях поперечники могут быть разбиты способом приближений при помощи уровня, рейки и откосного лекала.

Разбивка насыпи на местности закрепляется лекалами, которые устанавливают на пикетах и переломах проектного профиля.

На оси зарывают планку с перекладиной наверху — визирку (рис. 97) с таким расчетом, чтобы верх визирки был на уровне красной отметки полотна. У подошвы насыпи укрепляют откосные лекала, характеризующие крутизну откоса.

При производстве земляных работ землеройными машинами, чтобы не мешать движению последних, лекала можно ставить реже. При этом визирки следует устанавливать за пределами полотна у подошвы насыпи. В процессе работы крутизна откосов и ширина полотна периодически проверяются переносными шаблонами и промерами от восстанавливаемой оси. Когда насыпь вчерне закончена, для окончательной отделки полотна восстанавливают ось и выносят в натуру по поперечникам проектные отметки с учетом запаса на последующую осадку грунта.

Разбивка поперечников в выемке. При разбивке поперечников в выемке на поверхности земли фиксируют осевую точку трассы O' (рис. 98). Точки A', A'_1 и бровки выемки $Б$, $Б_1$, т. е. на первом

этапе, когда земляное полотно создается вчерне, поперечный профиль в выемке задается в виде некоторой трапеции $БАА_1Б_1$.

Если местность сравнительно ровная, то положение в натуре точек A' и A'_1, $Б$ и $Б_1$ находится просто. Согласно рис. 98

$$O'A' = O'A'_1 = \frac{B}{2} + D,$$

где B — ширина дорожного полотна; D — ширина кювета поверху.

Найденную величину $O'A'$ откладывают в обе стороны от оси, получая точки A' и A'_1. Отмерив от этих точек величину заложения откоса mh, находят и закрепляют бровки выемки $Б$ и $Б_1$.

На косогорах разбивка поперечников в выемке, как и в насыпи, несколько усложняется. Расстояние от оси до границы выемки здесь будет меньшим в сторону понижения ската и бóльшим в нагорную.

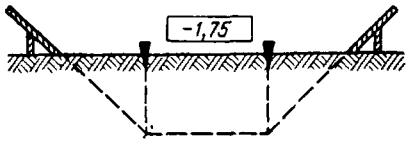


Рис. 99. Лекала в выемке

Для облегчения производства земляных работ в точках $Б$ и $Б_1$ разбитых на бровках выемки, устанавливают небольшие лекала, задающие крутизну откоса (рис. 99).

По мере разработки грунта механизмами повторяют разбивку осевых точек и указывают оставшуюся глубину выемки. Аналогично делается разбивка и при сооружении водоотводных канав.

Когда выемка в основном закончена и осталось добрать до проектной отметки 10—20 см, для чистовой отделки намечают точки, определяющие положение кюветов, сливной призмы и при помощи нивелира эти точки устанавливают на уровень красных отметок.

Исполнительная съемка. По земляному полотну производят исполнительную съемку. Инструментально восстанавливают продольную ось и на каждом пикете проверяют ширину полотна, кюветов, а также крутизну откосов. Производят контрольное нивелирование и проверяют на всех пикетах и переломах продольного профиля отметки по оси, обеим бровкам, дну кюветов и нагорных канав.

Допускаются следующие предельные отклонения от проектных данных:

а) в отметках бровок земляного полотна с учетом поправок на осадку насыпи ± 5 см;

б) по ширине полотна ± 5 см;

в) по поперечному уклону $\pm 0{,}5‰$;

г) по продольному уклону кюветов и нагорных канав $\pm 0{,}1‰$;

д) в резервах должны быть соблюдены продольные и поперечные уклоны с такой точностью, чтобы не было застоя воды.

Разбивка верхнего строения пути. Когда земляное полотно приготовлено, приступают к сооружению верхнего строения пути,

Таблица 23

Род балласта	Ширина балластной призмы поверху в м	Толщина балластного слоя под шпалой в м
Щебень на песчаной подушке:		
щебень	3,20	0,25
песчаная подушка	3,20	0,20
Однослойный балласт (песок, гравий, ракушка)	3,10	0,35

состоящего из шпал, рельсов и балластного слоя. Род балласта, который надлежит укладывать в путь, устанавливается проектом. В зависимости от условий проекта балластная призма может быть приготовлена в два слоя (песчаная подушка и щебень) или в один слой, состоящий из песка, гравия, ракушки. Размеры балластной призмы приводятся в табл. 23.

При укладке и окончательной рихтовке (выправке) железнодорожных путей по инструменту разбивают ось каждого пути. На закруглениях полотна производят детальную разбивку переходных и круговых кривых. Наиболее целесообразно эту разбивку проводить способом секущих. Этот способ удобен для применения в стесненных условиях насыпей и выемок и обеспечивает высокую точность.

Разбивка закрепляется кольями, на которых гвоздями фиксируют положение оси. Одновременно при помощи нивелира выносят в натуру отметки головки рельсов с точностью 2—3 мм.

На кривых учитывают возвышение наружного рельса над внутренним (см. стр. 188).

Предельная разность отметок головок рельсов обеих ниток на одном поперечнике прямого участка пути и отклонение возвышения наружного рельса от проектной величины на закруглениях не должны превышать ±4 мм.

§ 78. Сооружение железнодорожных путей для метрополитенов на поверхности

Железнодорожные пути на поверхности, сооружаемые для метрополитенов, проектируются специальными проектными организациями, входящими в состав Главтоннельметростроя Министерства транспортного строительства.

Перед составлением проекта проводятся следующие технические изыскания:

1) камеральные — по существующим топографическим планам выбирается оптимальный вариант трассы;

2) полевые, заключающиеся в бурении неглубоких скважин для определения геологических и гидрогеологических данных.

После утверждения технического проекта геодезическая служба проектной организации выполняет необходимые геодезические работы по обеспечению участка строительства плановым и высотным обоснованием.

Маркшейдерская служба организации, на которую возлагается сооружение пути, в случае необходимости сгущает сеть опорных пунктов путем дополнительной закладки полигонометрических пунктов и реперов. Полигонометрические знаки рекомендуется закладывать по обе стороны трассы, вне зоны земляных работ, с промежутками между ними 50—100 м.

Координаты полигонометрических знаков и отметки реперов должны быть определены с точностью, отвечающей требованиям Инструкции ВСН 160—69 Минтрансстроя.

Все земляные работы по подготовке полотна дороги выполняются по проектным чертежам. Как правило, земляные работы ведутся одновременно для двух путей.

Путейские реперы, которыми служат специально изготовленные железобетонные столбы сечением 10 × 10 см, устанавливаются по оси междупутья на прямых участках пути через 50 м, на кривых (*и в плане, и в профиле*) через 20 м.

Нижний конец реперного столба должен находиться ниже глубины промерзания грунта. На уровне отметки головки рельса к столбу прикрепляется металлический хомутик с болтом, верхушка которого по нивелиру устанавливается на проектный уровень головки рельса.

На песчаную подушку, которая в зависимости от категории грунта может быть различной толщины, насыпается слой гранитной щебенки толщиной 0,25 м. На щебенку кладутся железобетонные шпалы и рельсы марки Р50 или Р65. С левой стороны по ходу поезда на специальных кронштейнах укрепляется контактный (третий) рельс, предназначенный для питания состава электротоком.

Рихтовка пути с железобетонными шпалами на гранитном балласте — весьма трудоемкая работа, так как перемещать в плане такой путь вручную чрезвычайно тяжело. Поэтому маркшейдерская служба должна организовать работу так, чтобы при окончательной рихтовке не было необходимости передвигать путь на величину более 10 мм.

После окончательной рихтовки положение головки рельсов в плане и профиле не должно отличаться от проектного на величину более ±3 мм.

Вдоль полотна дороги устраивают боковые водоотводные канавы (кюветы). Продольный уклон дна кюветов должен быть не менее 0,003.

По кюветам вода поступает в дренажные перекачки.

Одновременно с путейскими работами на перегоне производятся и другие работы: ограждение полосы отчуждения, сооружение пешеходных переходов, устройство перекачек и т. п.

§ 79. Разбивка соединений и парков железнодорожных путей

Примыкание путей. Примыкания, как и другие соединения железнодорожных путей, осуществляют при помощи стрелочных переводов, которые, как правило, устраивают на прямых участках пути.

Основные части стрелочного перевода следующие: остряки *1* (рис. 100) с переводным механизмом *2*, переводная кривая *3* и крестовина *4*.

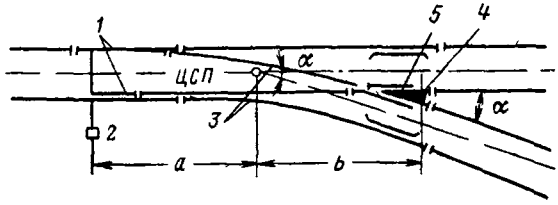


Рис. 100 Стрелочный перевод

Угол α между рабочими гранями крестовины называется углом крестовины. Выражение $2\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2}$ называют маркой стрелки и обозначают $1/N$.

По малости угла α

$$1/N = 2\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2} = \mathrm{tg}\,\alpha.$$

Точка *5* пересечения граней крестовины называется математическим центром крестовины (МЦК). На грузовых линиях наиболее распространена марка стрелочных переводов $1/N = 1/9$ ($\alpha = 6°20'25''$), а на пассажирских линиях $1/N = 1/11$ ($\alpha = 5°11'40''$).

Пересечение осей двух соединяющихся путей называется центром стрелочного перевода (*ЦСП*). Расстояния *a* от центра стрелочного перевода до начала стрелки и *b* до конца крестовины, а также до других частей стандартны и даются для стрелочного перевода каждого типа. Поэтому, зная положение центра стрелочного перевода на оси пути, относительно него легко разместить все части перевода.

Отсюда вывод: при разбивке стрелочного перевода на местности необходимо фиксировать положение его центра.

Для разбивки примыкания трассируемого пути *CL* (рис. 101) к существующему *AK* находят точку пересечения осей путей *B* и измеряют угол примыкания β. Так как стрелочный перевод отклоняет путь на постоянный угол α, то, чтобы соединить пути *CL* и *BK*, необходимо разместить центр стрелочного перевода не

в вершине угла примыкания B, а в некоторой точке A. Расстояние $AB = x$ может быть найдено из решения треугольника ABC, в котором известны все три угла: α, $180° - \beta$, $\beta - \alpha$ и сторона $AC = b + q + T$,

$$x = \frac{b + q + T}{\sin \beta} \sin (\beta - \alpha),$$

где угол α и величина b определяются по марке перевода; угол β измеряют на местности, прямая вставка q задается, тангенс T

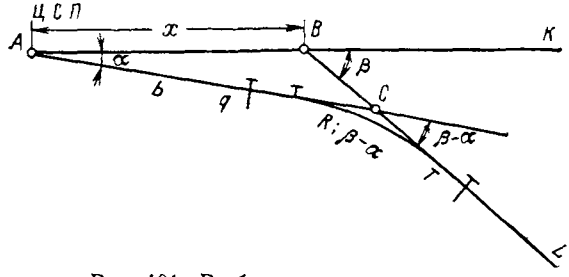


Рис. 101. Разбивка примыкания пути

берут из таблиц кривых по углу поворота $\beta - \alpha$ и принятому радиусу R или вычисляют

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2}.$$

Отложив по оси пути от точки примыкания B отрезок x, находят точку A — центр стрелочного перевода, которую закрепляют створной плоскостью. Для нахождения на местности положения вершины угла поворота C нужно в центре стрелочного перевода построить угол крестовины α и вдоль стороны AC полученного угла отложить расстояние $b + q + T$.

Угол поворота трассы в вершине C равен $\beta - \alpha$. Таким образом, общий угол примыкания путей с учетом угла отклонения, который задает стрелочный перевод, будет равен сумме угла α и $\beta - \alpha$, т. е. равен углу β.

Съезды. Для перехода состава с одного пути на другой устраивают съезды. На рис. 102 приведена схема так называемого сокращенного съезда между двумя параллельными путями.

При одинаковых стрелочных переводах и одинаковых радиусах кривых расстояние между центрами стрелочных переводов A' и A как проекция съезда на ось абсцисс (ось одного из путей) будет

$$x = 2 (b + q + T) \cos \alpha + (2T + d) \cos \beta.$$

Величина прямой вставки d между обратными кривыми находится из уравнения (проекция съезда на ось ординат)

$$y = l = 2 (b + q + T) \sin \alpha + (2T + d) \sin \beta,$$

откуда

$$d = \frac{l - 2\,(b + q + T)\sin\alpha}{\sin\beta} - 2T.$$

Для вычисления по этим формулам d и x расстояние между осями путей l и угол примыкания β измеряют на местности или берут с крупномасштабного плана, по которому проектируют съезд.

Тангенс T берут из таблиц по аргументам R и $\beta - \alpha$. Угол крестовины α и величину b определяют по марке перевода. Вели-

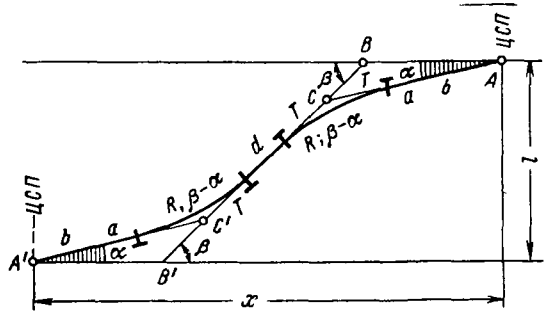


Рис. 102. Схема сокращенного съезда

чину вставки q задают в зависимости от того, насколько это позволяют условия местности.

Стрелочные улицы. Стрелочной улицей называют железнодорожный путь, на котором располагается ряд стрелочных переводов для ответвления параллельных путей, создающих парк путей.

Стрелочная улица может быть расположена под разными углами к главному пути. При небольшом количестве ответвляемых путей и значительной длине площадки парка стрелочной улице обычно придают угол отклонения, равный углу крестовины (рис. 103). При таком угле отклонения для ответвления путей, параллельных главному пути I, достаточно повернуть эти пути по отношению к стрелочной улице на угол крестовины α, т. е. достаточно установить на стрелочной улице переводы одинаковой марки со стрелочным переводом, стоящим в начале улицы на главном пути.

При одинаковом промежутке l между осями путей парка расстояния между центрами стрелочных переводов будут равны между собой. Из рис. 103 видно, что это расстояние

$$S = \frac{l}{\sin\alpha}.$$

Стрелочную улицу целесообразнее разбивать полярным способом. Для этого, согласно пикетажу, на оси главного пути опре-

деляют начальный центр перевода стрелочной улицы и, отложив угол крестовины α, вдоль полученного направления последовательно отмеряют расстояние S и фиксируют центры стрелочных переводов *1*, *2*, *3*, . . ., *n* путей. Крайний *n*-й путь примыкает к стрелочной улице без стрелочного перевода при помощи поворота самой улицы на угол α.

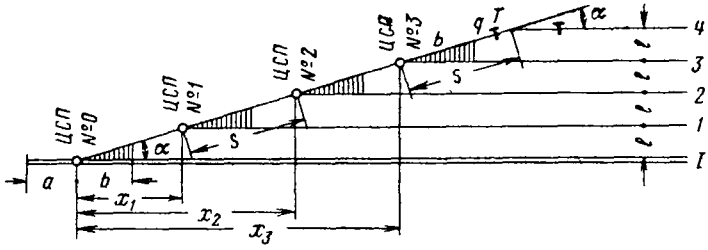


Рис. 103 Стрелочная улица под углом α

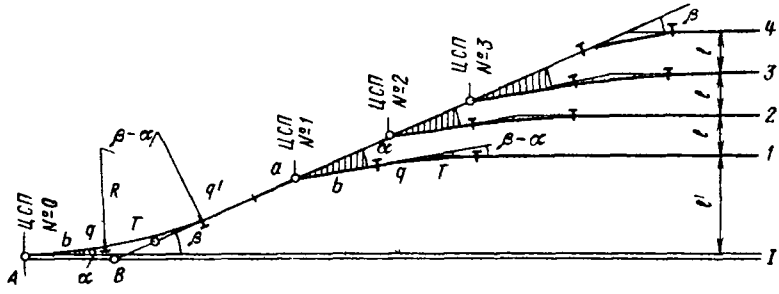


Рис. 104. Стрелочная улица под углом β

Для уменьшения длины стрелочной улицы последнюю часто проектируют под углом β к главному пути, превышающему угол крестовины α ($\beta = 2\alpha,\ 3\alpha, \ldots$).

В этом случае стрелочная улица (рис. 104) сопрягается с главным путем *I* при помощи стрелочного перевода *O* и круговой кривой, дающей возможность повернуть ось улицы дополнительно на угол $\beta - \alpha$.

Чтобы пути парка, отходящие от стрелочной улицы, были параллельны главному пути, необходимо, кроме поворота на угол α, задаваемого стрелочным переводом, дополнительно повернуть их также на угол $\beta - \alpha$.

Для разбивки стрелочной улицы вначале под углом крестовины α к главному пути от начального стрелочного перевода откладывают величину b, прямую вставку q и длину тангенса T, в найденной вершине поворота строят угол $180° - (\beta - \alpha)$ и получают направление стрелочной улицы, вдоль которой, согласно проекту, разбивают стрелочные переводы.

При разбивке примыканий путей и стрелочных улиц особое внимание следует обратить на то, чтобы центры переводов располагались строго на осях путей или стрелочных улиц. Предельное отклонение центра стрелочного перевода от оси (поперечная погрешность) не должно превышать ±1 см.

Парки путей. К разбивке парков путей предъявляют два основных требования:

1) оси всех путей парка должны быть параллельными;

2) центры всех стрелочных переводов на стрелочной улице должны располагаться на одной прямой линии.

Стрелочные улицы и оси парковых путей закрепляют створными плоскостями, чтобы точками разбивки можно было пользоваться не только при устройстве земляного полотна, но и при укладке путей.

На земляном полотне парка дополнительно разбивают положение предельных столбиков, обозначающих полезную длину путей, в пределах которой возможна стоянка вагонов. Предельные столбики устанавливают по оси междупутья в местах, где расстояние между осями сходящихся путей равно 4,10 м, т. е. достаточно для безопасного прохождения состава мимо стоящего вагона.

Для строительства на линиях метрополитенов вагонных депо с парками железнодорожных путей составляется проект на примыкание этих путей к магистрали.

Стрелочной улицей в этом случае служит так называемый «Базис», от которого проектируется все путевое развитие.

Координаты для определения положения центров стрелочных переводов и вершины углов вычисляются в условной системе.

Осью абсцисс служит линия базиса, а ординатами — перпендикуляры от нее.

Координаты по оси x исчисляются в пикетажном значении. Знаки ординат — в зависимости от расположения к линии базиса (вправо +, влево —).

ГЛАВА IX

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АЭРОДРОМОВ

§ 80. Плановая и высотная разбивка сооружений

В практике аэродромных изысканий топографическую съемку в масштабе 1 : 5000 проводят на съемочном обосновании, а геодезическую основу в виде полигонометрии или аналитических се-

тей создают в процессе подробных изысканий для съемки площадки в масштабе 1 : 2000 и 1 : 500 и для разбивочных работ. В лесной местности плановую геодезическую основу создают в виде ходов полигонометрии, а на открытых участках применяют сети микротриангуляции или геодезических засечек.

Пункты геодезической основы располагают вблизи основных сооружений (взлетно-посадочных полос, мест стоянки самолетов, зон застроек) и совмещают с вершинами 400-метровой сеткой квадратов.

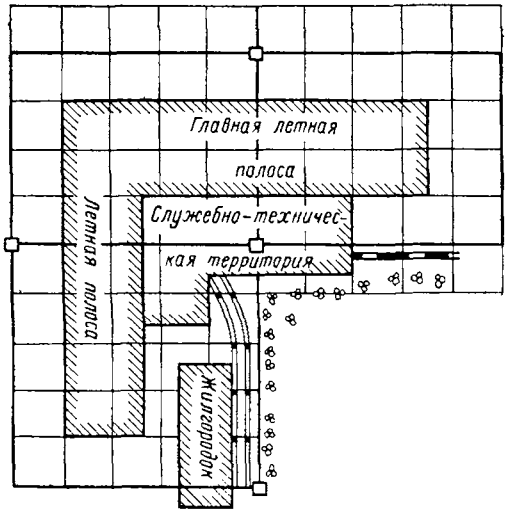


Рис. 105. Полигонометрия

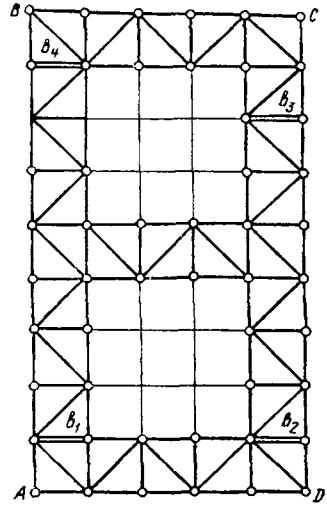


Рис. 106. Микротриангуляция

Полигонометрию прокладывают замкнутыми ходами (рис. 105). Стороны измеряют светодальномерами или подвесными мерными приборами. Микротриангуляцию строят со сторонами 400—800 м. На вытянутых площадках применяется схема сети, приведенная на рис. 106.

В сети измеряют четыре стороны (базисы) с погрешностью 1 : 50 000, между сторонами уравнивают отдельные участки сети.

Вертикальное обоснование (нивелирные сети) играют очень важную роль при строительстве аэропортов. Вертикальная планировка аэродромов производится по отметкам точек, полученным из нивелирования, по этим же отметкам вычисляют и объемы земляных работ.

§ 81. Требования к выбору площадки для аэродромов

Для строительства аэропорта должны быть учтены следующие требования.

1. Площадка должна быть достаточных размеров для размещения всех сооружений летной зоны и зоны застройки и так ориен-

тирована относительно господствующего направления ветров, чтобы вдоль этого направления расположилась главная летная полоса.

2. Для безопасности взлетно-посадочных операций необходимо, чтобы рельеф летного поля имел уклоны, не превышающие 0,02, при радиусах вертикальных кривых не менее 8000 м. Для быстрого отвода ливневых вод уклоны летного поля должны быть не менее 0,005. Исходя из этого, рельеф местности на площадке желательно иметь пологим, без глубоких балок и оврагов, со средними уклонами не больше 0,02—0,03, но и не менее 0,003—0,005, при этих условиях объем земляных работ при строительстве будет минимальным.

3. Площадка должна иметь открытые воздушные подходы, особенно в зонах господствующего направления ветров. Допустимое расстояние L в метрах от границы летного поля до высоких сооружений или горных препятствий в районе воздушных подходов может быть подсчитана по формуле

$$L = \frac{H + h + 10}{\operatorname{tg}\theta},$$

где H — высота препятствия в м; h — превышение основания препятствия над границей летного поля в м, θ — угол взлета или планирования самолета, 10 — габаритный запас в м.

4. Грунты площадки должны быть устойчивыми с возможно более глубоким залеганием грунтовых вод. Площадка не должна иметь заболоченных участков, растущих глубоких оврагов, карстовых и оползневых явлений и не должна затопляться паводковыми водами.

Определение высоты препятствий в зоне подходов

При изысканиях летного поля в зонах подходов определяют высоты существующих зданий, сооружений и других высоких препятствий, которые могут мешать нормальному выполнению взлетно-посадочных операций.

Определение высоты препятствия проводят методом геодезического нивелирования.

Для измерения углов наклона теодолит устанавливают в одной из точек площадки с известной отметкой, находящейся на расстоянии S от препятствия.

Из рис. 107 видно, что высота препятствия $h = h_1 + h_2$. Так как

$$h_1 = S \operatorname{tg} \nu_1; \quad h_2 = S \operatorname{tg} \nu_2;$$

то

$$h = S(\operatorname{tg} \nu_1 + \operatorname{tg} \nu_2).$$

Обозначим отметку точки стояния теодолита через H_A, тогда отметка верхней точки препятствия C будет

$$H_C = H_A + i + S \operatorname{tg} \nu_1,$$

где i — высота инструмента, установленного в точке A.

Если известна отметка точки B у основания препятствия, то отметка верхней точки также может быть определена по формуле [18]

$$H_C = H_B + S(\operatorname{tg} \nu_1 - \operatorname{tg} \nu_2).$$

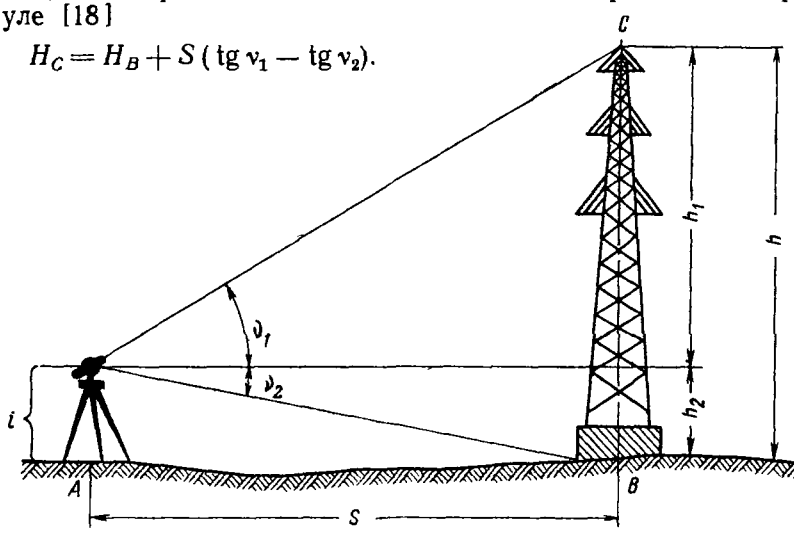


Рис. 107. Определение высоты близкого препятствия

§ 82. Разбивочные работы при строительстве аэродромов

В аэропорте имеется зона застройки, она состоит из служебно-технической территории и жилого городка. Служебными сооружениями аэропорта являются аэровокзал, ангары, бензомаслохранилище и другие помещения, обеспечивающие нормальные условия для проведения полета и транспортных операций.

Служебно-техническая территория располагается недалеко от места стоянок самолетов, вне района воздушных подходов, чтобы постройки не мешали взлету и посадке самолетов.

Жилой городок объединяет все жилые здания, культурно-бытовые здания и коммунальные сооружения и предназначены для размещения летного и обслуживающего персонала аэропорта.

Перенесение проектов этих сооружений в натуру производится обычными способами, изложенными в курсах инженерной геодезии.

В состав летной зоны входят летное поле, места стоянок самолетов, рулежные дорожки.

Для взлета и посадки самолетов на летном поле располагаются летные полосы.

На летной полосе сооружаются специальные взлетно-посадочные полосы с цементно-бетонным покрытием. В крупных аэропортах таких полос сооружают 3—5 и более длиной 2—3 км и шириной 80—100 м.

Сооружаются также особые места для размещения и обслуживания самолетов во время стоянки, эти места располагаются за пределами летного поля и соединяются с взлетно-посадочными полосами рулежными дорожками.

Обычно все эти дорожки и полосы имеют бетонное покрытие.

К летной полосе прилегает район воздушных подходов, в пределах которого ограничивается высота вертикальных препятствий.

Для безопасности взлетно-посадочных операций необходимо, чтобы плоскость, проведенная от границы летного поля под углом к горизонту, равным углу подъема или планирования самолетов, проходила на всем протяжении на 10 м выше любого вертикального препятствия.

Важное место занимают подземные инженерные сети: система водоотводных сооружений (дренаж и ливневая канализация), кабельные линии, водопроводные сети. Эти сети разбиваются обычными методами, изложенными в курсах инженерной геодезии.

§ 83. Разбивка и закрепление осей летного поля

Разбивка на местности сооружений аэропорта производится на основании следующих документов рабочего проекта:

1) генерального плана аэропорта в масштабе 1 : 2000;

2) разбивочного чертежа летного поля в масштабе 1 : 5000;

3) проекта вертикальной планировки в масштабе 1 : 2000;

4) планов и продольных профилей подземных коммуникаций;

5) рабочих чертежей на отдельные сооружения, узлы, пикеты.

Перед разбивкой аэропорта проверяют в поле геодезическую сеть и восстанавливают уничтоженные или поврежденные знаки.

Если пикетажная сетка в процессе изысканий не закреплялась или не сохранилась, восстанавливают разбивку и закрепление пикетажной сетки и проверяют все черные отметки летного поля.

В плановом отношении проверяют координаты тех пунктов, от которых будут выноситься в натуру основные точки и оси сооружения.

Вместе с полевой проверкой геодезической основы проверяют и проектные аналитические данные.

Перенесение проекта аэродрома в натуру начинают с разбивки на местности продольных осей взлетно-посадочных полос, которые являются основой для разбивки всех сооружений летного поля. Разбивку производят от пунктов геодезического обоснования.

По заданным полярным координатам от ближайших пунктов основной сетки квадратов находят на местности начальные и конечные точки полос, между которыми разбивают пикетаж (рис. 108). Эту работу выполняют 30-секундным теодолитом при помощи компарированной рулетки, ленты или оптического дальномера. Относительная предельная погрешность разбивки 1 : 2000.

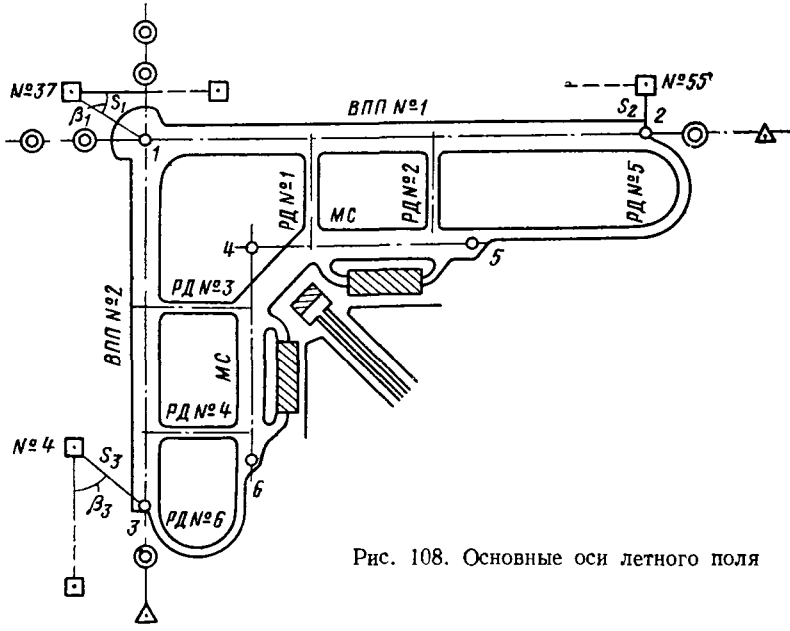


Рис. 108. Основные оси летного поля

§ 84. Разбивочные работы при планировке летного поля

Земляные работы при вертикальной планировке летного поля выполняют в два этапа.

Сперва земляные массы вчерне перемещают из выемок в насыпи. На втором этапе проводят планировочные работы для создания плавной поверхности согласно красным отметкам и уклонам проекта.

Разбивка производится методом квадратов.

Проектная (красная) поверхность летного поля выносится в натуру по отдельным отметкам, устанавливаемым на местности в вершинах закрепленной сетки квадратов 40×40 м (рис. 109).

Вначале выполняют следующие виды разбивок:

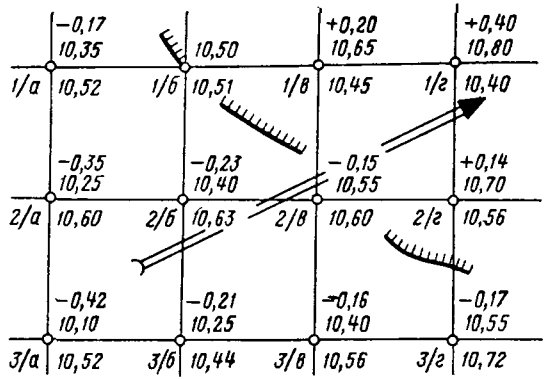
1. В вершинах квадратов на сторожках подписывают рабочие отметки (насыпь со знаком «плюс», выемку со знаком «минус»).

2. Оконтуривают вешками места выемок и насыпей и показывают направления наибольшей глубины выемок и высоты насыпей.

3. В характерных точках насыпи устанавливают визирки, верх которых соответствует отметке насыпи.

После окончания грубого перемещения земляных масс, когда до проектных отметок осталось 10—20 см, подчищают выемки и выравнивают насыпи, затем приступают к разбивке квадратов для планировочных работ.

При этом в вершинах квадратов устанавливают в натуре колья соответствующей высоты и с помощью нивелира отмечают красные отметки.



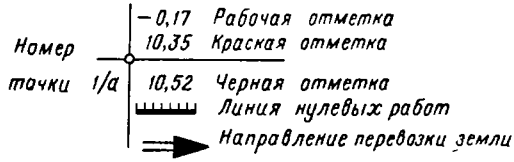


Рис. 109. Метод квадратов

Для окончательной отделки сгущают сеть высотных точек до квадратов 10×10 м. После окончания планировочных работ проводят исполнительное нивелирование летного поля по сетке квадратов 40×40 м и составляют исполнительный чертеж вертикальной планировки.

Исполнительный чертеж составляется в масштабе 1 : 2000 по сетке квадратов 40×40 м, на чертеже показывают проектные красные отметки, фактические красные отметки и отклонения, которые не должны превышать ±4 см.

Поверхность летного поля должна быть ровной, без мелких волн, впадин и бугорков.

Взлетно-посадочные полосы имеют двускатный профиль с поперечным уклоном 0,006—0,008.

По краям полосы располагаются лотки с дождеприемными колодцами для стока воды (рис. 110), места стоянок и рулежные дорожки могут иметь и односкатный уклон.

На полосах и дорожках летного поля устраивают цементно-бетонные покрытия, укладываемые в корыте, на песчаную подушку. Бетон укладывают в виде отдельных плит. Перед бетонированием восстанавливают продольную ось полосы и выполняют контрольное нивелирование.

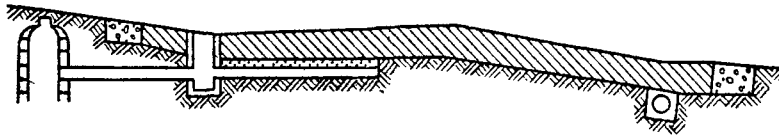


Рис. 110. Разрез взлетно-посадочной полосы

При механизированной укладке бетона устанавливают особой формы рельсы, по которым передвигается бетоноукладочная машина-финишер. Плановая разбивка рядов плит производится от основной или параллельно закрепленной продольной оси.

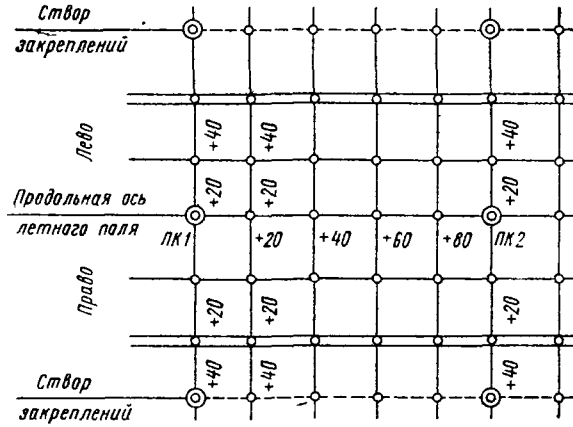


Рис 111. Закрепление рабочих поперечников

Разбивку корыта производят от продольной оси летного поля по поперечникам через 20 м. По продольной оси установленные плюсовые точки через 20 м дополнительно закрепляют за пределами полосы створными плоскостями (рис. 111). Знаки закрепления используют для восстановления продольной оси и разбивки подземных коммуникаций. Часть знаков (через три пикета) устанавливают ниже глубины промерзания и используют в качестве рабочих реперов.

Бетон укладывают в виде отдельных плит. Перед бетонированием восстанавливают продольную ось полосы и выполняют контрольное нивелирование.

По окончании строительства оформляют всю исполнительную документацию по летному полю, подземным коммуникациям, по зданиям и сооружениям, а также уточняют и проверяют все данные на оставшуюся для эксплуатации аэродрома геодезическую основу.

ЧАСТЬ II

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

ГЛАВА X

ВЫЧИСЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАССЫ ТОННЕЛЯ И ДАННЫХ ДЛЯ РАЗБИВКИ ЕЕ В НАТУРЕ

§ 85. Общие сведения о тоннелях

Тоннелем называют горизонтальное или наклонное подземное искусственное сооружение, предназначенное для транспорта, пропуска воды, размещения коммуникаций и других целей, длина которых обычно значительно превышает поперечные размеры.

По назначению тоннели делят на пять основных групп:

1) тоннели на путях сообщения (метрополитены, железнодорожные, автодорожные, судоходные и пешеходные);

2) тоннели гидротехнические (тоннели гидроэлектростанций, водоснабжения и мелиоративные);

3) тоннели коммунальные (подземные водостоки, водопроводные и канализационные, коллекторы и т. п.);

4) тоннели горнопромышленные (обслуживающие предприятия, добывающие полезные ископаемые);

5) специальные тоннели.

Искусственно образованную в земной коре полость, предназначенную для размещения тоннеля или для вспомогательных строительных целей, называют горной выработкой.

По положению в пространстве горные выработки делят на горизонтальные, наклонные и вертикальные.

Горизонтальная или наклонная выработка (рис. 112) делится на две части: верхнюю сводчатую — калотту и нижнюю — штрассу и ограничивается сверху кровлей, снизу — подошвой и с боков стенами. Торец выработки, в которой разрабатывают породу, носит название забоя. Горизонтальную или наклонную выработку, используемую для раскрытия выработки на полное сечение или вспомогательных целей, называют штольней.

Вертикальные выработки, имеющие выход на дневную поверхность и предназначенные для обслуживания подземных работ, а также для целей вентиляции, носят название стволов

(рис. 113). На рис. 113: *2* — верхняя часть ствола, *3* — устье. В нижней части ствола расположена околоствольная выработка *4*, используемая для соединения ствола с подходными штольнями *1* и размещения транспортных и других устройств, а также водосборник (зумпф) *5*.

Конструкция тоннеля, называемая о б д е л к о й, в общем случае состоит из верхнего свода *1*, стен *2* и обратного свода *3* (рис. 114).

В зависимости от степени застройки поверхности, глубины и инженерно-геологических условий заложения тоннелей для его сооружения применяют открытый или закрытый способ работ.

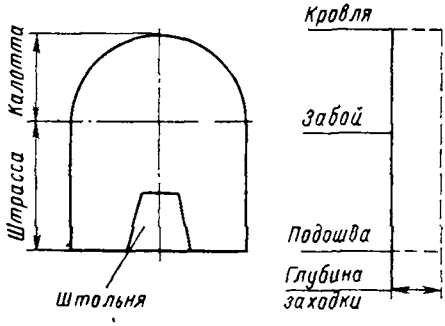


Рис. 112. Горизонтальная выработка

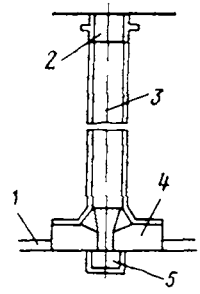


Рис. 113. Вертикальная выработка

П р и о т к р ы т о м с п о с о б е роют котлован глубиной до 15 м с вертикальными стенами, поддерживаемыми временным ограждением, или с откосами, в котором сооружают конструкцию тоннеля с последующей обратной засыпкой и восстановлением поверхности.

Разновидностью открытого способа работ является сооружение подводных тоннелей опусканием в выполненный подводным землечерпанием котлован заранее приготовленных на поверхности секций тоннеля, которые после стыкования засыпают грунтом с планировкой дна водотока (с п о с о б о п у с к н ы х с е к ц и й).

При з а к р ы т о м с п о с о б е разработку породы (проходку) и возведение обделки выполняют без нарушения земной поверхности через стволы шахт или входные участки тоннеля (п о р т а л ы). При этом в зависимости от конкретных условий применяют горный или щитовой способ.

Г о р н ы й с п о с о б заключается в разработке всего сечения выработки за один прием или по частям с заменой при необходимости вынимаемой породы временной крепью. В первом случае обделку обычно возводят из монолитного бетона, укладываемого механизированными способами за инвентарные передвижные опалубки, или монтируют из железобетонных элементов. При разработке сечения по частям (рис. 115) первоначально проходят

небольшую выработку, опережающую штольню или опережающую калотту, из которой в последовательности, показанной цифрами, производят расширение сечения до проектного контура с возведением обделки из монолитного бетона.

При щитовом способе в качестве временной крепи применяют стальной цилиндр — щит, имеющий диаметр, несколько больший, чем тоннельная обделка (рис. 116).

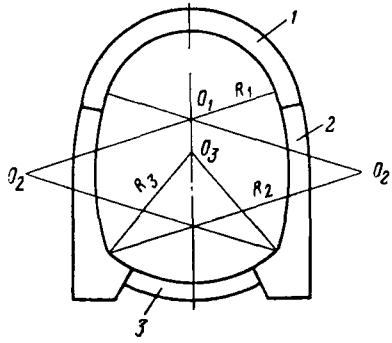


Рис. 114. Тоннельная обделка

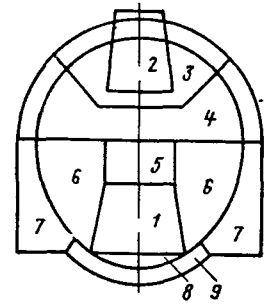


Рис. 115. Горный способ

Тоннельная обделка при щитовом способе работ обычно имеет круговое очертание и состоит из изготовленных в заводских условиях чугунных элементов-тюбингов или железобетонных элементов-блоков. Кольца обделки собирают из этих элементов под защитой задней части щита-оболочки.

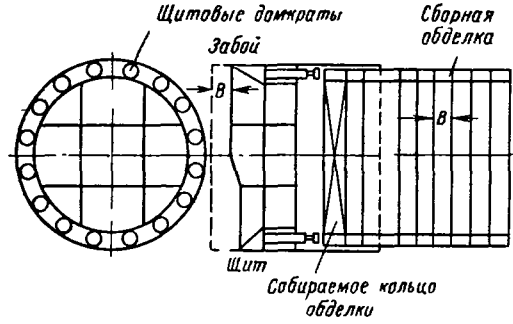


Рис. 116. Щитовой способ работ

Породу перед щитом разрабатывают на ширину кольца обделки, после чего щит передвигают в образовавшееся пространство при помощи расположенных в нем гидравлических домкратов, которые упираются в последнее кольцо обделки.

При щитовом способе работ можно также применять обделку из монолитного бетона, прессуемого щитовыми домкратами при передвижке щита.

В настоящее время широкое распространение получили механизированные щиты, снабженные в передней части рабочим органом, предназначенным для механизированной разработки породы.

Проходку тоннелей в водоносных грунтах и подводных тоннелей выполняют, как правило, щитовым способом. При этом для сжатия подземных вод переднюю часть тоннеля, отделенную перегородкой, заполняют сжатым воздухом, давление которого соответствует давлению воды. Более прогрессивным направлением является применение для проходки подводных тоннелей вышеупомянутого способа опускных секций или герметизированных щитов с использованием для разработки породы гидромеханизации [17].

Метрополитены

Метрополитеном называется городская внеуличная железная дорога, состоящая из блок-участков с автостопами, имеющая собственный габарит и предназначенная обычно для пассажирского движения, а в отдельных случаях — для грузовых перевозок.

Существующие линии метрополитенов подразделяют на наземные, подземные и надземные.

Наземные линии метрополитенов, т. е. расположенные на поверхности земли, существуют во многих городах мира. Как правило, наземные линии располагаются в малозастроенных районах города, на его окраинах.

Наземные линии метрополитенов отличаются от обычных железнодорожных линий пригородного сообщения главным образом способом питания электроэнергией.

Подземные линии являются основным видом линий метрополитенов и имеют преимущественное распространение. В большинстве городов мира сеть метрополитена состоит только из подземных линий.

Подземные линии метрополитенов сооружают от 5 до 50 м от поверхности земли и более.

Надземные линии метрополитенов строят на эстакадах на высоте, определяемой габаритами наземного транспорта, рельефом местности и условиями городской застройки.

Глубокие вводы связывают железнодорожные линии с линиями метрополитенов при помощи объединенных пересадочных станций или пересадочных тоннелей, расположенных между станциями глубоких вводов и метрополитенов. Глубокие вводы создают значительные удобства для пассажиров, улучшают связь с пригородами и разгружают городские вокзалы, а также станции метрополитенов, расположенные у вокзалов.

В некоторых городах линии метрополитена допускают пропуск железнодорожных поездов, например в Лондоне, где для движения железнодорожных поездов используют некоторые участки линий

метрополитенов, а в свою очередь для движения поездов метрополитена используют железнодорожные линии, расположенные в пределах города.

Ширину колеи метрополитенов, как правило, принимают равной нормальной железнодорожной, т. е. 1520 мм в Советском Союзе и 1435 мм в зарубежных странах.

Обоснованием необходимости сооружения метрополитена служит интенсивность пассажиропотоков, увеличивающаяся с развитием города и ростом его населения. Существующий городской транспорт (автобусы, троллейбусы и трамвай) из-за сравнительно небольшой скорости движения и недостаточной провозной способности перестает удовлетворять нужды населения.

Необходимость в постройке линий метрополитенов возникает, когда исчерпывается провозная способность существующего городского транспорта, когда скорость его движения приводит к затрате на передвижение от периферии к центру более 30 мин.

При проектировании линий метрополитенов, особенно в социалистических странах, исходят в первую очередь из необходимости удовлетворить потребность населения в транспортных средствах независимо от того, что линии метрополитенов будут рентабельны только в перспективе.

В Советском Союзе метрополитены эксплуатируются и строятся в семи городах — Москве, Ленинграде, Киеве, Баку, Тбилиси, Харькове и Ташкенте. Проектируют их для Минска, Горького, Куйбышева, Свердловска и Новосибирска.

Особенностью развития городов в социалистических странах является создание жилых массивов на периферии поблизости от парков и лесов.

Жилые массивы связываются транспортом, в том числе метрополитенами, как с центром, так и с пригородами — местами отдыха трудящихся.

Перспективную сеть метрополитена Москвы проектируют из семи диаметров, кольцевой линии и трех так называемых хордовых линий, которые, пересекаясь между собой, образуют большое кольцо. На некоторых диаметрах намечают разветвления.

Хордовые линии будут выходить за пределы города на расстояние до 30 км к крупным населенным пунктам, аэропортам и домам отдыха (рис. 117).

Протяженность линий метрополитена в пределах города составит в перспективе 450 км.

Линии метрополитена, как правило, проектируют подземными мелкого заложения. Глубокие заложения линий применяют при неблагоприятных геологических и гидрогеологических условиях в зоне мелкого заложения, а также в районах города с плотной многоэтажной застройкой.

План линий метрополитенов определяется городской застройкой, от которой зависит и расположение станций, и направление перегонных тоннелей.

При глубоком заложении план линий определяется только расположением станций.

Между станциями тоннели прокладываются по кратчайшему расстоянию, для сопряжения прямых участков трассы вводят кри-

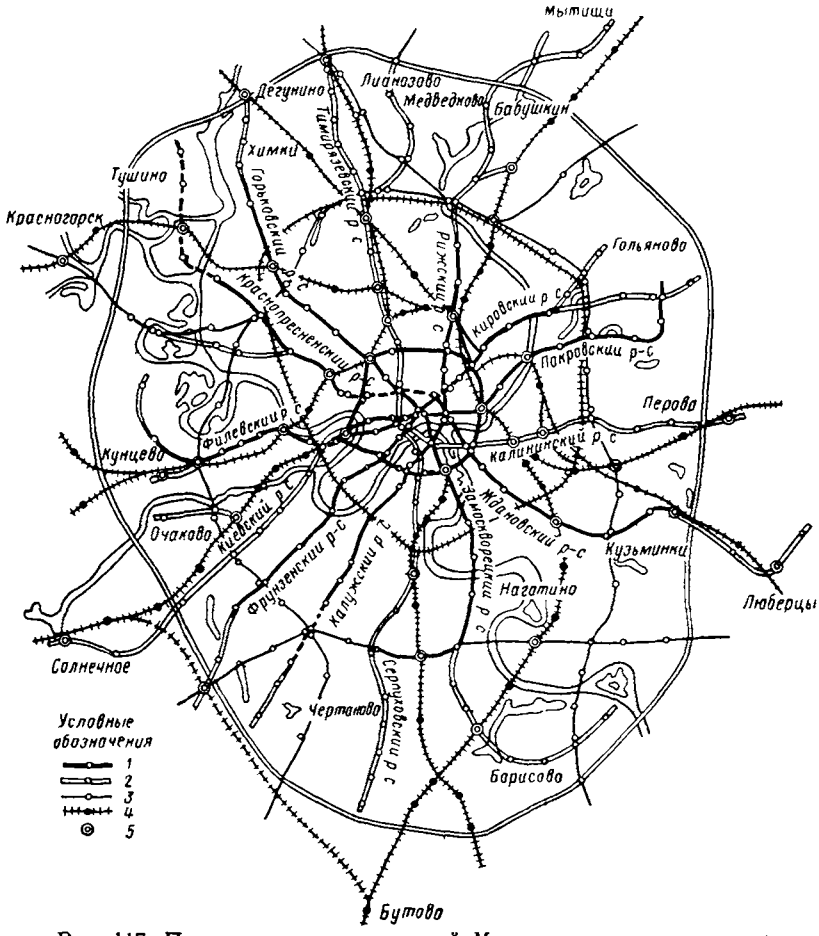


Рис. 117. Перспективная схема линий Московского метрополитена:

1 — существующие линии, *2* — развитие линий до 320 км, *3* — перспективное развитие сети, *4* — железные дороги, *5* — пересадочные станции

вые участки пути (рис. 118). Наименьший радиус кривых участков в Советском Союзе равен 500 м, что обеспечивает плавное движение поездов на закруглениях. (В трудных случаях радиус кривых уменьшают до 300 м). На служебных и парковых путях, по которым перемещаются порожние составы, допускаются значительные уменьшения радиусов кривых. Для плавного перехода от прямых участков пути к кривым устраиваются переходные кривые. Для

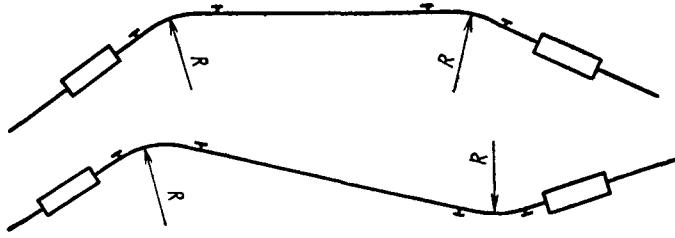


Рис 118 Расположение перегонных тоннелей в плане

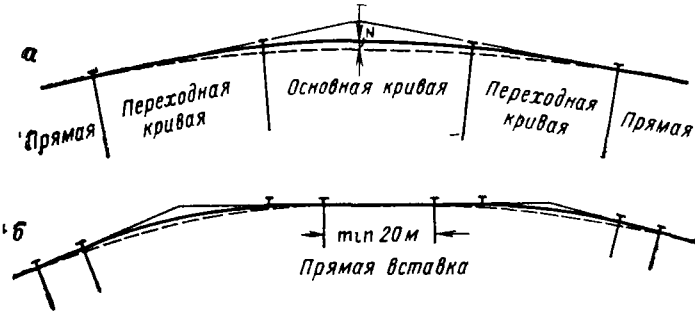


Рис. 119. Сопряжение главных путей в плане:

а — прямых и кривых участков, *б* — двух кривых участков с прямой вставкой

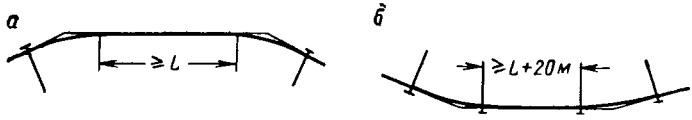


Рис 120. Расположение станций в профиле

радиусов 1400 м и менее введение переходных кривых считается обязательным (рис. 119).

При сопряжении двух кривых на главных путях без переходных кривых длину прямой вставки принимают не менее 20 м.

Профиль линий метрополитенов назначают в зависимости от гидрогеологических и геологических условий трассы. При большой глубине заложения линий метрополитенов располагают, как правило, в коренных водонепроницаемых породах, толщина этих пород в кровле не должна быть меньше 4—6 м.

Эксплуатационные требования к проектированию профиля линии метрополитена заключаются в расположении станции «на горбе» (рис. 120, *а*), это выгодно потому, что при подходе к станции поезду легче уменьшить его скорость, а при уходе со станции можно быстрее ее увеличить.

Уклоны продольного профиля линий метрополитена ограничены конструктивными особенностями подвижного состава и водоотводом.

Наибольший уклон для главных путей метрополитенов Советского Союза 0,040, наименьший 0,003.

Подземные станции располагаются в профиле, как правило, на уклоне 0,003 и, как исключение, на уклоне 0,005 или на горизонтальной площадке.

В пределах станции не допускается сопряжения элементов продольного профиля, поэтому прямые участки профиля принимаются для станций, расположенных на «горбе» не менее длины посадочной платформы L, а для станций расположенных, как исключения, в «яме», — не менее $L + 20$ м (рис. 120, *б*).

Длину элемента продольного профиля на участке линии между станциями принимают не менее расчетной длины поезда. Сопряжение смежных элементов продольного профиля осуществляют при помощи вертикальных кривых.

§ 86. Общие сведения о проектировании и расчетах трассы тоннелей

Трассы тоннелей метрополитенов проектируют на топографических планах. В городах для этой цели используют планшеты внутриквартальных съемок масштаба 1 : 500.

Трасса включает два параллельно идущих пути, которые прокладывают в одном двухпутном или в отдельных однопутных тоннелях. По ходу установленного пикетажа пути (тоннели) называют левым и правым.

Предварительно на общем плане района размещают ось проектируемой трассы и сооружения метрополитена, непосредственно связанные с дневной поверхностью, как, например, порталы тоннелей, вестибюли станций, пешеходные переходы, оси эскалаторных и станционных тоннелей, при этом число станций и вестибю-

лей определяют по данным технико-экономических и гидрогеологических изысканий трассы.

Затем графически по плану определяют координаты углов поворота трассы и по ним вычисляют величины углов поворота с точностью до десятых долей секунд, а расстояния между точками поворотов — с точностью до миллиметров.

Углы поворотов трассы и расстояния между ними вычисляют решением обратных геодезических задач, пользуясь при этом общеизвестными формулами

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha_{1-2} &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \\ S_{1-2} &= \frac{y_2 - y_1}{\sin\alpha_{1-2}} = \frac{x_2 - x_1}{\cos\alpha_{1-2}} \end{aligned}\right\},$$

где y_1, x_1, y_2, x_2 — координаты точек 1 и 2, выбранные с плана графически.

Имея углы поворотов, получаемые из разности дирекционных углов, и задаваясь величиной радиусов круговых кривых, вычисляют длины кривых и линий тангенсов с точностью до миллиметра.

Аналитически вычисленные значения углов поворота, длины линий и круговых кривых принимаются за основу для дальнейшего детального проектирования и перенесения в натуру оси тоннеля под землей в процессе строительства.

При проектировании трассы тоннеля мелкого заложения количество кривых зависит от расположения улиц, под которыми будут сооружаться тоннели.

§ 87. Основные проектные чертежи

Одним из основных проектных документов является генеральный план подземных сооружений, на котором указывают все запроектированные объекты с их наименованиями и основными размерами. Для транспортных тоннелей и метрополитенов план подземных сооружений составляется на топографических планах масштабов 1 : 2000 и 1 : 5000.

Основными документами для вынесения в натуру проектных осей, от которых производятся детальные разбивки сооружения, являются геометрическая схема и профиль трассы.

Геометрическая схема трассы составляется в масштабе 1 : 1000, на ней даются все плановые геодезические данные, необходимые для перенесения проекта в натуру.

Данные, определяющие положение трассы в профиле, указываются на основном проектном чертеже масштаба 1 : 2000, называемом укладочной схемой (рис. 121).

Продольный профиль трассы проектируется на базе общего геологического разреза. На нем показываются все данные, необхо-

димые для перенесения проекта профиля в натуру; все отметки и расстояния даются на нем до миллиметров.

Основные геодезические данные для разбивки околоствольных выработок даются на планах шахтных площадок масштаба 1 : 200.

Для детальной разбивки сооружений при строительстве тоннелей проектирующими организациями выпускается комплект проектных чертежей, содержание которых зависит от назначения проектируемого сооружения. На чертежах, выдаваемых проектными

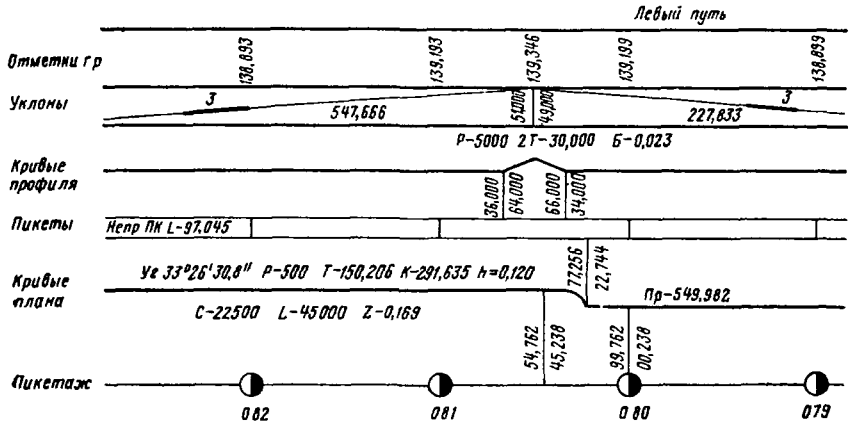


Рис. 121. Укладочная схема

организациями строителям, имеются все необходимые данные, определяющие положение трассы в натуре.

Однако, учитывая особую ответственность разбивочных работ при перенесении трассы тоннеля и проекта сооружения в натуру, геодезистам необходимо выполнить вычисления и проверить соответствие указанных на проектных чертежах основных элементов трассы с вычисленными значениями.

После произведенной проверки координат и высот точек трассы проверяют размеры даваемых во всем комплексе проектных чертежей по данному сооружению. Проектные чертежи можно принять к производству разбивочных работ только тогда, когда будут совершенно очевидны правильность всех размеров и числовых значений, а также наличие согласованности всего комплекса проектных чертежей по данному сооружению.

Для получения данных, отсутствующих на проектных чертежах, но являющихся необходимыми для перенесения проекта трассы в натуру на участках круговых, переходных и вертикальных кривых, выполняют детальные расчеты.

Для удобства выполнения контрольных вычислений на основе проектного чертежа составляют схему (рис. 122, 123) проверяе-

мого участка трассы и выписывают на нее все значения исходных данных, которые необходимы при контрольных вычислениях.

Все данные, записанные на геометрической схеме с правой стороны оси междупутья, относятся к правому пути, а данные, расположенные влево от оси междупутья, — к левому пути.

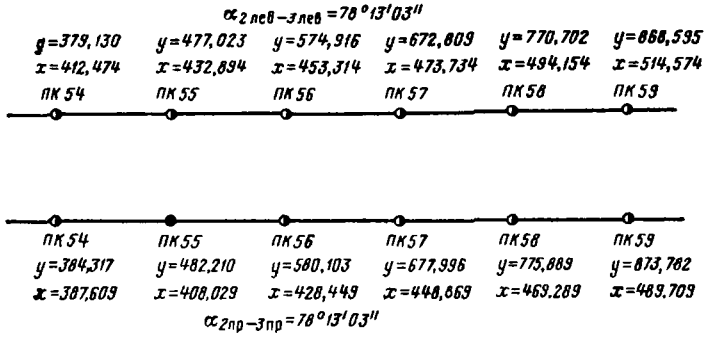


Рис. 122. Геометрическая схема прямолинейного участка трассы

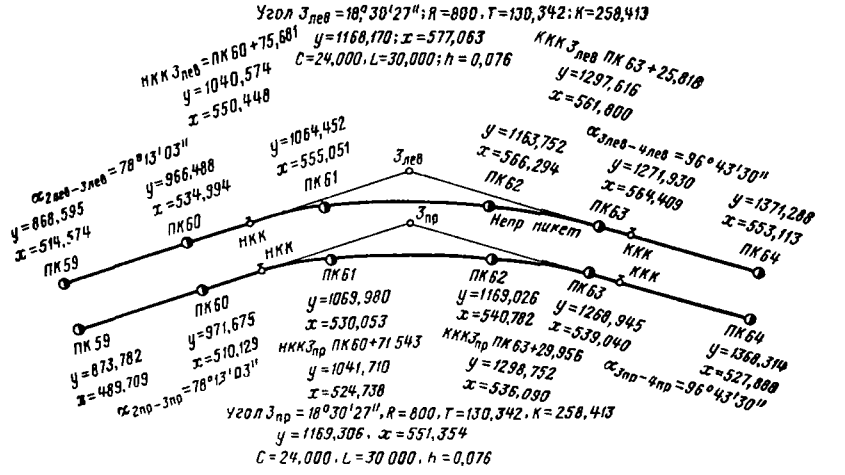


Рис. 123. Геометрическая схема криволинейного участка трассы

§ 88. Геометрическая схема трассы. Контрольные вычисления на прямых, круговых

На геометрической схеме приводятся (см. рис. 122 и рис. 123) следующие данные:

1. Номера пикетов и вершин углов поворота трассы.
2. Координаты пикетов и вершин углов поворота.
3. Дирекционные углы линий между углами поворота.
4. Элементы круговой кривой, вписанной в угол поворота трассы:

а) центральный угол β;

б) радиус кривой R (зависящий от максимальной скорости движения поездов на данном участке);

в) тангенс T и кривая K, определяемые по формулам

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}; \quad K = \frac{\beta''}{\rho''} R,$$

где $\rho'' = 206\,265''$.

Проверка геометрической схемы начинается с повторных вычислений координат пикетов, углов поворота, начал и концов круговых кривых.

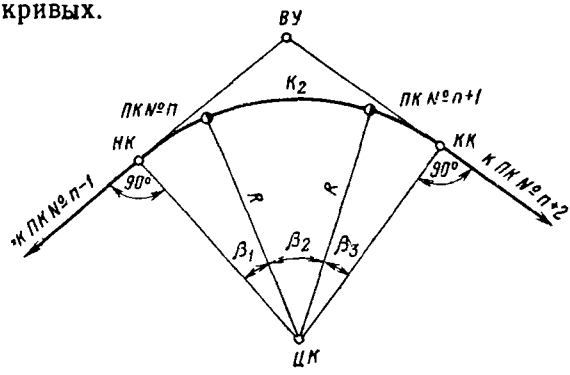


Рис. 124. Вычисление координат пикетов на круговой кривой

На криволинейных участках трассы координаты целых пикетов и вообще любых точек, лежащих на круговой кривой, вычисляются через центр кривой (рис. 124), где центральные углы β_1, β_2, β_3 определяются по формуле

$$\beta'' = \frac{S\rho''}{R},$$

где S — длина дуги, которая получается как разность пикетажа определяемого пикета и начала круговой кривой. В первую очередь необходимо вычислить координаты центра кривой. Координаты центра кривой (*ЦК*) вычисляются от точки *НК* и для контроля — от точки *КК*. При вычислениях величин центральных углов рекомендуется пользоваться стр. 288 семизначных таблиц логарифмов Вега.

Расхождения между вычисленными и проектными значениями координат не должны превышать 2 мм.

§ 89. Ось тоннеля на кривой. Переходные кривые. Неправильные пикеты

Переходные кривые

При строительстве метрополитена и транспортных тоннелей для создания плавного перехода с прямого участка пути на круговую кривую и обратно, так же как и на магистральных железно-

дорожных путях, применяют переходные кривые (см. § 75, глава VIII). (На круговых кривых с радиусом 1500 м и более переходные кривые не применяются.)

Длины переходных кривых L и параметры C даются на проектных чертежах трассы.

Применение переходной кривой требует сдвига оси пути от разбивочной оси к центру кривой (рис. 125). Величина сдвига на круговой кривой Z определяется по формуле

$$Z = \frac{L^3}{24C}.$$

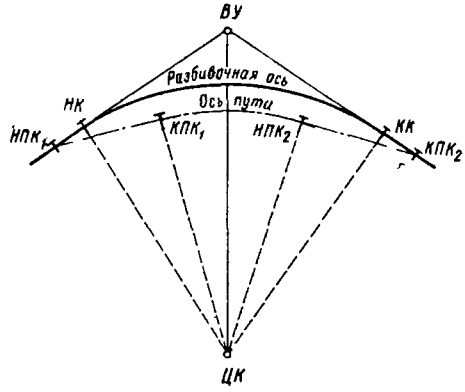


Рис. 125. Схема разбивки оси пути

Вычисление координат начал и концов переходных кривых производят по линии тангенса, принимая последнюю за ось x, а за начало координат — начало переходной кривой. Вычисления ведутся по формулам (рис. 126)

$$x = a + a_1 = L - \frac{L^5}{40C^2}, \qquad y = \frac{L^3}{6C} - \frac{L^7}{336C^3},$$

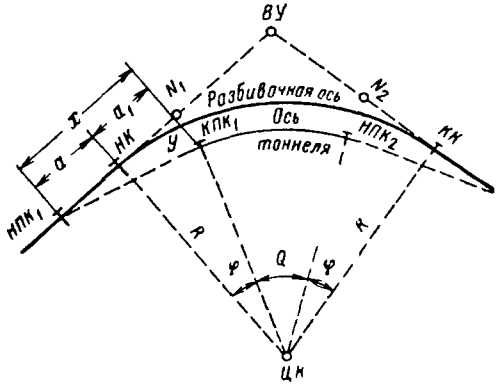


Рис. 126. Вычисление координат основных точек переходной кривой

величины a и a_1 находятся по формулам

$$a = \frac{L}{2} + \frac{L^5}{60C^2};$$

$$a_1 = \frac{L}{2} - \frac{L^5}{24C^2}.$$

Координаты конца переходной кривой ($КПК$) можно вычислить через центр кривой (см. рис. 126).

Величина угла φ определяется по формуле

$$\varphi'' = \frac{L^2}{2C}\rho''.$$

При детальной разбивке переходной кривой пользуются следующими формулами значений координат x и y (удерживая первые члены ряда):

$$\left.\begin{aligned} x_n &= K_n - \frac{K_n^5}{40C^2} \\ y_n &= \frac{K_n^3}{6C} \end{aligned}\right\},$$

где K_n — длина кривой от *НПК* до точки n. При разбивке оси тоннеля величина x_n остается та же, а к величине y прибавляется $q_n - q_l \frac{l_n}{L}$, где q — полное смещение оси тоннеля относительно оси пути.

Чтобы уравнять нагрузку от подвижного состава, движущегося по кривой, наружный рельс ставится выше внутреннего на величину h (рис. 127), которая называется возвышением наружного рельса над внутренним и определяется формулой (см. § 75, глава VIII)

$$h = 12{,}5 \frac{V^2}{R}.$$

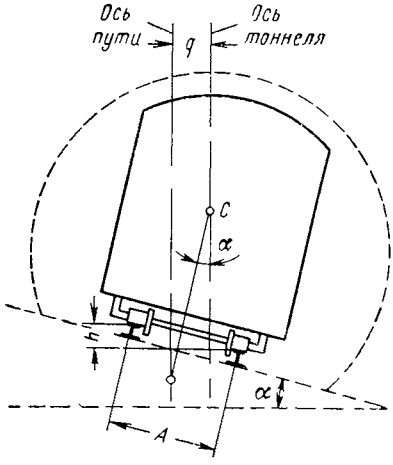


Рис. 127. Смещение оси тоннеля относительно оси пути

Для того чтобы вагон в наклонном положении симметрично расположился в тоннеле, ось последнего на кривых участках смещается с оси пути по направлению к центру кривой на величину q (см. рис. 127), определяемую по формуле

$$q = h \frac{B}{A},$$

где B — расстояние по вертикали между головкой рельсов и горизонтальным диаметром тоннеля; A — расстояние между осями рельсов. (В тоннелях метрополитена B = 1,85 м или 1,70 м, A = 1,60 м.)

Тоннели с прямыми стенками имеют смещение обделки к центру кривой, поэтому ось тоннеля в этом случае на величину q не смещается.

Неправильные пикеты

В тоннелях метрополитена на прямых участках трассы одноименные пикеты располагают так, чтобы линия, их соединяющая, была перпендикулярна к осям тоннелей. На кривых участках длины и радиусы круговых кривых на правом и левом путях проектируются одинаковыми.

При таком положении как показано на рис. 128, на внутреннем (правом) пути между радиусами O_nN и O_nM уложится меньшее число пикетов, вследствие чего на прямом участке, расположенном за кривой, одноименные пикеты правого и левого путей не будут расположены на одном перпендикуляре к оси пути.

Это обстоятельство вызовет большие неудобства при строительстве и эксплуатации. Для устранения этих неудобств прибегают к введению неправильных пикетов, длины которых могут быть больше или меньше 100 м.

Так как длины круговых кривых в левом и правом тоннелях одинаковы, то отклонение длины неправильного пикета от 100 м (на рис. 128) определится величиной $a = a_1 + a_2$, где $a_1 = a_2$.

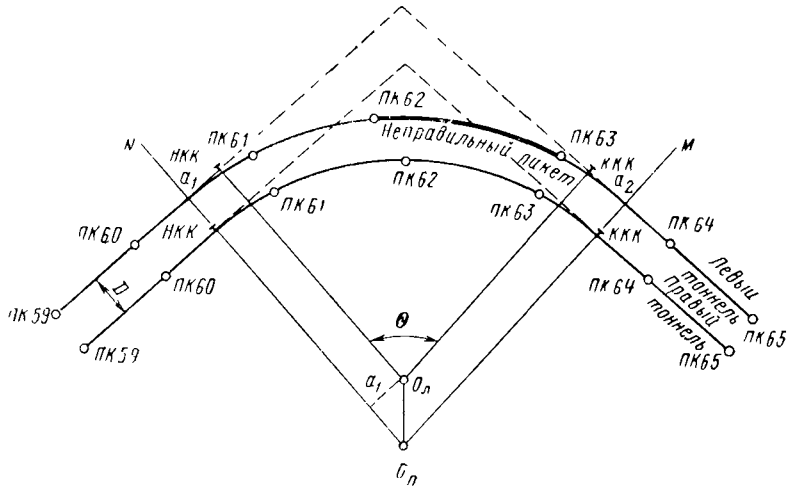


Рис. 128. Схема расчета неправильных пикетов

Если расстояние между осями путей обозначить через D и из точки $O_л$ опустить перпендикуляр на линию $O_пN$, то из рис. 128 следует, что отрезок $O_пA$ будет также равен D, так как радиусы круговых кривых в обоих тоннелях одинаковы.

В треугольнике $AO_пO_л$

$$a_1 = D \operatorname{tg} \frac{\theta}{2},$$

следовательно,

$$a = a_1 + a_2 = 2D \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}.$$

Величину a вводят только в последний пикет левого пути.

Как пример приводится вычисление неправильного пикета (62—63) на криволинейном участке трассы (рис. 129).

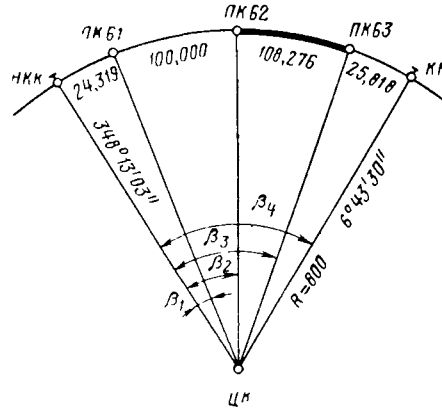


Рис. 129. Вычисление неправильного пикета

$$a = 2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = 2 \times 25{,}40 \times \operatorname{tg} \frac{18^\circ 30' 26{,}8''}{2} =$$

$$= 50{,}80 \times 0{,}162926 = 8.276.$$

Следовательно, пикет 62—63 левого пути будет длиннее нормального на величину 8,276 м.

В данном случае все пикеты, расположенные на правом (внутреннем) пути, оставлены нормальной длины и только один пикет (62—63) на левом пути сделан неправильным.

Иногда величину a делят пополам и вводят с разными знаками как в пикет правого, так и в пикет левого пути или распределяют неравномерно.

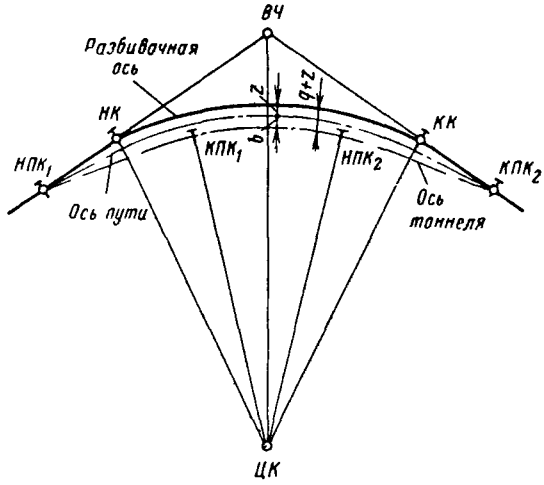


Рис. 130. Схема трех осей при сооружении тоннелей на кривых

Для производства разбивочных и вычислительных работ при сооружении тоннелей на закруглениях принято пользоваться тремя осями трассы (рис. 130):

разбивочная ось с запроектированным радиусом R,

ось пути с радиусом $R—z$,

ось тоннеля с радиусом $R — z—q$.

Ось пути на участке круговой кривой смещена к центру кривой от разбивочной оси на величину z, а ось тоннеля смещена от разбивочной оси в ту же сторону на величину $z + q$.

Как было изложено выше, при определении координат точек, расположенных на оси кривой, вычисления следует производить через координаты центра кривой.

При этом необходимо в первую очередь вычислить величины центральных углов β_1, β_2, β_3, ... и т. д., опирающихся на соответствующие дуги (см. рис. 129).

Порядок действий:

Выписываются длины дуг (см. рис. 129):

длина дуги от *НКК* до *ПК* 61 = 24,319

» » » » » *ПК* 62 = 124,319

» » » » » *ПК* 63 = 232,595 (непр. пикет)

» » » » *ККК* = 258,413.

На стр. 288 таблиц логарифмов Вега центральные углы даны для дуг радиуса 1 м, поэтому полученные длины дуг нужно привести к радиусу 1 м, т. е. в данном случае разделить на 800:

1) $24{,}319 : 800 = 0{,}0303987$;

2) $124{,}319 : 800 = 0{,}1553987$;

3) $232{,}595 : 800 = 0{,}2907437$;

4) $258{,}413 : 800 = 0{,}3230162$.

Определение величин центральных углов производится путем подбора длин дуг, близких к данным, и соответствующих искомым центральным углам в такой последовательности:

1)	0,0303987		
	− 0,0174533	− 1°	
	0,0129454		$\beta_1 = 1^\circ 44' 30''$
	− 0,0127991	− 44′	
	0,0001463		
	− 0,0001454	− 30″	
2)	0,1553987		
	− 0,1396263	− 8°	
	0,0157724		$\beta_2 = 8^\circ 54' 13''$
	− 0,0157080	− 54′	
	0,0000644		
	− 0,0000630	− 13″	
3)	0,2907437		
	− 0,2792527	− 16°	
	0,0114910		$\beta_3 = 16^\circ 39' 30''$
	− 0,0113446	− 39′	
	0,0001464		
	0,0001454	− 30″	
4)	0,3230162		
	− 0,3141593	− 18°	
	0,0088569		$\beta_4 = 18^\circ 30' 27''$
	− 0,0087266	− 30′	
	0,0001303		
	0,0001309	− 27″	

Пользуясь найденными значениями центральных углов β_1, β_2, β_3, β_4, вычисляют дирекционные углы (см. рис. 129): *ЦК—ПК 61*, *ЦК—ПК 62*; *ЦК—ПК 63*; *ЦК—ККК*.

По вычисленным дирекционным углам и проектному радиусу R производится вычисление приращений координат и координат пикетов.

При вычислении координат точек, расположенных на оси пути, радиус кривой принимается равным $R—z$, а для точек на оси тоннеля $R - (z + q)$.

§ 90. Вычисление пикетажа и удалений полигонометрических знаков относительно проектной оси

Для определения положения полигонометрического знака относительно запроектированной оси трассы необходимо вычислить его пикетаж Δ и удаление от проектной оси тоннеля δ.

Вычисление величин δ и Δ на прямых участках трассы производится следующими способами:

а) по формулам аналитической геометрии

$$\left.\begin{aligned}\delta &= (y_{ПЗ} - y_{ПК})\cos\alpha - (x_{ПЗ} - x_{ПК})\sin\alpha \\ \Delta &= (y_{ПЗ} - y_{ПК})\sin\alpha + (x_{ПЗ} - x_{ПК})\cos\alpha\end{aligned}\right\},$$

где α — дирекционный угол трассы;

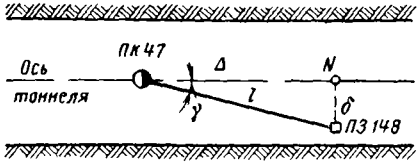


Рис. 131. Схема определения удаления от проектной оси и пикетажа знака на прямом участке трассы

б) решением прямоугольного треугольника (рис. 131) по формулам

$$\delta = l\sin\gamma, \quad \Delta = l\cos\gamma,$$

где l — расстояние между проектной точкой и знаком, получаемое из решения обратной геодезической задачи; γ — угол, полученный как разность дирекционных углов: оси трассы и линии *ПК—ПЗ* (см. рис. 131).

Если полигонометрический знак расположен на участке переходной кривой, то сначала вычисляют его удаление δ' относительно линии тангенса и пикетажное расстояние Δ.

Удаление знака δ относительно оси тоннеля определяется по формуле (рис. 132)

$$\delta = \delta' - y_i - q_i;$$

$$y_i = \frac{l^3}{6C}; \quad q_i = q\frac{l_i}{L},$$

где y_i — ордината переходной кривой на пикете полигонометрического знака; q_i — смещение оси тоннеля от оси пути на том же пикете; l_i — разность пикетажа полигонометрического знака и

начала переходной кривой; C — параметр переходной кривой; L — длина переходной кривой.

Удаление полигонометрического знака от оси тоннеля на участке круговой кривой (рис. 133) определяют по формуле

$$\delta = [R - (z + q)] - E,$$

где E — расстояние от центра кривой до полигонометрического знака, определяемое из решения обратной задачи.

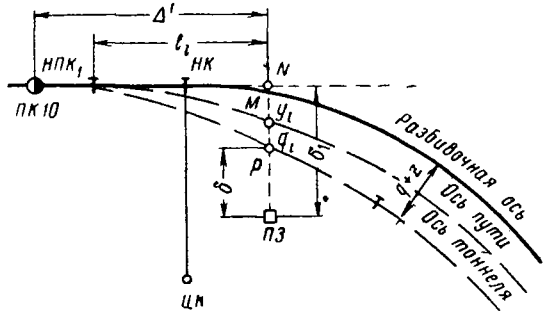


Рис 132. Схема вычисления удаления от проектной оси и пикетажа знака на переходной кривой

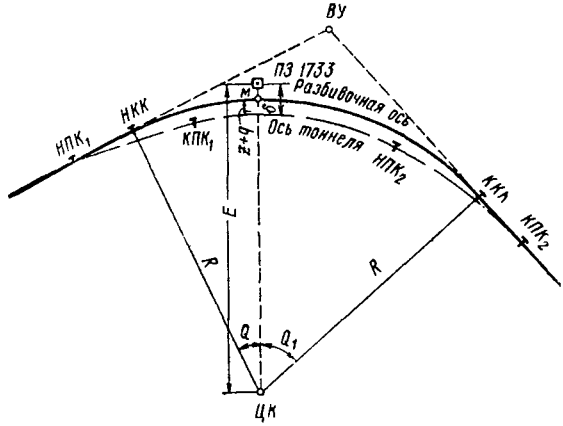


Рис. 133. Схема определения удаления от проектной оси и пикетажа знака на круговой кривой.

Для получения пикетажа знака на участке круговой кривой вычисляют длину дуги S по разбивочной оси от $НКК$ до точки M (см. рис. 133), пользуясь формулой $S = \frac{RQ''}{\rho''}$, где Q — центральный угол, полученный как разность дирекционных углов $ЦК—ПЗ$ и $ЦК—НКК$.

Затем определяют пикетаж знака по формуле

$$ПК_{пз} = ПК_{НКК} + S.$$

Для контроля пикетажное значение знака можно вычислить тем же способом от конца круговой кривой.

§ 91. Способы разбивки проектной оси тоннеля от знаков полигонометрии

Разбивка проектной оси сооружения от полигонометрических знаков на прямых участках трассы выполняется следующими способами:

а) откладыванием удалений δ от полигонометрических знаков до проектной оси;

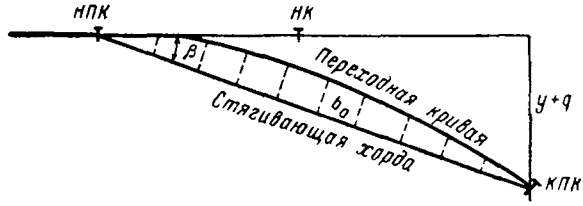


Рис. 134. Схема разбивки переходной кривой от стягивающей хорды

б) выносом от полигонометрических знаков линий, параллельных проектной оси;

в) выносом от полигонометрических знаков осевых отвесов полярным способом.

Детальную разбивку проектной оси в пределах переходной кривой производят либо от линии тангенса, либо от стягивающей эту кривую хорды.

Вынос в натуру от линии тангенса точек на переходной кривой производят откладыванием абсцисс x и ординат y.

При разбивке оси пути пользуются формулами

$$x_i = l_i;\ y_i = \frac{l_i^3}{6C},$$

где l_i — длина кривой от $НПК$ до точки i; C — параметр переходной кривой.

При разбивке оси тоннеля откладывается ордината $y_i = y_i + q_i$; q_i определяется по формуле

$$q_i = q\frac{l_i}{L},$$

где L — длина всей переходной кривой.

Бóльшую точность дает метод разбивки переходной кривой от стягивающей хорды (рис. 134), так как промеры от хорды до переходной кривой значительно короче, чем промеры от тангенса.

Угол β между линией тангенса и стягивающей хордой получают из разности их дирекционных углов или по формуле

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{y+q}{x},$$

где

$$y = \frac{L^3}{6C};\ x = L.$$

Величина стрелы прогиба b_i переходной кривой по оси тоннеля определяется по приближенной формуле

$$b_i = l_i \operatorname{tg}\beta - (y_i + q_i).$$

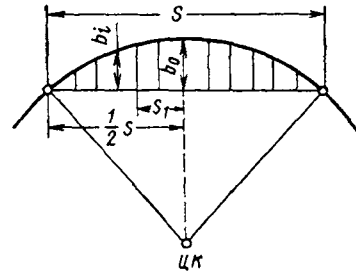


Рис. 135. Схема вычисления стрел прогиба

При разбивках в пределах круговой кривой принято заменять круговую линию ломаной, составленной из хорд или секущих.

Длины хорд или секущих выбираются с таким расчетом, чтобы отклонения этих линий от кривой были минимальными и ими можно было бы пренебречь. В ряде случаев предпочитают пользоваться длинными хордами, чем достигается значительное уменьшение объема разбивочных работ. В этом случае необходимо вводить поправки за уклонения кривой от хорды.

При разбивке круговых кривых короткими хордами задаются допустимой величиной стрелы прогиба b в середине хорды, которой можно пренебречь. Затем определяют приближенную длину хорды S' по формуле

$$S' \approx 2{,}8\sqrt{bR}.$$

Получают величину $n' = \frac{K}{S'}$, где K — полная длина кривой от $КПК_1$ до $НПК_2$. За число хорд n принимают ближайшее большее к величине n' целое число. После этого подсчитывается длина дуги K_S, соответствующая принятой длине хорды, по формуле

$$K_S = \frac{K - \Delta K}{n},$$

где K — длина круговой кривой по разбивочной оси, получаемая из разности пикетажа $НПК_2$—$КПК_1$; ΔK — поправка в длину

круговой кривой за смещение ее с разбивочной оси на ось тоннеля, которая определяется по формуле

$$\Delta K = \frac{z+q}{R} K.$$

Необходимые для вычисления координат концов хорд длины их S вычисляют по формуле

$$S = K_S - \frac{K_S^3}{24R^2}.$$

Центральный угол γ, соответствующий длине хорды, вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{Q}{n},$$

где Q — центральный угол, соответствующий полной длине круговой кривой.

Координаты концов хорд легко вычислить через центр кривой.

При использовании длинных хорд приходится вводить поправки за стрелы прогиба круговой кривой относительно хорды.

Вычисление стрел прогиба производится через 2 м по кривой по приближенной формуле (рис. 135)

$$b_i = b_0 - \frac{S_i}{2R};\ b_0 = \frac{S^2}{8R},$$

где b_0 — стрела прогиба в середине хорды; S — длина всей хорды; S_i — расстояние точки i от середины хорды.

ГЛАВА XI

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ, АВТОМОБИЛЬНЫХ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТОННЕЛЕЙ

§ 92. Геодезические работы при изыскании и проектировании тоннелей

Тоннели закладываются в толще земной коры и их конструкции, методы и средства постройки в большей мере зависят от свойств прорезаемого горного массива.

В связи с этим большое значение для успешного хода строительства имеют инженерно-геологические изыскания.

Геологическая экспертиза, обобщающая результаты этих изысканий, должна дать ответ на все вопросы, интересующие строителей, предусмотреть трудности, которые могут возникнуть в процессе строительства и эксплуатации тоннеля, и рекомендовать наиболее благоприятное в геологическом отношении положение трассы.

В программу инженерно-геологических изысканий входит проведение инженерно-геологической съемки территории строительства тоннеля и назначения вариантов трассы тоннеля.

При трассировании тоннелей большую роль играют государственные топографические карты, однако для детального проектирования производят дополнительные инженерно-топографические съемки и составляют изыскательские крупномасштабные планы; к этим планам предъявляют особые требования, которые учитывают особенности проектирования данного вида сооружения.

Например, при изысканиях гидротехнических тоннелей повышают точность высотного обоснования, для транспортных тоннелей требуется в первую очередь правильное положение тоннеля в плане и уклон местности и т. д.

Проектирование гидротехнических и других тоннелей производится двумя способами: аналитическим и геометрическим.

Геометрический способ заключается в трассировке на дневной поверхности оси тоннеля, намеченной на топографической карте, т. е. в перенесении проекта оси тоннеля на местности. Если невозможно непосредственно точно произвести измерение линий, их получают из вычислений, используя триангуляцию.

Для этого выбирают две осевые точки тоннеля, расположенные у порталов, включают их в триангуляцию и из решения треугольников и обратных геодезических задач находят длину и направление линий между этими двумя точками. Направление оси тоннеля провешивают на местности с точек обоих порталов.

Аналитический способ проектирования является универсальным, широко применяется в настоящее время и дает более точное определение проектных элементов трассы, чем геометрический.

При аналитическом способе проектирования трассы тоннеля главным геодезическим обоснованием служит триангуляция. На основе пунктов триангуляции вдоль трассы прокладывают ходы основной полигонометрии. От точек основной полигонометрии к стволам шахт, наклонным ходам и скважинам прокладывают подходную полигонометрию.

Для обеспечения высотного обоснования при проектировании и строительстве гидротехнических тоннелей прокладывают ходы геометрического нивелирования I, II, III или IV классов. Намечаемая территория для проектирования трассы тоннеля покры-

вается топографической съемкой в масштабе 1 : 10 000 с сечением рельефа 1—2 м. По запроектированной трассе тоннеля производится съемка полосы территории шириной 100—200 м в масштабе 1 : 2000—1 : 1000 с сечением рельефа через 1,0—0,5 м.

§ 93. Размеры и формы поперечных сечений тоннелей

Железнодорожные тоннели отличаются от тоннелей других назначений своей вытянутостью по вертикали.

Размеры и форма постоянной обделки тоннеля зависят от его назначения, а также от геологических и гидрогеологических усло-

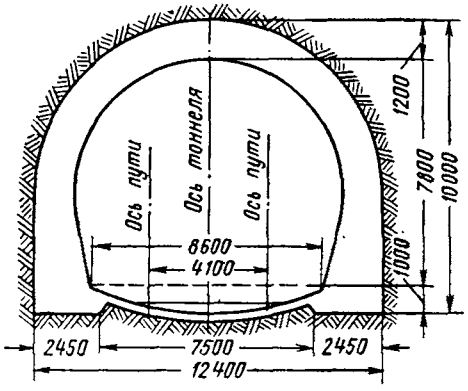
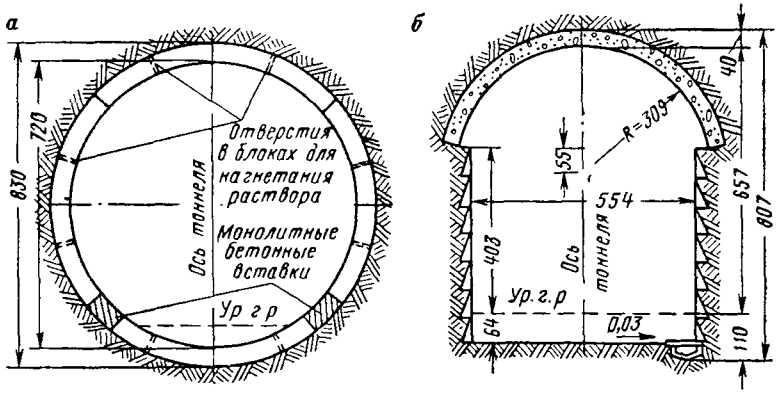


Рис. 136. Поперечное сечение двухпутного железнодорожного тоннеля

Рис. 137. Сборная железобетонная и облегченная обделка железнодорожных тоннелей



вий среды, в которой сооружается тоннель. На рис. 136 приведено сечение двухпутного железнодорожного тоннеля, сооружаемого в условиях значительного вертикального и бокового давления. На рис. 137 показаны сечения и формы обделки тоннелей: сооружен-

ного со сборной железобетонной обделкой горнопроходческим щитом в глинах, создающих большое горное давление (рис. 137, *а*), и сооруженного в очень крепких грунтах, при которых появляется возможность сооружать постоянную обделку тоннеля только в сводовой части (рис. 137, *б*).

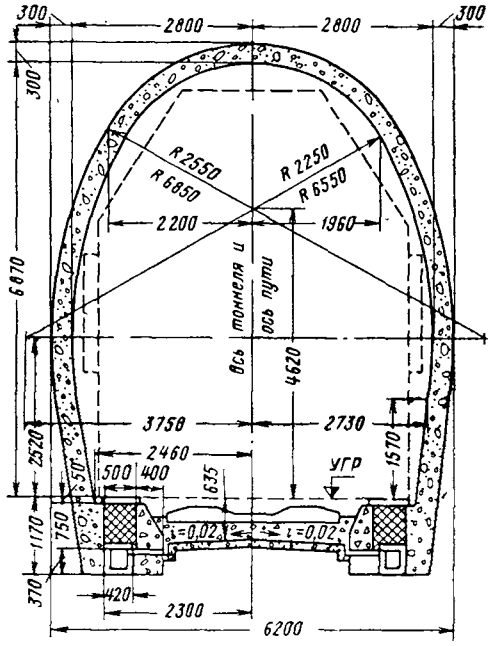


Рис. 138. Обделка однопутного железнодорожного тоннеля с двусторонними утепленными лотками для отвода воды, предназначенная для суровых климатических условий

На рис. 138 показана обделка однопутного железнодорожного тоннеля с двусторонними утепленными лотками для отвода воды, предназначенная для суровых климатических условий.

Автодорожные тоннели проектируют разных размеров в зависимости от намечаемой пропускной способности их.

Для габарита Г-7 запроектированы типовые обделки автодорожных тоннелей типа I (рис. 139, *а*) и II (рис. 139, *б*). Над габаритом предусмотрено пространство для размещения вентиляционного канала площадью около 12 м^2, что достаточно для искусственной вентиляции тоннеля длиной до 1200 м. Внутреннее очертание обделок стандартное. На кривой радиусом 250 м уширение сечения на 600 мм достигается поперечной раздвижкой элементов передвижкой опалубки.

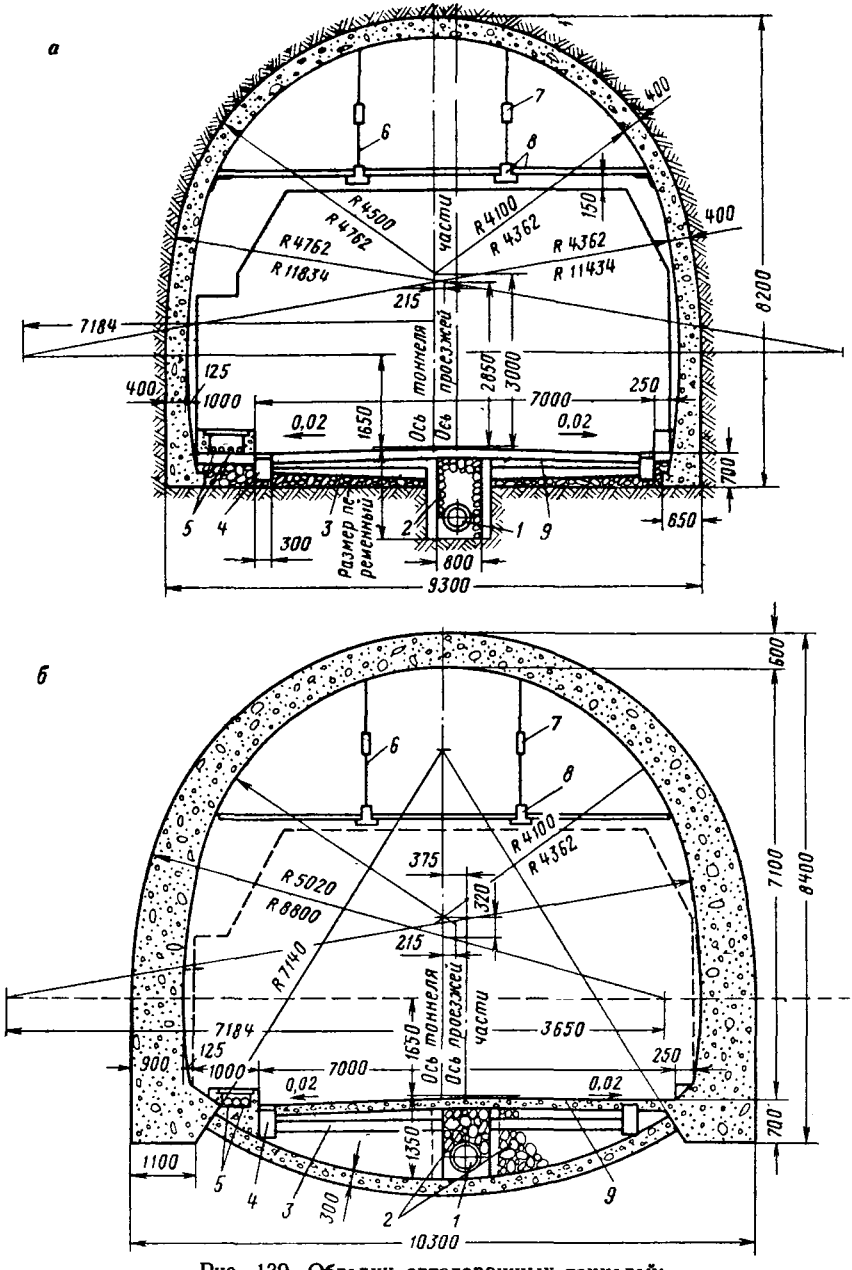


Рис. 139. Обделки автодорожных тоннелей:

1 — керамическая перфорированная труба диаметром 500 мм; *2* — каменная наброска; *3* — чугунная труба диаметром 150 мм; *4* — чугунный трап площадью 300 × 400 мм через 100 м; *5* — коммуникации, проходящие через тоннель; *6* — подвеска диаметром 25 мм; *7* — стяжная муфта; *8* — железобетонное перекрытие вентиляционного канала; *9* — цементобетон слоем 150 мм

§ 94. Геодезические работы, производимые при строительстве гидротехнических тоннелей

Гидротехнические тоннели (отводящие, подводящие и строительные), как правило, не являются самостоятельными, отдельно действующими сооружениями, а входят в общий комплекс узла сооружения.

Гидротехнические тоннели больших и малых сечений сооружаются:

а) через вертикальные шахты и наклонные тоннели:

б) непосредственно через входной и выходной порталы;

в) через подходные выработки.

Количество шахт, наклонных тоннелей и подходных выработок определяется в зависимости от протяженности трасс тоннелей и сроков строительства.

Исходные геодезические данные (координаты и дирекционные углы) для проложения подземной полигонометрии получаются от пунктов подходной полигонометрии, а высотные отметки — от реперов наземного нивелирования. Координаты, дирекционные углы и отметки передаются в тоннели через порталы, штольни и шахты.

Работы по созданию подземного планового и высотного маркшейдерского обоснования при сооружении гидротехнических тоннелей выполняются в соответствии с методикой, изложенной в главах XIII, XIV и др.

До начала работ при устройстве врезок на припортальных площадках (или в непосредственной близости) закладываются знаки полигонометрии и определяются их координаты и высотные отметки. Знаки закладываются в местах, обеспечивающих их сохранность и возможность выполнения с них текущих съемок и разбивок.

Все работы при устройстве портальных врезок выполняются по утвержденному проекту организации буровзрывных работ.

Перенос в натуру проектов подготовительных выработок (штолен, минных камер, шурфов, скважин) и контроль за его выполнением осуществляется маркшейдером.

По мере выполнения горных работ при устройстве врезок ведутся и оформляются маркшейдерские съемки, составляется исполнительная документация в масштабах проектных чертежей (план, продольный разрез, поперечные сечения). По результатам съемок устанавливается соответствие фактической (отработанной) конфигурации проектной и определяются фактические объемы разработок.

При проходке подходных тоннелей производится съемка и составляются поперечные сечения горных выработок через 10 м и в наиболее характерных местах (вывалы, заколы и т. д.).

При установке арочной крепи делается съемка каждой арки. Нивелируются верх (свод) и пяты арок, определяется расстояние

от оси тоннеля до ножек на уровне подошвы подходного тоннеля и в местах перехода вертикальных ножек в радиальные. Результаты съемок заносят в книгу.

Деривационные и строительные тоннели в зависимости от горно-геологических условий сооружаются с бетонной обделкой и без обделок с применением различных видов временной крепи: арочной, анкерной с металлической сеткой, шприцбетонной.

На припортальных площадках закладывается 2—3 знака с обеспечением видимости с них в тоннели и возможности создания и развития подземной полигонометрии в виде замкнутой цепочки треугольников.

Припортальные знаки закладываются на глубину 0,5—0,7 м в скальных породах и бетонируются на отметку припортальной площадки.

На участках отсыпок знаки закладываются на глубину, обеспечивающую неподвижность знака и исключающую просадку. Во всех случаях при закладке знаков необходимо выбирать места, исключающие нахождение и перемещение гусеничного, колейного транспорта и горнопроходческого оборудования.

Наблюдения по передаче координат, дирекционных углов, отметок на припортальные знаки повторяются:

а) для знаков припортальных площадок строительных и деривационных тоннелей после продвижения проходческих забоев до 150—200 м;

б) для знаков припортальных площадок подходных тоннелей перед выходом на трассу основных тоннелей, во время рассечки (устройства крестов).

В целях уменьшения влияний боковой рефракции наблюдения по передаче дирекционных углов в подземные выработки через порталы производится при температуре воздуха на дневной поверхности, близкой к температуре воздуха в тоннелях.

Знаки подземной полигонометрии в гидротехнических тоннелях при длине проходческих плеч до 1 км закладываются по схеме, обеспечивающей создание непрерывной цепочки треугольников со сторонами 50—100 м. В треугольниках измеряются все стороны и углы, делаются линейные и угловые увязки. Схема полигонометрии для тоннеля, сооружаемого через порталы и подходные тоннели, приведена на рис. 140.

При строительстве гидротехнических тоннелей большой протяженности (с длиной проходческих плеч свыше 2 км) прокладываются главные полигонометрические ходы, которые создаются и развиваются с использованием знаков основной полигонометрии (рис. 141). Углы в ходах измеряются повышенным количеством приемов и многократно. Длины сторон, как правило, не измеряются, а определяются путем проектирования измеренных сторон основной полигонометрии.

По знакам подземной полигонометрии прокладываются нивелирные ходы.

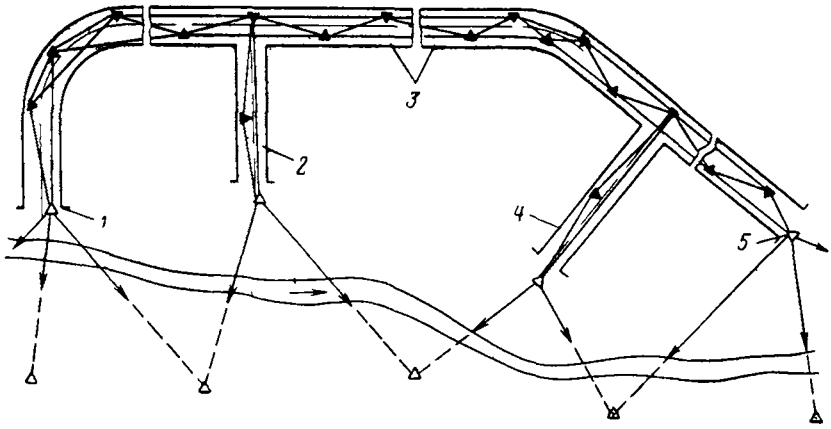


Рис. 140. Схема развития подземной полигонометрии от пунктов тоннельной триангуляции при сооружении гидротехнического тоннеля через порталы и вспомогательные подходные тоннели:

1 — входной портал, *2*, *4* — подходные тоннели; *3* — гидротехнический тоннель, *5* — выходной портал

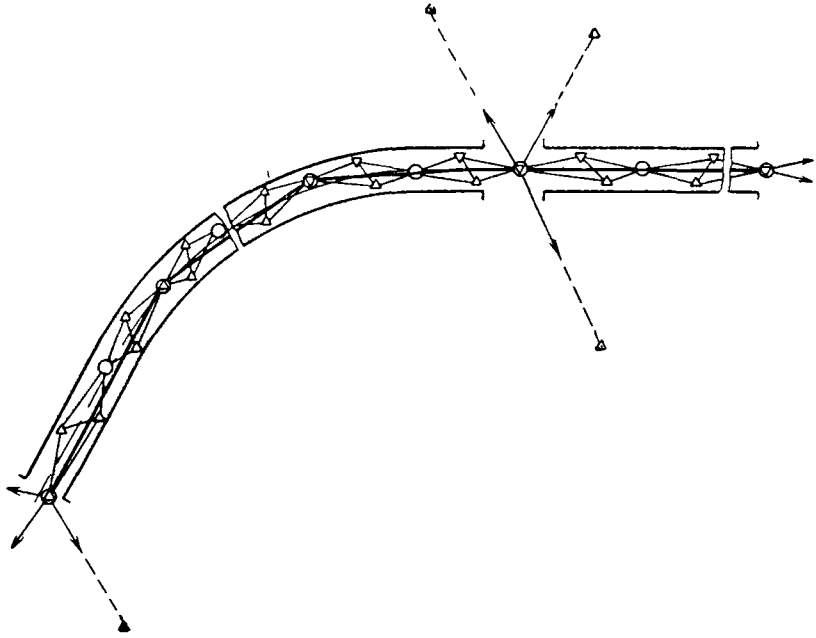


Рис. 141. Схема развития главного полигонометрического хода

треугольники с точками — пункты триангуляции; треугольники без точек — знаки рабочей полигонометрии, кружки — знаки основной полигонометрии, треугольники в кружках — знаки главного полигонометрического хода

Знаки подземной полигонометрии бетонируются на уровне подошвы тоннелей. В тоннелях небольших сечений знаки рабочей полигонометрии могут закладываться в сводовой части.

От полигонометрических знаков задаются нормали к оси тоннеля, выносятся оси тоннелей. Нормали и оси закрепляются в деревянных пробках, забитых в специально пробуренные шпуры. На стенах тоннелей делаются надписи масляной краской: номер знака, пикетаж, смещение от оси, отметка.

Ось тоннеля задается одним из следующих способов:

а) от полигонометрических знаков по нормали откладываются величины удаления знаков от проектной оси (которые получают из вычислений);

б) вычисляют координаты осевых точек на заданных пикетах, решают обратные геодезические задачи между осевыми точками и полигонометрическими знаками, из которых определяются расстояния и дирекционные углы; вынос осевых точек выполняется полярным способом.

Для сооружения тоннелей по высоте нивелиром от знаков подземного обоснования выносятся высотные реперы (высотные костыли) на 1—1,5 м выше проектной отметки лотка (подошвы) тоннеля. При выносе высотных реперов на арки радиального очертания или с наклонными ножками необходимо вводить поправки в наклонные расстояния, откладываемые по рулетке от горизонта инструмента до высотных реперов.

В призабойной зоне и на лоб забоя проектный горизонт выносится сообщающимися сосудами от высотных реперов. Вынесенные точки отмечаются краской.

При сооружении тоннелей на участках круговых кривых продольная ось закрепляется системой хорд. Кривая разбивается на хорды, для концов хорд вычисляются координаты через центр кривой с увязкой на вершину угла поворота. Концы хорд выносятся полярным способом от подземной полигонометрии с точностью 5 мм.

По вынесенным концам хорд производится контроль одним из следующих способов:

а) измеряются углы на концах хорд;

б) от створа начальной точки 1-й хорды и конечной точки 2-й хорды измеряется в натуре расстояние до конечной точки 1-й хорды.

От хорд делается детальная разбивка оси тоннеля.

Арочная крепь устанавливается с проектным шагом по нормалям. Для обеспечения перпендикулярности арок относительно подошвы тоннеля определяется вертикальное опережение по следующей формуле:

$$d = h \cdot i,$$

где d — вертикальное опережение; h — высота арки; i — проектный уклон выработки.

Вертикальное опережение арок при установке определяется по отвесу, опущенному с верха арки, и леске, натянутой по ножкам. Арочная крепь устанавливается в плане и в профиле с точностью 50 мм, а разность пикетажа (перекос) левой и правой сторон (ножек) арки допускается до ±10 см. Арочное крепление

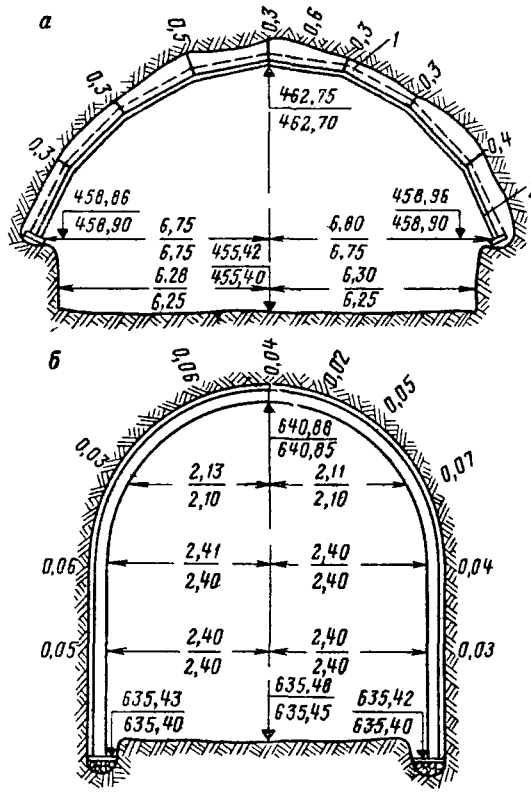


Рис. 142. Схема съемки:

а — арки и поперечного сечения при проходке верхнего уступа тоннеля большего сечения, *б* — арки и поперечного сечения тоннеля в проходке; *1* — затяжка; *2* — полигональная арка, в числителе — фактические данные, в знаменателе — проектные данные

должно быть заснято в плане и профиле и по пикетажу: нивелируется сводовая часть арки по оси тоннеля, пяты (низ ножек) арок; определяется расстояние от оси тоннеля до ножек арок (левой и правой) на уровне подошвы тоннеля и в месте перехода вертикальной части в радиальную (рис. 142). Результаты съемок заносятся в книгу установленной формы.

Съемка сечений в тоннелях, сооружаемых без поставки временной крепи, выполняется методом засечек от высотных реперов

(маркшейдерских гвоздей), вынесенных в деревянные пробки для сооружения тоннелей по высоте (рис. 143).

Съемка выполняется следующим образом: измеряется расстояние от оси тоннеля до маркшейдерских гвоздей, фиксирующих высоту тоннеля (слева и справа); съемка выполняется двумя рулетками, привязанными к шесту; шест примыкается к породе (в местах, перпендикулярных к оси) и по рулеткам производятся отсчеты до левой и правой точек (реперов).

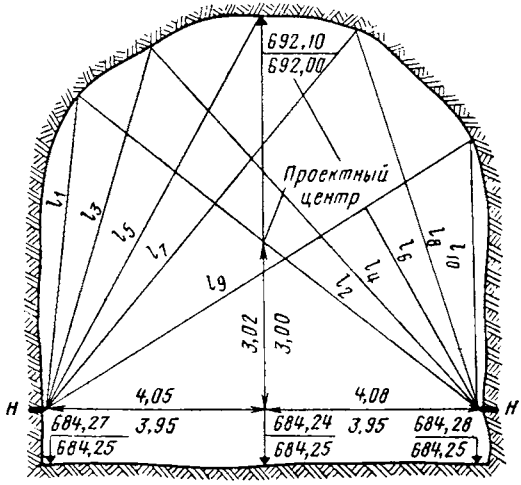


Рис. 143. Схема съемки тоннеля, сооружаемого без временного крепления, от высотных реперов *H*

По сечению набирается достаточное количество точек для детального отображения профиля сечения.

Результаты съемок накладываются на вычерченные проектные сечения в выбранном масштабе.

По фактическим поперечным сечениям тоннелей определяется планиметром их площадь. Площадь проектного сечения определяется расчетным путем из рабочих чертежей.

За последнее время маркшейдеры за рубежом и у нас начали успешно применять фотографию и лазерные приборы для съемки поперечных сечений тоннелей. Разработаны и изготовлены опытные образцы фотоинструментов, позволяющих механизировать эти работы.

§ 95. Наблюдения за деформацией тоннелей

В процессе строительства маркшейдерская служба выполняет работы по наблюдениям за деформацией.

Основным методом наблюдений подземных сооружений является геометрическое нивелирование.

Наблюдения производятся от подземного высотного обоснования, знаки которого заложены в подошве (лотке) подземной выработки вне зоны деформаций.

Знаки подземного высотного геодезического обоснования, заложенные в сводовой части сооружения, включаются в схемы наблюдений.

При проходке подземных сооружений на полное сечение устанавливаются следующие наблюдения:

а) на участках подземных сооружений с временной арочной крепью нивелируются точки, намеченные в сводовой части арок, и измеряются горизонтальные расстояния между пятами арок;

б) на участках с анкерной крепью нивелируются анкеры, ближайшие к оси сооружения;

в) на участках со шприцбетонной крепью закладываются специальные деформационные реперы.

Во всех случаях наблюдениям подлежат точки, расположенные не реже чем через 10 м.

Периодичность повторных наблюдений определяется интенсивностью осадок, но не реже 1 раза в 10 дней.

При сооружении гидротехнических тоннелей большого сечения способом верхнего и нижнего уступов выполняются следующие маркшейдерские работы по наблюдению за деформацией:

а) при сооружении верхнего уступа в соответствии с указаниями выше;

б) при проходке нижних уступов устанавливаются наблюдения за сводовой частью и стенами верхнего уступа.

При сооружении наклонных тоннелей наблюдения могут выполняться с помощью наклонного луча теодолита или лазера, устанавливаемого на маркшейдерском столике.

ГЛАВА XII

РАЗБИВКА НАДШАХТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 96. Составление плана и планировка шахтной площадки

До начала строительных работ по сооружению шахтных стволов оформляют отвод шахтных площадок и выполняют геодезические работы по съемке отведенной площадки, в результате которой получают планы, дающие возможность правильно разместить на них сооружения.

Для перенесения в натуру запроектированных сооружений с достаточной точностью план площадки составляют в масштабе 1 : 500.

Поверхностные сооружения при строительстве метрополитенов и тоннелей разделяют на 3 группы:

А. Основные сооружения, геометрически связанные с проектом трассы (копер, машинное здание, эстакады).

Б. Вспомогательные сооружения, расположенные непосредственно на шахтной площадке (трансформаторные, компрессорные, механические мастерские, душевые комбинаты и др.), а также коммуникации, прокладываемые под землей (канализация, водостоки, воздухопроводы и т. д.). К этой же группе относятся и подъездные пути.

В. Сооружения, расположенные вне шахтных площадок (компрессорные станции, бетонные заводы, ремонтные заводы, жилые городки, а также связанные с ними подземные коммуникации и подъездные пути).

Границы отвода шахтной площадки наносят на план. В натуру эти границы в условиях застроенной территории выносятся от существующих зданий или от других объектов на местности при помощи рулетки, согласно размерам, полученным графически на плане. Если граница отвода площадки привязана к красным линиям, предварительно в натуру выносятся и закрепляются эти линии.

Проект вертикальной планировки площадки начинают выносить на местность с разбивки основных магистральных линий, которыми могут служить оси проездов, водоразделов и водостоков. Точки поворота, в плановом отношении, указанных выше линий в натуре, получают промерами рулеткой от углов зданий и других характерных точек ситуации, пользуясь расстояниями, определяемыми графически на плане. По оси магистральной линии разбивают проектный профиль с закреплением в натуре всех точек его деревянными колышками, с таким расчетом, чтобы верхний срез их был на проектной отметке профиля. При разбивке точек планировки по высоте используют нивелир и рейки.

На незастроенных территориях и площадках перенос вертикальной планировки в натуру осуществляют путем разбивки на местности сетки квадратов со сторонами 10 или 20 м, забивая в каждом из его вершин колья на уровне проектной отметки.

§ 97. Способы разбивки зданий

Поверхностные сооружения на местности разбивают, согласно проекту, преимущественно методами линейных засечек, перпендикуляров и створов, получая необходимые данные с проектного чертежа.

Каждый угол сооружения определяют в натуре тремя промерами рулеткой от углов зданий или от точек существующей ситуации.

Сложные сооружения и связанные геометрически с трассой поверхностные инженерные сооружения разбиваются в натуре от точек геодезической основы инструментально.

Способ угловых засечек применяют там, где невозможно измерить непосредственно полярные расстояния.

После разбивки на местности и закрепления характерных точек сооружений проверяют основные размеры их по фасаду и диагоналям.

При разбивке на местности крупных зданий и их фундаментов, связанных с большим объемом земляных работ, разбивают продольную и поперечную оси, от которых теодолитом и стальной рулеткой определяют по размерам проектного чертежа все характерные точки контура сооружения.

Точки и оси здания закрепляют на деревянном ограждении, называемом о б н о с к о й.

Для разбивки сооружений по высоте выносят линии горизонтов, отметки которых равны целым числам. Эти линии закрепляют на обносках и окрашивают масляной краской.

Погрешности в разбивке контура здания не должны превышать ±3 см, а по высоте ± 1 см.

Перенесение на местность проектов канализации, водостоков, водопровода и др. производится по материалам графических привязок их колодцев. Трубы в колодцах укладывают в профиле при помощи нивелира и реек, пользуясь уклонами и отметками, взятыми из проектных чертежей.

Для составления исполнительных чертежей подземных коммуникаций на шахтной площадке после завершения укладки труб производят съемку их в плане и по высоте.

§ 98. Разбивка на поверхности земли центра ствола

При строительстве метрополитенов стволы шахт располагают, как правило, в стороне от тоннелей на расстоянии 30 м и более.

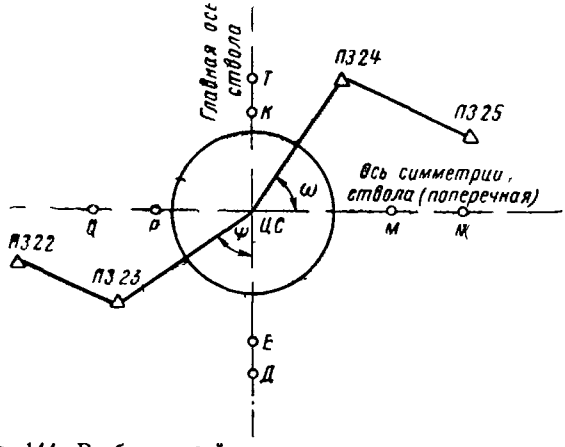


Рис. 144. Разбивка осей ствола от знаков полигонометрии

Разбивку центра ствола производят линейными засечками от углов существующих зданий или от других точек ситуации. Далее полученный центр включают в прокладываемый между пунктами

подходной полигонометрии теодолитный ход и определяют его координаты (рис. 144). При проходке ствола ось его может отклоняться от вертикального положения. Такие отклонения в практике достигают 2—3 дм. Поэтому по окончании проходки производят геодезическую съемку сооруженного ствола и определяют фактическое положение центра, совпадающего с осью вписанного в габарит ствола вертикального цилиндра. Затем по величине смещения фактического центра относительно заданного на плане графически получают приращения координат и вычисляют фактические координаты центра ствола. Эти координаты сообщают проектной организации для аналитической увязки его с запроектированной трассой.

§ 99. Разбивка осей ствола от знаков полигонометрии

При разбивке рассматривают две основные оси ствола (см. рис. 144): главную и поперечную.

Главная ось ствола — это линия, параллельная оси подъема и проходящая через центр ствола.

Поперечная ось ствола — линия, проходящая через центр ствола и перпендикулярная к главной оси ствола.

Из определения главной оси ствола вытекает, что ее дирекционный угол равен дирекционному углу подходной штольни (околоствольного двора), который дается в проектных чертежах. Исходными данными для разбивки главной оси ствола являются дирекционные углы сторон и координаты знаков подходной полигонометрии, координаты центра ствола и дирекционный угол оси подходной штольни.

Точки, определяющие направления осей ствола, разбивают с центра ствола после его разбивки. Для получения координат указанных точек используют координаты центра ствола, дирекционные углы его осей и расстояния от центра до разбиваемых точек E, D, K, T, Q, P, M и N. Эти расстояния предварительно подбирают на плане шахтной площадки с расчетом удобства их закрепления и дальнейшего использования. Произведенную разбивку необходимо проконтролировать.

После закрепления точек осей ствола бетонными тумбами размером $40 \times 40 \times 100$ см производят их привязку линейными промерами к твердым точкам ситуации и повторно определяют координаты осевых точек и дирекционные углы осей ствола. Значение дирекционного угла главной оси ствола вместе с координатами его центра передают в проектную организацию.

§ 100. Разбивка оси подъема и шахтного комплекса

Разбивку и закрепление оси подъема осуществляют по завершении проходки ствола и после определения координат фактического центра ствола. Оси подъема параллельны осям ствола и сме-

щены относительно центра ствола в двух плоскостях (рис. 145), а именно:

а) на величину m от продольной оси ствола,

б) на величину l от поперечной оси ствола.

Эти смещения позволяют разместить в сечении ствола лестничное отделение и лесоспуск. Оси подъема разбивают путем откладывания отрезков, равных m и l, от закрепленных точек

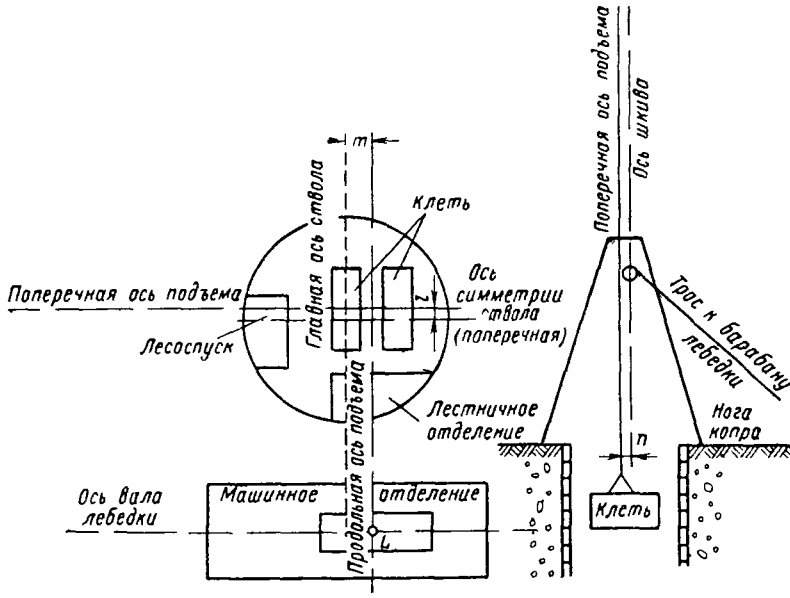


Рис 145 Расположение осей ствола и подъема

осей ствола. Оси подъема закрепляют на нулевом горизонте, а также на уровнях верхней приемной и подшкивной площадок копра.

При проходке ствола опускной крепью могут возникнуть случаи выпуска водонасыщенных песков и глин из-за крепления забоя ствола. Вследствие таких выпусков оседает поверхность, а вместе с нею и бетонные знаки, закрепляющие разбивку осей ствола и подъема. Поэтому необходимо установить систематическое наблюдение за устойчивостью этих знаков. Бетонировать фундаменты копра, подъемной машины и эстакады можно только после окончания проходки ствола опускной крепью.

При сооружении металлического копра разбивки фундаментов и анкерных болтов для его ног производят с погрешностью в пределах ± 2 см. При двухклетьевом подъеме копер монтируют симметрично относительно продольной оси подъема, но со смещением относительно поперечной оси на величину, указываемую в проектных чертежах.

Для разбивки фундаментов подъемной машины и ее анкерных болтов продольную ось подъема выносят в машинное здание и закрепляют на его стенах. Одновременно выносят и закрепляют ось барабана подъемной машины. При монтаже подъемной машины соблюдают следующие допуски: перекос оси барабана в плане не должен превышать ±4 мм, а разность отметок концов его оси ±3 мм.

По окончании монтажа копра выносят с помощью теодолитов при двух кругах продольную и поперечную оси подъемов на подшкивную площадку и закрепляют их насечками на металлических балках. Шкивы монтируют так, чтобы центр подъема каждой клети соответствовал середине подъемного троса, лежащего в желобе шкива. Поэтому на подшкивной площадке разбивают горизонтальную ось шкивов, которую получают от поперечной оси подъема откладыванием размера $n = \frac{D+d}{2}$, где D — диаметр шкива по внутренней грани желоба, а d — толщина троса. В проектных чертежах плоскости шкивов показывают параллельными продольной плоскости подъема. Однако в целях лучшего наматывания троса на барабаны плоскости шкивов монтируют под некоторым углом к продольной оси подъема. Направление и величину угла рассчитывают в зависимости от местных условий.

Разбивку оси бункерной эстакады производят от оси подъема по проектным расстояниям. Разбивку производят с точностью ±3 см.

ГЛАВА XIII

ОРИЕНТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ОСНОВЫ

§ 101. Общие сведения

Ориентироваться * — значит определить свое местоположение в пространстве относительно стран света или по отношению к уже известным ориентирам, предметам. Человеку приходится ориентироваться для своих практических целей на поверхности земли, под землей, на воде и в воздухе.

Одна из древнейших наук — астрономия дала человеку средства для точного ориентирования на земной поверхности, на море и в воздухе.

---

* Слово ориентирование происходит от латинского слова «orientis», означающего «восток».

Маркшейдерская наука дает возможность точно ориентироваться и в подземных условиях, где нет видимости на небесные светила или другие известные ориентиры. В зависимости от характера соединения тоннеля с поверхностью применяются разные способы ориентирования. При наличии выходов на дневную поверхность через порталы, штольни, наклонные ходы передачу направлений в подземные выработки производят при помощи обычных угловых измерений, т. е. методами полигонометрии. Если сооружаемые тоннели соединены с дневной поверхностью только вертикальными стволами, то и ориентирование производят через эти стволы, передавая дирекционный угол и координаты x, y, z с пунктов наземного геодезического обоснования на знаки подземной полигонометрии, закрепленные в горных выработках.

В маркшейдерской литературе известны геометрические и физические способы ориентирования подземной маркшейдерской основы. В первом случае, создавая геометрические фигуры, соединяют наземную геодезическую и подземную маркшейдерскую основы, измеряя элементы фигур (стороны и углы); во втором пользуются некоторыми свойствами физических явлений и применяют физические приборы (гироскопические теодолиты, буссоли, магнитные деклинометры и др.).

§ 102. Проектирование точек. Схемы примыкания

В практике маркшейдерских работ при строительстве тоннелей всех назначений нашел широкое распространение способ проектирования с помощью шахтных отвесов. Проектирование точек нитью отвеса с дневной поверхности в подземные выработки на ориентируемый горизонт осуществляется через стволы шахт, скважины большего диаметра, фурнели и другие вертикальные выработки. Проектирование разделяется на многогрузовое и одногрузовое.

При строительстве тоннелей применяют одногрузовое проектирование, при котором масса груза в процессе всего ориентирования не меняется. Массу груза и диаметры проволоки, применяемой для подвески грузов, устанавливают в зависимости от глубины шахты.

В практике тоннелестроения передача направления от сторон наземной полигонометрии на плоскость двух отвесов (которыми эта плоскость проектируется в подземные выработки, где направление передают на стороны подземной полигонометрии) производится или при помощи створа двух отвесов, или способом соединительных треугольников. При этой передаче добиваются, чтобы расстояние между отвесами, опущенными в ствол, было возможно бо́льшим.

При способе створа двух отвесов (рис. 146) последние выставляют на поверхности теодолитом по заранее заданному направлению с известным дирекционным углом, с погрешностью, не превы-

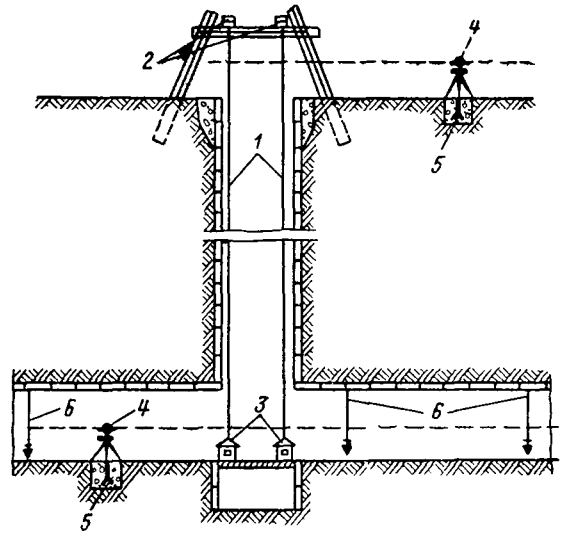


Рис. 146. Ориентирование створом двух отвесов:

1 — отвесы, *2* — лебедки, *3* — баки с маслом, *4* — теодолиты, *5* — полигонометрические знаки, *6* — створные отвесы

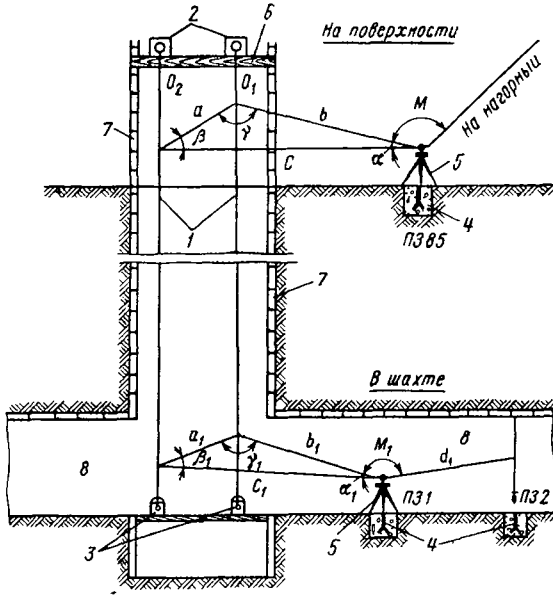


Рис. 147. Ориентирование шахты способом соединительных треугольников:

1 — отвесы с грузом, *2* — лебедки и центровочные пластинки; *3* — баки с маслом, *4* — полигонометрические знаки; *5* — теодолиты, *6* — настил на брусьях для крепления пластинок и лебедок, *7* — ствол шахты и копер из тюбингов, *8* — околоствольный двор

шающей ±30″. Прием и закрепление створа отвесов внизу, на горизонте околоствольного двора, производится с помощью второго теодолита, выставляемого в створе отвесов, путем последовательных приближений.

При способе соединительных треугольников (рис. 147) в ствол шахты также опускают два отвеса, но они вместе с точками приствольной полигонометрии на поверхности и внизу образуют треугольники. Инструмент под землей может быть установлен и по другую сторону отвесов (см. пример вычислений в табл. 24, 25). Отвесы и инструменты располагают таким образом, чтобы форма соединительных треугольников отвечала следующим требованиям:

а) измеряемые углы между отвесами (O_2 и O_1) должны быть минимальными (не более 3°);

б) расстояния от инструмента до ближайшего отвеса (b и b_1) должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы значения отношений $\frac{b}{a}$ и $\frac{b_1}{a_1}$ не превышали 1,5, где a, a_1 — расстояния между отвесами.

При этом способе в натуре измеряют следующие элементы: длины всех сторон соединительных треугольников на поверхности и в шахте (a, b, c и a_1, b_1, c_1) и горизонтальные углы на поверхности (α и M) и в шахте (α_1 и M_1).

§ 103. Оборудование для проектирования отвесов. Подготовка ориентирования

При геометрическом способе ориентирования необходимо иметь следующее оборудование:

а) ручные лебедки для спуска и подъема отвесов;

б) блоки для направления отвесов в шахту;

в) проволоку, тщательно навитую на барабаны ручных лебедок;

г) грузы;

д) сосуды с маслом или водой;

е) металлические пластинки, применяемые для (механического) перемещения отвесов (без снятия грузов).

Ручная лебедка должна иметь два храповика, удерживающих барабан лебедки от вращения и позволяющих закреплять отвес с грузом на любой высоте

Лебедка имеет барабан диаметром 250—320 мм для наматывания проволоки, которая должна выдерживать трех-четырехкратную нагрузку наибольшего груза. Проволока должна быть испытана на прочность при нагрузке, соответствующей двойному грузу отвеса. Направляющие блоки или ролики диаметром 200—250 мм имеют специальные приспособления для крепления или ввинчивания их в деревянное крепление надшахтных сооружений. Груз шахтного отвеса (применяемого при ориентировании) состоит из штанги с основанием, на которое надевают специальные чугунные шайбы массой по 5—10 кг с радиальной прорезью.

Опущенные в шахту отвесы колеблются в результате действия на их проволоку и груз падающих капель воды и потока воздуха. В целях успокоения колебаний отвесов подвешенные к ним грузы опускают в сосуды (баки), наполненные маслом или водой. Баки бывают примерно следующих размеров: высота около 0,8 м, диаметр 0,35 м.

Перед ориентированием предварительно в стволе шахты выбирают места для опускания отвесов, обеспечивающие максимально возможную величину базиса (расстояние между отвесами). Необходимо также выбрать места для закрепления полигонометрических знаков на поверхности и в околоствольных выработках. Места для опускания шахтных отвесов и для закрепления приствольных полигонометрических знаков желательно предусмотреть уже во время проходки ствола, разбивки поверхностных сооружений и размещения оборудования в стволе.

Закладка приствольных знаков полигонометрии на поверхности и в околоствольном дворе производится заблаговременно, до ориентирования. Маркшейдерские знаки подземной полигонометрии, на которые в результате ориентирования будут переданы координаты, дирекционный угол и высотные отметки должны быть основательно и надежно закреплены, так как они являются исходными пунктами для всей маркшейдерской основы, расположенной в подземных выработках, разрабатываемых от данного ствола.

На поверхности и в подземных выработках приствольные знаки закладывают с соблюдением следующих условий:

а) расстояния от приствольных точек до ближайшего отвеса должны быть минимальными;

б) приствольные точки на поверхности должны быть включены в ход подходной полигонометрии;

в) с приствольной точки на поверхности, кроме пунктов подходной полигонометрии, как правило, должен быть виден один из удаленных пунктов триангуляции или основной полигонометрии.

Знаки подземной полигонометрии закрепляют на ребрах жесткости тюбингов тоннельной обделки. Если околоствольные выработки не имеют тоннельных обделок, то знаки закрепляют в грунте подошвы штольни или околоствольного двора (рис. 148). Располагать знаки следует вне оси выработки, чтобы транспортировка грузов по выработкам не препятствовала использованию знака и давала возможность маркшейдеру спокойно работать в любое время смены. При закладке знаков следует также учитывать влияние боковой рефракции, которая искривляет визирный луч, если он проходит слишком близко от стены или потолка сооружения. Знаки подземной полигонометрии, как правило, являются одновременно и реперами подземного нивелирования, поэтому должны быть удобны для установки рейки. Приствольные знаки на дневной поверхности имеют такой же тип, как и знаки подземной полигонометрии, закладываемые в подошве выработки.

Для пропуска отвесов по стволу в полках деревянных настилов выпиливают отверстия диаметром 20—30 см. В мокрых стволах эти отверстия ограждаются глиной или бетоном. Следует иметь в виду, что при выполнении последующих ориентирований необходимо пользоваться для пропуска отвесов теми же отверстиями в настилах, что и при первичном. Поэтому рекомендуется закрыть их постоянными, подогнанными крышками.

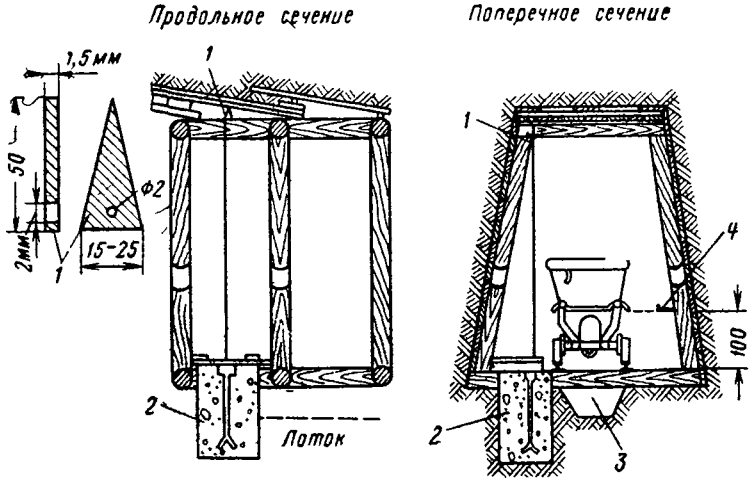


Рис. 148. Закрепление знаков подземной полигонометрии в штольне:

1 — маркшейдерский гвоздь; *2* — бетонный полигонометрический знак; *3* — дренажная канавка (лоток); *4* — высотный костыль

Проволока, намотанная на барабаны лебедок, должна быть проверена перед ориентировкой на отсутствие изгибов или изломов.

Углы и линии подходного к стволу шахты полигона измеряют незадолго до назначенного для ориентирования дня. До ориентирования должны быть проверены все инструменты и оборудование, а также подготовлены необходимый инвентарь и строительные материалы (доски, гвозди, скобы и т. д.).

§ 104. Производство ориентирования. Вычисления, точность ориентирования

Перед началом ориентирования опускают в шахту весь необходимый инвентарь и инструменты (грузы, баки, теодолиты, нивелир и др.).

После установки и закрепления лебедок на подготовленных для них помостах опускают в шахту проволоки отвесов. Проволоку опускают медленно, с небольшим грузом, при этом особое внимание уделяют пропуску отвеса через отверстия в настилах (полках). На каждой полке груз встречает рабочий и осторожно направляет его в отверстие. Нельзя допускать ударов груза и попадания его

на полки, так как это ведет к ослаблению натяжения проволоки и к ее свертыванию в кольца, которые при подвешивании рабочего груза образуют резкие ее перегибы. После пропуска проволок отвесов легкие грузы заменяют рабочими грузами, погружаемыми в баки с жидкостью. Баки изолируют от настила, по которому передвигаются наблюдатели. Кроме того, масло в баках изолируется от капежа конусообразными колпаками с вырезами для пропуска проволок отвесов.

До начала наблюдений необходимо убедиться, что проволоки отвесов на всем своем протяжении не касаются каких-либо предметов. Это достигается путем осмотра их на всем протяжении, а также пропуском «почты», изготовляемой в виде небольших колец из проволоки.

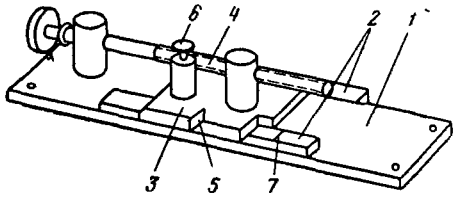


Рис. 149. Пластинка для механического смещения отвесов:

1 — основание; *2* — салазки; *3* — ползунок; *4* — винт; *5* — прорезь; *6* — стопор; *7* — штрих

Угловые и линейные измерения при ориентировании производятся методами и приемами, принятыми для основной наземной и подземной полигонометрии. Расстояния между шахтными отвесами на поверхности и на нижнем горизонте измеряют дважды: до и после угловых измерений. Расхождения между измеренными значениями наверху и внизу не должны превышать ± 2 мм. Соблюдение указанного допуска подтверждает удовлетворительное качество проектирования отвесов.

При коротких сторонах подходной полигонометрии и при непосредственном примыкании к ним рекомендуется обращать особое внимание на точность центрировки инструментов как на поверхности, так и под землей. При центрировании инструмента оптическим отвесом необходимо производить повторную центрировку инструмента после каждого поворота подставки инструмента на 120°. При этом систематическая погрешность в положении оптического центрира исключается, а случайная погрешность центрирования уменьшается.

Число линий подземной полигонометрии, на которые передаются дирекционные углы при ориентировании, должно быть не менее двух. Эти линии должны быть по возможности не короче 40 м.

В целях обеспечения контроля измерений при ориентировании, а также для повышения точности ориентирования при строительстве тоннелей принят метод ориентирования по двум отвесам при трех их положениях. Для установки двух отвесов в три фиксируемых положения применяют две специальные металлические пластинки (рис. 149), работа с которыми производится по следующей программе:

а) устанавливают ползунки обеих пластинок с отвесами, пропущенными через прорези, на среднее положение и при этом положении отвесов измеряют все элементы соединительных треугольников вверху и внизу;

б) ползунки пластинок устанавливают в крайнее правое положение и производят те же измерения вверху и внизу;

в) ползунки пластинок устанавливают в крайнее левое положение и производят в третий раз все измерения вверху и внизу.

Правильность проектирования отвесов контролируют путем сравнения результатов угловых измерений, выполненных при первом и втором, а также при первом и третьем положении отвесов с рассчитанными значениями угла ε.

Угол ε между отвесами вычисляют по формуле

$$\varepsilon = \frac{a}{S}\rho'',$$

где a — смещение отвеса на пластинке; S — расстояние от теодолита до отвеса; $\rho'' = 206\,265''$.

Расхождения между измеренными и вычисленными углами не должны превышать:

а) для наблюдений на поверхности $12''$ при расстояниях до 6 м и $8''$ — при расстояниях S свыше 6 м;

б) для наблюдений в шахте — соответственно $15''$ и $10''$.

В практике измерения углов в треугольниках примыкания к отвесам применяется способ внецентренного измерения углов, при котором теодолит устанавливают в околоствольном дворе не над закрепленным знаком, а в произвольной точке, но с соблюдением следующих условий:

инструмент должен быть установлен примерно в створе шахтных отвесов;

расстояние от инструмента до ближайшего отвеса должно быть возможно меньшим, т. е. таким, как это позволяет оптика трубы инструмента.

При этой схеме ориентирования угловые и линейные измерения выполняют по программе, изложенной выше, но с дополнительными измерениями элементов центрировки.

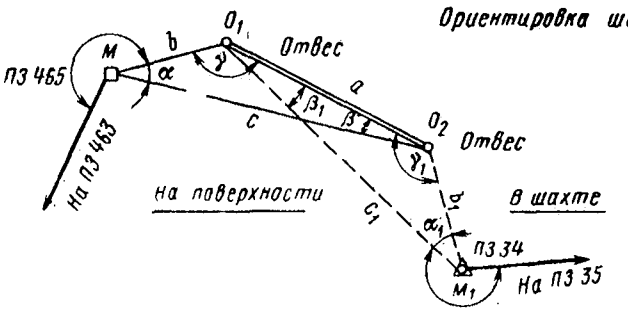
Перед вычислением ориентировки проверяют все полезные журналы, после чего решают соединительные треугольники, вычисляют дирекционные углы и координаты. Вычисления производятся двумя работниками.

Углы в соединительных треугольниках вычисляются по формулам синусов:

$$\sin\beta = \frac{b\sin\alpha}{a}; \qquad \sin\gamma = \frac{c\sin\alpha}{a}.$$

Пример вычисления ориентирования шахты, произведенного способом соединительных треугольников с помощью металлических пластинок (при трех положениях), приведен в табл. 24 и 25.

Таблица 24



$$\sin\beta = \frac{b\sin\alpha}{a}$$

$$\sin\gamma = \frac{c\sin\alpha}{a}$$

Обозначение действий	Поверхность I положение	Поверхность II положение	Поверхность III положение	Обозначение действий	Шахта I положение	Шахта II положение	Шахта III положение
			Измеренные данные				
α	0° 13′ 02″	0° 25′ 25″	0° 00′ 32″	α_1	0° 27′ 21″	0° 39′ 31″	0° 14′ 26″
a	4,701	4,700	4,701	a_1	4,701	4,699	4,700
b	2,658	2,659	2,658	b_1	2,642	2,643	2,642
c	7,359	7,359	7,360	c_1	7,343	7,341	7,344
M	203° 14′ 54″	202° 55′ 44″	203° 34′ 43″	M_2	183° 29′ 02″	183° 37′ 02″	183° 23′ 00″

Решение треугольников

α	0° 13′ 02″	0° 25′ 25″	0° 00′ 32″	α_1	0° 27′ 21″	0° 39′ 31″	0° 14′ 26″
$\sin\alpha$	0,003792	0,007393	0,000155	$\sin\alpha_1$	0,007956	0,011495	0,004198
β	0° 07′ 22″	0° 14′ 23″	0° 00′ 18″	β_1	0° 15′ 22″	0° 22′ 13″	0° 08′ 07″
$\sin\beta$	0,002144	0,004182	0,00088	$\sin\beta_1$	0,004471	0,006465	0,002630
$b : a$	0,565412	0,565745	0,565412	$b_1 : a_1$	0,562008	0,562460	0,562128
b	2,658	2,659	2,658	b_1	2,642	2,643	2,642
a	4,701	4,700	4,701	a_1	4,701	4,699	4,700
c	7,359	7,359	7,360	c_1	7,343	7,341	7,344
$c : a$	1,565412	1,565745	1,565624	$c_1 : c_1$	1,562008	1,562247	1,562553
$\sin\gamma$	0,005936	0,011576	0,000243	$\sin\gamma_1$	0,012427	0,017958	0,006560
γ	179° 39° 36″	179° 20′ 12″	179° 59′ 10″	γ_1	179° 17′ 17″	178° 58′ 16″	179° 37′ 27″
$\alpha+\beta+\gamma$	180° 00′ 00″	180° 00′ 00″	180° 00′ 00″	$\alpha+\beta_1\gamma_1$	180° 00′ 00″	180° 00′ 00″	180° 00′ 00″

Вычисление дирекционных углов

Аз.(463—465)	350° 53′ 49″	350° 53′ 49″	350° 53′ 49″	Аз. (O_2—O_1)	194° 29′ 07″	194° 29′ 21″	194° 29′ 22″
M—180°	23° 14′ 54″	22° 55′ 44″	23° 34′ 43″	β_1—180°	—197° 44′ 38″	—179° 37′ 47″	—179° 51′ 53″
Аз. (465—O_1)	14° 08′ 43″	13° 49′ 33″	14° 28′ 32″	Аз. (O_1—34)	14° 44′ 29″	14° 51′ 34″	14° 37′ 29″
180°—γ	0° 20′ 24″	0° 39′ 48″	0° 00′ 50″	180°—M_1	356° 30′ 02″	356° 22′ 58″	356° 37′ 00″
Аз. (O_1—O_2)	14° 29′ 07″	14° 29′ 21″	14° 29′ 22″	Аз.—(34—35)	11° 14′ 31″	11° 14′ 32″	11° 14′ 29″

Средн. Аз. (34—35) = 11° 14′ 31″

Таблица 25

Передача координат с поверхности в шахту

№ точек	Дирекционные углы	sin α / cos α	Длина линий	Приращения координат Δy	Приращения координат Δx	Координаты y	Координаты x
				I положение			
465						3596,384	8167,291
O_1	14° 08′ 43″	0,244381 / 0,969679	2,658	+0,650	+2,577		
O_2	14° 29′ 07″	0,250131 / 0,968211	4,701	+1,176	+4,552		
34	15° 11′ 50″	0,262142 / 0,965029	2,642	+0,692 / +2,518	+2,550 / +9,679	3598,902	8176,970
				II положение			
465						3596,384	8167,291
O_1	13° 49′ 33″	0,238971 / 0,971026	2,659	+0,635	+2,582		
O_2	14° 29′ 21″	0,250197 / 0,968197	4,700	+1,176	+4,550		
34	15° 31′ 05″	0,267543 / 0,963547	2,643	+0,707 / +2,518	+2,547 / +9,679	3598,902	8176,970
				III положение			
465						3596,384	8167,291
O_1	14° 28′ 32″	0,249967 / 0,968255	2,658	+0,664	+2,574		
O_2	14° 29′ 22″	0,250201 / 0,968194	4,701	+1,176	+4,551		
34	14° 51′ 55″	0,256548 / 0,966532	2,642	+0,678 / +2,518	+2,554 / +9,679	3598,902	8176,970

Средние координаты точки № 34: $y = 3598{,}902$
$x = 8176{,}970$

Примечание. В практике маркшейдерских работ в тоннелестроении принято расположение координат y, x, обратное тому, которое установлено в геодезии, т. е. сначала даются Δy и y, а затем Δx и x.

Точность ориентирования подземного стана полигонометрии по способу соединительных треугольников определяется его средней квадратической погрешностью, вычисляемой по формуле

$$m_0^2 = m_\alpha^2 + m_{0\beta}^2 + m_{0S}^2 + m_{0\text{п}}^2,$$

где m_α — погрешность дирекционного угла исходной стороны; $m_{0\beta}$ — погрешность, обусловленная погрешностями измеренных направлений в фигурах примыкания к отвесам и исходным сторонам; m_{0S} — погрешность, обусловленная погрешностями линейных измерений в фигурах примыкания; $m_{0\text{п}}$ — погрешность проек-

тирования направления двумя отвесами. Для ориентирования шахт при строительстве метрополитенов можно принять (на основании опыта) $m_\alpha = \pm 5''$; $m_{0\beta} = \pm 16''$; $m_{0\text{п}} = \pm 8''$.

В соединительных треугольниках, у которых α и α_1 не превышают 3°, при $a = 4{,}5$ м, $\frac{b}{a} = 1{,}5$ м и $m_b = m_a = m_c = \pm 0{,}8$ мм будем иметь $m_{0S} = \pm 5''$.

Следовательно, средняя квадратическая погрешность m_0 определения дирекционного угла подземного стана из ориентирования при одном положении отвесов равна

$$m_0^2 = 5^{2''} + 16^{2''} + 5^{2''} + 8^{2''},$$

или

$$m_0 = \pm 19''.$$

Если произвести наблюдение одной пары отвесов при трех различных положениях их, применяя пластинки для ориентирования, то влияние каждого источника погрешностей, за исключением погрешности исходного дирекционного угла m_α и систематической части погрешности проектирования $m_{0\text{п}}$, уменьшится в $\sqrt{3}$ раза. Влияние m_α и $m_{0\text{п}}$ на точность передачи дирекционного угла остается постоянным для всех трех положений. Для погрешности проектирования случайная часть может быть принята равной $\pm 5''$, а систематическая $\pm 6''$.

Следовательно, формула общей погрешности ориентирования из трех положений пар отвесов примет вид

$$M_0 = \sqrt{m_{\alpha_{\text{исх}}}^2 + \frac{m_{0\beta}^2 + m_{0S}^2 + m_{0\text{п}_{\text{сл}}}^2}{3} + m_{0\text{п}_{\text{сист}}}^2}.$$

Подставляя в эту формулу цифровые значения, получим

$$M_0 = \sqrt{(5)^2 + \frac{(16'')^2 + (5'')^2 + (5'')^2}{3} + (6'')^2} = 13''.$$

Обычно при сооружении железнодорожных тоннелей и тоннелей метрополитенов, согласно технической инструкции, выполняют три ориентировки, поэтому погрешность среднего значения ориентирования начального стана подземной полигонометрии можно считать равной

$$\pm \frac{13''}{\sqrt{3}} = \pm 7''.$$

В зависимости от протяженности проходки и требований к точности сбоек определяется периодичность ориентирований и их количество. Как правило, в тоннельном строительстве первоначальное направление в подземных выработках задают с помощью отвесов, опущенных с осевых скоб (пластин), расположенных на нижнем горизонте ствола. В дальнейшем, по мере удаления забоя

выработки, когда появляется возможность установки теодолита и закрепления маркшейдерских знаков под землей, производят ориентирование по способу створа двух отвесов. При дальнейшем удалении забоев производят первое ориентирование способом соединительных треугольников.

Последующие ориентирования выполняют по мере сооружения тоннелей по трассе (или проходки передовых штолен). Количество их, как сказано выше, определяется длиной односторонней проходки.

§ 105. Физические способы ориентирования

При физических способах ориентирования подземной маркшейдерской основы применяют магнитные, гироскопические и другие приборы.

Магнитное ориентирование основывается на законе, по которому магнитное поле Земли, действуя на магнитную стрелку, поворачивает в каждой точке земной поверхности один ее конец на север, а другой — на юг. Установлено, что магнитное поле Земли так же действует на магнитную стрелку и в подземных горных выработках. Это явление используется при производстве магнитного ориентирования. Однако, поскольку на магнитную стрелку действует и имеющийся в тоннеле металл, в тоннелестроении магнитные приборы для ориентирования не применяют.

А. Гироскопический способ ориентирования

Определение истинного меридиана точки стояния прибора с помощью гиротеодолита основано на свойстве маятникового гироскопа с горизонтальной главной осью совершать под влиянием суточного вращения Земли гармонические колебания, положение динамического равновесия которых совпадает с плоскостью истинного меридиана.

С помощью гиротеодолитов определяются астрономические азимуты ориентирных направлений, или сторон полигонометрии, которые затем перевычисляются в дирекционные углы.

Во всех случаях при гироскопическом ориентировании должен выполняться контроль, который осуществляется путем:

— определения гироскопического азимута по прямому и обратному направлениям ориентируемой стороны;

— угловой связи азимутов, измеренных различными одиночными гиротеодолитами;

— ориентирования в начале и конце работ направления, азимут которого был получен астрономо-геодезическим способом или измерен другим гиротеодолитом.

Гиротеодолиты Ги-Б1, Ги-Б2 и Ги-С2 и др. составляют группу приборов, различных по точности и устройству, с большим количеством унифицированных деталей и узлов.

Для гиротеодолитов, имеющих торсионный подвес чувствительного элемента и ручную систему слежения, характерна конструкция гиротеодолита Ги-Б1.

Рассмотрим его устройство.

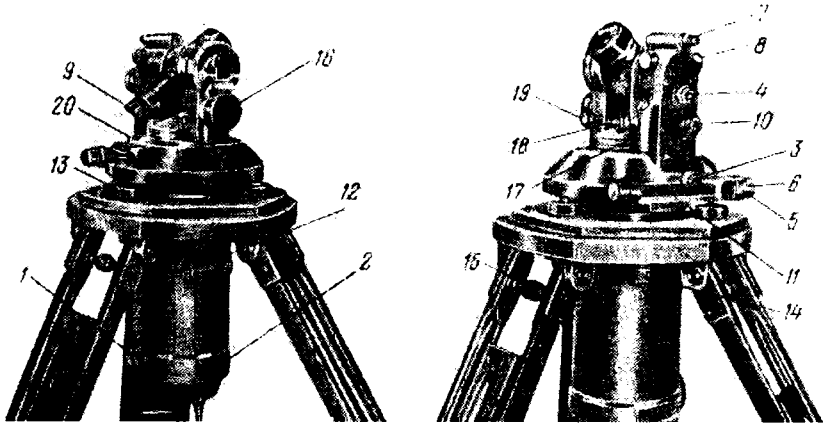


Рис. 150. Общий вид гиротеодолита Ги-Б1:

1 — маховичок основного арретира; *2* — маховичок дополнительного арретира; *3* — винт выключения привода; *4* — окуляр автоколлимационной системы; *5* — маховичок редуктора червячной передачи для грубой наводки; *6* — маховичок редуктора червячной передачи для точной наводки; *7* — окуляр дополнительного отсчетного микроскопа; *8* — маховичок оптического микрометра; *9* — окуляр основного отсчетного микроскопа; *10* — маховичок переключения отсчетных систем; *11* — винт установки нульпункта; *12* — маховичок червячной передачи установки начальной амплитуды; *13* — подъемный винт; *14* — винт крепления трегера к штативу; *15* — разжимной винт ножек штатива; *16* — осветительная коробка отсчетной системы; *17* — осветительная коробка автоколлимационной системы; *18* — зажимной и микрометренный винты зрительной трубы; *19* — микрометренный винт уровня при алидаде вертикального круга; *20* — исправительный уровень

Комплект гиротеодолита Ги-Б1 включает гиротеодолит, блок питания, штатив, соединительные кабели и аккумуляторную батарею.

Масса гиротеодолита 21 кг, масса блокпитания — 11 кг.

Гиротеодолит (рис. 150) конструктивно объединяет два основных узла — угломерную часть и гироблок.

Угломерная часть — несъемная выполнена на основе серийного теодолита Те-В1 и предназначена для геодезической привязки направлений на местные предметы к направлению истинного меридиана, но отличается от него наличием встроенной автоколлимационной системы и дополнительного отсчетного окуляра *7* оптического микрометра, с помощью его наблюдатель берет отсчеты (n_i) по неподвижному горизонтальному кругу, по этим отсчетам точек реверсии находят отсчеты (N_0) положения динамического равновесия прецессионных колебаний чувствительного элемента.

Вертикальная осевая система алидадной части выполнена с широко разнесенной опорой. Вращение алидадной части осуществляется вручную непосредственно или посредством червячного привода с двухступенчатым шариковым редуктором. Горизонтальный круг скрепляется с основанием гиротеодолита, чем достигается возможность алидадного слежения за движением чувствительного элемента. Подъемные винты расположены на трегере, скрепленном с головкой штатива. Положение угломерной части и всего гиротеодолита относительно закрепленной на местности точки однозначно определяется посадкой на три точки сферы подъемных винтов.

Гироблок представляет собой цилиндрический корпус, в котором расположены чувствительный элемент с системами токопровода и подвеса, механизмы арретирования, установки нульпункта и установки начальной амплитуды колебаний чувствительного элемента, разъемы подключения электроэнергии и экран магнитной защиты. Гироблок состоит из датчика направления истинного меридиана и устройства, обеспечивающего его действие, крепится к угломерной части с помощью винтов и является взаимозаменяемым с запасным гироблоком.

Кинетическая схема гироблока и гиротеодолита Ги-Б1 в целом представлена на рис. 151.

Чувствительный элемент объединяет гирокамеру, полую штангу *19*, блок токоподвода *4* и зеркало *25*. Внутри герметичной камеры укреплен гиромотор *17*. Чувствительный элемент подвешен на металлической ленте-торсионе *8*, верхний конец которого закреплен в зажиме, скрепленном с подъемной платой *24*, а нижний — в зажиме, скрепленном с гирокамерой и являющийся точкой подвеса чувствительного элемента. Чувствительный элемент от влияния внешних магнитных полей защищен многослойным пермаллоевым экраном *11*. Колебание чувствительного элемента относительно оси прецессии с наименьшим трением обеспечивает система подвеса.

Подъемная плата с помощью трех опор *21* однозначно центрируется тремя призматическими пазами подпятников опорного поворотного кольца *20*. Между подъемной платой и опорным кольцом установлены три пружины *5*. При арретировании чувствительного элемента подъемная плата отжимается вверх пружинами, натягивая торсионную ленту, что предохраняет ее от деформации во время транспортировки прибора и способствует сохранению стабильности его нулевого положения (нульпункт).

Опорное кольцо имеет упор с микрометренным винтом *7* для исправления нульпункта.

Комплект арретира предназначен для закрепления чувствительного элемента в нерабочем состоянии, при разгоне и торможении, а также при перевозке. Он содержит узлы основного и дополнительного арретирных механизмов с подъемным штоком.

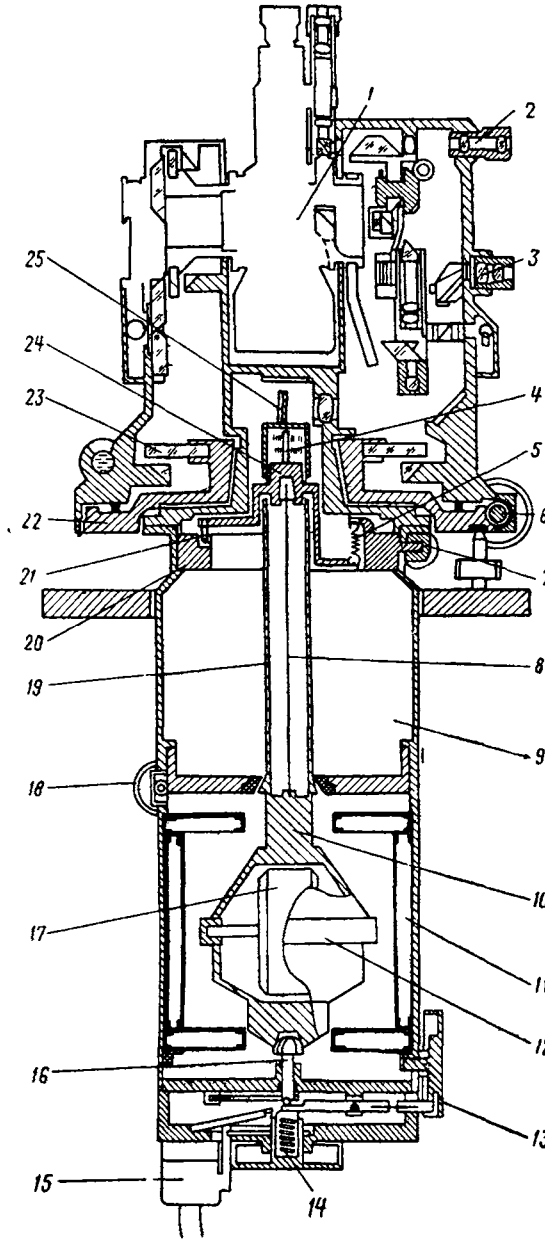


Рис 151. Схема устройства гиротеодолита Ги-Б1:

1 — угломерная часть (труба), *2* — дополнительный окуляр, *3* — автоколлиматор, *4* — блок токоподвода; *5* — пружины подъемной платы; *6* — редуктор, *7* — микрометренный винт для исправления нульпункта, *8* — торсион; *9* — гироблок, *10* — чувствительный элемент, *11* — пермаллоевый экран, *12* — гирокамера, *13* — основной арретир, *14* — дополнительный арретир, *15* — штепсельный разъем, *16* — шток; *17* — гиромотор, *18* — механизм разворота, *19* — штанга; *20* — поворотное кольцо; *21* — опоры подъемной платы; *22* — основание гиротеодолита, *23* — стеклянный горизонтальный круг, *24* — подъемная плата, *25* — зеркало

Дополнительный и основной арретирные механизмы действуют независимо, но разарретирование чувствительного элемента производится только обоими механизмами.

Торможение и разгон гиромотора осуществляется только при арретированном чувствительном элементе.

Для преобразования постоянного тока аккумуляторной батареи в переменный трехфазный ток в комплекте гиротеодолита имеется б л о к п и т а н и я (см. рис. 151 и рис. 152).

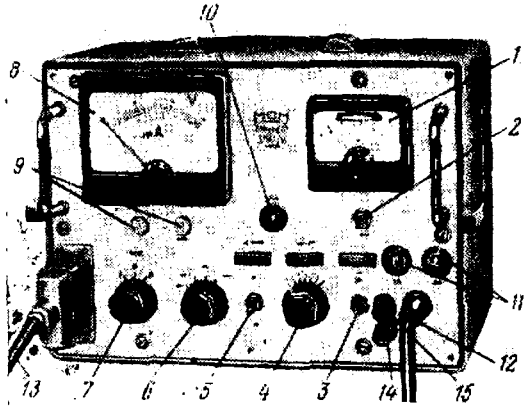


Рис. 152. Блок питания гиротеодолита Ги-Б1:

1 — амперовольтметр для измерения силы тока и напряжения аккумуляторной батареи; *2* — переключатель питания преобразователя тока; *3* — переключатель; *4* — переключатель режима подогрева; *5* — выключатель системы освещения; *6* — переключатель многопредельного измерительного прибора для измерения температуры, силы тока и напряжения в цепи питания гиромотора, а также для контроля стабильности напряжения; *7* — переключатель фаз; *8* — многопредельный измерительный прибор с дополнительной температурной шкалой; *9* — регулятор напряжения; *10* — кнопка автомата торможения; *11* — предохранитель; *12* — кабель подключения аккумуляторной батареи; *13* — кабель подключения гиротеодолита; *14* и *15* — гнезда подключения внешних потребителей постоянного тока 12В (паяльник и ручник)

В блоке питания расположены все органы управления электрическими цепями гиротеодолита. Там сосредоточены распределительные, преобразующие, контрольные, стабилизующие и световые устройства. Подвод трехфазного тока к гиромотору *17*, укрепленному внутри вакуумированной гирокамеры *12* чувствительного элемента (см. рис. 151), осуществляется по двум спиральным ленточкам блока токоподвода *4* и торсиона. Сверху на штангу, несущую плоское зеркало *25* чувствительного элемента, крепится корпус блока токоподводов. Слежение за движением чувствительного элемента осуществляется с помощью зеркала и автоколлиматора *3*, оптические детали которого смонтированы в правой колонке алидады. Поворачивая с помощью редуктора *6* червячного привода алидаду и корпус гироблока, добиваясь совмещения изображений центрального штриха шкалы в поле зрения автоколлима-

тора, наблюдатель предотвращает знакопеременное закручивание торсиона при азимутальных колебаниях чувствительного элемента.

В моменты реверсий, т. е. смены направления азимутального движения чувствительного элемента, наблюдатель, используя дополнительный окуляр *2*, берет отсчеты n_i по неподвижному горизонтальному кругу *23*, связанному с основанием *22* гиротеодолита.

При обработке результатов наблюдений по этим отсчетам точек реверсий находят отсчет положения динамического равновесия прецессионных колебаний чувствительного элемента.

Механизм *18* разворота предназначен для незначительного поворота арретированного чувствительного элемента.

Механизм смонтирован на донном основании гироблока и состоит из основного *13* и дополнительного (транспортного) *14* арретира с общим штоком *16* устройства блокировки маховика дополнительного арретира и штепсельного разъема *15* кабеля подвода питания.

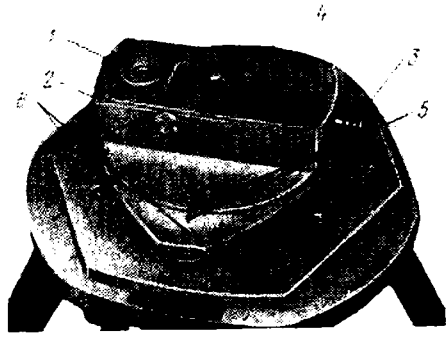


Рис. 153. Установочное приспособление к гиротеодолиту Ги-Б1:

1 — отсчетная лупа с буссолью; *2* — кнопка для арретирования буссоли; *3* — окуляр оптического отвеса; *4* — рычажок для переключения оптического отвеса (вверх-вниз); *5* — неподвижная и подвижная метки буссоли; *6* — метка на оптическом отвесе

Дополнительный и основной арретиры могут действовать независимо, но освобождение чувствительного элемента возможно лишь в том случае, если разарретирование произведено обоими маховиками.

Штатив с подставкой предназначен для установки гиротеодолита. Подставка имеет три подъемных винта со сферическими опорами. Подставка ориентируется по красной метке.

Установочное приспособление состоит из основания и алидады (рис. 153).

Центрирование подставки производится оптическим отвесом. Визирование при центрировании выполняется через окуляр. Перед объективом отвеса расположено зеркало, поворотом которого можно визировать вверх или вниз.

Перед работой гиротеодолитом предварительно ориентируется подставка с помощью имеющейся буссоли с подвижным лимбом и красные метки на основании и алидаде.

Отсчет по буссоли берется через лупу. Арретируется буссоль с помощью винта.

Комплект визирных целей состоит из двух облегченных штативов, двух угломерных марок, двух подставок, визирной вешки и двух нитяных отвесов.

упора по ходу часовой стрелки дополнительный арретир, можно присоединять развилки кабеля к гироблоку.

После подсоединения кабеля маховичок дополнительного арретира вывинчивают до отказа, при этом срабатывает механизм блокировки, запирающий разъем.

В. Порядок работы с гиротеодолитом

После подключения гиротеодолита наблюдают свободные колебания чувствительного элемента с целью определения положения статического равновесия, которому соответствует нулевое значение крутящего момента торсиона (нульпункт). Для определения положения нульпункта наблюдают четыре точки реверсии свободных колебаний чувствительного элемента и берут отсчеты a_1, a_2, a_3, a_4 по шкале автоколлиматора. Одновременно с определением нульпункта измеряется период свободных колебаний $T_{св}$ чувствительного элемента. Начало и конец его фиксируют по секундомеру в моменты совмещения центральных штрихов. Измеренную величину $T_{св}$ сравнивают со значением, указанным в паспорте прибора; допустимое отклонение ± 5 сек. Полученные результаты записывают в журнал. Первый прием наблюдений на ориентируемые пункты производится при «круге лево» и «круге право».

Отсчеты по горизонтальному кругу записываются в полевой журнал и вычисляется средний отсчет.

Зрительную трубу после первого приема приводят в вертикальное положение, чтобы окно на ней было совмещено с окуляром дополнительного отсчетного микроскопа.

Приближенно ориентируют гиротеолодит в плоскости меридиана, устанавливая по горизонтальному кругу отсчет A'_m. Оптическая ось автоколлиматора будет направлена при этом на север.

Переключатель вида измерений на передней панели блока питания устанавливается в положение «напряжение», ни в коем случае нельзя устанавливать ее при этом в положение «контр», так как измерительный прибор может выйти из строя, переключатель режима подогрева — в положение «1», тумблер системы освещения — в положение «Вкл» и переключатель фаз — в положение «Ш».

Гиромотор включается только при арретированном чувствительном элементе установкой тумблера «Мотор» в положение «Вкл». При этом загорается зеленая сигнальная лампочка, амперВольтметр показывает силу тока около 5,5 А и напряжение 10—12 В, многопредельный измерительный прибор — фазное напряжение 15—18 В. Спустя примерно 2 мин после включения гиромотора переключатель вида измерений устанавливают в положение «Ток» и наблюдают за стрелкой многопредельного измерительного прибора. Если стрелка остановилась — гиромотор вошел в нормальный режим. В нормальный режим гиромотор входит за 3—4 мин.

Марка устанавливается на подставку, которая центрируется с помощью нитяного отвеса. Визирная вешка применяется для обеспечения взаимного визирования при одновременной работе двумя гиротеодолитами.

Б. Подготовка гиротеодолита к работе

После нивелирования и центрирования заворачивают закрепительные винты головки штатива. Совмещают подвижную и неподвижные метки установочного приспособления, разарретируют буссоль и снимают отсчеты A'_m (против неподвижного индекса).

В отсчет вводят поправку за магнитное склонение $\delta_м$ точки стояния гиротеодолита, используя для этого карты магнитных склонений.

Отсчет

$$A_m = A'_{m'} - \delta_м$$

соответствует истинному азимуту направления совмещенных меток. После этого установочное приспособление снимают со штатива и на подставку устанавливают гиротеодолит так, чтобы были совмещены красные метки на выступе его основания и на подставке.

Гиротеодолит приводят в горизонтальное положение по уровню на алидаде угломерной части. Ручки и тумблеры на передней панели блока питания устанавливают в соответствующее положение и подключают кабелем аккумуляторную батарею. Напряжение аккумуляторных батарей по амперметру блока питания не должно быть менее 12 В.

Переключатель многопредельного измерительного прибора устанавливается в положение «Темп» (рабочий диапазон температур блока питания — 10—20 делений его верхней шкалы), а переключатель интенсивности подогрева устанавливается в одно из шести положений (1, 2, ..., 6) в зависимости от внешней температуры.

После прогрева, когда стрелка многопредельного измерительного прибора будет в рабочем диапазоне температур, автоматически отключится принудительный подогрев и включится вентилятор. Переключатель интенсивности подогрева устанавливается в положение «1». В дальнейшем температура будет регулироваться автоматически.

Если загорается красная лампочка — подогрев включен, если вентилятор включен — загорается синяя контрольная лампочка. Наблюдения гиротеодолитом производятся при положении переключателя «1».

Следует убедиться перед подсоединением кабеля к гиротеодолиту, что маховичок основного арретирного механизма довернут по ходу часовой стрелки до отказа, а маховичок дополнительного арретирного механизма завернут до упора. Только довернув до

Разарретируют чувствительный элемент и наблюдают его колебания в окуляр автоколлиматора, поворачивая алидаду вслед за прецессирующим чувствительным элементом. При этом центральные штрихи двух половин шкалы автоколлиматора должны быть совмещены.

Слежение производится в течение всего пуска чувствительного элемента (20—25 мин). По горизонтальному кругу снимаются отсчеты на первую (n_1), вторую (n_2), третью (n_3) и четвертую (n_4) точки реверсии.

В момент начала движения шкал в обратную сторону включают секундомер; снимают отсчет по горизонтальному кругу (через дополнительный отсчетный микроскоп) и показания секундомера; записывают эти данные в журнал.

Перед снятием отсчета на четвертую точку реверсии снимают показания ΔV_2 многопредельного измерительного прибора, устанавливают переключатель блока питания в положение «Ток» и арретируют чувствительный элемент поворотом маховичка основного арретирного механизма по ходу часовой стрелки до отказа. Затем устанавливают тумблер «Мотор» в положение «Выкл» и нажимают кнопку «Тормоз». При этом загорается красная лампочка кнопки. Через 1,5—2 мин гиромотор остановится, сигнальная лампочка погаснет.

После остановки гиромотора гиротеодолит устанавливают на отсчет $A_м$, разарретируют чувствительный элемент и определяют нульпункт (по четырем точкам реверсии). Результаты наблюдений записывают в журнал. Затем арретируют чувствительный элемент и проводят наблюдения на ориентирные пункты при «круге лево» и «круге право» (второй прием). Среднее значение направления M_2 из второго приема наблюдений не должно отличаться от среднего его значения M_1 из первого приема более чем на 8 [3].

Г. Гиротеодолит Ги-Б2

Новая модель гиротеодолита отличается от гиротеодолита Ги-Б1 включением в схему прибора фотоэлектрической системы сопровождения, которая автоматически синхронно поворачивает верхний зажим торсиона и центральную стойку блока токопроводов с азимутальными колебаниями чувствительного элемента.

Штанга чувствительного элемента Ги-Б2 несет два зеркала: основное *12* (рис. 154) для фиксации точек реверсий и дополнительное *17*, которое входит в оптическую схему следящей системы.

Гирокамера чувствительного элемента *22* вакуумирована.

Следящий корпус *20* помещен между корпусом гироблока и чувствительным элементом, в верхней части корпуса установлены автоколлиматор и другие узлы и детали следящей системы. Верхний зажим *11* торсиона через подвижную плату *9*, опорный цилиндр *6* и фрикцион *5* связан со следящим корпусом. Следящий корпус имеет червячную шестеренку, сцепленную с червяком *19*,

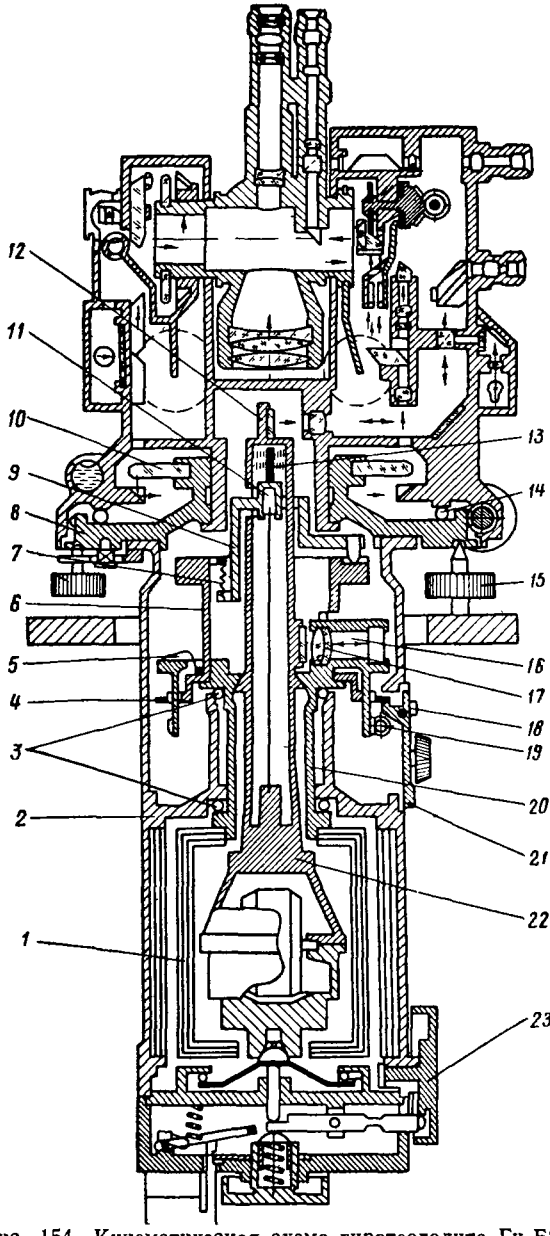


Рис. 154. Кинематическая схема гиротеодолита Ги-Б2:

1 — пермаллоевые экраны; *2* — корпус гироблока; *3* — шариковые опоры; *4* — тормозной диск; *5* — фрикцион; *6* — опорный цилиндр; *7* — пружины; *8* — основание угломерной части; *9* — подвижная плата; *10* — горизонтальный круг теодолита; *11* — верхний зажим торсиона; *12* — основное зеркало; *13* — токопровод; *14* — опорный цилиндр; *15* — подъемные винты; *16* — автоколлиматор; *17* — дополнительное зеркало, *18* — барабанчик регулирования нульпункта; *19* — червяк; *20* — следящий корпус; *21* — рычаг; *22* — гирокамера; *23* — маховик арретира

на валу которого насажен барабанчик *18* регулирования нульпункта. Для регулировки нульпункта барабанчиком (при нажатом рычаге *21*) разворачивают верхний зажим торсиона. При транспортировке прибора для предотвращения разворота опорного цилиндра *14*, а вместе с ним и торсиона служит стопор механизма регулировки нульпункта.

Перед транспортировкой крышку стопора перемещают по направлению вверх и закрепляют в таком положении.

В средней части штанги закреплено зеркало *17* — элемент следящей системы, а вместо секторных контактов в нижней части гирокамеры имеются кольцевые контакты, через которые подается питание к гиромотору в режимах разгона и торможения. В две прорези на средней части штанги входят ограничители поворота чувствительного элемента, укрепленные на следящем корпусе.

Маховичок арретира *23* имеет пять фиксированных положений:

— положение «первое» (полное арретирование) — чувствительный элемент поднят толкателем арретира и прижат к сферической поверхности следящего корпуса (при нажатии на одну из кнопок следящий корпус, преодолевая трение в нижней сферической паре, увлекает за собой чувствительный элемент; следящая система выключена);

— положение «второе» (следящая система включена) чувствительный элемент арретирован только нижней конической поверхностью; при развороте следящего корпуса чувствительный элемент остается на месте (производится согласование следящего корпуса с чувствительным элементом, согласование электрического нуля);

— положение «третье» (следящая система выключена) — чувствительный элемент арретирован только нижней конической поверхностью;

— положение «четвертое» (следящая система выключена) — чувствительный элемент полностью разарретирован (производится определение нульпункта при свободных колебаниях чувствительного элемента);

— положение «пятое» (следящая система включена)- чувствительный элемент полностью разарретирован (производится синхронное слежение следящего корпуса за колебаниями чувствительного элемента).

Фотоэлектрическая следящая система предназначена для согласованных движений чувствительного элемента с верхним зажимом торсиона и токоподводящей стойки блока токоподвода. Синхронный разворот верхнего зажима торсиона вместе со следящим корпусом вслед за колебаниями чувствительного элемента осуществляется с помощью фотоэлектрической следящей системы (рис. 155). Свет от лампочки *1* проходит через диафрагму *2*, отражается от граней призм *3* и *4*, проходит через объектив *5*, попадает на дополнительное зеркало *6*, укрепленное на штанге чувствительного элемента. Далее, отразившись от него, пучок света вновь

проходит через объектив *5*, отражается от граней тех же призм и поступает через диафрагму *10* на два фотосопротивления *7*, формирует изображение диафрагмы в плоскости фоторезисторов, включенных в плечи балансного мостика, сбалансированного при затемнении. В зависимости от интенсивности света сопротивления в фоторезисторах изменяются. Нулевое положение следящего корпуса *8* с объективом — относительно зеркала *6*, при котором на фоторезисторы падают одинаковые световые потоки, называют положением электрического нуля. В этом положении мост сбалансирован, а электрические сопротивления фоторезисторов одинаковы. При другом положении следящего корпуса симметрия световых потоков нарушается, появляется управляющее напряжение, соответствующее по величине и знаку угла рассогласования между следящим корпусом и колеблющимся чувствительным элементом.

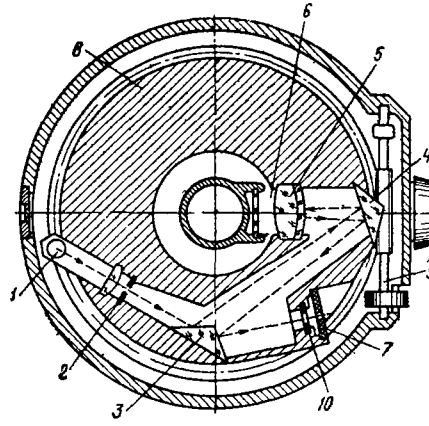


Рис. 155. Оптико-механическая схема следящей системы гиротеодолита Ги-Б2

После усиления управляющее напряжение подается на исполнительный двигатель, который отрабатывает угол рассогласования, следящий корпус разворачивается с помощью червячной передачи *9* так, чтобы электрические сопротивления фоторезисторов стали вновь симметричными (мост сбалансирован). Таким образом, верхний зажим торсиона с помощью следящей системы синхронно разворачивается вслед за колебаниями чувствительного элемента.

Коэффициент усиления следящей системы устанавливается маховичком регулировочного потенциометра по шкале.

Окно в корпусе гироблока служит для замены лампы следящей системы и вывинчивания ограничителей колебаний чувствительного элемента.

Д. Методика и точность ориентирования

Для ориентирования маркшейдерского обоснования при строительстве подземных сооружений применяются гироскопические теодолиты с ручным слежением Ги-Б1, с автоматическим слежением Ги-Б2, МТ-1 и другие гиротеодолиты равной или большей точности.

Ориентирование состоит из:

а) определения поправки гиротеодолита на стороне с известным дирекционным углом;

б) определения дирекционного угла ориентируемой стороны полигонометрии;

в) повторного определения поправки гиротеодолита на стороне с известным дирекционным углом.

Расхождение между значениями поправок является допустимым, если оно не превышает величины

$$d_{\Delta} = 2\frac{m}{\sqrt{n}}\sqrt{2},$$

где m — средняя квадратическая погрешность определения гироскопического азимута одним пуском; n — количество пусков, которыми определена каждая из сравниваемых поправок.

Прием (пуск) состоит из:

а) визирования и отсчета КЛ и КП по ориентируемому направлению;

б) определения нульпункта торсионного подвеса;

в) наблюдения вынужденных колебаний и вычисления положения динамического равновесия чувствительного элемента при работающем гиромоторе;

г) определения нульпункта торсионного подвеса;

д) визирования и отсчетов КЛ и КП по ориентируемому направлению.

Нульпункт торсионного подвеса определяется не менее чем по четырем точкам реверсии свободных колебаний чувствительного элемента по формулам

$$P_1 = \frac{1}{4}(p_1 + 2p_2 + p_3);\ P_2 = \frac{1}{4}(p_2 + 2p_3 + p_4);$$

$$P_0 = (P_1 + P_2),$$

где P_1, P_2, P_0 — значение нульпункта; p_1, p_2, ..., p_i — отсчеты по шкале автоколлиматора в моменты реверсии свободных колебаний чувствительного элемента.

При определении нульпункта контролируют период свободных колебаний чувствительного элемента по секундомеру. Пуск и остановку секундомера рекомендуется производить в момент прохождения чувствительным элементом нуля шкалы автоколлиматора.

Период свободных колебаний на одной и той же широте места наблюдения не должен изменяться более чем на 1 с. При этом он не должен отличаться от значения, указанного в паспорте инструмента, более чем на 5 с. Вычисление положения динамического равновесия чувствительного элемента производится не менее чем по четырем точкам реверсии по формулам

$$N_1 = \frac{1}{4}(n_1 + 2n_2 + n_3);\ N_2 = \frac{1}{4}(n_2 + 2n_3 + n_4);$$

$$N_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(N_1 + N_2),$$

где N_1, N_2, $N_{ср}$ — значения положения равновесия чувствительного элемента; n_1, n_2, ..., n_i — отсчеты по лимбу гиротеодолита, соответствующие положениям точек реверсии.

Должны быть приняты меры по обеспечению неизменности положения инструмента в течение приема (пуска).

В условиях неустойчивого грунта ножки штатива гиротеодолита устанавливают на металлические костыли, забиваемые в грунт на глубину 0,3 м. Недопустимо располагать гиротеодолит на вибрирующем основании.

Инструмент должен быть защищен от прямых солнечных лучей.

Если пункты опорной сети, на которых производится гироскопическое ориентирование, имеют разницу в значениях уклонений отвесных линий более 4″, а ориентируемые направления — наклон к горизонту более 8°, в отсчет горизонтального круга гиротеодолита по ориентируемому направлению должна быть введена поправка за уклонение отвеса

$$\delta_2 = \frac{\eta \cos A - \zeta \sin A}{\operatorname{tg} z},$$

где δ_2 — поправка в отсчет горизонтального круга по ориентируемому направлению, ξ, η — составляющие уклонения отвеса в плоскости меридиана и первого вертикала, z — зенитное расстояние ориентируемого направления.

Если значения составляющей уклонения отвеса в плоскости первого вертикала η на пунктах различаются на две секунды и более, должна быть введена поправка за несовпадение плоскостей астрономического и геодезического меридианов по формуле

$$\delta_1 = \eta \operatorname{tg} \varphi,$$

где ψ — широта пункта.

Общая поправка за влияние уклонений отвеса вычисляется как сумма двух поправок

$$\delta_n = \delta_1 + \delta_2.$$

Запись наблюдений и вычисления ведутся в журналах по установленной форме (табл. 26, 27).

Оценка точности при достаточном количестве измерений производится по разностям двойных измерений:

$$m = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}},$$

где m — средняя квадратическая погрешность гироскопического азимута из одного приема (пуска), d — разность двойных измерений; n — количество разностей.

Значение m, вычисленное по этой формуле, примерно равно средней квадратической погрешности единицы веса, если вес

Таблица 27

Гироскопическое ориентирование
Прием № 3

Погода: пасмурно, ветер слабый
Начало 11 ч. 20 мин.
Конец 12 ч. 15 мин.
$C = -7{,}12$
$\Delta = 90^\circ 07' 11''$

$t_0 = +8^\circ$
$l = 145$ мм
$V = 32$ В
$\Delta V_1 = 27{,}5$
$\Delta V_2 = 30{,}0$

Наблюдение точек реверсии

Начало и конец наблюдений	$\frac{T}{2}$	Отсчеты по горизонтальному кругу: точек реверсии		средних положений точек реверсии		положений равновесия чувствительного элемента	
11^h32^m		n_1	$112^\circ 23' 58''$	$\frac{1}{2}(n_1+n_3)$	$112^\circ 23' 54''$	N_1	$110^\circ 10' 44''$
	5^m48^s	n_2	$107^\circ 57' 34''$	$\frac{1}{2}(n_2+n_4)$	$107^\circ 57' 38''$	N_2	$110^\circ 10' 44''$
	5^m47^s	n_3	$112^\circ 23' 50''$			N_3	$110^\circ 10' 48''$
	5^m46^s	n_4	$107^\circ 57' 43''$	$\frac{1}{2}(n_3+n_5)$	$112^\circ 23' 52''$	N_4	$110^\circ 10' 50''$
	5^m48^s	n_5	$112^\circ 23' 55''$			$N_{ср}$	$110^\circ 10' 46''$
12^h05^m	5^m47^s	n_6	$107^\circ 57' 47''$	$\frac{1}{2}(n_4+n_6)$	$107^\circ 57' 45''$	δN	$9''$
Фактор затухания		$f_1 = 1{,}0005$		$f_2 = 1{,}0006$		N_0	$110^\circ 10' 37''$

Наблюдение и вычисление ориентирных направлений

на пункт 128				на пункт 136			
Л	$28^\circ 55' 10''$	M	$28^\circ 55' 07''$	Л	$213^\circ 33' 34''$	M	$213^\circ 33' 32''$
П	$208^\circ 55' 06''$	$-N_0$	$110^\circ 10' 37''$	П	$33^\circ 33' 30''$	$-N_0$	$110^\circ 10' 37''$
M_1	$28^\circ 55' 08''$	$a_г$	$278^\circ 44' 30''$	M_1	$213^\circ 33' 32''$	$a_г$	$103^\circ 22' 55''$
Л	$28^\circ 55' 08''$	$+\Delta$	$90^\circ 07' 11''$	Л	$213^\circ 33' 33''$	$+\Delta$	$90^\circ 07' 11''$
П	$208^\circ 55' 04''$	A	$8^\circ 51' 41''$	П	$33^\circ 33' 31''$	A	$193^\circ 30' 06''$
M_2	$28^\circ 55' 05''$	$-\gamma$	$-57' 34''$	M_2	$213^\circ 33' 32''$	$-\gamma$	$-57' 34''$
		a	$9^\circ 49' 15''$			a	$194^\circ 27' 40''$
		$m = \pm 11''$		$\mu = \pm 11''$			

Вычислил:
Вычисления проверил:
Вторая страница журнала

Таблица 26

Гироскопическое ориентирование

Прием № 3

Дата: 13.2.76 г.
Инструмент: Ги-Б1 № 825006
Наблюдатель: Сергеев И. Н
Помощник. Иванов О. В.

Пункт 236
$\varphi = 55° 45'$
$y = -72{,}64$ км
$\lambda = -0° 57' 34''$

Абрис	Определение нульпункта					
	Отсчеты по шкале автоколлиматора					
	точек реверсии		средних положений точек реверсии		положений равновесия чувствительного элемента	
Формулы:	P_1	+11,4	$\frac{1}{2}(P_1+P_3)$	+11,1	P_1	+1,8
$P_1 = \frac{1}{2}\left\{P_2 + \right.$	P_2	−7,4				
$\left. + \frac{1}{2}(P_1+P_3)\right\}$	P_3	+10,9	$\frac{1}{2}(P_2+P_4)$	−7,2	P_2	+1,8
$N = \frac{1}{2}\left\{n_2 + \right.$	P_4	−7,1			P_3	+1,8
$\left. + \frac{1}{2}(n_1+n_3)\right\}$	P_5	+10,4	$\frac{1}{2}(P_3+P_5)$	+10,6	P_4	+1,7
$\delta N = P_0 C$	P_6	−6,8	$\frac{1}{2}(P_4+P_6)$	−7,0		
$a_\Gamma = M - N_0$	P_1	+38,6	$T_{св}$	41,4	P	+1,8
$A = a_\Gamma + \Delta$	P_2	−36,4				
$a_\Gamma = A - \gamma$	P_3	+37,1	$\frac{1}{2}(P_1+P_3)$	+37,8	P_1	+0,7
$\gamma = \lambda \sin\varphi$	P_4	−34,8	$\frac{1}{2}(P_2+P_4)$	−35,6	P_2	+0,7
$\Delta\gamma = \frac{\rho''}{R_m}\Delta y \operatorname{tg}\varphi$	P_5	+35,5	$\frac{1}{2}(P_3+P_5)$	+36,3	P_3	+0,7
	P_6	−33,7	$\frac{1}{2}(P_4+P_6)$	−34,2	P_4	+0,6
			$T_{св}$	41,6	P	+0,7
					P_0	+1,25
					δN	−8,9″

Первая страница журнала

ориентирования принять равным единице. Средняя квадратическая погрешность ориентирования в этом случае равна

$$M = m\sqrt{\frac{1}{P}};$$

при этом

$$P = \frac{r}{2},$$

где m — средняя квадратическая погрешность единицы веса, P — вес ориентирования, r — количество независимых пар определения поправки ориентирования.

Расхождение между результатами ориентирования не должно быть более 20″.

Е. Вычисление ориентирования, выполненного гироскопическим способом

Дирекционный угол ориентируемого направления вычисляется по формуле

$$a = A - \gamma + \delta_u \text{ или } a = a_г + \Delta - \gamma + \delta_u,$$

где

$$A = a_г + \Delta;$$

$$a_г = M - N_0;$$

$$\Delta = a_{исх} - a_{г_{исх}} + \gamma_{иск} - \delta_u;$$

$$\gamma_{исх} = \lambda_{исх} \sin \varphi_{исх};$$

$$\gamma = \lambda \sin \varphi.$$

В этих формулах:

A — астрономический азимут ориентируемого направления;

$a_{г_{исх}}$ и $a_г$ — гироскопические азимуты исходного и ориентируемого направлений;

M — отсчет по визируемому направлению (исходному или ориентируемому);

N_0 — отсчет, соответствующий положению равновесия чувствительного элемента;

Δ — поправка гиротеодолита, заключающая в себе конструктивные углы Δ_1 и Δ_2 (приводимые в паспорте гиротеодолита), а также условность данной системы азимутов относительно той, в которой вычислено сближение меридианов γ;

δ_u — поправка за уклонения отвесной линии;

$\gamma_{исх}$ и γ — сближения меридианов точек стояния гиротеодолита (при определении поправки и при ориентировании);

$\lambda_{исх}$ и λ — долготы точек стояния от осевого меридиана зоны;

$\varphi_{исх}$ и φ — широты точек стояния.

Если учет сближения меридианов сводится к введению поправки $\Delta\gamma$ — разности сближений, являющейся величиной второго порядка малости по сравнению с величиной γ, то вычислять $\Delta\gamma$ можно по формуле

$$\Delta\gamma = \frac{\rho''}{R_m}(y_{исх} - y) \operatorname{tg} \varphi_{ср},$$

где $\rho = 206\,265''$, $R = 6370$ км — средний радиус кривизны земного эллипсоида, $y_{\text{исх}}$ и y — ординаты точек стояния гиротеодолита, $\varphi_{\text{ср}}$ — средняя широта точек стояния.

§ 106. Ориентирование через две шахты

Наличие двух шахт, соединяющихся между собой на ориентируемом горизонте, дает возможность применить наиболее точный способ ориентирования через две шахты. В этом способе расстояние между отвесами исчисляется сотнями метров, что практически сводит к нулю влияния погрешностей проектированных отвесов. Маркшейдерское оборудование для ориентирования и подготовительные работы на поверхности те же, что и при ориентировании через одну шахту. Практически ориентирование осуществляется следующим образом (рис. 156).

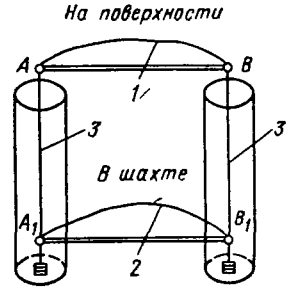


Рис. 156. Ориентирование через две вертикальные шахты:

1 — полигонометрический ход, проложенный на поверхности; *2* — полигонометрический ход, проложенный в шахте, *3* — шахтные отвесы

Между двумя шахтами на поверхности прокладывают полигонометрический ход для определения координат отвесов A и B (в принятой системе координат). Дирекционный угол линии AB и расстояние AB вычисляют по формулам

$$\operatorname{tg}(AB) = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A};$$

$$AB = \frac{\Delta x}{\cos(AB)} = \frac{\Delta y}{\sin(AB)}.$$

В подземных выработках также прокладывают полигонометрический ход между теми же отвесами A и B. Обозначим эти отвесы через A_1 и B_1. Подземный ход вычисляют в условной системе координат. Для этого координаты отвеса A_1 и дирекционный угол первого стана хода принимают равными нулю.

Определив дирекционный угол и расстояние между отвесами (A_1B_1) в принятой условной системе по указанным формулам, сравнивают вычисленные расстояния между отвесами на поверхности и в шахте. Теоретически вычисленные расстояния должны быть равны между собой, так как точки одни и те же. Неравенство расстояния является следствием погрешностей наземной и подземной полигонометрии.

Затем вычисляют угол поворота Δa первого стана подземного полигонометрического хода при отвесе A_1 по формуле

$$\Delta a = (AB) - (A_1B_1).$$

Исправляют условный дирекционный угол первого стана подземного хода на угол поворота и вторично вычисляют весь подземный ход уже в системе координат, принятой на поверхности.

Так как подземный полигонометрический ход проложен между двумя отвесами A и B, координаты которых определены от знаков наземной полигонометрии, то суммы приращений координат подземного хода должны быть равны разностям координат точек A и B, т. е.

$$\Sigma\Delta x_{\text{подзем}} = x_B - x_A,$$

$$\Sigma\Delta y_{\text{подзем}} = y_B - y_A$$

Точность ориентирования через две шахты в общем случае зависит от точности измерения сторон и углов ходов, проложенных между отвесами на поверхности и под землей. Согласно технической инструкции при ориентировании через две шахты прокладывают полигонометрические ходы повышенной точности, что обеспечивает надежное определение дирекционных углов сторон подземной полигонометрии

§ 107. Передача абсолютных отметок в подземные выработки

Одновременно с ориентированием шахт выполняют и передачу отметок от двух исходных реперов, расположенных на поверхности, на два репера, заложенных в подземных выработках. Передачу отметок производят одновременно двумя нивелирами, установленными на поверхности и в околоствольном дворе

Превышение между горизонтами нивелиров определяют по стальной рулетке, опущенной в ствол шахты или скважины. Рулетку подвешивают с грузом, масса которого равна массе, при котором производилось ее компарирование.

Расположение инструментов и реек при передаче отметки в шахту показано на рис. 157. Отсчеты по рулетке берутся по горизонтальной нити сетки нивелира.

Программа наблюдений в одном приеме состоит из одновременных отсчетов по рейкам и рулетке Приемов делают от трех до пяти, при этом каждый прием выполняют после перемещения рулетки или после установок нивелиров на новый горизонт. Превышения между реперами в подземных выработках и на поверхности, полученные из отдельных приемов, должны различаться между собой не более чем на ± 3 мм. В величину среднего превышения, полученного из нескольких приемов, вводят следующие поправки:

а) поправку за разность температур компарирования мерного прибора и измерения, определенную по формуле

$$\Delta t = L\alpha\,(t^\circ - t_1^\circ),$$

где α — коэффициент расширения стали, равный 0,0000125, L — длина измеряемого участка рулетки, t° — средняя темпера-

тура при измерении на поверхности и в шахте, t_1° — температура компарирования рулетки;

б) поправку за компарирование рулетки;

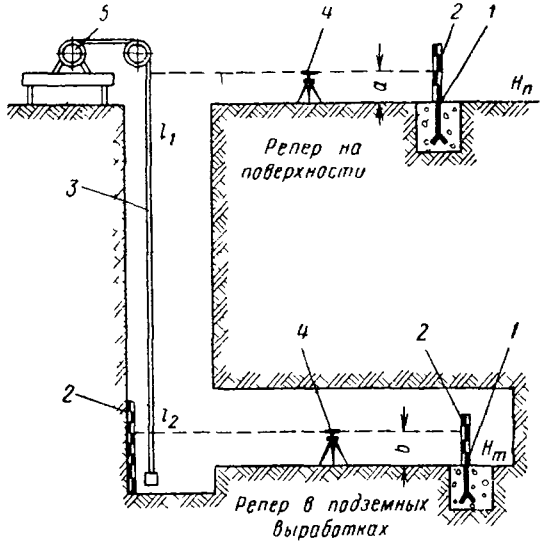


Рис 157 Передача отметки в подземные выработки

1 — реперы, *2* — нивелирные рейки, *3* — рулетка с грузом, *4* — нивелиры, *5* — лебедка

в) поправку за удлинение мерного прибора от собственной массы (для глубоких стволов, начиная со 100 м), определяемую по формуле

$$\Delta l = \frac{Ql}{EF},$$

где Q — половина собственной массы рулетки, l — длина рулетки, E — модуль упругости, F — поперечное сечение рулетки.

Для стальной рулетки шириной 15 мм и толщиной 0,3 мм

$$F = 15 \times 0{,}3 = 0{,}045 \text{ см}^2.$$

Считая удельную массу стали $\gamma = 8$ г/см^3, для рулетки длиной 200 м получим массу $P = 0{,}045 \times 20\,000 \times 8 = 7{,}2$ кг. Таким образом, $Q = 3{,}6$ кг, откуда при $E = 2 \times 10^6$ кг/см^2

$$\Delta l = \frac{3{,}6 \times 10\,000}{0{,}045 \times 2\,000\,000} = 4 \text{ мм}.$$

Окончательное значение отметки репера в шахте глубиной до 100 м определяют по формуле

$$H_m = H_n + a - [(l_1 - l_2) + \Delta t^0 + \Delta k] - b,$$

где H_m — отметка подземного репера, H_n — отметка репера на поверхности, a — отсчет по рейке на поверхности; b — отсчет по рейке в шахте, l_1 — отсчет по рулетке на поверхности, l_2 — отсчет по рулетке в шахте, Δk — поправка за компарирование рулетки, Δt° — поправка в длину рулетки за температуру.

При значительной разнице в температуре воздуха на дневной поверхности и под землей (более 5°) температуру измеряют на нескольких горизонтах. За окончательную температуру рулетки принимают среднее значение из показаний термометра на разных горизонтах. Отметки реперов, на которые высота передана с дневной поверхности, служат исходными для подземного нивелирования.

Абсолютную отметку в шахту передают несколько раз (не менее трех), расхождения между отдельными передачами не должны быть больше 7 мм.

При глубине ствола, большей 150 м, передачу абсолютной отметки рекомендуется осуществлять глубиномером ДА-2 или с помощью стальной проволоки сечением 0,8—1,5 мм. Проволоку с грузом опускают при помощи лебедки и блока. Передачу выполняют при таком же положении реек и нивелиров, что и при передаче с помощью рулетки. Отсчеты берут только по рейкам, а на проволоке горизонтальный луч нивелира фиксируют специальными запилами. Длину (превышение) между запилами по проволоке определяют компарированной рулеткой на горизонтальной плоскости при соответствующем натяжении. Значения отметок подземных реперов вычисляют по формуле

$$H_m = H_n + a - [(l_1 - l_2) + \Delta t + \Delta k] - b.$$

ГЛАВА XIV

ПОДЗЕМНАЯ МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ОСНОВА

§ 108. Схема подземной полигонометрии

Подземная полигонометрия вместе с сетью подземного нивелирования является основой для точного перенесения в натуру проекта всех тоннельных сооружений и для съемки последних, необходимой при составлении исполнительных чертежей при сдаче тоннелей в эксплуатацию.

Плановую маркшейдерскую основу создают методом подземной полигонометрии. Развитие полигонометрии осуществляют или от станов, полученных из ориентирования через вертикальную шахту, или путем непосредственного примыкания к пунктам наземной геодезической основы через наклонные выработки, порталы и штольни.

Подземная полигонометрия развивается по мере продвижения забоев. В зависимости от конфигурации трассы сооружений, ее протяженности и подземных условий длины сторон полигонометрии принимают равными 25, 50, 100, 200, 500 м и более. Чем бо́льшую протяженность имеет трасса тоннелей, тем длиннее должны быть стороны полигонометрии, так как уменьшается число точек, на которых измеряют углы и, следовательно, повышается точность подземной основы.

Подземная полигонометрия в сооружаемых тоннелях прокладывается висячими ходами, каждый из которых удлиняется по мере продвижения забоев до их встречи.

Схема подземной полигонометрии и принятая методика угловых и линейных измерений должны обеспечить необходимую точность сбоек встречных выработок или тоннелей.

При строительстве тоннелей средней протяженности (длина односторонней проходки до 1 км) прокладывают полигонометрию двух видов:

а) рабочую подземную полигонометрию со сторонами от 25 до 50 м; б) основную подземную полигонометрию со сторонами от 50 до 100 м.

При такой системе каждая вторая точка рабочей опоры включается в ход основной полигонометрии.

При длине односторонней проходки более 1 км прокладывают дополнительно главные ходы с более длинными сторонами (150, 200 м и более), используя, как правило, при этом знаки основной подземной полигонометрии.

При длинах плеч односторонней проходки (на сбойку) порядка 4—6 км прокладывают главный полигонометрический ход со сторонами 600—800 м.

На прямых участках трассы , с целью уменьшения влияния боковой рефракции на результаты угловых измерений, смежные знаки главного хода должны располагаться на разных сторонах тоннеля или по оси его (рис. 158).

Длины сторон главных ходов, как правило, определяются путем проектирования измеренных сторон основной полигонометрии.

Во всех случаях прокладки главных ходов в тоннелях угловые измерения должны производиться многократно, разновременно и в максимально благоприятных условиях.

В подходных выработках, где длины сторон могут доходить в отдельных случаях до 10 м, в целях обеспечения необходимой точности применяют метод одновременной постановки двух или трех теодолитов.

Схема основной подземной полигонометрии, как правило, должна предусматривать создание непрерывной цепи треугольников (рис. 159).

При наличии параллельных тоннелей или других горных выработок ходы подземной полигонометрии связываются между собой через поперечные соединительные выработки.

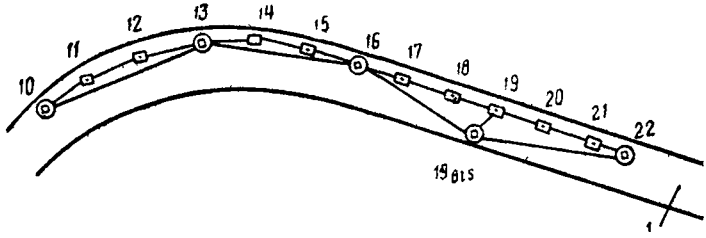


Рис. 158. Определение длин сторон главного хода по сторонам основной полигонометрии:

1 — тоннель; *10, 11, 12, . , 21, 22* — знаки основной полигонометрии; *10, 13, 16, 19*bis, *22* — знаки главного хода. При измерениях на станции *19*bis наблюдается (двумя приемами) направление на знак *19* и измеряется короткий отрезок *19*bis—*19*

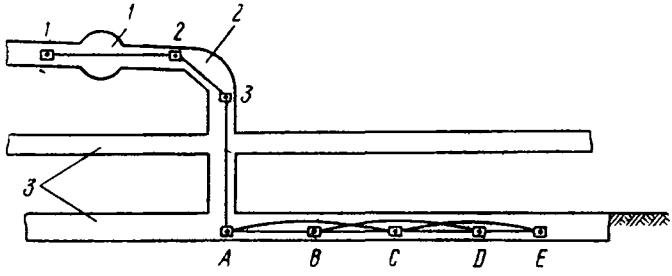


Рис. 159. Передача дирекционного угла и координат на полигонометрические знаки у забоя:

1 — ствол; *2* — подходная штольня; *3* — выработки по трассе; *1, 2, 3* — знаки полигонометрии у ствола; *A, B, C, D, E* — знаки основной полигонометрии

Согласно требованию технической инструкции по геодезическо-маркшейдерским работам в транспортном тоннелестроении, во всех случаях определения координат знаков висячим ходом угловые и линейные изменения должны быть проведены дважды — независимо и разновременно.

§ 109. Расположение и закрепление полигонометрических знаков

Знаки основной полигонометрии закрепляются:

а) на кривых участках трассы — с внешней стороны кривой, т. е. со стороны возвышенного рельса;

б) на прямых участках, в тоннелях метрополитена — с внешней стороны относительно оси междупутья, в одиночных тоннелях — с любой стороны.

Знаки подземной полигонометрии одновременно являются и реперами подземной высотной основы.

В зависимости от характера выработки или вида тоннельной обделки знаки могут быть следующих типов:

а) металлический стержень в бетонном монолите, в кровле выработки, в своде сооружения или в стене тоннеля;

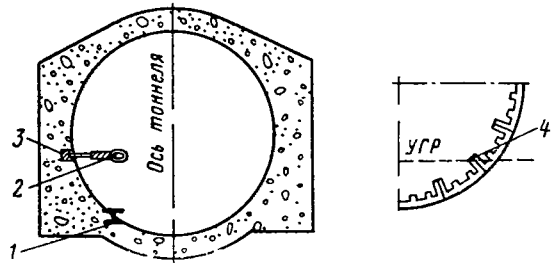


Рис. 160. Закрепление полигонометрического знака в бетонном тоннеле и на тюбинге:

1 — металлический стержень; *2* — маркшейдерская консоль; *3* — деревянная пробка; *4* — центр полигонометрического знака, *УГР* — уровень головки рельсов

б) точка, высверленная и зачеканенная медью на площадке, запиленной на ребре жесткости или борту металлического тюбинга (рис. 160).

Знаки подземной полигонометрии закладываются в тоннелях с чугунной обделкой на уровне головки рельсов, а с железобетонной обделкой — на уровне путевого бетона.

Нумерация знаков для всей сооружаемой трассы устанавливается единой и не имеет повторений.

Для однопутных тоннелей, сооружаемых параллельно, знакам левого по ходу пикетажа тоннеля даются нечетные номера, правого — четные.

На каждый закрепленный знак должно быть составлено описание. В необходимых случаях производится привязка знаков к характерным точкам сооружения.

У каждого знака должен быть надписан масляной краской его номер.

Маркшейдеры обязаны следить за сохранностью знаков и видимостью между ними.

§ 110. Особенности геодезических работ в подземных условиях

А. Линейные измерения и их точность

Перед измерением длины линии в створе ее подвешивают отвесы или выставляют штативы (типа базисных) на расстояниях, примерно равных длине мерного прибора. На нитях подвешенных

отвесов узелками отмечают произвольный, но один и тот же горизонт, задаваемый при помощи нивелира или горизонтального луча теодолита; при использовании штативов нивелируют их целики.

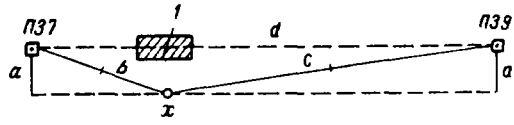


Рис. 161. Определение длины линии *П37-П39* по известным отрезкам *b* и *c*.

1 — препятствие; *a* — отрезки, перпендикулярные к определяемой линии; *d* — определяемая линия; *b*, *c* — линии, измеряемые в натуре; $d = b + c = \left(\frac{a^2}{2b} + \frac{a^2}{2c}\right)$; величины *a* не должны превышать 0,5 м

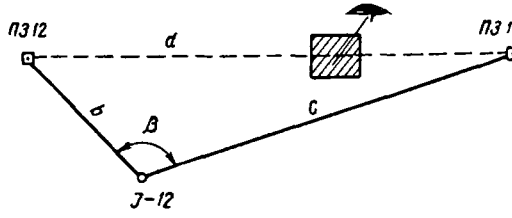


Рис. 162. Косвенное определение длины стороны полигонометрии:

1 — препятствие; $d = b^2 + c^2 - 2bc - \cos\beta$; *b* и *c* — линии, измеряемые в натуре, β — измеренный угол

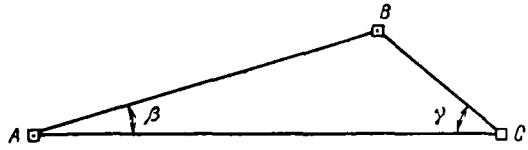


Рис. 163. Схема контроля измерения длин сторон полигонометрии:

$AC = AB\cos\beta + BC\cos\nu$; *AC* — определяемая сторона; *AB* и *BC* — измеряемые для контроля стороны; β и ν — измеренные углы

Рулетку натягивают при помощи блочного штатива и гири массой 10 кг; второй ее конец удерживается с помощью рулеткодержателя.

Натяжение проволоки производят с помощью двух блочных штативов и двух гирь массой по 10 кг.

Каждый пролет измеряют при трех сдвигах мерного прибора.

Температуру в процессе измерения линий, как правило, определяют на первом и последнем пролетах. Это объясняется тем, что колебания температуры в тоннелях весьма незначительны.

Длины сторон в подземной полигонометрии измеряются стальными компарированными рулетками или проволоками.

Расхождения разностей (П-3) не должны превышать 2 мм для рулетки, 0,8 мм — для проволоки.

Измерение производится в прямом и обратном направлениях.

Разность между значениями измерений рулеткой по прямому и обратному ходу не должна превышать:

2 мм — для линий короче 25 м;

3 мм — для линий от 25 до 50 м;

4 мм — для линий от 50 до 80 м.

При длинах линий свыше 80 м относительная разность между значениями измерений в прямом и обратном направлениях не должна превышать 1 : 20 000.

Для проволоки относительная разность измерений туда и обратно не должна превышать 1 : 30 000.

В случае невозможности непосредственного измерения линии между полигонометрическими знаками применяются косвенные методы измерений (рис. 161 и 162).

Для контроля линейных измерений, производимых по сторонам треугольников подземной полигонометрии, пользуются формулой, приведенной в подрисуночном тексте к рис. 163.

При строительстве тоннелей на криволинейных участках трассы, когда погрешность линейных измерений оказывает существенное влияние на поперечный сдвиг хода, применяют два мерных прибора и производят их компарирование не реже одного раза в месяц.

Б. Светодальномер МСД1М

Маркшейдерский светодальномер МСД1М предназначен для измерения расстояний при производстве маркшейдерских работ в подземных горных выработках, а также при геодезических работах на поверхности.

Светодальномер представляет собой прибор фазового типа с полупроводниковым источником инфракрасного излучения, модулируемого тремя фиксированными масштабными частотами, с парафазным методом индикации разности фаз, с плавнопеременной оптической линией задержки, во взрывозащищенном исполнении.

Светодальномер питается постоянным током от встроенных аккумуляторных батарей с номинальным напряжением 1 В, 2 В и 2,4 В.

Основные характеристики:

а) предел измеряемых расстояний 1—500 м;

б) средняя квадратическая погрешность измерения не более $2 + 5 \times 10^{-6} S$ мм, где S — измеряемое расстояние;

в) углы наклона измеряемых линий от ∓ 45 до $\mp 90°$;

г) продолжительность работы светодальномера без смены аккумуляторных батарей не менее 5 ч;

д) масса комплекта не более 35 кг, в том числе самого дальномера (приемопередатчика) 9,5 кг.

Измерение расстояний светодальномерами основано на сравнительно высокой степени постоянства скорости распространения света в атмосфере.

Пройденный путь определяют как произведение скорости распространения C и времени t.

При измерении расстояний свет проходит измеряемое расстояние S дважды: от передатчика до отражателя и от отражателя до приемника, который конструктивно объединяют с передатчиком.

Поэтому расстояние определяют по формуле

$$S = \frac{1}{2} Ct.$$

Непосредственное измерение времени недостаточно точно для определения расстояний в геодезии и маркшейдерском деле. Поэтому время определяют косвенным методом через частоту f и фазу φ колебаний по известной из теории колебаний зависимости:

$$t = \frac{\varphi}{2\pi f}.$$

Для определения расстояния фазовыми дальномерами получают формулу

$$S = \frac{C}{2f} \cdot \frac{\varphi}{2\pi}.$$

В фазовых дальномерах с фиксированными частотами измеряют разность фаз принятого и отправляемого колебаний. Расстояние определяют по формуле

$$S = \frac{\lambda}{2}(N + \Delta\varphi),$$

где $\lambda = \frac{C}{f}$ — длина волны при частоте f, $N + \Delta\varphi = \frac{\varphi}{2\pi}$ — разность фаз в целых фазовых циклах N и долях цикла $\Delta\varphi$.

Величину $\Delta\varphi$ измеряют известными в радиотехнике методами, а число полных фазовых циклов N вычисляют по результатам измерения $\Delta\varphi$ на двух или нескольких известных частотах.

Принцип действия светодальномера поясняет функциональная схема (рис. 146).

Напряжение масштабной частоты ($f_1 = 150{,}1549$ МГц, $f_2 = 142{,}3624$, $f_3 = 149{,}8552$ МГц) с кварцевого генератора *1* поступает на манипулятор фазы *2*, в котором периодически с частотой 80 Гц (с генератора *10*) фаза высокочастотных колебаний сдвигается на 180°.

После манипуляции и усиления сигнал поступает на полупроводниковый излучатель *3*.

В излучателе электрические колебания вызывают модулированное инфракрасное излучение (длина волны 0,91 мкм), яркость

которого при этом изменяется с частотой питающего тока. Инфракрасный цвет через объектив *4* направляется на призменный отражатель *5*, установленный на втором конце измеряемой линии. Отраженный сигнал через приемный объектив *6* попадает на катод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) *7*.

На внешний электрод, установленный перед фотокатодом ФЭУ, с генератора *1* через фазовращатель *8* подается высокочастотное опорное напряжение.

В результате действия опорного напряжения на фототок, создаваемый в катодной камере ФЭУ переменным излучением

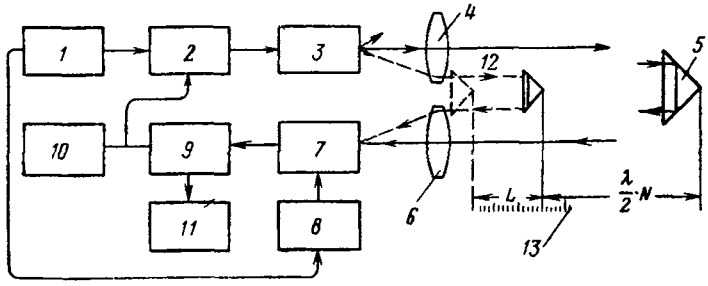


Рис. 164. Функциональная схема светодальномера

с манипулированной фазой, на выходе ФЭУ выделяется напряжение частоты манипуляции (80 Гц), амплитуда которого является функцией разности фаз между световым и опорным сигналами.

Низкочастотный сигнал поступает на синхронный детектор *9*, на второй вход которого подается напряжение той же частоты с генератора *10*. Стрелка нуль-индикатора *11* показывает 0 при разности фаз между световым и опорным сигналами, равной $360 \pm 90°$.

При фиксации фазы с дистанции такую разность фаз устанавливают, изменяя задержку опорного сигнала в фазовращателе.

Затем, не меняя задержки в фазовращателе, подают световой сигнал на ФЭУ с передающего объектива через оптическую линию задержки (ОЛЗ) *12* и, изменяя задержку в ОЛЗ, устанавливают индикатор снова на 0. Тогда линейная величина задержки в ОЛЗ будет:

$$L = \frac{1}{2}\lambda \cdot \Delta\varphi,$$

а измеряемое расстояние будет

$$S = \frac{\lambda}{2} N + L.$$

Величину L отсчитывают по шкале *13* в миллиметрах и в соответствии с частотой, на которой выполнены измерения, обозначают L_1, L_2, L_3.

Для однозначного измерения расстояний до 500 м частоты модуляции в светодальномере подобраны так, что измерительный цикл на третьей частоте составляет ровно 1 м (при температуре +20° С и атмосферном давлении 760 мм рт. ст.).

Первая частота выше третьей на одну пятисотую долю, а вторая частота ниже третьей на одну двадцатую. Соответственно величина фазового цикла в линейной мере на первой частоте составляет 0,998004 м, а на второй — 1,052631 м.

Из решений двух уравнений, сопоставляемых по результатам измерений на первой и третьей частотах, грубо число целых метров S_1 в измеряемом расстоянии получается равным

$$S_1 \approx (L_1 - L_3)\,500$$

Из полученного значения S_1 в дальнейшие расчеты входит расстояние, округленное до целых двадцати метров. Точное число метров в пределах каждой двадцатки определяют из второго приближенного значения расстояния, получаемого по результатам измерений на второй и третьей частотах, вычислением по формуле

$$S_2 = 0{,}02\,(L_3 - L_2) + 0{,}001 L_2.$$

Полное расстояние S определяют как сумму округленного до целых двадцаток S_1, округленного до целых метров S_2 и среднего отсчета L_3.

Величина S' равна расстоянию от объективов приемопередатчика до условной отражающей плоскости отражателя. Для перехода к расстоянию на местности вначале определяют расстояние S между точками пересечения вертикальной и горизонтальной осей вращения приемопередатчика с отражателем, которое при центрировании устанавливается на вертикалях, проходящих через точки, закрепленные на местности.

Для перехода от S' к S вводят постоянную, для каждого комплекта свою поправку K, одновременно вводят поправки за отклонение скорости света от расчетной.

Постоянная K задана в паспорте прибора и может быть периодически определена исполнителем

Поправки за изменение скорости света от изменения температуры и давления воздуха пропорциональны измеряемой длине и вычисляются по известным формулам на основании данных о состоянии атмосферы во время измерений.

Температуру воздуха достаточно знать с погрешностью ±2° С, давление 15 мм. рт. ст.

В зависимости от задачи полученное расстояние редуцируют на горизонтальную плоскость или пересчитывают в расстояние между закрепленными точками, для чего необходимы дополнительные измерения угла наклона или отметки приемопередатчика и отражателя.

Расположение блоков и ручек управления приемопередатчика показано на рис. 165.

Приемопередатчик состоит из трех основных блоков питания *1*, электронного блока *2* и электронно-оптического блока *3*.

Внутри блока питания находится аккумуляторная батарея, состоящая из двух частей с одиннадцатью и двумя элементами КНГ1 в каждой части.

Кроме аккумуляторной батареи в блоке находятся:

— преобразователь и выпрямитель, вырабатывающие напряжение 1200 В для питания ФЭУ,

— выключатель,

— два предохранителя,

— ограничительные резисторы в цепях питания, входящих в электронный блок.

На корпусе блока питания размещается вертикальная ось вращения прибора и механизм наводки в горизонтальной плоскости с зажимной *4* и наводящей *5* ручками.

Наружная втулка вертикальной оси *6* служит для установки приемопередатчика на подставку (трегер) как на комплектную, так и на подставку оптических теодолитов.

На крышке блока питания укреплен корпус электронного блока *2* и стойка с механизмом наводки в вертикальной плоскости *7* с зажимной *8* и наводящей *9* ручками.

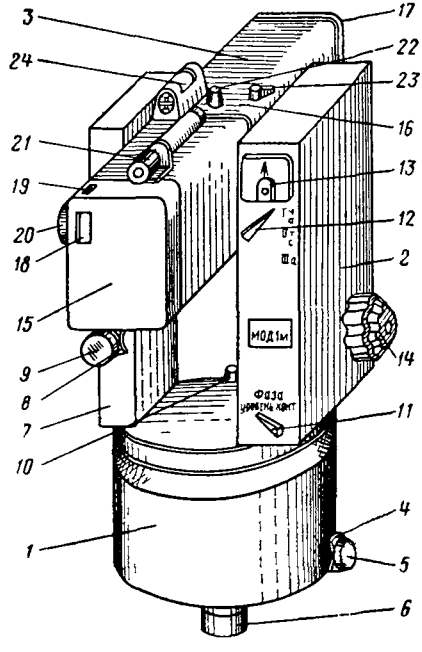


Рис 165 Приемопередатчик

Через крышку выведена ручка *10* выключателя питания.

Электронный блок *2* выполнен в виде прямоугольной коробки, закрытой плоской крышкой.

Внутри блока размещены

— кварцевый генератор на 3 частоты,

— высокочастотный фазовращатель,

— генератор низкой частоты,

— синхронный детектор,

— индикатор,

— переключатели.

На лицевую стенку корпуса электронного блока выведены:

— ручка переключателя рода работы *11*,

— ручка переключателя частоты *12*,

— шкала индикатора *13*.

Через отверстие в крышке выведена ручка фазовращателя *14* с замедляющим устройством.

В стенке блока корпуса крепится подшипник, в котором вращается цапфа электронно-оптического блока.

Через осевое отверстие в цапфе проходит жгут гибких проводов, соединяющих электронные узлы электронноoптического блока с узлами электронного блока.

Электронноoптический блок по форме представляет собой брус прямоугольного сечения, образованный лицевой крышкой *15*, обоймой *16*, соединяющей внутренний корпус через цапфы с подшипниками, крышкой *17* и двумя кожухами.

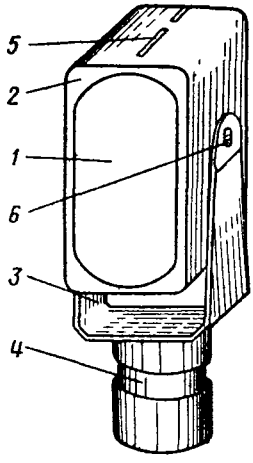


Рис. 166 Отражатель

На лицевой крышке блока имеются два окна *18* и *19*; первое для отсчитывания разности фаз при измерении горизонтальных и наклонных линий, второе — при измерении крутонаклонных и вертикальных линий.

Через отверстие в крышке выведена ручка *20*, служащая для перемещения ленты.

Сверху на крышке крепится визирная трубка *21* для предварительной наводки приемопередатчика на отражатель.

Через обойму блока выведены ручки апертурной диафрагмы *22*, служащей для регулирования уровня светового сигнала, и механизма поворота зеркала *23*.

Положение флажка ручки *23* вдоль блока соответствует приему света от отражателя.

На передней крышке блока имеются два круглых окна с защитными стеклами. На верхнем окне имеется фланец для крепления бленды со светофильтром.

Закрепленный на обойме цилиндрический уровень *24* служит для измерения угла наклона линий в пределах $\pm 1°30'$ с отсчетом тангенса угла по шкале наводящего винта *9*.

Работа светодальномера состоит из двух основных операций:

— фиксации фазы дистанции,

— измерения фазы с помощью ОЛЗ.

Эти операции выполняются последовательно на трех частотах модуляции.

Отражатель (рис. 166) состоит из обрезанной с краев трипель-призмы *1* в металлической оправе *2*, шарнирно соединенной с вилкой *3*. Вилка *3* крепится к цилиндрическому корпусу *4*, устанавливаемому в гнездо *6* подставки.

Для наведения отражателя на приемопередатчик служит визир *5* в виде треугольного выступа на оправе.

Наведение осуществляется поворотом в гнезде подставки и в шарнирном соединении оправы с вилкой.

Порядок установки и подготовки к работе

Светодальномер является сложным электронно-оптическим прибором, требует аккуратного, бережного обращения как в процессе работы, так и при хранении и транспортировании.

Для измерения расстояния между двумя точками приемопередатчик следует устанавливать на одной из этих точек, а отражатель — на другой (см. рис. 166).

Приемопередатчик и отражатель следует установить в соответствующие гнезда подставок и закрепить зажимными винтами. На приемный объектив одеть бленду с фильтром. Отражатель следует навести на приемопередатчик по визиру. Приемопередатчик наводят на отражатель, совмещая крест нитей визирной трубы со срединой верхнего среза изображения корпуса отражателя.

Подготовительные операции состоят из включения питания, проверки технического состояния и уточнения наводки на отражатель.

Включение всех цепей питания прибора производится поворотом ручки выключателя против часовой стрелки.

После включения следует проверить напряжение питания по индикатору установкой переключателя рода работ на «контр.», каждое деление отклонения стрелки от нуля соответствует напряжению 0,5В.

Минимальное допустимое напряжение 11,5В (отклонение стрелки на три деления).

Уточнение наводки следует выполнять при положении переключателя рода работ «уровень» и приеме света с дистанции.

Если после предварительной наводки при открытой диафрагме стрелка индикатора стоит на «0», то плавным движением винта вертикальной наводки в ту и другую сторону от исходного находят положение, в котором стрелка хоть немного отклоняется влево от «0».

В этом положении следует плавно вращать винт горизонтальной наводки так, чтобы отклонение увеличивалось. Если при этом стрелка выходит за пределы шкалы, то, уменьшая отверстие диафрагмы, стрелку следует вернуть ближе к «0» и вновь повторить прием до получения максимума отраженного сигнала (при продолжении вращения винта в ту же сторону стрелка отклоняется сначала влево, а затем вправо). Так же следует уточнить наводку и в вертикальной плоскости.

Порядок измерения

Для измерения расстояния последовательно на трех частотах модуляции следует выполнить одни и те же операции, указанные в табл. 28.

Таблица 28

Операции	Положение переключателя работ	Откуда поступает световой сигнал	Показание индикатора
1	2	3	4
1. Установка рабочего уровня сигнала ручкой диафрагмы (*22*)	Уровень	С дистанции	9
2 Фиксация разности фаз ручкой фазовращателя (*14*)	Фаза	С дистанции	$О_с$
3. Установка рабочего уровня сигнала ручкой (*22*)	Уровень	С ОЛЗ	9
4. Измерение разности фаз ручкой ОЛЗ (*20*), отсчет t'	Фаза	»	$О_с$
5. Контроль наводки, установка рабочего уровня сигнала	Уровень	С дистанции	9
6. Фиксация разности фаз	Фаза	С дистанции	$О_н$
7 Установка рабочего уровня	Уровень	С ОЛЗ	9
8 Измерение разности фаз, отсчет t	Фаза		$О_н$

Примечание Цифрами в скобках обозначены номера позиций на рис 165

Порядок вычислений

Вычисление расстояний производят в два этапа.

Первый этап включает вычисление расстояний с определением долей метра только по измерениям на третьей частоте.

Первый этап вычислений должен быть выполнен непосредственно после измерения, пока светодальномер не снят с точки.

Второй этап вычислений, включающий определение долей метра по результатам измерений на первой и второй частоте и среднего значения расстояния, можно выполнять как на точке, так и при камеральной обработке журнала. Все вычисления следует выполнять с учетом десятых долей мм, а результат рекомендуется округлять до целых мм.

Первый этап вычислений следует выполнять в полевом журнале (табл. 29) в следующем порядке:

а) найдите среднее значение измеренных величин L_1', L_2' и L_3' (в примере соответственно 280; 638,3; 368, 3);

б) найдите разность $L_1' - L_3'$, если $L_1' < L_3'$, то следует прибавить 998, для простоты вычислений и без заметного ущерба надежности разрешение многозначности можно прибавлять 1000—(280 — 368,3 + 1000 = 911,7);

Таблица 29

Образец полевого журнала

Дата_____ Место работы_____

Точка стояния_____ Точка визир._____

Высота прибора_____ Высота отражателя_____

Наблюдатель_____ Вычислитель_____

280 280		625 628		369 368 368 362	
1. L_1	280	3,42	626,5	2. L_3	368,3
4. L_3'	368,3	9. ΔK_2	+11,8	7. ΔK_3	+4,1
5. $L_1 - L_3$	911,7	10. L_2	638,3	8. L_3	372,4
				11. L_2	638,3
6. $\frac{1}{2}(L_1 - L_3)$	456				
				12. $L_3 - L_2$	734,1
16. S	440			13. 0,02	14,68
				14. 0,001	L_2+0,64
				15. S_2'	15,32

17. $S' = S_1 - S_2' + L_3$	455,3724
18. K	+0,6052
19. $\Delta t = 10^{-6}(t_в - 20)$	—0,0018
20. $\Delta p = \Delta 10^{-7} S (760 - p)$	+0,0018
21. S	455,9776

в) разделите полученную разность на 2 (911,7 : 2 = 456), полученное частное является грубым значением измеряемого расстояния в метрах (при измерении расстояний более 500 м в частном получается значение расстояния сверх 500 м);

г) вычислите по паспортным данным, температуре воздуха и грубому значению расстояния поправки ΔK_2 и ΔK_3 к измеренным разностям фаз за отклонение фактических частот модуляции от расчетной (в паспорте приведены значения поправок в мм на 100 мм расстояния, для температуры воздуха +20° они составляют + 2,6; +0,9 соответственно на 460 м поправка будет ΔK_2 = = +11,8 мм; ΔK_3 = +4,1 мм);

д) найдите исправленные значения L_3 и L_2 (372,4; 638,3);

е) найдите разность $L_3 - L_2$, если $L_3 < L_2$ — прибавьте 1000 (372,4 — 638,3 + 1000 = 734,1);

ж) умножьте полученную разность на 2 и перенесите запятую влево на 2 разряда (734,1 × 2 = 1468,2; 1468,2 : 100 = 14,68);

з) прибавьте к полученному результату одну тысячную величины L_2 (14,68 + 0,64 = 15,32), полученная сумма S_2' = 15,32

является приближенным значением расстояния сверх расстояния, кратного 20 м, в нем содержится точное значение целых метров сверх числа метров, кратного 20, и приближенное значение долей метров;

и) сравните полученное значение S_2' с грубым значением расстояния (строка 6) и с L_3 (строка 8): число целых метров S_2' не должно отличаться от значения целых метров сверх кратного двадцати в грубом значении расстояния более чем на 6 м (в примере 15 и 456 — 440 = 16); дробная часть S_2' не должна отличаться от L_3 более чем на 0,3 м (в примере 0,32 и 0,37).

При несоблюдении указанных допусков измерения следует повторить;

к) вычислите полное значение расстояния S сложением округленного до целых двадцаток метров расстояние S_1 с целым числом метров из S_2' и с L_3;

л) вычислите по измеренным значениям температуры и давления воздуха, пользуясь формулами, указанными в журнале, поправки за отклонение скорости света от расчетной и вместе с постоянной поправкой K введите в значение S' (эти действия можно выполнять и в конце второго этапа вычислений).

Второй этап вычислений следует выполнять в формуляре для вычислений или в полевом журнале без формуляра (см. табл. 29) в следующем порядке:

а) найдите исправленное значение разности фаз на первой частоте

$$L_1 = 280 + 1{,}4 = 281{,}4;$$

б) определите число целых циклов N_1, принимая его равным целому числу метров в S', если $L_1 > L_3$, и на один цикл больше, если $L_1 < L_3$ (в примере $N = 456$); при расстоянии более 500 м принимайте в расчет только число метров сверх 500;

в) вычислите длину целого цикла $\left(\frac{1}{2}\lambda_1 N_1 = 0{,}998004\right)$ путем вычитания из N_1 двух тысячных N_1 и прибавления четырех миллионных N_1, как указано ниже:

—456,000		456, . . . 18
000,912		— , 912
+000,0018	или	
455,0898		455,0898

г) вычислите полное значение расстояния, прибавив к полученному значению L (455,0898 + 0,281 = 455,3712);

д) определите число целых циклов N_2, принимая его равным числу целых метров в S_2', если $L_2 < L_3$; на 1 цикл меньше, если $L_2 > L_3$ (в примере $L_2 > L_3$, $N_2 = 14$);

е) найдите длину целых циклов в табл. 30 (14,7367);

Таблица 30

Число циклов	Длина, м	Число циклов	Длина, м	Число циклов	Длина, м	Число циклов	Длина, м
1	1,0526	10	10,5263	6	6,3158	15	15,7895
2	2,1053	11	11,5789	7	7,3684	16	16,8421
3	3,1579	12	12,6315	8	8,4210	17	17,8948
4	4,2105	13	13,6841	9	9,4737	18	18,9474
5	5,2632	14	14,7367				

ж) вычислите значение расстояния сверх кратного двадцати метрам сложением найденного в таблице значения с L_2 (14,7367 + + 0,6383 = 15,3750);

з) вычислите среднее из трех значений расстояние $S'_{ср}$ (455,3712; ..., 3750; ..., 3724; $S_{ср}$ = 455,3729);

и) вычислите и введите поправки, если они не были введены в первом этапе вычислений, или соответственно исправьте значение S на значение $S_{ср}$ (данных целых циклов на второй частоте).

Угловые измерения и их точность

При измерении углов в ходах подземной полигонометрии руководствуются указаниями табл. 31.

При работе способом повторений в первом полуприеме измеряют угол левый по ходу, во втором — по ходу правый.

Таблица 31

Виды полигонометрии	Тип теодолита	Количество повторений	Количество приемов	Количество круговых приемов	Расхождения отсчетов на нач. направл. при замыкании	Колебания направл., привед. к нулю
Рабочая	30-секундный	—	—	3	1′	1′
	Т2 (ОТС, ТБ-1) и ему равноточные	—	—	2	10″	15″
Основная со сторонами 50 м	30-секундный	4	2	—	—	—
	Т2 (ОТС, ТБ-1) и ему равноточные	—	—	3—4	8″	10″
Основная со сторонами 100 м	Т2 (ОТС, ТБ-1) и ему равноточные	—	—	4—6	8″	10″
Главные ходы со сторонами 150—400 м	Т2 (ОТС, ТБ-1) и ему равноточные	—	—	6—9	8″	10″
Главные ходы со сторонами более 400 м	Т1 (ОТ-02) и ему равноточные	—	—	6—9	5″	7″

Примечание. Допуски для колебания направлений, приведенных к нулю, относятся к измерениям, произведенным при одном положении центрира.

Отклонение суммы углов от 360° не должно превышать $\pm 12''$.

Инструмент при угловых измерениях устанавливается на консоли или штативе. Центрирование производится с помощью отвеса на центрировочный штифт трубы теодолита или с помощью оптического центрира.

Центрирование производится при горизонтальном положении трубы теодолита. По окончании первой половины программы измерений на станции производится проверка правильности центрирования инструмента и визирных целей.

Оптический центрир перед работой должен быть тщательно выверен.

Расхождения между значениями направлений, измеренными при разных центрировках, не должны превышать:

$12''$ — при длинах сторон свыше 50 м;

$20''$ — при длинах сторон от 25 до 50 м;

$30''$ — при длинах сторон от 15 до 25 м.

Визирование производится на нити отвесов, отцентрированные над знаками.

Выноска центра должна производиться при помощи выверенного отвеса с отверстием, диаметр которого соответствует толщине нити. Нить не должна иметь узлов или надвязок.

Выносимая с помощью отвеса точка должны обеспечивать постояиное (однообразное) положение на ней нити отвеса; длина последней не должна превышать 1,5 м.

Во всех случаях, когда это возможно, следует визировать на тонкую шпильку, установленную непосредственно в центре полигонометрического знака.

§ 111. Внецентренный способ измерения углов

В тоннелях при утрате видимости между заложенными полигонометрическими знаками, а в определенных случаях для повышения точности угловых измерений применяется внецентренный способ измерения углов. Сущность этого способа заключается в следующем: пусть требуется измерить угол ABC (рис. 167, *а*) в тот момент, когда между точками A и B нет видимости. Для определения угла β теодолит устанавливают в точке J, с которой видны все три знака A, B и C. Далее измеряют:

1) угол AJC числом приемов, принятым для данного разряда полигонометрии;

2) линейный элемент центрировки $JB = l$ с погрешностью не более ± 1 мм;

3) угловой элемент центрировки ν_1 двумя приемами с визированием, если это возможно, непосредственно на центр знака B,

4) длины сторон BC и AJ с точностью, принятой для измерения линий подземной полигонометрии.

Необходимую для вычисления координат линию AB определяют косвенным путем по формуле

$$AB^2 = AJ^2 + l^2 - 2AJl\cos\nu_1.$$

Из четырехугольника $ABCJ$ можно написать

$$\beta = 360° - \nu_3 - \nu_1 - \delta_1 - \omega_1,$$

$$\beta = 360° - J - \delta_1 - \omega_1.$$

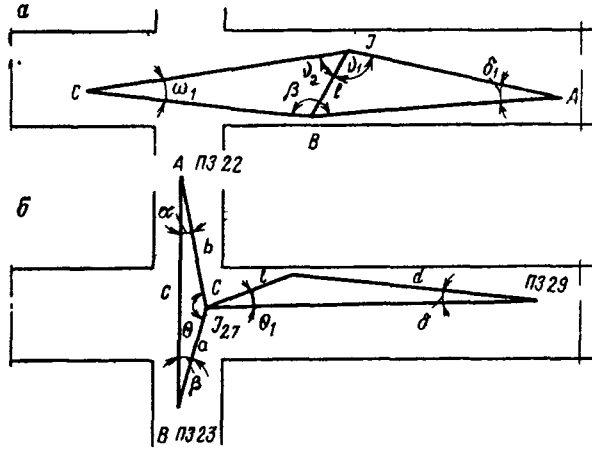


Рис 167. Внецентренное измерение углов в тоннеле и на кресте горных выработок

Величины углов δ_1 и ω_1 определяют по формуле синусов из треугольников ABJ и BJC:

$$\sin\delta_1 = \frac{l}{AB}\cdot\sin\nu_1;\quad \sin\omega_1 = \frac{l}{BC}\cdot\sin\nu_2.$$

Если углы ν_1 и ν_2 близки соответственно к 0 и 180°, то погрешность измерения линейного элемента центрировки окажет малое влияние на погрешность определения угла β. В этом случае погрешность угла β будет зависеть главным образом от инструментальных погрешностей и погрешности измерения угла ν, а средняя квадратическая погрешность этого угла β определится по формуле

$$m_\beta^2 = m_J^2 + \frac{2l^2}{d^2}\cdot m_\nu^2,$$

где d — длина стороны подземной полигонометрии.

Второй член формулы представляет влияние погрешности за внецентренное измерение угла; обозначив ее через m'_β, получим

$$m_\beta'^2 = \frac{2l^2}{d^2}\cdot m_\nu^2.$$

При визировании на центр знака B можно считать $m_\nu = \pm 10''$. Положим $l = 5$ м, $d = 25$ м, тогда

$$m'_\beta = \frac{2 \cdot 5^2 \cdot 10^2}{25^2} = \frac{200}{25} = 8'';$$

$$m'_\beta = \pm\sqrt{8} = 2{,}7''.$$

Сравним эту величину с влиянием погрешности центрирования инструмента при обычном способе измерения углов. Влияние этой погрешности выражается формулой

$$m''_J = \frac{m_l \cdot \beta''}{\sqrt{2}ав} \cdot c.$$

В нашем случае $\angle AJC = 180°$ и при $a = b$, $c = 2a$ формула примет вид

$$m''_J = \frac{m_l \cdot \rho''\sqrt{2}}{a}.$$

При $m''_l = 0{,}001$ м и $a = 25$ м будем иметь $m_J = 12''$, т. е. погрешность, в четыре раза бóльшую аналогичной погрешности при внецентренном определении угла. Из сказанного следует, что при коротких сторонах в вытянутом ходе, когда теодолит устанавливается примерно в створе сторон измеряемого угла, внецентренный способ измерения углов значительно повышает точность измерения углов в подземной полигонометрии.

Следует учитывать, что приведенные расчеты, где величина m_ν принята равной $\pm 10''$, произведены для случая визирования непосредственно на центр знака B. Если такой возможности нет, то величина m_ν достигает 30—40″ и соответственно m'_β будет порядка $\pm 10''$, т. е. близка к величине влияния погрешности центрирования при обычном способе измерения.

Внецентренный способ измерения углов широко применяется в производстве для косвенной передачи дирекционных углов. Так, например, на крестах горных выработок полигонометрические знаки часто уничтожают при производстве ремонтных работ или закрывают поворотными плитами и кругами. Внецентренный способ передачи дирекционных углов не требует закладки постоянных знаков полигонометрии на крестах. Он дает возможность установить инструмент на потерянной — временной точке, удобно выбираемой для угловых измерений.

В качестве примера рассмотрим применение внецентренного способа измерения углов для косвенной передачи дирекционного угла. Положим, что в результате ориентирования шахты получен дирекционный угол линии *ПЗ 22—ПЗ 23* (рис. 167, *б*). Требуется передать дирекционный угол на линию *ПЗ 27—ПЗ 29*. Для этого теодолит устанавливают на потерянной точке J_{27} и производят угловые наблюдения на *ПЗ 22*, *ПЗ 23*, *ПЗ 27*, *ПЗ 29*. Измеряют линии a, b, c и d и линейный элемент центрировки l. По углу ν,

измеренному при точке J_{27}, и сторонам a и b вычисляют длину стороны c по формуле

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\nu$$

и сравнивает ее длину с ранее измеренным значением стороны *ПЗ 22—ПЗ 23*. Далее вычисляются углы α, β и δ по формулам

$$\sin\alpha = \frac{a}{c}\cdot\sin\nu;\ \sin\beta = \frac{b}{c}\cdot\sin\nu;\ \sin\delta = \frac{l}{d}\cdot\sin\nu_1;$$

при этом сумма углов α, β и ν должна равняться 180°, что служит контролем правильности вычисления. При помощи вычисленных

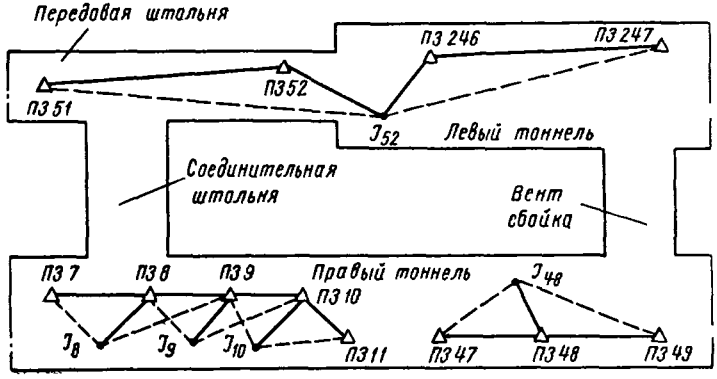


Рис. 168. Внецентренное измерение углов (в различных случаях)

углов α, β и δ измеренных направлений при точке J_{27} передают дирекционный угол с линии *ПЗ 22—ПЗ 23* на линию *ПЗ 27—ПЗ 29*.

Внецентренный способ может быть применен для повышения точности угловых измерений в целом ряде случаев и по различным схемам. Приведем в качестве примера некоторые из них:

1) при коротких сторонах хода, закрепленного знаками в сводовой части тоннеля или в кровле выработки; в этом случае визирование производится на нити отвесов (на рис. 168 знаки J_8, J_9, J_{10});

2) при коротких сторонах хода, когда имеется возможность визировать на шпильки, установленные в центрах знаков (на рис. 168 знаки J_8, J_9);

3) при смещении инструмента в сторону от стены тоннеля, чем ослабляется действие боковой рефракции (на рис. 168 знак J_{48});

4) при связке полигонометрических ходов в тоннеле и штольне (на рис. 168 знак J_{52}).

Во всех приведенных случаях точность передачи дирекционных углов получается большей, чем при обычном способе, при условии тщательного измерения линейного элемента центрирования и относительной близости углов ν к 0° или 180°, в частности,

за счет полного исключения влияния погрешности центрирования теодолита.

Для обеспечения требуемой точности измерения углов внецентренным способом необходимо руководствоваться следующим:

1. При длинах линий, бо́льших 200 м, можно смещать инструмент с центра знака в любом направлении.

2. При вытянутом ходе и длинах линий от 150 до 200 м следует смещать инструмент под углом нее более 45° к направлению хода.

3. При измерении углов, близких к 90°, следует смещать инструмент примерно по створу короткой стороны.

4. На узловых точках инструмент следует смещать примерно по створу самой короткой стороны.

5. Смещение инструмента от центра полигонометрического знака не должно превышать 10 м.

6. Линейный элемент центрировки нужно измерять стальной компарированной рулеткой со средней погрешностью не более ±1 мм.

7. Угловой элемент центрировки должен быть измерен двумя полными круговыми приемами.

В полевом журнале тщательно зарисовывают расположение инструмента по отношению к центру полигонометрического знака и к измеряемым направлениям.

§ 112. Вычисление и уравнивание подземной полигонометрии после сбойки

Журналы угловых и линейных измерений проверяются в две руки.

Все результаты измерений выписываются на схему (рис. 169), выписка проверяется другим маркшейдером.

В целях удобства пользования схемой рекомендуется применять для всех тоннелей и пикетов красный цвет, номеров полигонометрических знаков — синий цвет, значений углов, линий и даты измерений — черный. Невязки выписываются карандашом.

Вычисление углов поворота и дирекционных углов в рабочей и основной полигонометрии ведется с удержанием целых секунд. В главных ходах при измерениях углов теодолитами Т2 средние результаты округляют до 0,5, а при измерении теодолитами типа Т1 удерживают десятые доли секунды.

В длинах линий, приращениях и координатах удерживаются целые миллиметры.

Если подземная полигонометрия строится треугольниками, то вычисление вновь определяемого знака производится ходом между ранее определенными (исходны́ми) знаками через короткую и длинную стороны треугольника.

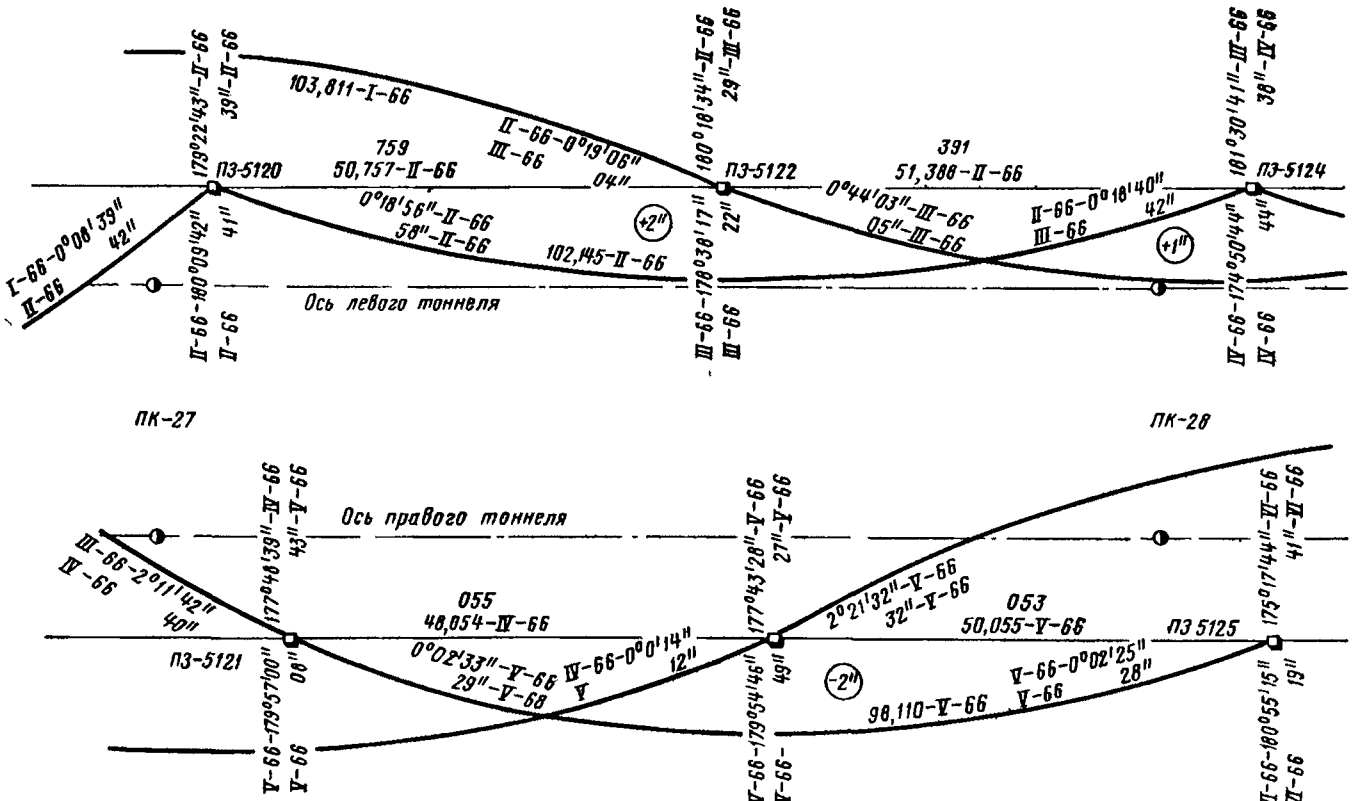


Рис. 169. Схема подземной полигонометрии. Результаты измерений. Прямые линии между 100-м знаками на схеме для наглядности показаны кривыми

При построении подземной полигонометрии в виде цепочки треугольников передача осуществляется через различные 100-метровые линии двумя ходами. При наличии главного хода основная передача дирекционного угла и координат в забой производится через него.

При соединении через поперечные выработки ходов, проложенных в двух смежных тоннелях, угловая невязка в полигоне не должна превышать:

$\pm 6'' \sqrt{n'}$ — при однократно измеренных углах;

$\pm 4'' \sqrt{n'}$ — при двукратном измерении;

здесь n' — число углов в полигоне.

Относительная линейная погрешность в этих полигонах не должна превышать 1 : 25 000. При периметре полигона менее 250 м абсолютная погрешность не должна превышать 10 мм.

Вычисления подземной полигонометрии ведутся в две руки, в специальных книгах для каждого строительного управления.

Новые результаты, связанные с повторными измерениями или с изменениями в исходных дирекционных углах и в координатах, тщательно сверяются с ранее произведенными вычислениями.

Использованию вновь полученных значений должен предшествовать глубокий анализ всех имеющихся вычислительных материалов.

При уравнивании подземной полигонометрии в тоннелях необходимо учитывать положение фактических осей на пройденных участках.

При проходке тоннелей встречными забоями на месте обойки тоннелей выбирается узловой знак. Координаты узлового знака принимают равными промежуточным значениям координат, при которых отклонения тоннеля не превосходят допустимых.

В качестве дирекционного угла узловой линии принимают его среднее значение, полученное по данным ориентирования, выполненного по каждой из двух шахт, а также из ориентирования, выполненного по методу двух шахт.

Дальнейшее уравнивание ходов полигонометрии, проложенных между пристольными знаками и узловым, можно выполнить упрощенным способом.

В тоннелях, предназначенных для укладки железнодорожных путей, относительная невязка каждого из ходов полигонометрии не должна превышать 1 : 10 000.

Все маркшейдерские работы по определению путейских реперов в метрополитенах и железнодорожных тоннелях выполняются только от окончательно уравненных координат знаков подземной полигонометрии.

§ 113. Уравнивание полигонометрии для путейских работ

Завершающим этапом основных работ является окончательное уравнивание подземной полигонометрии в готовых тоннелях. Для этой цели используется цепочка знаков основной полигонометрии со сторонами 50 м и вновь производится измерение углов. Повторные измерения углов особенно необходимы в тоннелях, подверженных деформации. При отсутствии деформации углы обязательно повторять в тех местах, где последние измерения были произведены до начала контрольного нагнетания тоннеля.

При сравнении полученных результатов с предыдущими наблюдениями выявляются деформация знаков и грубые измерения.

Грубые измерения дублируются. После чего составляется схема для уравнивания, куда вносятся вновь измеренные углы, а линии выписываются ранее измеренные.

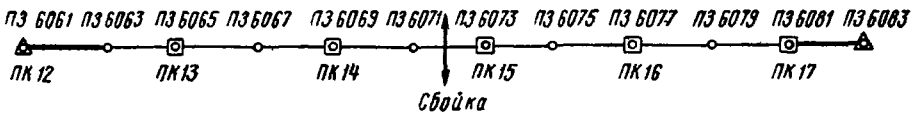
Уравнивание полигонометрии производится в соответствии с данными сбойки, съемки колец и невязки полигонометрического хода. Обычно на практике, даже при хорошей укладке, какой-то небольшой процент колец выходит за пределы предусмотренных допусков. В большинстве случаев дорогостоящей перекладки колец удается избежать за счет уравнивания полигонометрии.

Уравнивание полигонометрии нужно выполнять с условием наименьшего изменения координат, на основе которых производилась проходка тоннеля, и смягчения отклонения тоннеля от оси в местах плохой укладки колец и сбойки. На некоторых участках, при необходимости, даются обратные поправки, ухудшающие невязку хода. Распределение поправок производится с таким расчетом, чтобы поправка в угол не превышала 4″, что составляет 1 мм отклонения оси тоннеля на 50 м, а поправки в приращении координат не смещали бы ось тоннеля больше чем 5 мм на 50 м, с учетом отклонения в счет поправки в угол. В криволинейных тоннелях неблагоприятные невязки целесообразно разбрасывать таким образом, чтобы они входили в пикетаж, по возможности не смещая оси тоннеля.

Так, например, сбойка произошла на *ПК 1470* между знаками *6071* и *6073*. Результаты сбойки $\Delta\alpha = -18''$, $U = 20$ мм, $t = -15$ мм. Тоннели на пикетах *13* и *14* имеют максимальные отклонения от рабочей оси, а полученные невязки сбойки, при пропорциональном разбрасывании их на весь ход, еще больше ухудшат положение тоннеля на указанных пикетах. В этом случае как угловую, так и поперечную невязку нужно разбросать на пикетах *15—17* таким образом, чтобы суммарная поправка (угловая и поперечная) не отклоняла ось тоннеля больше 5 мм на 50 м хода. Продольная невязка в прямом тоннеле не влияет на отклонение тоннеля от оси и разбрасывается пропорционально на весь ход (табл. 32).

Таблица 32

№ знаков	Углы измеренные β °	′	″	Дирекционные углы α °	′	″	sin α cos α	Меры линий	Приращения координат и их поправки +	Δy	±	Δx	Координаты y	x



6061				10	15	40	0,178134	49,727	+	8,858	+	48,932^{+2}	1485,264	484,371
6063	179	29	18	9	44	58	0,984006 0,169340	50,182	+	8,498	+	49457^{+1}	1494,122	533,304
6065	175	47	26	5	32	24	0,985558 0,096540	49,470	+	4,776	+	49,239^{+1}	1502,620	582,762
6067	178	41	56	4	14	20	0,995329 0,073915	51,606	+	3,814	+	51,465^{+2}	1507,396	632,002
6069	180	40	12				0,997265						1511,210	683,469
6071	182	05	19	4	52	32	0,085572	51,782	+	4,431	+	51,592^{+3}	1515,641	735,063
6073	184	23	21^{+3}	6	59	51	0,996332 0,121826	49,694	+	6,054	+	49,324^{+2}	1521,695	784,388
6075	179	56	56^{+4}	11	23	15	0,992551 0,197444	50,115	+	9,895^{+4}	+	49,128^{+1}	1531,594	833,517
6077	179	46	34^{+3}	11	20	15	0,980314 0,196588	49,074	+	9,647^{+4}	+	48,116^{+2}	1541,245	881,634
6079	178	10	54^{+4}	11	06	52	0,980486 0,192770	50,084	+	9,655^{+4}	+	49,145^{+2}	1550,904	930,781
6081	180	14	59^{+4}	9	17	50	0,981244 0,161556	50,436	+	8,148^{+4}	+	49,773^{+2}	1559,056	980,556
6083				9	32	53	0,986864 0,165874	49,706	+	8,245^{+4}	+	49,017^{+1}	1567,305	1029,574
Σβ =	1799	16	55				0,986147	Σ = 551,876	+	82,021	+	545,188		
	$f_\beta = -18$								$f_y = -20$ мм		$f_x = -15$ мм			

§ 114. Разбивка продольной оси тоннеля в подземных выработках

Разбивка в натуре продольных осей выработок или сооружений при помощи теодолита и рулетки на прямых участках трассы производится одним из следующих способов.

1. Допустим, что в тоннеле (рис. 170) заложены и определены полигонометрические знаки *1234*, *1236*, *1238* и т. д. В этом случае ось тоннеля может быть установлена путем откладывания от полигонометрических центров расстояний δ_1, δ_2, ..., δ_n до оси,

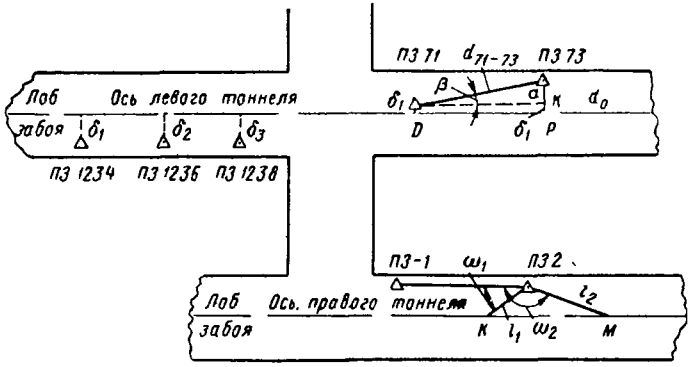


Рис. 170. Разбивка продольной оси тоннеля на прямых участках трассы

по нормали к ней. Определенные от трех полигонометрических знаков и более и закрепленные в натуре осевые точки должны расположиться в створе, что является контролем правильности вычислений и разбивки. Полученный створ осевых точек при помощи теодолита продолжается до забоя.

2. Предположим, что в горной выработке имеются полигонометрические знаки *71* и *73* (см. рис. 170). Вычисляют угол β как разность дирекционных углов проектного направления оси и стороны полигонометрии *71—73*

$$\beta = \alpha_0 - \alpha_{71-73}.$$

Установив теодолит над *ПЗ 71*, ориентируют визирную ось трубы на *ПЗ 73* и откладывают угол β. Направление *71—К* будет линией, параллельной оси горной выработки, смещенной на величину δ_1. Откладывая по нормали в разных точках этой линии расстояние δ_1, получают соответственно ряд точек, лежащих на проектной оси горной выработки. Контролем правильности задания оси может служить сравнение измеренного в натуре отрезка *73—К* $= a$ с его значением, вычисленным по формуле

$$a = d \cdot \sin(\alpha_0 - \alpha_{71-73}) = d \cdot \sin\beta,$$

и наличие не менее трех точек на разбиваемой прямой.

3. Разбивка точек оси сооружения может быть произведена и таким способом. Установив теодолит над *ПЗ 71* (см. рис. 170), визируют на точку *К*, полученную в натуре как разность расстояний $\delta_2 - \delta_1$, где $\delta_1 = D - 71$; $\delta_2 = P - 73$ — вычисленные смещения *ПЗ 71* и *ПЗ 73* от проектной оси сооружения. Для получения точек, лежащих на проектной оси, откладывают от направления *71—К* (смещенная ось, параллельная проектной оси) расстояния δ_1 по нормали к оси сооружения. В тех случаях, когда закрепление и пользование осью в своде затруднено, разрешается разбивка и использование смещенной оси.

4. Положим, что в тоннеле имеются полигонометрические знаки *1* и *2*. Требуется определить и закрепить на оси тоннеля точки *К* и *М*, проектные координаты которых известны. Зная координаты *ПЗ 2* и проектные координаты *К* и *М*, решают обратные геодезические задачи и находят расстояния *ПЗ 2—К* и *ПЗ 2—М*, а также их дирекционные углы. По разностям дирекционных углов линий *ПЗ 2—ПЗ 1* и *ПЗ 2—К*, а также *ПЗ 2—ПЗ 1* и *ПЗ 2—М* определяют соответственно углы ω_1 и ω_2. В натуре точки *К* и *М* намечают следующим образом. Устанавливают теодолит над *ПЗ 2*, направляют трубу его на *ПЗ 1*, откладывают угол ω_1 и, отмерив стальной рулеткой по полученному направлению *ПЗ 2—К* вычисленную из обратной задачи длину $l_1 = ПЗ\ 2—К$, получают осевую точку *К*. Поступая аналогично, определяют точку *М*.

Для контроля правильности разбивки точек *К* и *М* необходимо измерить одним полным приемом углы ω_1 и ω_2. Измеренные углы сравнивают с вычисленными, при этом расхождения между ними не должны превышать двойной точности инструмента. Затем измеряют расстояния *КМ*, $l_1 = К—ПЗ\ 2$ и $l_2 = М—ПЗ\ 2$. Они не должны отличаться от вычисленных более чем на 5 мм.

При разбивке оси тоннеля на переходной кривой от линии тангенса (рис. 171), закрепленной в натуре осевыми маркшейдерскими гвоздями, откладывают от точки *НПК* вдоль линии тангенса расстояния $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_к$ и восставляют в полученных точках перпендикуляры $y_1, y_2, y_3, \ldots, y_к$. Расстояния *x* выбирают в зависимости от требуемой точности разбивки переходной кривой и ее параметра *С*. Длины перпендикуляров $y_к$ вычисляют по формуле

$$y_k = y'_k + g'_k,$$

где

$$y'_k = \frac{x_k^3}{6C}; \quad g'_k = g\frac{x_k}{L}.$$

У конца переходной кривой может оказаться невозможным продолжать линию тангенса в тоннеле; тогда переходят на смещенную линию тангенса и от нее откладывают величину $y_к—a$ (см. рис. 171).

На переходной кривой ось тоннеля разбивают также от хорды, стягивающей точки *НПК* и *КПК* (см. рис. 171).

Для этого при помощи теодолита, установленного в точке *НПК*, откладывают от линии тангенса угол β, который определяется как разность дирекционных углов линии тангенса и стягивающей хорды. Полученное направление стягивающей хорды закрепляют осевыми маркшейдерскими гвоздями. Далее от точки *НПК* по направлению хорды *НПК—КПК* откладывают определенные расстояния *S* и в конце каждого из них восставляют перпендикуляры *h*. Расстояния *S* выбирают с теми же требованиями, что

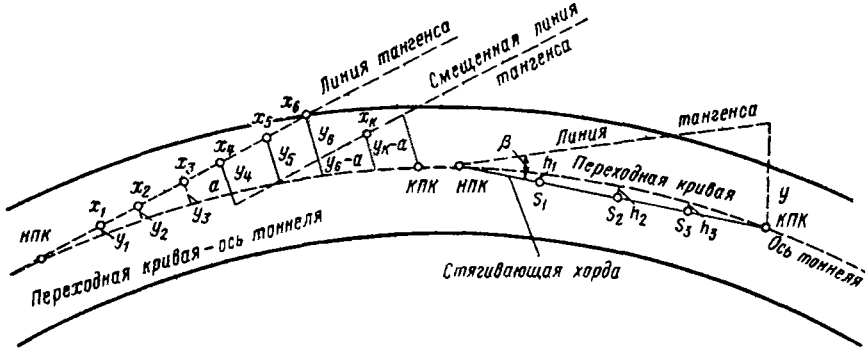


Рис. 171. Разбивка оси тоннеля на переходной кривой от линии тангенса и стягивающей хорды

и при разбивке оси тоннеля от линии тангенса. Длина перпендикуляра $h_к$ от стягивающей хорды до текущей точки переходной кривой определяется формулой

$$h_к = S_к \cdot \operatorname{tg}\beta - y_к.$$

Разбивка оси тоннеля на круговой кривой может быть осуществлена различными способами: например, с помощью хорд, секущих, полярным методом и др.

Направление рассчитанной заранее хорды задают инструментально следующим образом (рис. 172). Решив обратную геодезическую задачу по координатам *ПЗ 76* и *КПК*, вычисляют разбивочные элементы S_1 и γ_1. По этим данным полярным способом разбивают в тоннеле точку *КПК* и, установив над ней теодолит и отложив угол γ_2, получают направление первой хорды *КПК—В*. По этому направлению от *КПК* отмеряют предварительно вычисленное расстояние, равное длине первой хорды, и закрепляют точку *В*. Для задания направления следующей хорды центрируют теодолит над точкой *В* и, откладывая угол 180°—ω_1 от направления на первую хорду получают направление хорды *ВС*, на котором, отложив от точки *В* при помощи стальной рулетки предварительно вычисленную ее длину, закрепляют конец хорды в точке *С* и т. д.

Для контроля выполненной в натуре разбивки теодолитом при *КП* и *КЛ* измеряют углы 180°—ω в точках пересечения хорд.

Разбивка повторяется другим лицом и желательно другим методом. От каждого вновь заложенного полигонометрического знака по разбивочным элементам S_D и γ_D уточняют полярным способом положение ближайшей закрепленной точки пересечения хорд.

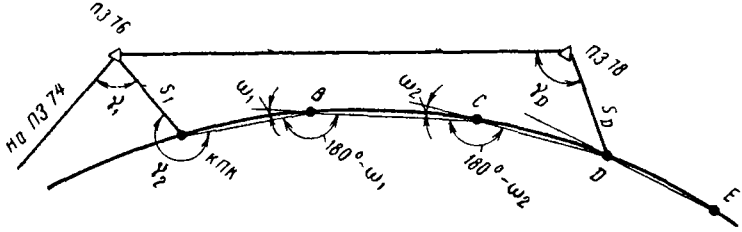


Рис. 172. Инструментальное задание направления хорды на круговой кривой и определение точек оси тоннеля *B*, *C*, *D* и т. д.

§ 115. Высотная основа в подземных выработках

Исходными данными для подземного нивелирования служат отметки репера, которые получены в результате передачи на него высоты с дневной поверхности. В подземных выработках и тоннелях в качестве реперов, как правило, используют заложенные полигонометрические знаки. Ввиду этого схема подземного нивелирования весьма близка к схеме подземной полигонометрии. При сооружении тоннелей глухими забоями или с передовыми штольнями прокладывают висячие нивелирные ходы до забоев. Для повышения точности нивелирования и во избежание просчетов и промахов ходы прокладывают в прямом и обратном направлениях, при этом выдерживают равенство расстояний от нивелира до реек.

Подземное нивелирование производят техническими нивелирами с ценой деления уровня 20—25″ по двусторонним шашечным рейкам длиной от 0,6 до 3 м с сантиметровыми делениями. Рейки устанавливают вертикально при помощи отвесов или круглых уровней. Нули черных сторон реек должны совпадать с их пятками. Учитывая, что в горных выработках наблюдается капеж, рейки следует покрывать бесцветным лаком, который предохраняет их рабочие части от стирания и деформации. Рейки, применяемые в подземном нивелировании, поверяют стальной компарированной рулеткой, при этом случайные погрешности дециметровых штрихов не должны превышать ±1 мм. Учитывая недостаточную освещенность в горных выработках, рабочую часть реек подсвечивают во время отсчета карманным электрическим фонариком или переносной электролампой.

При подземном нивелировании расстояния от нивелира до реек должны быть равными, а длина визирного луча не должна превышать 35 м.

Превышение на станции определяют разностью отсчетов по двум сторонам реек, а при наличии односторонних реек — при двух горизонтах нивелира. Нивелирование на станциях выполняют в такой последовательности. Устанавливают инструмент по уровню и при положении пузырька уровня на середине производят отсчет по средней нити черной стороны задней рейки. Наводят трубу на переднюю рейку, устанавливают пузырек уровня на середину и производят отсчет по средней нити черной стороны передней рейки. Затем проверяют положение пузырька уровня и делают отсчет по средней нити красной стороны передней рейки. Далее наводят трубу на заднюю рейку, устанавливают пузырек уровня на середину и производят отсчет по средней нити красной стороны задней рейки.

Расхождения в превышениях, определенных на станции по черным и красным сторонам реек или при двух горизонтах инструмента, не должны превышать 3 мм.

Отметку репера, заложенного выше горизонта инструмента в кровле выработки или в своде тоннеля, определяют по формуле

$$H_к = H_A + З + П,$$

где $H_к$ — отметка репера, заложенного в кровле-своде; H_A — отметка репера, заложенного в лотке; З — задний отсчет по рейке, установленной на лотковом репере; П — передний отсчет по рейке, установленной нулевым концом к реперу в кровле—своде.

Если рейку ставят нулем вверх, то ее положение отмечают в нивелирном журнале.

При нивелировании высокорасположенных точек, например осевых точек свода станционного тоннеля, вместо рейки применяют металлическую рулетку, нуль которой совмещается с нивелируемой точкой. Такое совмещение может быть осуществлено непосредственно при наличии лесов, полков и пр. или с помощью шеста, к концу которого прикреплена рулетка так, что нуль ее совмещен с торцом шеста. Отсчитывают по рулетке, наводя на нее горизонтальную нить трубы нивелира.

Формулы определения превышения в зависимости от расположения нулей реек приведены в табл. 33.

Определению отметки вновь заложенного знака предшествует контрольное измерение превышения между двумя предыдущими знаками. Если контрольное превышение оказывается равным ранее определенному, то отметка последнего заложенного знака вычисляется прибавлением вновь полученного превышения к отметке предыдущего знака.

Как указывалось выше, в подземных выработках и сооружаемых тоннелях весьма часто наблюдается оседание или выпучива-

Таблица 33

Формулы	Расположение нулей реек	
	задней рейки	передней рейки
$h = З - П$	Нуль внизу	Нуль внизу
$h = З + П$	Нуль внизу	Нуль вверху
$h = (З + П)$	Нуль вверху	Нуль внизу
$h = (З - П)$	Нуль вверху	Нуль вверху

ние заложенных знаков под влиянием горного давления или вспучивания грунтов. Это обстоятельство вынуждает периодически повторять нивелирование с целью получения правильных отметок подземных знаков. Частота повторного нивелирования зависит от интенсивности движения грунтов.

Полевые журналы после производства подземного нивелирования проверяют два вычислителя. Затем в крупном масштабе составляют схему нивелирных ходов, нанося на нее средние превышения из прямого и обратного ходов, число штативов и дату нивелирования. Все результаты повторных нивелировок наносят на указанную схему. Полученные превышения анализируют и сравнивают с ранее полученными. Если установлена хорошая сходимость превышений, то из всех их подсчитывают средние значения, по которым вычисляют отметки подземных реперов. Там, где обнаружено оседание знаков, отметки их вычисляют по результатам последнего.

По мере возникновения нивелирных полигонов невязки в них подсчитывают по средним превышениям из всех произведенных нивелировок (за исключением тех, где была обнаружена деформация) и в случае их допустимости распределяют на все превышения пропорционально числу штативов. Допустимые невязки в полигонах вычисляют по формуле

$$f_h = \pm 2\sqrt{n} \text{ мм},$$

где n — число штативов в полигоне; при $n < 10$ будет $f_h = \pm 3\sqrt{n}$ мм. Если подземный нивелирный ход своими концами опирается на реперы, отметки которых получены в результате непосредственных передач высот на них с дневной поверхности через стволы шахт или скважины, то допустимую невязку подсчитывают по формуле

$$f_h = \pm \sqrt{36L' + 36L + 32} \text{ мм},$$

где L' — длина подземного нивелирного хода в километрах, L — длина наземного нивелирного хода в километрах.

Таблица 34

№ реперов или знаков	Местоположение реперов или знаков	Дата нивелирования			
		XI 1973 г.		V 1974 г.	
		отметки		отметки	
		полученная	принятая	полученная	принятая
Rp 2	Приствольный	265,452	265,452	265,446	265,450
ПЗ 3217	Левый тоннель, кольцо 65	265,684	265,684	265,681	265,683

№ реперов или знаков	Местоположение реперов или знаков	Дата нивелирования			
		VII 1974 г.		IX 1974 г.	
		отметки		отметки	
		полученная	принятая	полученная	принятая
Rp 2	Приствольный	265,446	265,448	265,444	265,446
ПЗ 3217	Левый тоннель, кольцо 65	265,679	265,681	265,677	265,679

Третий член подкоренного выражения (32) учитывает погрешности двух передач отметок с поверхности в подземные выработки.

Систему замкнутых подземных нивелирных полигонов можно уравнивать методом эквивалентной замены, предложенным проф. А. С. Чеботаревым, или по способу проф. В. В. Попова. Высотные отметки подземных реперов и знаков, полученные в результате первичной и повторных нивелировок, а также принятые для дальнейших проходок, заносят в каталог (табл. 34). Одновременно с заполнением каталога отметок подземных реперов в каталог координат пунктов подземной полигонометрии заносят отметки полигонометрических знаков (табл. 35).

Таблица 35

№ ПЗ	Координаты		Дирекционные углы	Длины линии	Отметки	На ПЗ
	x	y				
421	75892,123	89342,586	138° 14′ 35″	45,263	42,163	423

ГЛАВА XV

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАЗБИВКИ ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК И ШТОЛЕН

§ 116. Разбивка центра ствола форшахты и методы наблюдения за вертикальностью ствола при проходке

Вертикальную выработку, имеющую выход на поверхность земли и предназначенную для обслуживания подземных работ, называют шахтным стволом.

Разбивка центра ствола производится по привязкам от ситуации местности или по координатам, которые выдаются проектной организацией. Намеченный от ситуации центр ствола определяется с пунктов полигонометрии полярным способом не менее чем с двух точек или через него прокладывается теодолитный ход.

Оси ствола закрепляются на поверхности штырями, заложенными в бетон (рис. 173). В последующем эти закрепленные оси служат для периодического восстановления центра ствола, разбивки осей подъема и надшахтных сооружений.

Проходку ствола шахты начинают с сооружения устья шахты (форшахты) представляющей собой мощный бетонный цилиндр высотой 4—6 м с уширенной верхней частью, называемой воротником форшахты. При сооружении форшахты от закрепленных на поверхности земли осей выносят центр ствола, от которого производят контроль всех работ и установку кружал форшахты с точностью ±3 см. После окончания бетонирования форшахты на верхнем ее обрезе по направлениям осей ствола закрепляют специальные скобы, на которых запилами фиксируют оси ствола. На скобы от ближайшего репера передают высотные отметки. При дальнейшей проходке ствола наблюдения за положением скоб по высоте ведутся периодически. По результатам этих наблюдений определяют величины осадок форшахты.

После снятия опалубки производят съемку внутренней поверхности бетона форшахты путем измерения стальной рулеткой радиусов от отвеса, подвешенного в центре ствола. При этом центр ствола определяется пересечением струн, натянутых через осевые скобы. Эти съемки по высоте выполняют через интервалы в 2 м. Данные съемки, необходимые для составления исполнительных чертежей, записывают в книгу съемки ствола.

Маркшейдерские работы при сооружении ствола различными способами в основном не изменяются, поэтому опишем их применительно к двум следующим способам, а именно: к способу опускной крепи и к способу подводки колец снизу.

А. **Способ опускной крепи.** Первые кольца при сооружении ствола способом опускной крепи укладывают от центра ствола.

Сборку первого кольца вместе с ножевой частью ведут в забое форшахты на предварительно уложенном в одном горизонте деревянном настиле. Перекос первых колец относительно горизонтальной плоскости не должен превышать 5 мм. Центр ствола проектируют при помощи отвеса на дно форшахты и отмечают гвоздем в торце кола, забитого в грунт. Путем радиальных промеров

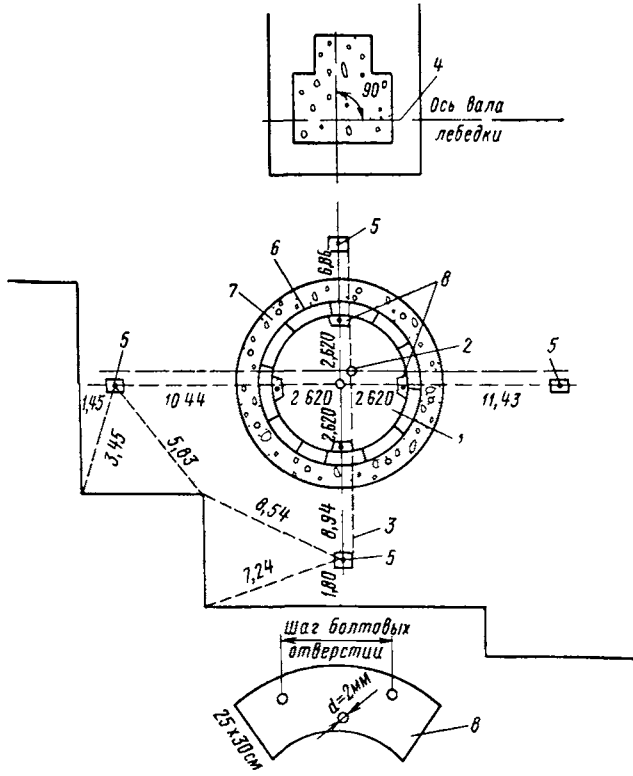


Рис 173 Схема закрепления осей ствола шахты

1 — центр ствола, *2* — центр подъема, *3* — ось подъема, *4* — ось вала лебедки подъема, *5* — штыри, заложенные в бетоне, *6* — тюбинги ствола, *7* — бетон форшахты, *8* — металлические пластины с отверстиями для отвесов

от центра ствола добиваются правильной укладки первого кольца. Эти измерения ведут по направлениям четырех диаметров, два из которых совпадают с направлением осей ствола, а два других составляют с осями углы в 45°.

После окончания сборки первого кольца горизонтальность верхней плоскости тюбингов проверяют нивелиром или сообщающимися сосудами. Сосуды представляют собой резиновый шланг диаметром 10 мм и длиной от 5 до 10 м. В конце шланга вставляют стеклянные трубки длиной от 10 до 30 см с делениями.

Сообщающиеся сосуды позволяют передавать горизонт в стесненных шахтных условиях на малые расстояния, где применение нивелира неудобно. Для лучшей видимости воду в шланг наливают слегка подкрашенной.

Во время сборки последующих колец также необходимо следить за их формой и особенно за горизонтальностью. Во время выборки грунта из-под ножа и опускания шахтной крепи ведутся наблюдения за наклоном опускаемого цилиндра.

Наклон опускаемого цилиндра может быть определен нивелированием верхней плоскости тюбингов при помощи сообщающихся сосудов. Для этого нивелируют верхнюю плоскость уложенных колец в восьми точках, расположенных на указанных четырех диаметрах, и результаты (рис. 174) записывают в виде дроби: в числителе выписаны высотные отметки, полученные из нивелирования, а в знаменателе — отметки, отнесенные к точке 7, имеющей наименьшую отметку. Направление и максимальную величину наклона (крена) цилиндра ствола определяют следующим способом. Выбирают одну из ближайших точек с бóльшим превышением относительно точки с нулевой отметкой. В нашем примере это будет точка *8*. Затем по другую сторону от точки с нулевой отметкой путем интерполяции находят точку *m*, имеющую одинаковую отметку с точкой *8* (+3). Соединяют точки *8* и *m* прямой. Далее относительно точки с наибольшей отметкой *3* повторяют те же операции, что и у точки *7*. Полученные точки *4* и *n* соединяют прямой. После этого проводят прямую *ab*, перпендикулярную к линиям *m*—*8* и *n*—*4* и проходящую через центр окружности цилиндра. Эта линия и покажет направление максимального крена плоскости кольца.

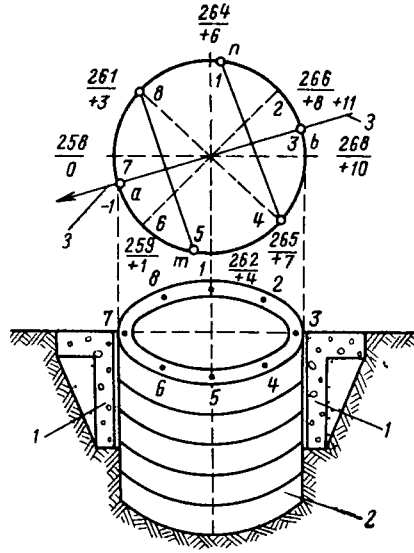


Рис 174. Определение наклона опускаемого цилиндра

1 — бетон форшахты, *2* — кольца ствола шахты, *3* — направленне максимального крена шахтного цилиндра

Далее экстраполяцией вычисляют относительные отметки точек *a* и *b*, по которым определяют величину максимального крена верхней плоскости кольца (в нашем случае — 12 мм). По крену опускной крепи определяют смещение δ центра нижнего (ножевого) кольца относительно центра верхнего по формуле

$$\delta = \kappa \frac{l}{d},$$

где κ — крен верхней плоскости кольца, l — высота опускной крепи, d — диаметр кольца.

В нашем примере $\kappa = 12$ мм, $d = 6$ мм, $l = 18$ м. Тогда

$$\delta = 12\frac{18}{6} = 36 \text{ мм}.$$

Величина смещения центра ствола не должна превышать 0,01 глубины его опускания.

Крен ствола можно определять при помощи специального оборудования. Для этого в момент сборки первых колец на внутренней поверхности цилиндра закрепляют на кронштейне отвес длиной 1—2 м. При строго вертикальном положении цилиндра под острием отвеса закрепляют горизонтальный столик, на котором отмечают проекцию центра отвеса, вокруг которого проводят концентрические окружности через 2—5 мм. Через центр также проводят две взаимно перпендикулярные линии, параллельные осям ствола. В дальнейшем при проходке по положению острия отвеса определяют направление и величину крена цилиндра. При длине отвеса 1 м смещение центра нижнего кольца крепи подсчитывают путем умножения отсчета, взятого со столика, на высоту цилиндра, выраженную в метрах. Перекосы опускной крепи устраняют односторонней выемкой породы из-под ножа, торможением противоположной стороны, загрузкой отстающей половины балластом, местным подмывом ножа, задавливанием гидравлическими домкратами и другими способами.

Сооружение ствола способом опускной крепи осуществляется до устойчивых пород, дальнейшая проходка производится способом подводки колец снизу.

После окончания проходки в неустойчивых грунтах опускную крепь заглубляют на 1—1,5 м в устойчивые породы, а нож крепи опирают на железобетонный башмак, специально сооружаемый в устойчивых породах. Кольцевой зазор между внешней поверхностью опускной крепи и форшахтой заполняют бетоном. Дальнейшую проходку шахтного ствола ведут способом подводки сборной крепи снизу.

Б. **Способ подводки колец снизу.** При переходе к сооружению шахтного ствола этим способом необходимо произвести следующие работы:

а) при помощи отвеса определить наклон опущенного цилиндра-ствола;

б) с помощью сообщающихся сосудов определить крен нижнего (последнего) кольца;

в) определить и закрепить в натуре (в грунте забоя) фактический центр нижнего кольца;

г) рассчитать размеры конических прокладок для случая перехода от наклонной плоскости последнего кольца к горизонтальной;

д) закрепить на верхнем кольце опускной крепи четыре скобы или пластины по направлениям осей ствола и с помощью теодолита отметить на них направления проектных осей;

е) спроектировать направления осей ствола на горизонт нижнего кольца и закрепить их на скобах или пластинах.

По мере дальнейшей проходки ствола способом подводки колец снизу пластины или скобы закрепляют через каждые 5—10 м. На скобы переносят направления осей ствола при помощи отвесов, опущенных с предыдущих скоб. Систематически следят за размерами радиусов. Оси ствола на пластинах закрепляют отверстиями диаметром 2 мм, просверливаемыми на равных расстояниях от центра ствола (см. рис. 173). Оси закрепляют на скобах и пластинах с погрешностью ±3 мм, а отметки на них передают с погрешностью ±5 мм.

При сооружении ствола составляют специальные графики, отображающие величины крена опускной крепи, радиусов колец и геологию пород.

§ 117. Профилирование, определение рабочего сечения ствола и разбивки для армирования

После окончания проходки ствола производится съемка поперечного сечения через 5 м по высоте. По результатам этой съемки определяются полезное рабочее сечение ствола и координаты центра вписанного вертикального цилиндра. Рабочее сечение ствола определяют графически по совмещенному плану всех поперечных сечений, составленных в масштабе 1 : 20.

По составленному плану определяют полезную рабочую площадь ствола и фактическое положение центра вписанного цилиндра. Для получения координат центра этого цилиндра на план наносят направления осей ствола, а по ним — направления осей координат. Затем графически определяют приращения координат центра вписанного цилиндра относительно проектного центра ствола и вычисляют координаты нового, фактического центра, которые сообщаются проектной организации.

Разбивки при армировании ствола имеют целью правильно установить расстрелы в стволе и вертикальные направляющие для клетей шахтного подъема с учетом полученного фактического центра ствола. Верхние расстрелы устанавливают строго по проектным данным клетьевого подъема по струнам натягиваемых параллельно закрепленным осям ствола. Последующие расстрелы устанавливают по отвесам, опущенным с верхних расстрелов. При этом допускается отклонение рабочих плоскостей расстрелов от вертикальной плоскости не более чем на ±10 мм. Для правильной установки направляющих брусьев вверху ствола строго по оси симметрии подъема подвешивают отвес, смещенный от рабочей плоскости направляющего бруса на определенную величину, откладываемую против всех устанавливаемых расстрелов. Во

время работ по врезке и скреплению направляющего бруса с расстрелами необходимо следить за тем, чтобы его ось строго совпадала с отвесом. Отклонения рабочих плоскостей направляющих от вертикального положения не должны превышать ±1 см.

§ 118. Рассечки и разбивки околоствольных выработок и сооружений

Направление рассечки в плане задается отвесами, подвешенными в стволе на последнем нижнем ярусе скоб (рис. 175). Створ осевых отвесов *1*, подвешенных в стволе, визуально продолжают

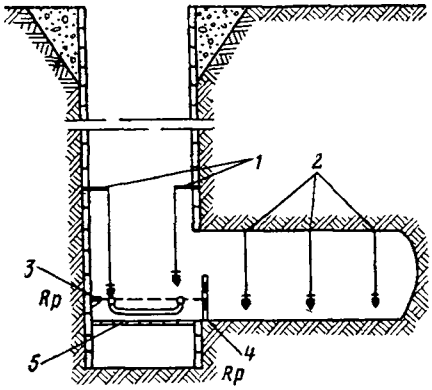
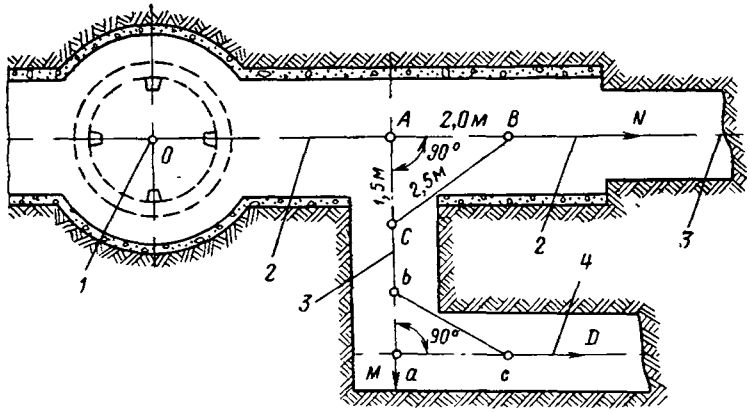


Рис. 175. Задание направления из ствола в штольню и передача отметки

Рис. 176. Разбивка околоствольных выработок:

1 — центр ствола; *2* — ось околоствольного двора; *3* — ось поперечной штольни; *4* — ось насосной камеры



в штольню или в околоствольный двор и закрепляют маркшейдерскими гвоздями *2*. Счет пикетажа приствольной выработки ведется от вертикальной оси ствола. Пикетаж каждой точки определяют путем промера рулеткой расстояний от ранее закрепленного в стволе отвеса с известным пикетажем.

Проектную отметку передают в околоствольные выработки (репер *4*) при помощи сообщающихся сосудов *5* с репера *3*, рас-

положенного в нижнем ярусе ствола. Отметку на репер передают непосредственно с поверхности, используя стальную рулетку. Реперами в штольне служат металлические костыли, забиваемые на высоте 1 м от проектного положения лежанов штольневых рам.

Околоствольные сооружения, не связанные с трассой, разбивают в натуре упрощенными методами. Разбивку оси выработки, расположенной под прямым углом к оси рудничного двора (рис. 176), производят путем построения прямоугольного треугольника ABC (на оси рудничного двора). Для этого от центра ствола O откладывают проектное расстояние OA, указанное в проектном чертеже. Полученную в натуре точку A закрепляют маркшейдерским гвоздем. В точке A по направлению N откладывают стальной рулеткой расстояние AB, равное 2 м. Затем от точек A и B по расстояниям, равным соответственно 1,5 м и 2,5 м, строят точку C. Линия AC задает направление перпендикуляра к оси рудничного двора в точке A. В дальнейшем, повесив отвесы в точках A и C, продолжают ось штольни AM и закрепляют ее маркшейдерскими гвоздями. Если требуется задать направление, перпендикулярное к заданной оси штольни в точке a, и разбить новую выработку (например, насосную камеру), строят снова прямоугольный треугольник уже на направлении AM в точке a и находят ось новой выработки.

Для задания прямого угла в более широких выработках описанным способом рекомендуется брать возможно бóльшие стороны. Если по проекту требуется задать в натуре направление к оси под определенным углом, но не равным 90°, разбивку производят по данным, полученным из графического построения.

Во время бетонирования крепления околоствольных выработок кружала или опалубку устанавливают от заданных в натуре осей путем откладывания стальной рулеткой расстояний, указанных в проектных чертежах. По высоте околоствольные сооружения разбивают нивелиром или гидронивелиром. Отметки закрепляют костылями, вбитыми в стойки.

§ 119. Разбивки и съемки при проходке штолен

При проходке штолен всех назначений выполняют следующие работы:

а) задают оси и уклоны;

б) ведут наблюдение за правильностью установки каждой рамы в плане, по высоте, по нормали и пикетажу, а также за разноской стоек;

в) ведут съемку установленных рам и съемку разработанного профиля грунта;

г) определяют объем выполненных земляных работ;

д) ведут наблюдения за деформацией подземной маркшейдерской основы и за деформацией крепления штольни.

Первоначальное направление задают с осевых отвесов ствола. При дальнейшем продвижении забоя створ линии отвесов, закрепляющий направление прямого участка, продолжают подвешиванием в створе новых отвесов. Последний отвес, закрепляющий ось штольни, должен находиться не далее 2—3 м от забоя.

Если при разработке грунта применяются взрывные работы, то положение ближайших к забою рам нарушается. Поэтому необходимо постоянно наблюдать за осью штольни у забоя и подправлять ее. Каждый последующий осевой знак нужно устанавливать в створе не менее чем с трех проверенных отвесов.

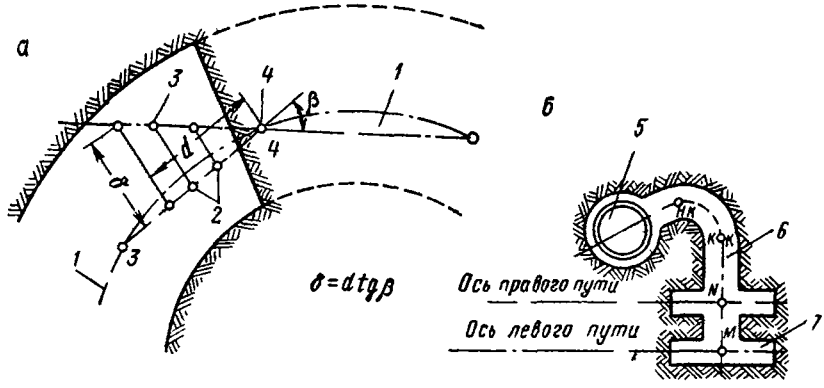


Рис. 177. Задание направления очередной хорды в забое:

1 — ось штольни, *2* — осевые отвесы на старой хорде, *3* — осевые отвесы по направлению новой хорды, *4* — вершина хорды; *5* — ствол, *6* — подходная штольня, *7* — основные выработки на трассе

Вешение без инструмента разрешается на расстоянии не более 25 м. Для инструментального задания оси должен быть использован участок длиной не менее 10 м с отвесами, установленными при помощи теодолита. По мере продвижения забоя в штольне закладывают полигонометрические знаки, с которых осевые точки, установленные ранее путем вешения, проверяют и выправляют с помощью теодолита через каждые 25 м методами, описанными ранее.

На кривых участках продольную ось штольни закрепляют системой хорд или секущих.

Первоначальную разбивку очередной хорды выполняют при подходе забоя штольни к концу хорды путем смещения на величину δ осевых отвесов предыдущей хорды на створ новой хорды (рис. 177, *а*, где *d* — расстояние от конца хорды до отвеса).

Во всех случаях разбивки оси в штольне должно быть вынесено одновременно не менее трех точек, лежащих на оси. Створность вынесенных точек является подтверждением правильности разбивки. Продольную ось и высотные костыли закрепляют не реже чем через 5 м.

Как только подходная штольня (рис. 177, *б*) пройдет точку *N* — место пересечения оси тоннеля с осью подходной штольни, откладывают проектное расстояние от конца круговой кривой *КК*. Инструментально уточняют точку *N* на оси тоннеля и закрепляют осевым маркшейдерским гвоздем. Так же проверяют точку *М* пересечения второго, левого тоннеля с осью подходной штольни и закрепляют осевым гвоздем.

Впоследствии положение точек *N* и *М* корректируют путем разбивки их с пунктов полигонометрии. Рассечки по оси тоннеля первоначально задают построением в натуре перпендикуляров к направлению оси подходной штольни по обе стороны от точек *N* и *М*. По заданным направлениям осуществляют проходку передовых штолен по трассе. При удалении забоев на 10—12 м это направление уточняют инструментальным путем.

ГЛАВА XVI

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАЗБИВКИ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ ГОРНЫМ СПОСОБОМ С МОНОЛИТНОЙ ОБДЕЛКОЙ

§ 120. Общие сведения

При горном способе работ разработку породы в пределах сечения тоннелей ведут с устройством временной крепи, под защитой которой в дальнейшем возводят постоянную обделку из бетона или каменной кладки.

Целью маркшейдерских разбивок является обеспечение геометрически правильной (без переборов) разработки породы по внешнему контуру сооружаемого тоннеля, а затем установки опалубки под возводимую обделку в строгом соответствии с проектом поперечного сечения тоннеля.

В зависимости от свойств горных пород, пересекаемых тоннелем, применяют различные способы его сооружения. На рис. 178 приведены два способа сооружения тоннелей по частям, имеющие наибольшее распространение: способ о п е р т о г о с в о д а (*а*) и способ о п о р н о г о я д р а (*б*). На схемах цифрами показана последовательность разработки отдельных частей сечения тоннелей.

Применяется также способ сооружения тоннелей с раскрытием на п о л н ы й п р о ф и л ь (см. § 127).

Маркшейдерские разбивки для разработки породы частей сечений тоннелей можно объединить в несколько групп. К первой относятся горизонтальные штольневые выработки, о методах

разбивок в которых рассказано в главе XV и др. Ко второй следует отнести третью и четвертую стадии работ — разработку калотт в сводовой части тоннелей. Наконец, к третьей группе должны быть отнесены те стадии работ (разработка ядра, штросс, лотка и пр.), в которых маркшейдерских разбивок не требуется, так как основным ориентиром для разработок являются уже забетонированные части тоннелей.

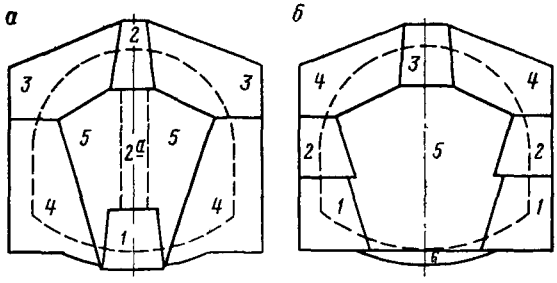


Рис. 178. Две схемы сооружения тоннелей по частям

§ 121. Передача оси и высотных отметок в боковые штольни. Расчеты для лекал

Проходку нижних боковых штолен для закладки в них стен ведут от портала тоннеля или из подходных выработок от ствола. Размеры боковых штолен задаются в проекте разработки тоннеля. Штольню часто уширяют (рис. 179, *а*) на габарит вагонеток, в которых будет подаваться бетон. Иногда ширину штольни рассчитывают только на подошву стены (рис. 179, *б*).

Осевые и высотные разбивки выполняют через подходные штольни. При одной подходной штольне ограничиваются разбивкой оси висячим полигонометрическим ходом с повторными контролями другими исполнителями. Перед укладкой бетона ось проверяют с двух сторон, для чего проходят дополнительный поперечный ходок.

Если стены имеют большую высоту, то проходят вторые ярусы боковых штолен и бетонируют следующие верхние части стен. Разбивки здесь подобны разбивкам для нижнего яруса.

В боковых штольнях ось смещают на такую величину, чтобы осевые отвесы ее не попали в монолит стены. От смещенной оси контролируют положение лекал (рис. 179, *в*) в двух уровнях (h_1 и h_2), для чего заранее разбивают в штольнях два горизонта и получают их абсолютные отметки. Контрольные промеры подсчитывают по формуле

$$d = \sqrt{R^2 - h^2} - \delta,$$

или

$$\Delta d = d - \delta,$$

где Δd — расстояние от оси штольни до проверяемой точки; R — радиус лотковой части тоннеля; h — высота уровня проверки от уровня центра кривой; δ — смещение оси штольни относительно продольной оси тоннеля; d — расстояние от оси тоннеля до проверяемой точки.

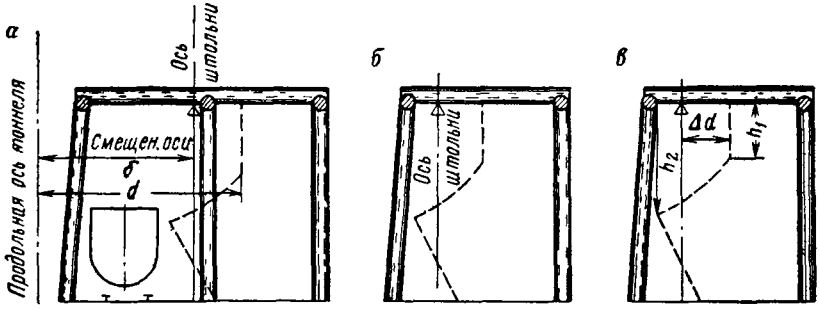


Рис. 179. Боковые штольни для сооружения стен тоннелей

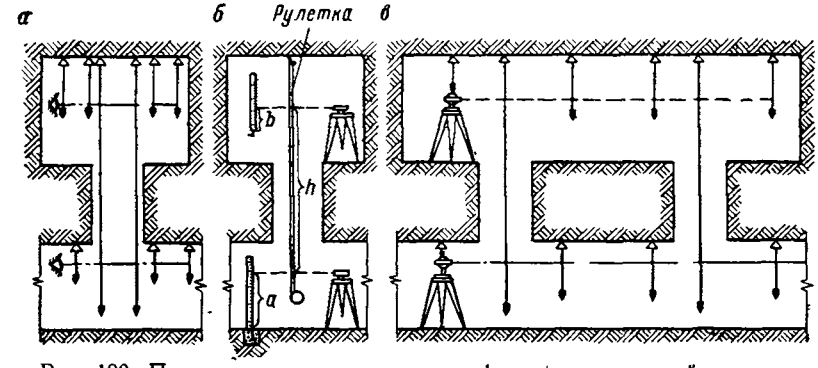


Рис. 180. Передача оси и отметок через фурнель на верхний горизонт

§ 122. Передача оси и высотных отметок в верхний горизонт через фурнели

В верхних штольнях знаки маркшейдерской основы закладывают в редких случаях, так как проектную ось и высотные отметки передают из нижней штольни через вертикальные выработки — фурнели (рис. 180, *а*, *б*). При проходке фурнели в стенке ее закрепляют высотный костыль, у которого указывают высоту проходки до проектной отметки верха разработки.

Высоту верхней штольни назначают такой, чтобы после установки кружал под ними оставалось расстояние для прохода людей (1,7—1,8 м), а также для опрокидывания вагонов с бетоном.

Первые рамы верхней штольни устанавливают, ориентируясь по креплению фурнели и вводя поправку за асимметричное рас-

положение самой фурнели относительно нижней штольни. Для удобства отгрузки породы из верхних забоев проходят через каждые 5 м специальные породные фурнели с верхнего горизонта в нижний. Маркшейдеры используют и эти фурнели, опуская через них одиночные или парные отвесы, для инструментальной сверки верхней оси с осью нижнего горизонта (рис. 180, *в*).

§ 123. Разбивка оси и горизонтов для разработки калотт

Проектные организации выдают строителям чертежи основной конструкции обделки тоннелей. Рабочие чертежи разработки калотт составляет технический отдел строительства. Подобные чертежи предпочитают составлять в крупном масштабе (1/20 или 1/25), чтобы некоторые данные для разбивок выбирать графически с чертежа. В соответствии с гидрогеологическими условиями в проектах разработки калотт указывают:

1) длину калотт по продольной оси тоннеля в пределах от 2,5 до 6,0 м;

2) расстояния между элементами временного крепления, в том числе шаг продольных подхватов (лонгарин);

3) строительный запас при разработке свода, т. е. высотное положение верхней затяжки и лонгарин относительно наружной поверхности конструктивного бетона свода;

4) глубину заложения пят свода.

Все эти данные позволяют составить рабочий чертеж разработки калотты (рис. 181).

Схему разработки породы и установки крепления выработки вместе с данными для установки каждой лонгарины в плане и по высоте вычерчивают на доске (фанере), которую укрепляют в разрабатываемой калотте.

На элементах креплений верхней штольни по направлению торцов калотты закрепляют знаки, у которых делают надписи: «грань калотты». Для высотных промеров в торцах калотт на стойках рам или на штендерах, унтерцугах закрепляют маркшейдерскими гвоздями уровень верха кружал (низ свода).

При разработке грунта и установке очередной лонгарины (см. рис. 181) горизонтальный промер d получают по рулетке путем передвижения конца ее вверх и вниз вдоль нити отвеса; наименьший отсчет будет соответствовать горизонтальному положению рулетки. Проверку уровня лонгарины выполняют с помощью длинной легкой рейки, которую прикладывают к маркшейдерским гвоздям на стойках (уровень верха кружал). При установке лонгарины добиваются того, чтобы расстояние h от этого уровня до низа лонгарины и величина промера d были равны величинам, записанным на проектном чертеже.

Величины h и d взаимосвязаны. Если сложившиеся обстоятельства заставят установить лонгарину с изменением d, то сле-

дует изменить и величину h, и наоборот, т. е. если верхняя затяжка позволит завести лонгарину № 3 только на $h < h_3$, то промер d_3 от оси необходимо соответственно изменить.

Штендеры (стойки) под лонгарины устанавливают в плоскостях, нормальных к оси тоннеля (рис. 182). Для этого по кон-

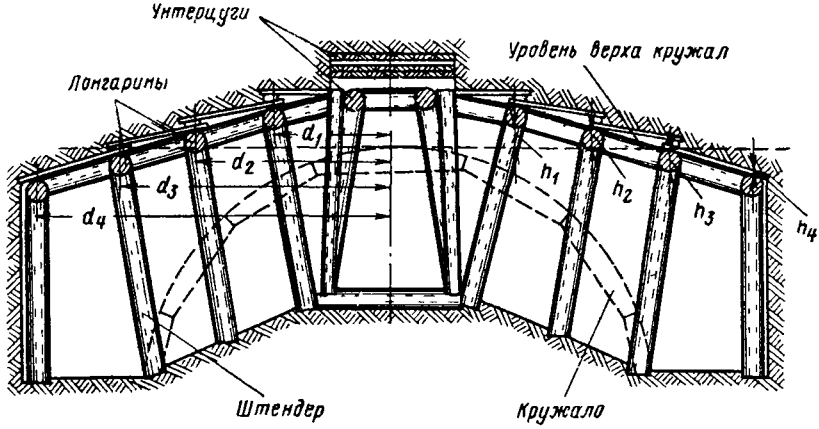


Рис. 181. Разбивка для разработки калотт

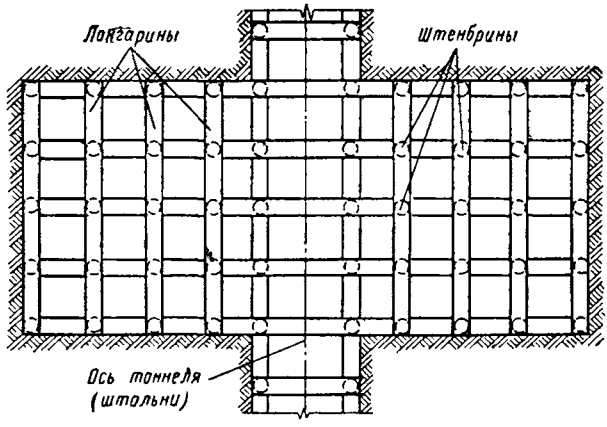


Рис. 182. План разработки калотты

цам калотты разбивают нормали на унтерцугах, а затем, по мере разработки калотты, выносят их на лонгарины.

Перед окончанием разработки калотты на штендерах последних лонгарин у обоих торцов забивают высотные костыли, нивелируют их, определяют от каждого костыля глубину заложения пяты (рис. 183) и надписывают этот размер (обычно 1,0 м) у костылей. Одновременно в каждом торце пяты на рошпанах лонгарин разбивают смещенную ось тоннеля, т. е. линию обрезов (концов) кружал, которые в дальнейшем сносят к подошве пяты, за-

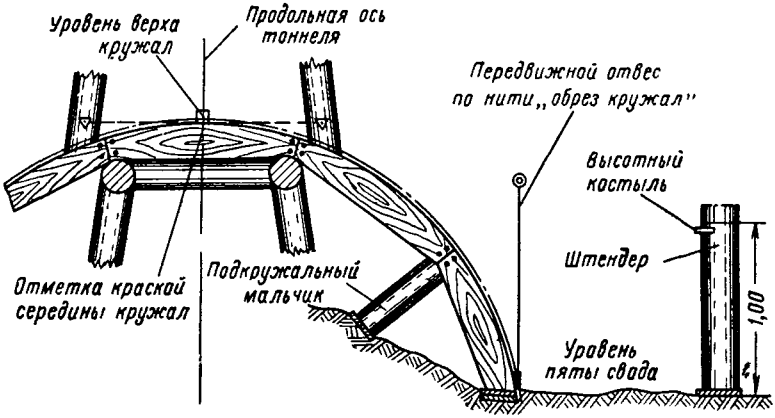


Рис. 183. Монтаж установки и закрепление кружал свода

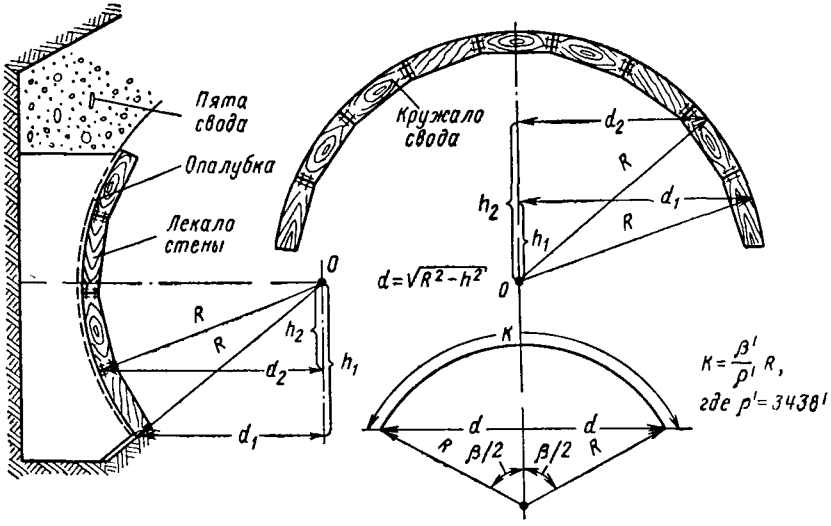


Рис. 184. Способы расчета кривых поверхностей свода и стен

крепляя их на штендерах. Указанную разбивку (сноску) следует выполнять только с помощью отвесов, так как в условиях крепления лонгаринами, находящимися в разных уровнях, и наклонными штендерами глазомерное определение вертикали может привести к ошибкам.

§ 124. Изготовление, установка и выверка кружал для сводов

Изготовленные кружала проходят маркшейдерскую проверку и приемку еще до опускания их в подземные выработки. Проверке подлежат величины радиусов и хорд кружал, а также длина наружной кривой (рис. 184).

В тоннелях с круговым очертанием свода и вертикальными стенами проверяют также стрелу прогиба кружал. Для тоннелей с так называемым эллиптичным очертанием проверку ведут для каждой круговой кривой отдельно.

Каждое кружало после его приемки маркируют, а затем разбирают на такие звенья, габариты которых позволяют транспортировать их в клети, по подходным выработкам, фурнели и калотте, стесненных креплением.

Количество кружал в калотте соответствует количеству рядов штендеров, поддерживающих лонгарины (см. рис. 182). Поэтому дополнительной разбивки для установки кружал не делают. При монтаже их пользуются продольной осью тоннеля, вынесенной для разработки калотт, а также смещенной осью «обреза кружал». Для поперечного направления пользуются рядами штендеров, к которым прикрепляют кружала. Для высотной установки кружал пользуются заданным уровнем верха кружал, закрепленным на стойках у торцов калотт, а также высотными костылями для установки пят кружал в боках калотт.

По описанным выше разбивкам устанавливают и закрепляют оба крайних (торцовых) кружала, остальные (промежуточные) рихтуют и раскрепляют по рейкам, положенным на торцовые кружала, или по натянутым между ними нитям. При монтаже кружал проверяют величину их кривой, пользуясь формулой $\sin\frac{\beta}{2} = \frac{d}{R}$, и одновременно с этим отмечают середину каждого кружала, т. е. середину кривой. При обнаружении несоответствия фактической длины с проектной кружало выбраковывают и удаляют из забоя. Проверенные кружала устанавливают серединой на продольную ось, а верхом — на закрепленный уровень верха кружал. Толщина опалубки, укладываемой по кружалам, идет в строительный запас.

Закрепив осевую часть, переходят к установке обрезов, т. е. концов кружал. Высоту их регулируют по высотным костылям, вынесенным в пятах, подкладывая под каждый конец коротыши из обрезков досок. Одновременно закрепляют концы кружал по

линии обреза их (см. рис. 183), пользуясь снесенной в бока калотты смещенной продольной осью тоннеля.

Каждый стык кружал надежно раскрепляют подкружальными и надкружальными «мальчиками». Регулировку кривых кружал производят по схеме рис. 184, устраняя обнаруженные дефекты деревянными клиньями между мальчиками и кружалами.

После окончательной выверки и закрепления кружал маркшейдер дает письменное разрешение на укладку бетона. Одновременно с этим он производит съемку выработанного профиля по радиусам от кружал до марчеван (затяжек) по обоим торцовым и среднему кружалам. Данные зарисовывают и записывают в книгу съемок профилей тоннеля. После съемки составляют три поперечника, определяют планиметром площадь будущего бетона по каждому поперечнику, а затем выводят среднюю площадь бетона из трех сечений. По этой площади и фактической длине калотты вычисляют объем бетона на всю калотту. Длину калотты для определения объема бетона считают между серединами торцовых кружал, так как в этих местах обычно устанавливают торцовую опалубку. Таким путем добиваются гладкой поверхности свода в местах соединения двух калотт, а также более рационально используют кружала (рис. 185).

Промеры от кружал и записи данных этого профилирования являются основным документом для составления исполнительных чертежей. Вычисленные площади сечений калотт являются основанием для определения объема бетона.

§ 125. Разбивка для лекал при бетонировании стен и лотка

До начала раскрытия боковых штросс должен быть составлен и утвержден график очередности их разработки. На рис. 186 показаны положение забетонированных сводов калотт и очередность разработки и бетонирования штросс. Как видно на схеме, продольные размеры штросс те же, что и сводов, однако штроссы смещены на половину шага пят сводов.

Разработку боковых штросс ведут по их разбивке в нижней штольне, а также ориентируясь по обнажениям пят свода. Грунт вертикальной стены разрабатывают от наружной линии бетона пяты свода вниз по вертикали. Основание стены дорабатывают по данным высотной разбивки.

Верхнюю часть лекал закрепляют металлическими скрутками, заделанными в пяты свода в процессе их бетонирования. Для создания гладкой поверхности бетона в месте сопряжения с кривой свода под концы лекал подкладывают обрезки досок (см. рис. 184). Крепление нижнего носка лекал обрабатывают в таком месте, чтобы его опалубка опиралась сама или через клинья на стойки рамного крепления нижней штольни.

Установленные и раскрепленные лекала до бетонирования подлежат проверке и приемке маркшейдером.

Перед бетонированием производится съемка выработанного профиля. Выработку под стену подсчитывают по двум крайним сечениям, получая площадь среднего сечения и объем грунта и укладываемого бетона.

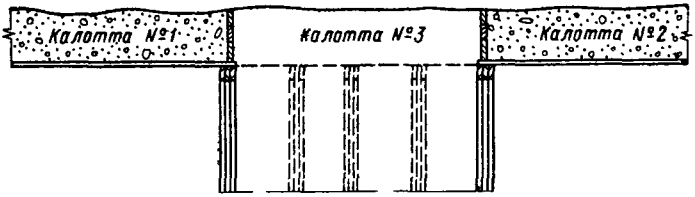


Рис. 185. Стыкование бетона сводов тоннелей

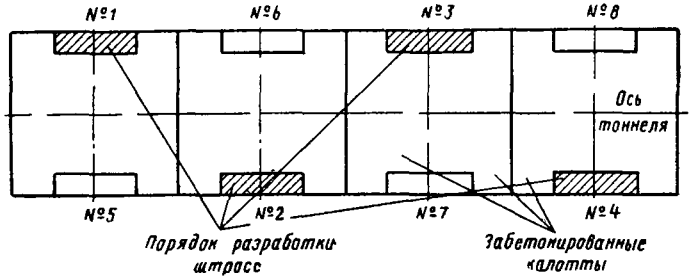


Рис. 186. Очередность разработки и бетонирования стен

Для разработки и бетонирования обратного свода (лотка) применяют шаблон из легкого материала, изготовленный по проектному очертанию. Шаблон должен быть такой длины, которая позволяла бы опирать его на бетонные носки противолежащих стен. Разработку грунта в лотке проверяют промерами от нижней кривой шаблона. Укладку бетона проверяют протягиванием шаблона по носкам стен. Положение носков стен должно быть перед бетонированием лотка сверено с проектом.

§ 126. Вынесение и закрепление продольной оси для железобетонной рубашки

После снятия кружал и опалубки выносят продольную ось, закрепленную в нижней штольне, в своды тоннеля. Для закрепления осевых знаков используют деревянные пробки, заложенные в своды при их бетонировании. Перенесение оси в свод необходимо, так как при бетонировании лотка тоннеля нарушаются и унич-

тожаются знаки подземной полигонометрии, а новые знаки будут заложены только после сооружения железобетонной рубашки в тоннелях.

До начала работ в лотке тоннеля после оклейки гидроизоляции, укладки арматуры и бетонирования железобетонной рубашки маркшейдеры производят контрольную съемку сечений готовых тоннелей для выявления возможных мест нарушений габаритности тоннелей. Наиболее рациональным способом съемки сечений в тоннелях кругового очертания является радиальный способ съемки от продольной оси, закрепленной в тоннеле на уровне горизонтального диаметра. Для разбивки такой оси несколько ниже горизонтального диаметра укрепляют поперечные прогоны (расстрелы) через каждые 25—35 м. На прогоны наносят продольную ось с осевых знаков, вынесенных в свод тоннеля. Закрепленные в прогонах осевые знаки нивелируют, а затем подсчитывают их абсолютные отметки. К прогонам прикрепляют планки с таким расчетом, чтобы на эти планки вынести продольную ось на проектных отметках центра тоннеля. Между закрепленными центрами натягивают проволоку и от нее радиусами выполняют съемку внутренней поверхности бетона.

При обнаружении в процессе съемки сечений мест, где толщина рубашки после ее сооружения может оказаться значительно меньше проектной, принимают заблаговременно необходимые меры, например срубают бетон или вновь проектируют трассу. Нарушать конструкцию железобетонной рубашки (делать ее тоньше) запрещается.

После установки и раскрепления кружал и лекал железобетонной рубашки проверяют соответствие геометрических размеров рубашки проектным. Затем маркшейдер дает письменное разрешение на укладку бетона в пределах проверенного участка.

По окончании бетонирования рубашки, снятия опалубки и очистки тоннеля восстанавливают осевые центры и выполняют последнюю съемку сечений тоннеля. В готовых тоннелях закладывают полигонометрические знаки через каждые 50 м (см. главу XIV), измеряют углы и линии, производят нивелирование и вычисляют окончательные координаты и отметки знаков. При этом следует использовать знаки, сохранившиеся в тоннелях и проверенные в результате сбоек.

§ 127. Маркшейдерские разбивки при сооружении тоннелей с раскрытием на полный профиль

При сооружении тоннелей с раскрытием на полный профиль разрабатывают, а затем бетонируют весь профиль небольшими участками ($< 6{,}5$ м) тоннелей. В этих случаях маркшейдерские разбивки упрощаются по сравнению с разбивками при сооружении тоннелей по частям.

Особенности маркшейдерских разбивок по каждой из пяти приводимых схем таковы:

1. Разработка с установкой веерной крепи (рис. 187, *а*) применяется в слабых неводоносных грунтах. Это обстоятельство требует систематического наблюдения за деформацией временной крепи, дневной поверхности, а также за знаками маркшейдерских разбивок.

Продольную ось разбивают в нижней и верхней штольнях. Для разработки калотт также выполняют все разбивки. По окон-

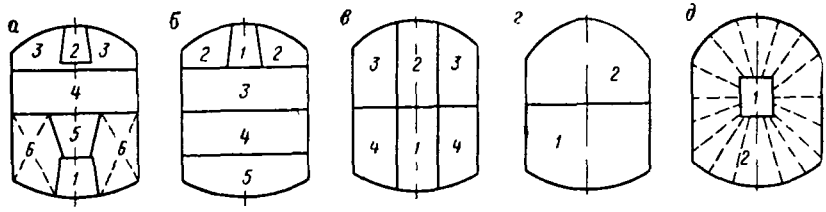


Рис. 187. Варианты разработок сечений тоннелей на полный профиль

чании разработки породы выносят центры тоннеля и натягивают между ними проволоку, которой пользуются для установки кружал и лекал.

2. Разработка с креплением прогонами и боковыми фермами (рис. 187, *б*) применяется в устойчивых грунтах на коротких участках тоннелей, например при рассечках первых колец. Продольную ось разбивают первоначально в верхней штольне, а по мере разработки ярусов удлиняют нити осевых отвесов. В дальнейшем выносят на крепление лба забоев центры тоннелей (продольную ось тоннеля) и между ними натягивают проволоку. От этой оси по радиусам устанавливают кружала для монолитного бетона или монтируют сборную обделку.

3. Способ подсводного разреза (рис. 187, *в*) применяют в крепких и устойчивых породах, не оказывающих давления на крепь. Осевые отвесы и высотные костыли закрепляют в нижней штольне. В начале разработки калотты разбивку для нее выносят на первые рамы верхнего крепления. По окончании разработки профиля на торцах забоев укрепляют центры тоннеля и, соединив их нитью, пользуются радиусами для установки кружал под постоянное крепление.

4. Способ верхнего и нижнего уступов (рис. 187, *г*) применяют в крепких горных породах, не требующих крепления. Осевые знаки заделывают в подошве, а в тоннелях малого сечения — в своде выработки. Для разбивки центров тоннеля устанавливают специальные поперечные прогоны: один— в готовой части тоннеля, другой — около уступа. Между прогонами натягивают нить — продольную ось и пользуются ею при бетонировании.

5. Способ центральной штольни (рис. 187, *д*) применяют в крепких скальных породах. Назначение штольни: обуривать весь

забой радиальными шпурами для взрывов на отвал. Маркшейдерские разбивки для бетонирования те же, что и для способа уступов.

§ 128. Вычисление объемов грунта и бетона

Маркшейдерский учет основных объемов грунта и бетона является частью государственного контроля объемов при тоннельном строительстве. Необходимость учета и контроля вызвана тем, что в большинстве своем работы по выемке грунта и укладке бетона при строительстве тоннелей являются так называемыми «скрытыми работами», т. е. такими, проверить выполнение и объем которых нельзя по той причине, что для этого пришлось бы вскрывать, взламывать конструкцию изнутри.

Оплата стоимости выполненных основных горностроительных работ производится только за объемы, подтвержденные маркшейдерским замером. Финансовые органы периодически проверяют правильность методов и оснований, принимаемых в замерах.

Маркшейдерский замер строительных объемов является также основанием для составления нарядов, по которым рабочим бригадам оплачивают разработку, погрузку, откатку и подъем грунта на поверхность, для оплаты за вывозку этого грунта автотранспортом, а также подтверждением объема всего уложенного бетона.

В учете объемов должен быть установлен строгий порядок. Все записи должны вестись с такой ясностью и обоснованием, чтобы любой маркшейдер мог разобраться в этих записях и оценить правильность внесенных объемов.

В маркшейдерских замерах показывают фактические объемы разработанного грунта и уложенного бетона или железобетона. При разработке грунта конструкции учитывают объем вчерне, т. е. по наружному контуру выработки. Понятие размеров в свету относится к проемам в креплении, постоянной обделке и пр. При укладке бетона объемы определяют по фактическим замерам (профилированию) выработки.

Объемы частей конструкций, имеющих правильные геометрические формы (прямоугольники, трапеции, круги и пр.), вычисляют в таком порядке: подсчитывают по геометрическим формулам площадь сечения ($м^2$), а затем умножением на длину (разность пикетов в метрах) вычисляют объем ($м^3$). Для криволинейных контуров составляют не менее трех сечений на коротком участке тоннеля (каллота, штросса) и накладывают сечения на чертежную бумагу, а затем планиметром определяют площадь каждого из них. Далее выводят среднюю площадь сечения и, умножив ее на длину, вычисляют объем детали конструкции.

ГЛАВА XVII

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ ГОРНЫМ СПОСОБОМ СО СБОРНОЙ ОБДЕЛКОЙ

§ 129. Геометрические характеристики элементов железобетонных и чугунных колец

Обделки тоннелей метрополитенов, как правило, собирают из железобетонных или чугунных элементов. Сборную обделку однопутного тоннеля круглого сечения собирают из отдельных колец шириной 0,75—1,00 м, которые в свою очередь состоят

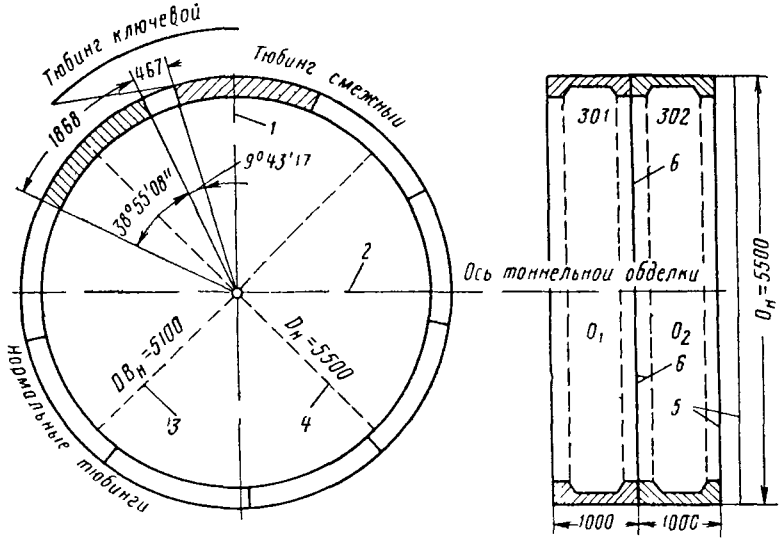


Рис 188. Геометрические элементы тюбингового кольца:

1 — вертикальный, *2* — горизонтальный диаметры кольца, *3* — правый, *4* — левый диагональные диаметры кольца, *5* — передняя, *6* — задняя плоскости кольца

из отдельных сегментов или блоков Как кольца, так и сегменты соединяют друг с другом болтами Кольцо перегонного тоннеля метрополитена имеет 10 тюбингов*, именуемых: один — ключевым (замком), два — смежными и семь — нормальными. В других тоннелях применяются тоннельные обделки с иным числом сегментов. В настоящее время для внутреннего диаметра обделок перегонных тоннелей метрополитенов установлена единая величина, равная 5,10 м (рис. 188).

На рис. 189 показана типовая чугунная обделка с внутренним диаметром 5,10 м и наружным 5,49 м (применявшаяся на строи-

* Тюбинг — чугунный или железобетонный сегмент тоннельной обделки.

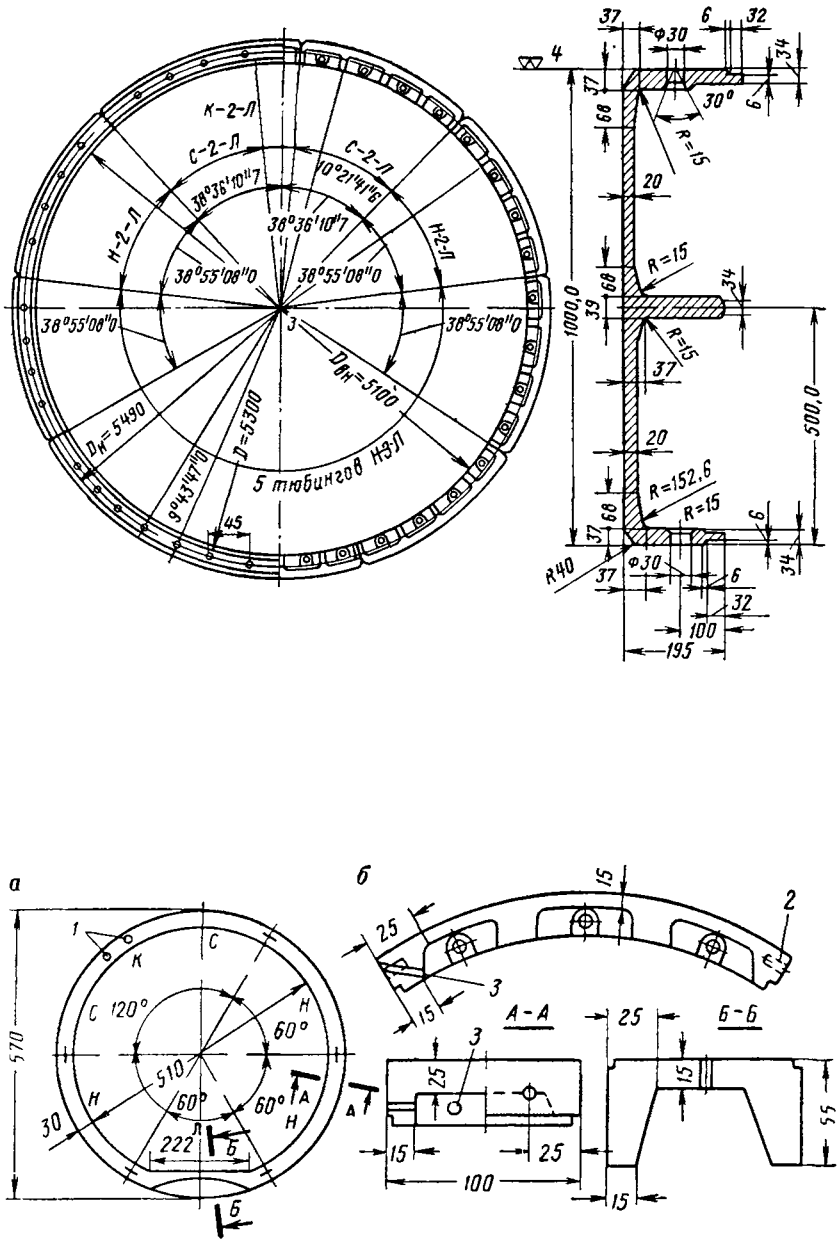


Рис. 190. Сборная железобетонная обделка из тюбингов с плоским лотком:
а — схема кольца; *б* — тюбинг; *1* — шпонка; *2* — гнездо для штыря; *3* — отверстие для нагнетания раствора в стык

тельстве Ленинградского метрополитена). Ширина кольца обделки 100 см, высота ребра 20 см. Кольцо состоит из 10 тюбингов четырех типов (одного ключевого — марка К-2-Л, двух смежных — марка С-2-Л, двух нормальных боковых — марка Н-2-Л и пяти нормальных лотковых — марка Н-3-Л). Чугунная обделка для некоторых железнодорожных однопутных тоннелей состоит из 16 тюбингов (тринадцати нормальных, двух смежных и одного ключевого). Тюбинги скреплены между собой болтами. В последнее время запроектированы и нашли широкое применение сборные железобетонные тоннельные обделки без креплений болтами.

Современная конструкция обделки с плоским лотком (рис. 190, *а*) включает в поперечном сечении семь элементов четырех типов: нормальных (3 шт), сложных (2 шт), ключевого и лоткового.

Ширина кольца обделки составляет 100 см, высота борта 30 см, толщина оболочки 15 см.

Разбивка кольца на элементы обеспечивает одинаковые центральные углы 60°, соответствующие лотковому и нормальным тюбингам, и центральный угол 120°, соответствующий двум смежным и ключевому тюбингам. Такая разбивка позволяет в случае необходимости принять все тюбинги (см. рис. 194, *б*) нормальными (без ключевого элемента).

§ 130. Клиновидные кольца и прокладки

На криволинейных участках трассы для изменения направления оси тоннеля применяют клиновидные кольца или клиновидные прокладки. Для каждого типа тоннельной обделки устанавливаются свои клиновидные кольца и прокладки. Плоскости *CD* и *AB* (рис. 191) чугунного клиновидного кольца образуют некоторый определенный угол, при этом одна из плоскостей *AB* перпендикулярна к оси кольца. Опережением клиновидного кольца называют разность величин $a-b=t$. В клиновидном кольце 12 сегментов, четыре из которых ключевые (*1*, *4*, *7*, *10*). Опережение клиновидного кольца по диаметру *1—7* равно нулю. Ширина кольца по этому диаметру равна 750 мм. Для расчета величин опережения при укладке клиновидного кольца считаем, что диаметр с максимальным опережением *t* располагается вертикально, а замок *10* — в своде кольца.

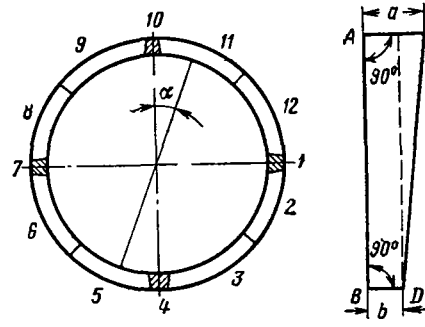


Рис. 191. Схема клиновидного (конического) кольца

При повороте такого кольца на угол α вертикальное и горизонтальное опережения станут другими и определятся по формулам

$$p = t \cdot \cos\alpha,$$

$$q = t \cdot \sin\alpha.$$

Угол α отсчитывается от начального направления по часовой стрелке от 0 до 360°; знаки величин p и q указывают направление опережения. Если p имеет знак плюс, то свод кольца опережает лоток, при отрицательном знаке лоток опережает свод. Положительный знак величины q указывает на то, что правая сторона кольца опережает левую, знак минус показывает, что левая опережает правую.

При сооружении тоннелей из сборных обделок на криволинейных участках трассы передняя плоскость каждого укладываемого кольца должна опережать плоскость предшествующего на величину

$$a_1 = l\frac{D}{R},$$

где l — ширина укладываемых колец, D — их диаметр, а R — радиус круговой кривой трассы. Число необходимых клиновидных колец зависит от радиуса и длины круговой кривой. Расстояние между двумя смежными клиновидными кольцами определяется формулой

$$L = \frac{qR}{D},$$

при $q = 60$ мм, $R = 800$ м и $D = 5{,}50$

$$L = \frac{0{,}060 \cdot 800}{5{,}50} = 8{,}7 \text{ м}.$$

При расчетах, связанных с применением клиновидных прокладок, должны быть известны опережение, создаваемое прокладкой, и величина уклона, создаваемая клином: $i = \operatorname{tg}\gamma = \frac{a-b}{D}$. Количество необходимых клиновидных прокладок для горизонтальных кривых подсчитывается делением величины центрального угла кривой на величину углового поворота одной прокладки, для вертикальных кривых — делением алгебраической разности величин двух смежных уклонов на величину уклона, создаваемого одной прокладкой.

§ 131. Замена продольной оси на кривой системой хорд и секущих

При сооружении тоннелей на кривых участках трассы ось тоннеля разбивают по хордам или секущим. Для этого от полигонометрических знаков разбивают и закрепляют в своде тоннеля

вершины многоугольника $ABCDE$ (рис. 192), равные стороны которого представляют собой хорды AB, BC, CD, DE. Теодолит устанавливают на одном конце хорды в точке B, а светящийся сигнал — в точке A', на продолжении хорды BC. Расстояние L между инструментом и сигналом A' берут возможно бо́льшим. От хорды BC укладывают новые кольца и выполняют их съемку с учетом поправки за стрелу изгиба, т. е. за отклонение хорды от кривой. Чтобы не сооружать новый подвесной полок для установки инструмента в точке C, инструмент и светящийся сигнал смещают в точки B' и A'', расположенные в створе следующей

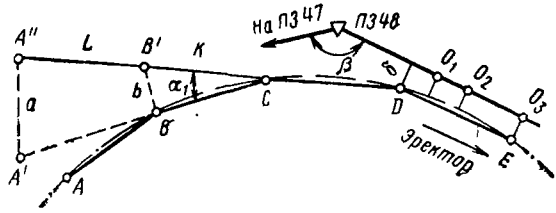


Рис. 192. Разбивка оси тоннеля на кривых участках

хорды CD. Смещения $b = BB'$ и $a = A'A''$ определяют по формулам

$$b = K \sin \alpha;$$

$$a = b + L \sin \alpha,$$

где $K = CB'$ — длина секущей, $L = A''B'$ — расстояние между инструментом и светящимся сигналом, α_1 — угол поворота хорд.

Положение сигнала и инструмента контролируют с полигонометрических знаков, используя при этом полярный способ или способ смещений от линий, параллельных направлениям хорд.

Описанный выше способ применяется при коротких хордах и требует устройства специальных полков. На рис. 192 показана разбивка направления хорды DE с *ПЗ 48*. Установив инструмент над *ПЗ 48*, откладывают угол β, определяемый как разность дирекционных углов линии полигонометрии *47—48* и хорды DE. Заданное направление фиксируют в своде тоннеля отвесами O_1, O_2, O_3, а затем по известному смещению δ полигонометрического знака от хорды DE закрепляют отвесами направление хорды DE. Величину смещения δ определяют по указанным ранее формулам. Точки O_1, O_2 ... задаются при двух положениях круга теодолита. По заданным осевым отвесам производится укладка и съемка колец в плане в пределах хорды DE.

§ 132. Укладка первых (прорезных) колец

Возведение сборной тоннельной обделки начинается с укладки первых (прорезных) колец в рассечке. Маркшейдерские разбивки, связанные с разработкой породы в рассечке, производят

способами, описанными в гл. XVI. Первые, нижние сегменты прорезных колец устанавливают симметрично относительно продольной оси, а по высоте — на проектную отметку. Для этого перед сборкой рассчитывают проектные отметки ряда характерных точек кольца (лоток, центр, свод) и их расстояния от продольной оси тоннеля. В процессе укладки сегментов или блоков нивелируют эти точки и делают промеры до них от оси тоннеля, добиваясь таким образом совпадения проектных размеров с фактическими промерами. Отклонения первых сегментов в плане и профиле не должны превышать ±10 мм.

Особое внимание следует обратить на минимальное отклонение от проекта передней плоскости кольца, так как вследствие такой погрешности по мере увеличения длины тоннеля последний будет быстро отклоняться от проекта как в плане, так и в профиле. При сборке первого кольца в горной выработке (рассечке) или в камере, где собирается кольцо, закрепляют плоскость, перпендикулярную к оси тоннеля, и определяют ее пикетное значение. Зная пикетаж нормальной плоскости и проектное вертикальное опережение собираемого кольца, рассчитывают расстояния от этой плоскости до плоскости каждого сегмента и корректируют их положение. Рекомендуется по возможности закреплять ось тоннеля на уровне его центра и делать от нее промеры по радиусам, контролируя геометрию кольца. После того как смонтированы и установлены первые несколько колец, их тщательно проверяют и делают съемку. Проверенные кольца должны быть надежно закреплены. Кольца нумеруют в порядке их укладки. Номера каждого пятого кольца надписывают в натуре на тюбингах белой масляной краской. Данные по определению геометрических элементов колец относят к передней по ходу пикетажа плоскости кольца.

§ 133. Эллиптичность колец. Причины ее возникновения и способы устранения

При строительстве тоннелей в последних под влиянием горного давления возникают деформации тоннельной обделки, в результате которых собранные кольца тоннеля изменяют проектную форму поперечного сечения. Разность между диаметром уложенного кольца и его проектным значением называют эллиптичностью. Для каждого кольца тоннельной обделки определяют эллиптичность по четырем диаметрам (рис. 193), а именно по горизонтальному, вертикальному и двум косым (под углом 45°). Если фактический диаметр кольца больше проектного, то эллиптичности приписывают знак плюс. Согласно техническим условиям на производство тоннельных работ, эллиптичность по горизонтальному и вертикальному диаметрам определяют дважды: первый раз — после укладки кольца, а второй раз — по выходе кольца из-под эректора (или из зоны деформации). Эллиптичность по косым диаметрам измеряют не реже чем через каждые пять

колец. Размер эллиптичности не должен превышать ±50 мм, независимо от материала обделки.

Причин появления деформаций тоннельной обделки много. Основные из них — пустоты, остающиеся за тоннельной обделкой, и плохая затяжка болтов. Под влиянием горного давления и даже при отсутствии его, под влиянием собственного веса, кольцо тоннельной обделки при недостаточной затяжке болтов, скрепляющих тюбинги в продольных и поперечных швах, при наличии пустот может деформироваться. Поэтому во время сборки кольца необходимо тщательно заполнять все пустоты путем нагнетания растворов за внешнюю оболочку тоннеля, а также с надлежащим усилием затягивать все болты. Кроме этого, перед укладкой в тоннель обработанные торцы металлических сегментов должны быть очищены от песка, цемента и породы, так как получить проектную геометрическую форму тоннельного кольца из неочищенных тюбингов нельзя. Бетонные и железобетонные сегменты и блоки должны иметь правильную геометрическую форму. При несоблюдении заводами допусков, предусмотренных в проекте, кольца, собранные из таких сегментов, будут иметь геометрическую форму, отличающуюся от проектной.

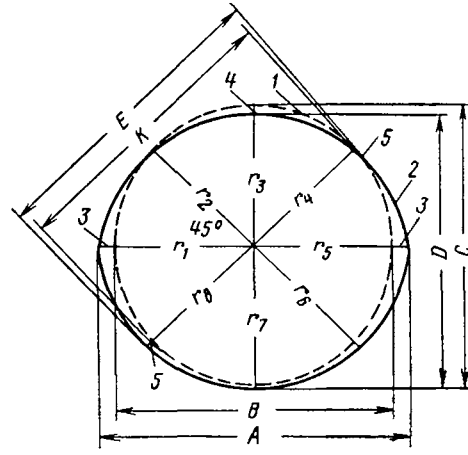


Рис. 193. Эллиптичность кольца:

1 — проектное положение; *2* — фактическое положение; *3* — горизонтальная эллиптичность ($A-B$); *4* — вертикальная эллиптичность ($D-C$); *5* — косая эллиптичность ($E-K$)

При щитовой проходке, где сборку тоннельной обделки выполняют при помощи эректора, тоннельная обделка подвергается очень большим горизонтальным и вертикальным нагрузкам, обусловленным действием щитовых домкратов и большой массы эректора. Если эти нагрузки по периметру кольца неравномерны, то они также станут причиной деформаций даже хорошо собранного кольца.

§ 134. Съемка колец в плане и профиле

На прямом участке трассы тоннеля положение каждого кольца тоннельной обделки может быть определено путем измерения радиусов от проектного центра тоннеля. Для этого от двух полигонометрических знаков разбивают и закрепляют в натуре две точки, расположенные на проектной продольной оси тоннеля.

Между этими точками натягивают проволоку и от нее измеряют радиусы уложенного кольца. По полученным результатам измерения вычисляют отклонения колец в плане и профиле по следующим формулам: отклонение центра кольца в плане

$$m = \frac{r_5 - r_1}{2},$$

отклонение лотка кольца в профиле

$$\Delta h_{\text{лотка}} = r_1 - r_7,$$

отклонение свода кольца в профиле

$$\Delta h = r_3 - r,$$

отклонение центра кольца в профиле

$$\Delta h_{\text{центра}} = \frac{r_3 - r_7}{2},$$

где r — проектный радиус кольца, r_5, r_1, r_7, r_3 — измеренные фактические радиусы (см. рис. 193).

Съемку колец в плане можно выполнить также одним из следующих способов: а) от продольной оси, закрепленной в своде тоннеля; б) от смещенной оси; в) непосредственно с пункта полигонометрии.

Продольную ось тоннеля разбивают от полигонометрических знаков способами, изложенными в гл. XIV. Ось, вынесенную в свод тоннеля, закрепляют маркшейдерскими гвоздями с отвесами или световыми сигналами. Световые сигналы устанавливают под осевыми знаками таким образом, чтобы ось прорези совмещалась с отвесом, опущенным с осевого знака. Положение световых сигналов систематически (не реже одного раза в трое суток) проверяют. Положение в плане укладываемого или снимаемого кольца определяют путем измерения отклонения центра кольца от оси тоннеля, закрепленной в своде.

Другой способ определения положения кольца от смещенной оси — самый распространенный и простой. Он не требует закрепления оси в своде тоннеля. Смещенную ось тоннеля задают с полигонометрического знака на уровне горизонтального диаметра, а величину смещения подбирают так, чтобы смещенная ось беспрепятственно проходила до забоя и была минимально удалена от обделки тоннеля (рис. 194). Смещенная ось также может быть закреплена световыми сигналами. Положение собранного кольца в плане определяется измерением расстояний на уровне горизонтального диаметра от створа смещенной оси до внутренних граней колец. Смещение центра кольца в плане вычисляют по следующим формулам:

$$m_{\text{пр}} = b + d - \frac{D}{2},$$

$$m_{лев} = \frac{D}{2} - (a + b),$$

$$m = \frac{R_{пр} - R_{лев}}{2},$$

где m — величина смещения центра кольца в плане, D — измеренная величина горизонтального диаметра, a — расстояние

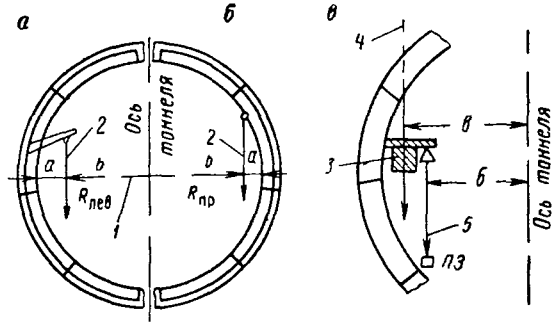


Рис. 194. Схема определения положения кольца в плане

а — смещенная ось в левой стороне; *б* — смещанная ось в правой стороне от оси тоннеля, *в* — закрепление смещенной оси с помощью сигнала; *1* — горизонтальный диаметр; *2* — смещенная ось; *3* — световой сигнал, *4* — смещенная ось, *5* — отвес над полигонометрическим знаком

от смещенной оси до внутреннего ребра жесткости тюбинга, b — расстояние от проектной оси тоннеля до смещенной оси, R — радиусы кольца.

Если величина m получилась со знаком плюс, то значит тоннель отклонен от проекта вправо, и наоборот.

Инструментально непосредственно с пункта полигонометрии съемку колец в плане можно произвести (рис. 195) одним из следующих способов: 1) полярным; 2) параллельным лучом; 3) произвольным створом.

Для определения положения кольца в плане полярным способом производят геодезическую привязку отвеса, закрепленного на передней плоскости кольца, желательно на фактической оси кольца; если фактический центр кольца не удается определить непосредственно с полигонометрического знака, определяют положение отвеса, смещенного относительно фактической оси определяемого кольца. По смещению отвеса относительно проектной оси и промерам от него до обделки тоннеля находят уклонение центра кольца в плане.

Положение колец в плане способом параллельного луча определяют с помощью теодолита, установленного на полигонометри-

ческом знаке, трубу которого устанавливают по направлению трассы путем откладывания угла

$$\beta = a_{ПЗ2-ПЗ1} - a_{трассы}.$$

Домер a отсчитывают при помощи зрительной трубы по нивелирной рейке, горизонтально приложенной к ребру кольца

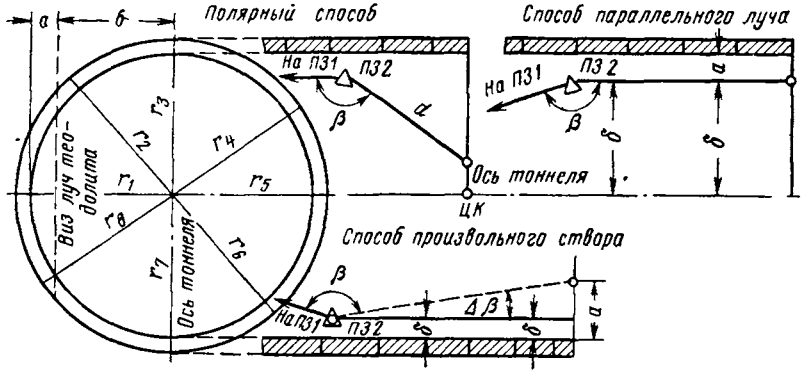


Рис. 195. Инструментальная съемка колец в плане

на уровне горизонтального диаметра. Смещения центра кольца вычисляют по следующим формулам:

при расположении полигонометрического знака с левой стороны тоннеля

$$m = \frac{D}{2} - (\delta + a),$$

при расположении с правой стороны

$$m = \delta + a - \frac{D}{2}.$$

Способом произвольного створа положение кольца в плане определяют также с помощью теодолита, установленного на полигонометрическом знаке, для чего измеряют угол β на произвольно закрепленный отвес и производят домеры a (см. рис. 195).

Смещения вычисляют по следующим формулам:

при расположении полигонометрического знака с правой стороны тоннеля

$$m = (\delta + \Delta\delta + a) - \frac{D}{2},$$

при расположении с левой стороны

$$m = \frac{D}{2} - (\delta \pm \Delta\delta + a),$$

где D — измеренная величина диаметра кольца, δ — смещение полигонометрического знака от проектной оси тоннеля; a — до-

мер до ребра кольца; $\Delta\delta$ — поправка в величину δ, вычисляемая по формуле

$$\Delta\delta = d \cdot \operatorname{tg} \Delta\beta,$$

где d — разность пикетных значений определяемого кольца и полигонометрического знака; $\Delta\beta$ — разность дирекционных углов направления произвольного створа и трассы.

В формулах для смещения m знаки плюс или минус перед величиной $\Delta\delta$ применяются в зависимости от того, удаляется или приближается к оси тоннеля луч произвольного створа.

На переходных кривых для съемки колец пользуются смещенными линиями тангенсов или стягивающими хордами. В первом случае вводят поправки за ординаты переходной кривой, а во втором — за стрелки стягивающей хорды.

При строительстве тоннелей на кривых участках продольную ось разбивают и закрепляют хордами, от которых производят съемку колец с введением поправки за стрелу изгиба. Для удобства съемки колец в тоннеле разбивают смещенные съемочные хорды, параллельные хордам осевой кривой. Для разбивки смещенных хорд с полигонометрических знаков откладывают предварительно вычисленные величины смещений. Определение положения колец в плане относительно хорд выполняется теми же способами, что и на прямых участках.

Положение колец в профиле определяют нивелированием лотка и свода. Полученные абсолютные отметки сравнивают с проектными значениями. Это нивелирование выполняют дважды, первый раз при укладке лоткового тюбинга, второй — после выхода кольца из зоны деформации (за эректором).

При нивелировании колец с консоли над эректором удобно в своде тоннеля закрепить нивелирную рейку, отметку нуля которой следует предварительно определить.

При строительстве тоннеля со сборной обделкой наблюдается увеличение (набегание) пикетажа колец, составляющие при укладке чугунных тюбингов величину порядка 0,7 — 1,0мм на одно тоннельное кольцо, а при железобетонной обделке — порядка нескольких миллиметров. Это увеличение длины тоннеля происходит от неточного примыкания плоскостей колец, от некачественной и неравномерной затяжки болтов кольца и других причин. Увеличение неравномерно по плоскости кольца и вызывает изменения в боковом и вертикальном опережениях, что в свою очередь приводит к нарастающим отклонениям тоннеля в плане и профиле от проекта.

Боковое опережение колец определяется как уклонение плоскости кольца в плане от нормали к оси тоннеля. Для определения бокового опережения разбивают на уровне горизонтального диаметра нормаль. Величину опережения измеряют от нормали до передней плоскости кольца. Зная величины бокового опережения, можно предвычислить положение в плане последующих

колец и в случае необходимости устранить опережение путем установки клиновидной прокладки или клиновидного кольца.

Пикетаж колец определяют прибавлением к пикету нормали среднего значения боковых промеров от нормали до передней плоскости кольца

Вертикальное опережение определяют промером от отвеса, опущенного с плоскости сводового сегмента кольца до этой же плоскости в лотковой части

ГЛАВА XVIII

ВЕДЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОННЕЛЬНОГО ЩИТА ПО ТРАССЕ

§ 135. Щит, его монтаж, маркшейдерское оборудование

Щит является металлической передвижной крепью, обеспечивающей безопасное ведение тоннельных работ в неустойчивых грунтах или в условиях значительного горного давления.

Щит (рис. 196) для строительства перегонных тоннелей с чугунной и железобетонной обделкой имеет форму цилиндра. Он состоит из трех частей: ножа щита *1*, опорного кольца *2*, являющегося несущей конструкцией щита, и оболочки щита *3*. Опорное кольцо раскреплено вертикальными *4* и горизонтальными *5* перегородками с выдвижными платформами *6*. Щит оборудован гидравлическими домкратами, расположенными по окружности опорного кольца. Щитовые домкраты *7* предназначены для передвижения щита по трассе. Внешний диаметр передней части щита, предназначенного для сооружения тоннелей, равен 5,70 м, длина щита поверху равна 4,97 м, понизу — 4,57 м, масса щита превышает 50 т.

Станционный щит состоит из тех же основных элементов, что и перегонный, но количество и размеры их другие. Внешний диаметр передней части равен 8,75 м, хвостовой части 8,74 м, длина щита поверху — 4,76 м, понизу — 4,34 м Ширина опорного кольца 1190 мм. Щитовых домкратов на станционном щите 36, они также расположены на опорном кольце. Полная длина оболочки 4080 мм, длина ее хвостовой части 2340 мм. Масса щита более 140 т.

Монтажные работы при сборке щита обеспечиваются следующими маркшейдерскими данными. а) проектной продольной осью щита, закрепленной в своде монтажной щитовой камеры не менее чем тремя точками, б) нормалью к продольной оси тон-

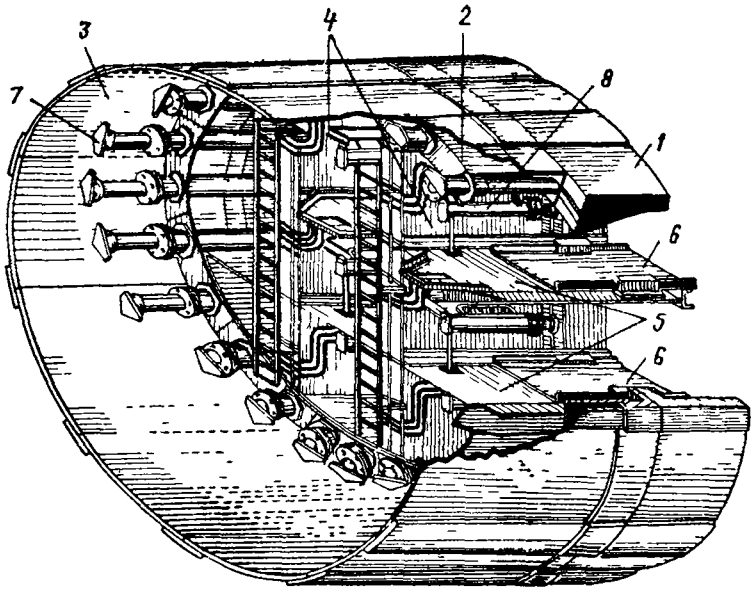


Рис. 196 Общий вид проходческого щита·

1 — нож, *2* — опорное кольцо, *3* — оболочка, *4* — вертикальные перегородки, *5* — горизонтальные перегородки, *6* — выдвижные платформы, *7* — щитовые домкраты, *8* — забойные домкраты

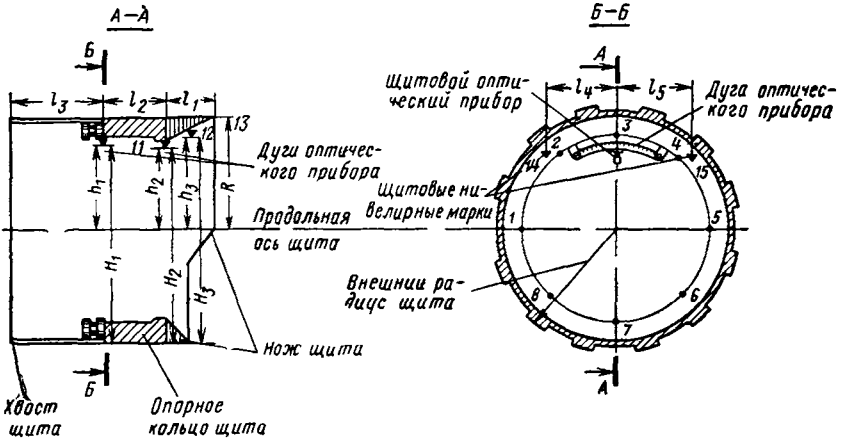


Рис. 197 Схема маркшейдерских измерений на щите и расположение маркшейдерских знаков

неля; в) проектной отметкой условного горизонта, связанного с центром щита.

Щит монтируют на направляющих рельсах или на бетонном основании. Направляющие рельсы устанавливают с точностью ±5 мм в плане и профиле. При монтаже щита первые три сегмента опорного кольца устанавливают в плане и по высоте с точностью ±10 мм. После окончания монтажа щита выполняют продольную и радиальную съемку его, в результате которой получают (рис. 197) следующие данные: а) длину ножевой части щита; б) длину опорного кольца; в) длину оболочки щита; г) величины четырех диаметров ножевой части, опорного кольца и оболочки щита. На основании результатов указанных измерений рассчитывают и закрепляют положение фактической продольной оси щита и определяют расстояния от этой оси до внешней и внутренней образующих ножа, опорного кольца и оболочки щита.

После окончания монтажных работ на щите в верхней средней ячейке устанавливают следующее оборудование и маркшейдерские знаки:

а) две металлические дуги с сантиметровыми делениями радиусом, равным расстоянию от центра щита до дуги. Дуги закрепляют на передней и задней плоскостях опорного кольца щита. Нулевые штрихи закрепленных дуг должны находиться в вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось щита;

б) два специальных уровня, вмонтированных в металлические коробки, или отвес-уклономер для определения продольного и поперечного уклонов щита;

в) три маркшейдерских знака, фиксирующих фактическую продольную ось щита и одновременно служащих для целей нивелирования;

г) две контрольные нивелирные марки *14* и *15* на задней плоскости опорного кольца для определения поперечного уклона (см. рис. 197).

Если конструкция щита позволяет закрепить фактические центры его непосредственно в натуре, то они устанавливаются в одной или двух плоскостях, нормальных к оси щита. Наличие фактической продольной оси щита упрощает и облегчает работу маркшейдеров на щите.

После закрепления всех маркшейдерских знаков на щите измеряют следующие элементы, необходимые для определений его положения в плане и профиле во время движения по трассе: а) расстояния между осевыми и нивелирными знаками, закрепленными в щите (см. рис. 197); б) расстояния от ножа и хвоста до каждого осевого и нивелирного знака; в) расстояния от осевых знаков до низа оболочки щита и до его фактической продольной оси (H_1, H_2, H_3; h_1, h_2, h_3).

Для обеспечения правильного ведения щита маркшейдерская техническая инструкция требует выполнения таких условий, без соблюдения которых последующая передвижка щита не раз-

решается: а) разработки забоя по всему периметру на величину передвижки в средних и твердых породах; б) очистки лотка тоннеля перед ножом; в) замыкания последнего кольца тоннельной обделки; г) установки и затяжки всех болтов в кольцах тюбинговой обделки; д) наличия нагнетания на третьем кольце не менее чем до горизонтального диаметра.

Нагнетание за обделку тоннеля производят вслед за передвижением щита, начиная с первого кольца, сошедшего с оболочки щита. Согласно техническим условиям на производство работ уклонения щита от проектного направления трассы в плане и профиле не должны превышать ±50 мм; отклонение колец в плане и профиле не допускается свыше ±50 мм; эллиптичность колец в укладке не допускается более ±25 мм, а за эректором ±50 мм. В процессе работы щита он может деформироваться, а это явится источником эллиптичности в собираемых кольцах. Поэтому необходимо не реже одного раза в месяц измерять четыре диаметра: а) в ножевой части; б) у опорного кольца; в) в свободной части оболочки. Указанные измерения дают возможность судить о деформации щита.

§ 136. Способы определения вращения щита вокруг продольной оси

Во время движения по трассе тоннельный щит в силу действия различных факторов (разнородная плотность пород, неравномерное давление щитовых домкратов) может поворачиваться вокруг своей продольной оси. Это вращательное движение щита называют кручением или креном щита. Появление поперечного уклона изменяет положение осевых маркшейдерских марок, закрепленных в своде щита относительно его продольной оси. Поэтому необходимо производить дополнительные измерения и вычисления, вводить поправки в положение знаков за счет поперечного уклона.

Поперечный уклон щита определяют путем нивелирования двух марок *14* и *15* (см. рис. 197). Поправку в положение знака относительно оси щита за поперечный уклон вычисляют по формуле

$$m_{\text{р}} = \frac{rh}{a},$$

где r — расстояние от оси щита до осевого знака, h — превышение между нивелирными марками *14* и *15*, a — расстояние между марками.

Поперечный уклон щита может быть определен и при помощи отвеса-уклономера (рис. 198), постоянно подвешенного на щите, и медной пластинки со шкалой, имеющей деления через 5 мм. Пластинку укрепляют на горизонтальной площадке под отвесом с таким расчетом, чтобы в момент закладки осевых знаков нулевой ее штрих приходился точно под острием отвеса. При появлении

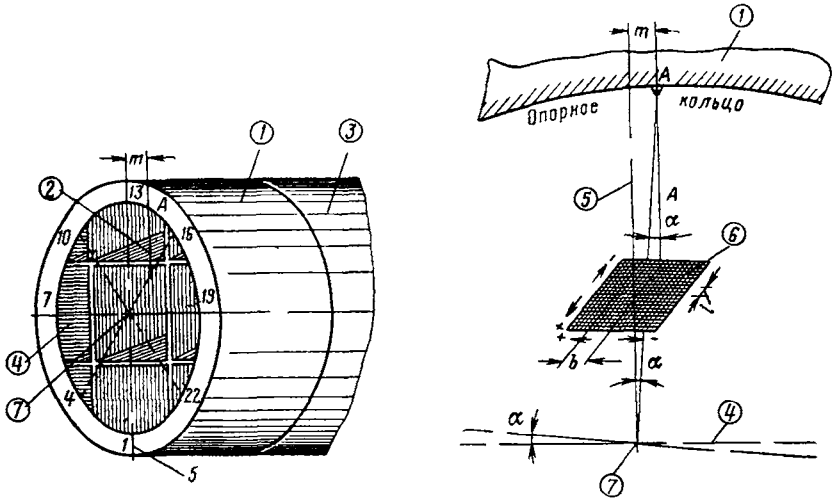


Рис. 198. Схема определения поперечного и продольного уклонов щита

1 — опорное кольцо; *2* — уклономер, *3* — нож щита; *4* — горизонтальный диаметр щита; *5* — вертикальный диаметр щита, *6* — плоскость с градуированными делениями; *7* — центр щита

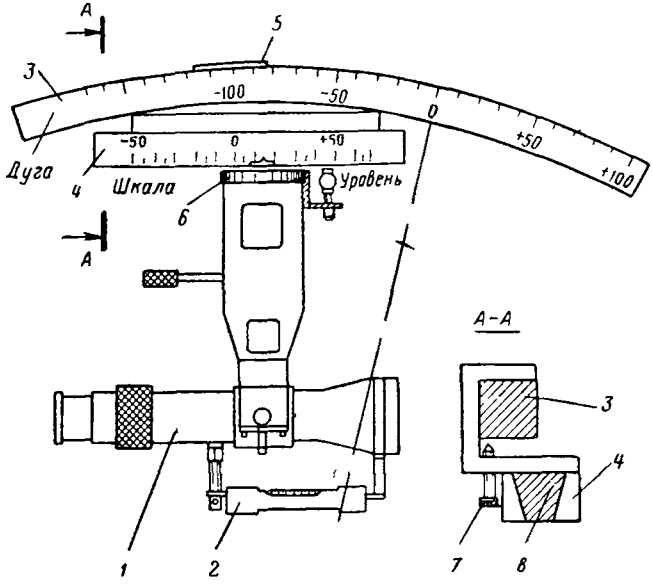


Рис. 199. Оптический щитовой прибор с дугой:

1 — труба прибора; *2* — уровень; *3* — дуга с делениями, *4* — шкала отклонений, *5* — индекс дуги, *6* — индекс шкалы отклонений, *7* — прижимные винты, *8* — ползунок, скрепленный наглухо с трубой

поперечного уклона острие отвеса сместится с нулевого деления и по шкале можно будет сделать отсчет (см. рис. 198). Угол поперечного уклона щита определяют по формуле

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{b}{D},$$

где b — отсчет по шкале на пластинке, D — расстояние между точкой подвеса отвеса и шкалой.

Поправка m_p в отсчете по рейкам (в положение знаков) за поперечный уклон равна

$$m_p = r \cdot \sin\alpha,$$

где r — расстояние от центра щита до реек.

Подставляя значение $\sin\alpha$, получим

$$m_p = b \cdot \frac{r}{D}.$$

Отношение $\frac{r}{D}$ — величина постоянная, что позволяет на шкалах пластинки обозначить деления так, чтобы отсчеты являлись поправками m_p. Знаки поправок указывают на краю пластинки: по ходу щита от нуля вправо — знак минус, а влево — плюс.

Пример. Рассчитать деления шкал так, чтобы отсчеты по ним давали поправки в миллиметрах. Пусть $r = 2{,}60$ м, $D = 1{,}80$ м, тогда $\frac{r}{D} = \frac{2{,}60}{1{,}80} = 1{,}44$, и размер деления на шкале будет $\frac{5 \text{ мм}}{1{,}44} = 3{,}5$ мм.

Величину кручения щита можно определить с помощью сообщающихся сосудов или специальным уровнем, снабженным тангенциальным винтом. Существует метод автоматического введения поправки за крен, но он применим только при наличии закрепленного центра щита, что по условиям производства не всегда выполнимо.

Для исключения кручения щита во время его движения, а также для исправления кручения применяются так называемые «крылья», которые в виде небольших металлических пластинок под необходимым для исправления углом врезают в передней части оболочки щита на уровне горизонтального диаметра.

Наибольшее распространение в практике тоннелестроения получил автоматический метод введения поправки за крен, предложенный инженером М. С. Черемисиным. К верхней ячейке опорного кольца щита приваривают две металлические дуги радиусом, равным расстоянию от центра щита до точек крепления дуг (рис. 199). По дугам на ползунках движется уровень. Когда пузырек уровня находится в середине, вертикальная линия, проходящая через его середину, лежит на одной вертикальной линии с центром щита при наличии любого крена.

§ 137. Способы определения положения щита в плане на прямых участках трассы и на переходных кривых

При сооружении тоннелей щитовым способом тоннельная обделка, состоящая из чугунных или железобетонных тюбингов или блоков, собирается в оболочке щита, поэтому положение колец тоннельной обделки в плане и профиле зависит от положения щита. Эта зависимость заставляет вести щит строго по заданному проектом направлению и не допускать отклонения его в плане и профиле более чем на ±50 мм.

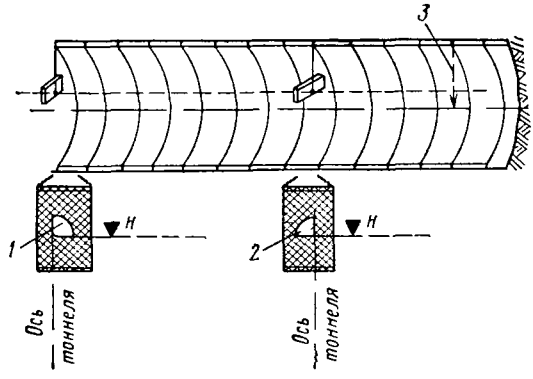


Рис. 200. Устройство световых сигналов в тоннеле

1 — задний красный сигнал с источником света, горизонтальная грань на заданной отметке, *2* — передний сигнал, грани которого расположены аналогично заднему сигналу, *3* — щитовой прибор или отвес, выставляется в створе сигналов *1*, *2*

Все геодезическо-маркшейдерские работы, связанные с ведением щита, базируются на пунктах подземной полигонометрии. Знаки подземной маркшейдерской основы и осевые сигналы для ведения и определения щита закладывают в готовом тоннеле. Сигналы выставляют инструментально от знаков основы с погрешностью, не превышающей ±3 мм. Если условия на щите не позволяют пользоваться осью тоннеля, последнюю смещают в удобное для производства работ место вместе со щитовым оборудованием. Для определения положения щита в плане на прямом участке трассы применяют один из следующих способов.

1. С помощью щитового прибора и двух металлических дуг. Оптический щитовой прибор (см. рис. 199) и металлические дуги монтируют в верхней средней ячейке щита.

От знаков подземной полигонометрии вычисляют и выносят в натуру ось тоннеля, которую закрепляют в своде тоннеля, сзади щита, двумя освещаемыми сигналами (рис. 200). Эти сигналы устанавливают и освещают так, чтобы они были хорошо видны с верхней средней площадки щита.

Порядок определения положения щита в плане следующий: а) устанавливают нулевой индекс шкалы щитового прибора *4* на задней дуге *3* на отсчет, соответствующий поперечному уклону щита, определенному по уровню, и закрепляют прижимным винтом *7* (см. рис. 199); б) перемещают оптическую трубу прибора *1* вправо или влево по шкале прибора *4* до тех пор, пока видимые в трубе изображения двух сигналов не совместятся; в) делают отсчет по шкале прибора, указывающей уклонение от оси центра щита в плоскости данной дуги; г) затем устанавливают прибор на передней дуге и повторяют в той же последовательности все действия, как и на задней дуге. Получив отклонения в плане двух точек оси щита, расположенных в двух его поперечных плоскостях, вычисляют отклонения конечных точек оси щита ножа *1* и хвоста щита *2* (рис. 201) по следующим формулам:

отклонение хвоста

$$x_1 = x_2 + (x_2 - x_3)\frac{l_3}{l_2},$$

отклонение ножа

$$x_4 = x_3 + (x_3 - x_2)\frac{l_1}{l_2},$$

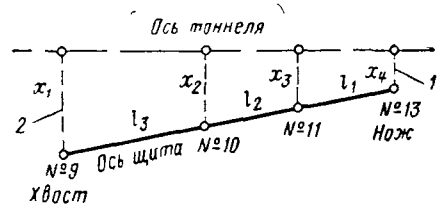


Рис. 201. Схема экстраполяции отклонений для ножа и хвоста щита

где l_1, l_2, l_3 — известные расстояния между осевыми знаками и конечными точками щита; x_2, x_3 — полученные уклонения осевых знаков № 10 и № 11 от проектной оси (отсчеты по шкале прибора).

2. Способ отсчетов по рейкам на щите. Вместо дуг на щите укрепляют линейки с сантиметровыми делениями. Деления на линейке возрастают от нулевого штриха вправо по ходу щита со знаком минус, а влево — со знаком плюс. Линейки укрепляют на щите до начала проходки так, чтобы нулевой штрих совпадал с вертикальной плоскостью, проходящей через продольную ось щита. Проектную ось тоннеля инструментально закрепляют в своде тоннеля не менее чем тремя точками, при этом в пределах площадки эректорной тележки размещают два знака. Затем на линейку подвешивают отвес, устанавливают его в створе закрепленных осевых точек и отсчитывают по ней. Те же действия производят и по второй линейке. В полученные отсчеты по линейкам вводят поправки за поперечный уклон щита согласно данным уклономера или уровней. Отсчеты по линейкам с введенными поправками и являются отклонениями в плане этих точек от проектной оси тоннеля. Уклонения в плане ножа и хвоста щита определяют по формулам предыдущего способа.

Вместо отвеса к линейкам можно подвешивать зрительную трубу или диоптры.

На участках переходных кривых методика определения щита аналогична описанной методике, применяемой на прямых участ-

ках. В готовом тоннеле сзади щита закрепляют смещенные линии тангенсов или стягивающие хорды. В результаты определения положения щита относительно этих прямых вводят соответственно поправки за уклонения переходной кривой от линии тангенса или за уклонения кривой от стягивающей хорды.

§ 138. Способы определения положения щита в плане на участках круговой кривой. Оптический клин

На кривых участках трассы порядок определения положения щита в плане тот же, что и на прямых, с той лишь разницей, что в этом случае на объектив трубы щитового прибора надевают насадку с оптическим клином, изготовленным для данного радиуса кривой (свойства оптического клина смотри далее). Для определения отклонения данной точки в плане прибор перемещают по дуге вправо или влево до тех пор, пока не получат совмещения двух средних изображений сигналов. Совмещение изображений свидетельствует о том, что труба щитового прибора находится на проектной оси кривой. Далее производят отсчеты по шкале прибора, указывающие уклонения точек дуги от проектной оси тоннеля в плане.

В случае отсутствия оптического клина положение тоннельного щита на кривой в плане можно определять от хорд или секущих.

Оптический клин, применяемый для определения положения щита на кривой, имеет свойство давать двойное изображение предмета под определенным и постоянным углом. Клин вмонтирован в специальную оправу, которая надевается на объектив трубы щитового прибора. Один клин располагается в верхней, а другой — в нижней части насадки. Линия соприкосновения клиньев проходит через центр трубы и должна быть горизонтальной. Пусть на участке трассы, расположенном на круговой кривой (рис. 202), имеются два сигнала A и B и в точке J — щитовой прибор с оптическим клином. При визировании в трубу на сигнал A оптический клин сместит изображение сигнала влево на угол $\alpha/2$, а другой клин — вправо на тот же угол $\alpha/2$. Такое же явление произойдет и со вторым сигналом B. Следовательно, в трубе мы видим не два изображения сигналов A и B, а четыре. Если принять, что расстояние между сигналами A и B было взято таким, при котором угол преломления клина α равен углу AJB, то изображения точек A и B окажутся совмещенными. Из сказанного следует, что при движении инструмента с оптическим клином строго по окружности изображения сигналов A и B будут оставаться все время совмещенными, так как углы α между направлениями на точки A и B, опирающиеся на одну и ту же дугу окружности, будут равны. Пользуясь этим свойством оптического клина, можно при его помощи определить отклонения в плане ножа и хвоста щита. Так, применительно к рис. 199 поперечный

уклон щита равен 100 мм. Для исключения влияния поперечного уклона щита в плане нульпункт щитового оптического прибора совмещают с цифрой 100 мм и в этом положении прибор закрепляют прижимными винтами к дуге. Таким образом, оптический прибор находится на вертикальной оси щита и отклонение за его поперечный уклон автоматически исключается. Затем на трубу надевают насадку с оптическим клином. Двигая трубу щитового прибора вправо или влево, добиваются совмещения изображений сигналов и делают отсчет по шкале отклонений. Закончив все определения на первой дуге, прибор переносят на

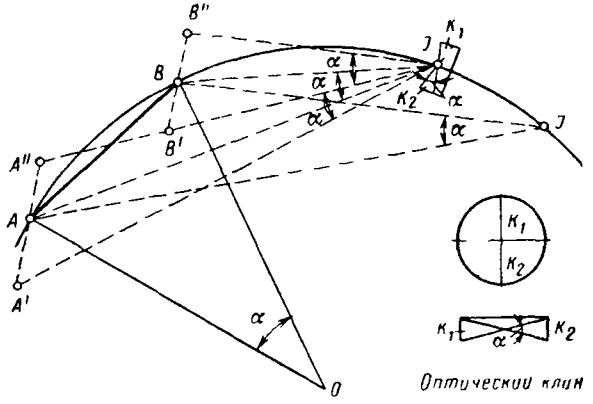


Рис. 202. Схема работы с оптическим клином на кривой

вторую дугу и производят те же действия, как и на первой дуге. Для того чтобы прибор не переносить на вторую дугу, трубу переводят через зенит и берут отсчет по шкале, прикрепленной к передней дуге. В этом случае следует вводить поправку за кривизну трассы по формуле

$$q = \frac{l^2}{2R},$$

где l — расстояние от инструмента до дуги, R — радиус кривой.

Для изготовления оптических клиньев задаются проектным углом из такого расчета, чтобы расстояние между сигналами по хорде было равно или близко к 50 м, что соответствует расстоянию между пунктами основной полигонометрии. Угол клина рассчитывают по формуле

$$\alpha'' = \frac{S \cdot 206\,265''}{2R},$$

где S — длина хорды, R — радиус кривой.

Каждый изготовленный оптический клин должен быть проверен. Проверка заключается в инструментальном определении угла оптическим теодолитом типа ОТС или ТБ-1. Угол оптиче-

ского клина определяют следующим образом. При помощи специального приспособления на трубу теодолита сверху накладывают оптическую трубу щитового прибора с насаженным клином. Для проверки угла клина должны быть соблюдены следующие условия:

1) плоскость объектива клина должна находиться в центре вращения теодолита, а линия соприкосновения клиньев должна быть горизонтальной;

2) при измерении углов труба теодолита должна быть горизонтальной;

3) так как величина угла клина зависит от цвета применяемых сигналов, то проверка производится обязательно в тоннеле в тех же условиях освещения, при которых будет определяться положение щита;

4) угол клина проверяют не менее трех раз при расстояниях до сигналов 50, 75 и 100 м.

Для определения угла оптического клина трубу с клином наводят на одно изображение сигнала и по горизонтальному кругу теодолита производят отсчет. Затем наводят трубу на второе изображение сигнала и производят второй отсчет. Разность отсчетов по горизонтальному кругу теодолита и есть угол оптического клина. Максимальные расхождения в определении угла оптического клина на разных расстояниях не должны превышать $\pm 12''$. За окончательное значение определяемого угла клина принимают среднее арифметическое значение из всех определений. Определив угол оптического клина и зная радиус кривой трассы, вычисляют расстояние S между сигналами по формуле

$$S = 2R \cdot \sin \alpha.$$

Для ведения щита при помощи трубы с оптическим клином предварительно рассчитывают установку сигналов в готовом тоннеле. Для введения щита в начальной части кривой сигналы располагают на прямолинейном участке тоннеля. При расчете их установки в этом случае кривую условно продолжают назад.

§ 139. Способы определения положения щита в профиле; продольный уклон щита

Положение щита в профиле определяют нивелиром или щитовым прибором с уровнем при оптической трубе и нивелирной рейкой. Нивелирную рейку заранее, так же как и осевые знаки, подвешивают в своде готового тоннеля так, чтобы она была видна с верхней площадки щита. Отметку на репер, к которому подвешена рейка, передают с основных реперов, заложенных в лотке тоннеля, при помощи нивелира и рулетки или длинной рейки. Для определения отметок ножа и хвоста щита нивелируют какой-либо один из осевых знаков щита *10*, *11*, *12* (см рис. 197). Зная расстояния между этими знаками и оболочкой щита (H_1, H_2,

$H_з$) по вертикальной плоскости, вычисляют абсолютную отметку низа оболочки в соответствующей точке. В отметку осевого знака необходимо ввести поправку за поперечный уклон щита.

На участках вертикальных кривых вводят соответствующие поправки. По полученной отметке и продольному уклону щита, определяемому при помощи уровня или уклономера, подсчитывают фактические отметки хвоста и ножа щита. Определив пикетное значение хвоста и ножа, вычисляют проектные отметки и, сравнив их с фактическими отметками, определяют уклонение щита в профиле от проекта; при этом завышение щита обозначают знаком плюс, а занижение — знаком минус.

Для определения положения щита в профиле с помощью щитового прибора нужно определить отметку его горизонта и расстояние от оси вращения до низа оболочки щита. Зная отметку горизонта щитового прибора, можно вычислить абсолютную отметку оболочки низа щита в данной точке, а по полученному продольному уклону определить отметки ножа и хвоста.

Положение щита в профиле можно определить и визуально, для чего в готовом тоннеле сзади щита подвешивают два светящихся сигнала с горизонтальной щелью. Щели сигналов устанавливают от основных реперов на проектные отметки, выдерживая проектный уклон данного участка тоннеля. На щите укрепляют вертикальную реечку с ползунком и диоптром. Установив диоптр ползунка в створе горизонтальных щелей светящихся сигналов, отсчитывают по реечке. Зная вертикальное расстояние от нуля реечки до низа оболочки щита и продольный уклон щита, вычисляют абсолютные отметки и оболочки щита.

Продольный уклон щита определяют при помощи отвеса-уклономера аналогично тому, как это описано выше для поперечного уклона (см. рис. 198). Деления шкал уклономера рассчитывают так, чтобы их можно было подписать в тысячных долях. Например, при длине нити отвеса 1,80 м одно деление шкалы, соответствующее уклону в 0,001, будет равно 1,8 мм.

Продольный уклон может быть получен и при помощи уровня, устанавливаемого в специальных гнездах параллельно продольной оси щита. Величину делений в зависимости от радиуса кривизны ампул подбирают так, чтобы можно было отсчитывать уклон по шкале уровня в тысячных долях.

Уклон щита может быть определен также путем нивелирования двух маркшейдерских марок, расположенных в своде щита и приваренных так, чтобы при горизонтальном положении щита превышение между марками равнялось нулю, тогда уклон щита подсчитывают по формуле

$$i = \frac{h}{l},$$

где h — превышение между марками в миллиметрах, l — расстояние между марками в метрах.

Превышение h определяют с помощью нивелира и рейки или сообщающихся сосудов.

Движение щита по трассе, как уже было сказано выше, осуществляется с помощью щитовых домкратов. Если, например, щит нужно поднять в профиле, включают часть домкратов, расположенных ниже горизонтального диаметра, и обратно, если щит нужно опустить, включают верхние домкраты. В твердых породах регулирование щита в профиле достигается соответствующей разработкой породы в лотке тоннеля перед щитом. В слабых породах, как правило, ножевая часть щита под действием своей массы погружается больше, чем хвостовая часть; поэтому щит теряет заданный ему проектный уклон. В этих случаях необходимо особенно тщательно следить за вертикальным уклоном щита, так как изменение уклона неизбежно ведет к занижению щита, а следовательно, и сооружению тоннеля с отклонениями в профиле от проекта.

В каждом отдельном случае в зависимости от твердости породы рекомендуется определить опытным путем при первых передвижках щита тот фактический уклон, который обеспечит движение щита по уклону, заданному проектом. В слабых грунтах при движении на подъем фактический уклон (положительный) может превышать проектный на 0,010—0,030, а при движении вниз вместо отрицательного проектного уклона щит в ряде случаев ведут при горизонтальном положении оси или даже с положительным уклоном. В особо слабых грунтах, когда не удается вывести щит на проектную отметку с помощью домкратов, приходится предварительно устраивать специальную бетонную или железобетонную подушку.

§ 140. Наблюдение за щитом во время его движения по трассе

Наблюдение за положением щита во время его движения производится теми же маркшейдерскими приборами и способами, которые применяются для определения его положения после передвижки. Через определенный промежуток времени маркшейдер в зависимости от скорости движения щита (10—20 мин) определяет положение щита в плане по щитовому прибору, выставляя его в створе световых сигналов, которыми, как уже указывалось, фиксируют проектное положение оси тоннеля как в плане, так и в профиле. Кроме того, он непрерывно следит за уклономером и соблюдает заданный продольный уклон щита, давая указания водителю о включении или выключении соответствующих щитовых домкратов. Наблюдение за перекосом щита в плане и за продвигом щита по пикетажу осуществляется при помощи двух специальных реек, укрепленных на оболочке щита на уровне горизонтального диаметра (рис. 203). Одна рейка располагается слева по ходу щита, между домкратами *5* и *6*, а вторая — справа, между

домкратами *18* и *19*. Применение боковых реек обеспечивает надежное определение продвига и бокового опережения щита по известному опережению последнего кольца. Опережение щита следует определять непрерывно, так как оно оказывает большое влияние на положение щита относительно проектной оси трассы.

Чтобы рейки при движении щита держались в нужном положении, применяют ряд приспособлений. Наиболее удобным является приспособление, предложенное маркшейдером С. П. Сибиркиным. Рейку устанавливают на специальные ножки, которые опираются на домкрат (см. рис. 203). Нулевой конец рейки прижимается к вышележащему домкрату и упирается нулем в заднюю плоскость опорного кольца щита. Рейка, имея точку опоры на ножке и разные длины плеч, прочно удерживается в горизонтальном положении под действием своей тяжести.

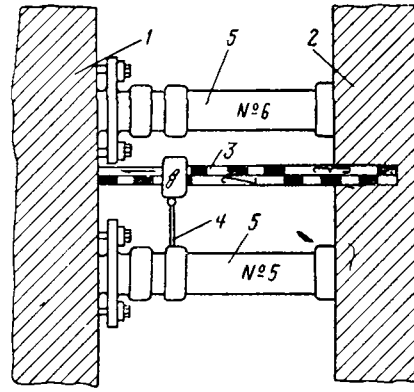


Рис. 203. Приспособление для наблюдения за перекосом и продвигом щита:

1 — опорное кольцо щита; *2* — передняя плоскость кольца; *3* — нивелирная рейка; *4*—откидная ножка; *5*—щитовые домкраты

§ 141. Механизированные щиты и агрегаты для проходки в крепких породах

Механизированная разработка забоя на полное сечение наиболее полно отвечает современным требованиям тоннелестроения, как гарантирующая точное оконтуривание выработок и обеспечивающая сохранность массива. При этом применяют мощное крупногабаритное оборудование и машины, обеспечивающие высокие скорости строительства.

Механизированную проходку тоннелей в скальных породах можно проводить как на полное сечение, так и последовательно, т. е. по частям. К более совершенным принадлежат машины, обеспечивающие разработку породы по всему забою выработки. В состав комплекса механизмов входят проходческая машина, устройства для перемещения породы и улавливания пыли.

Проходческие машины имеют в своем составе рабочий орган, поддерживающее и опорное устройства, находящиеся под защитой головного козырька или оболочки щита.

Для разработки породы применяют различные орудия, смонтированные на рабочем органе машины, которые по направлению их действия могут быть подразделены на две группы:

1) действующие в направлении проходки;
2) действующие перпендикулярно к направлению проходки.

К первой группе относятся ножи, режущие зубья, пики, шарошки (зубчатые, дисковые).

При вращении рабочего органа эти орудия с кромкой из твердых сплавов образуют в скальной породе концентрические пазы, промежутки между которыми скалываются под действием ножей или дисковых шарошек.

Вследствие статического и динамического воздействия надавливания и вращения зубья шарошек проникают в забой, непосредственно откалывая куски породы или создавая предварительные трещины и поверхности разрушения с последующим отколом. При вдавливании в хрупкую породу шарошек с выступами вокруг последних возникают перенапряжения породы, в результате чего образуются трещины и поверхность разрушается, по трещинам проходит отрыв мелких кусков породы.

Ко второй группе относятся ножи или зубья для снятия поверхностного слоя, а также фрезерные диски с режущими пластинами. Ножи и режущие пластины могут быть смонтированы на лучах рабочего органа или по периметру фрез.

Ножи располагают под небольшим углом к плоскости лучей, а фрезы — к плоскости забоя. При одновременном вращении в противоположных направлениях рабочего органа и фрез режущие пластины описывают по поверхности забоя циклоиды, а фрезы врезаются в забой, вследствие чего и происходит разрушение породы.

§ 142. Новые способы определения положения механизированных тоннельных щитов

А. Прибор ЦНИИС

Устройство прибора (автор инженер С. И. Ашпиз) позволяет непосредственно на щите получать отклонения его от проектного положения одновременно в плане и в профиле на прямых и криволинейных участках трассы.

Устройство располагается преимущественно по оси тоннеля, однако, если потребуется, устройство может быть смещено от оси тоннеля на расстояние до 1,3 м.

Устройство состоит из светового сигнала и ориентирной рамки, неподвижно расположенных в тоннеле на проектной линии, прибора и экрана разворота, подвешенных на щите к дугам (рис. 204), по которым прибор и экран могут перемещаться для исключения влияния поперечного крена (вращения щита вокруг своей продольной оси).

Геометрическая схема определения положения щита на прямом участке трассы показана на рис. 205.

Принцип работы с прибором на кривых участках трассы не изменяется, но в этом случае добавляется выполнение еще некоторых установочных операций.

Определение положения щита на прямой:

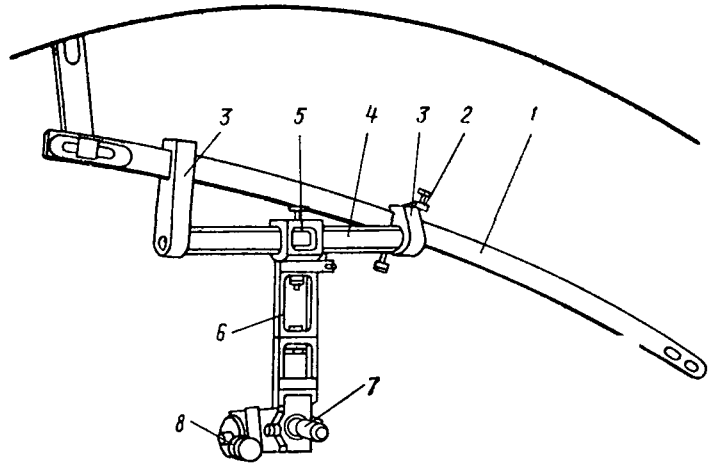


Рис. 204. Боковое расположение прибора:

1 — дуга; *2* — фиксатор; *3* — сменные кронштейны; *4* — штанга; *5* — муфта; *6* — подвеска прибора; *7* — зрительная труба *А*; *8* — зрительная труба *Б*

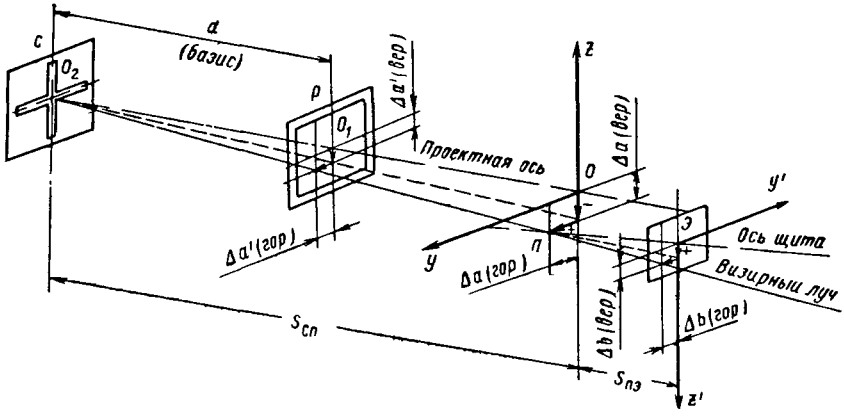


Рис. 205. Схема определения положения щита на прямолинейном участке трассы с применением устройства прибора ЦНИИС:

С — световой сигнал; *Р* — ориентирная рамка; *П* — место расположения прибора на щите; *Э* — место установки экрана разворота; Δa — отклонения оси щита в координатной системе *JZ* плоскости прибора *П*; $\Delta a'$ — читаемые отклонения прибора на рамке *Р*; Δb — читаемые развороты оси щита в координатной системе *J'Z'* на экране *Э*; O_1, O_2 — точкн проектиой оси в плоскостях *П*, *Р*, *С*; $S_{сп}$ — расстояние между сигналом *С* и прибором *П*; $S_{пэ}$ — расстояние между прибором и экраном

а) установка фиксаторов *1* на дугах *2* по делению, соответствующему фактическому крену щита в момент очередной передвижки (см. рис. 204);

б) навешивание подвески *3* и *4* прибора и экрана разворота на дуги и перемещение их до соприкосновения с фиксаторами;

в) наведение центрального креста сетки нитей основной трубы *А* на световой сигнал;

г) снятие отсчетов $\Delta a'$ в плане и в профиле;

д) отсчитывание разворота щита Δb в плане и в профиле на экране *6* крестом нитей вспомогательной трубы *Б* при сохранении наведения трубы *А* на световой сигнал (см. рис. 204).

Две первые операции производят до начала продвижения щита, а остальные три — во время его движения или по окончании продвига.

Отсчеты Δa и Δb по вертикальным нитям зрительных труб дают отклонение точки оси щита в плоскости прибора и разворот щита на длине прибор—нож щита в плане, а по горизонтальным — такие же отклонения и разворот в профиле.

Читаемые отклонения щита, выраженные координатами Δa и Δb, позволяют решить, как надо изменить щитовыми домкратами направление движения щита.

Для точного ведения щита по трассе необходимо соблюдать следующее основное правило: величина отклонения Δa должна быть равна по абсолютной величине, но противоположна по знаку величине Δb, отдельно для плана и для профиля (см. рис. 205).

Принято, что величина Δa положительна при отклонении щита вправо по ходу движения и вверх, а отрицательна — влево и вниз.

Аналогично Δb положительно при развороте щита вправо и вверх, а отрицательно — влево и вниз. На рамке и экране шашечные деления, обозначающие положительные отклонения и разворот, окрашены в красный цвет, отрицательные — в черный цвет.

На кривых участках трассы определения щита прибором отличаются от действий на прямой лишь следующим (см. рис. 204):

а) муфты *8* подвесок прибора и экрана не закреплены на постоянных делениях, а перемещаются по штангам и устанавливаются для каждого продвижения на свой отсчет.

Эти данные предварительно вычисляются и сводятся в таблицу, из которой для каждого очередного продвижения щита выбираются соответствующие значения;

б) наведение на световой сигнал и отсчитывание отклонений по рамке производятся разными нитями сетки зрительной трубы *А* (рис. 206).

Например, если кривая имеет поворот влево, то наведение производится крестом *1—6*, а отсчет крестом *3—6* или *2—6*, в зависимости от радиуса горизонтальной кривой и расстояния *а* от светового сигнала до рамки (базиса).

На вертикальных кривых, а также при совпадении горизонтальной и вертикальной кривых определение положения щита отличается от описанного только наведением сети нитей на световой сигнал.

Например, при повороте кривой вниз и влево совмещение со световым сигналом производится крестом *1—5* или *1—4* в зависимости от радиуса вертикальной кривой и длины базиса.

Для каждого конкретного криволинейного отрезка со своими геометрическими характеристиками разработано определенное

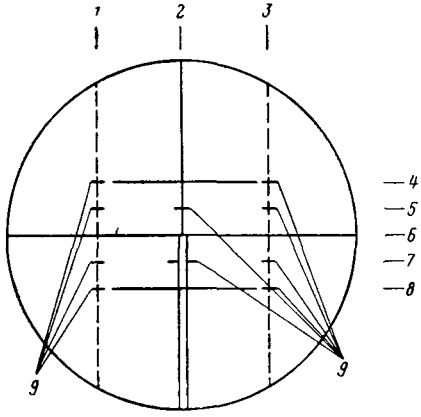


Рис. 206. Сетка нитей зрительной трубы *А*:

1, 2, 3 — номера вертикальных нитей по взгляду со стороны окуляра трубы; *4, 5, 6, 7, 8* — номера горизонтальных нитей; *9* — нанесенные горизонтальные черточки

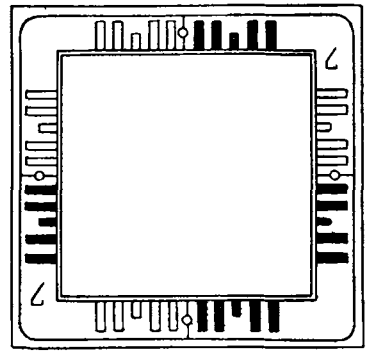


Рис. 207. Ориентирная рамка ($f = 7$)

сочетание точек сетки нитей для наведения и отсчетов, постоянное для данного отрезка.

Прибор и экран на соответствующих делениях штанг (см. рис. 204) устанавливается до начала продвижения щита.

Ориентирная рамка

Ориентирная рамка (рис. 207) состоит из набора отсчетных шкал шашечного типа с делениями, обозначающими сантиметры.

Отсчеты по шкалам берут с точностью 1 мм, оценив десятые доли шашки на глаз.

На рис. 205 из подобия треугольников видно, что

$$\Delta a = \Delta a' \frac{S_{сп}}{d}. \qquad (а)$$

Если на шкале рамки установить размер f шашечного деления равным

$$f = \frac{d}{S_{сп}}, \qquad (б)$$

то $\Delta a = \Delta a'$ и читаемый отсчет будет равен фактическому отклонению точки оси щита в плоскости прибора.

Для определения положения щита достаточно иметь набор из шести накладных шкаловых рамок с размерами шашечных делений, равными

$f = 10;\ 9;\ 8;\ 7;\ 6;\ 5$ мм.

По мере проходки и удаления щита эти рамки последовательно сменяются.

Граница смен рамок определяется заранее вычислением расстояния $S_{сп}$ по формуле (*б*) для каждого f. При большем базисе d эта смена производится редко (через 12—15 м).

Экран разворота

Отсчеты разворота щита Δb на экране *6* (см. рис. 204) производятся сеткой нитей вспомогательной трубы *Б* при сохранении наведения трубы *А* на световой сигнал.

Разворот выражается линейной величиной, замыкающей стороны угла между фактической и проектной осями щита на длине «прибор—нож».

В действительности роль проектной оси выполняет направление визирного луча (см. рис. 205), но ввиду большого расстояния от прибора до светового сигнала эта неточность практического значения не имеет.

Так как экран разворота нельзя расположить у ножа щита, удаление его от прибора устанавливают в одном из следующих соотношений расстояний:

$$\frac{\text{прибор — экран}}{\text{прибор — нож щита}} = 0{,}4 \text{ или } 0{,}5. \qquad (в)$$

По этому соотношению и изготовлены для каждого комплекта устройства два экрана с 4 и 5-миллиметровыми делениями.

Каждое деление обозначает разворот оси щита в 1 см на длине «прибор—нож».

В зависимости от расположения механизмов на щите дугу подвески экрана разворота располагают в удалении от дуги прибора, исходя из равенства (*в*).

Для ведения щита по трассе отправными данными служат отсчеты по рамке Δa и экрану Δb, а по окончании продвижения на полную длину кольца вычисляют абсолютные отклонения ножа H и хвоста X щита по формулам

$$H = \Delta a + \Delta b,$$

$$X = \Delta a - K\Delta b,$$

где K — коэффициент, выражающий отношение расстояний «прибор—хвост» и «прибор—нож», которое в подавляющем большинстве случаев равнялось 1.

Сетки нитей зрительной трубы

Сетки нитей в оптических трубах прибора использованы из теодолита ТОМ — основная *А*, из оптического центрира ОЦ-2— вспомогательная *Б*.

Сетка трубы теодолита ТОМ, состоящая из центрального креста *2—6* и двух дальномерных нитей *4* и *8*, была дополнена двумя вертикальными штрихами *1* и *3* и десятью горизонтальными короткими черточками *9*, пересекающими вертикальные нити *1*, *2* и *3*, для определения положения щита на горизонтальных и вертикальных кривых (см. рис. 210). Дополнительные нити нарезаны на основании выбора оптимального угла рассматривания их, с учетом поля зрения трубы и проектных радиусов трассы. Вертикальные углы нарезаны с углом в 1° 00′ симметрично относительно средней нити. Так как дальномерные нити нарезаны из расчета 0°17′, то наименьший вертикальный угол получился равным 8′30″.

Каждому углу сетки между нитями γ, вписанному в окружность определенного радиуса R, соответствовала расчетная длина дуги, принимаемая за базис d, определяемый по формуле

$$d = \frac{2\gamma'}{\rho'} \cdot R, \qquad (г)$$

где ρ' — величина радиана, выраженного в минутах и равного 3437,75′.

Для наиболее часто применяемых в тоннелестроении радиусов кривых автором прибора составлена таблица длин базисов (табл. 36).

В дальнейшем отказались от дополнительной нарезки сетки нитей теодолита ТОМ, а сетку нитей изготовляли на оптическом стекле заново.

Таблица 36

Длины базисов раднусов в м на круговых кривых

Горизонтальные кривые			Вертикальные кривые		
R, м	$\gamma = 60'$	$\gamma = 30'$	R, м	$\gamma = 17'$	$\gamma = 8'\,30''$
400	13,962	6,981	3 000	29,670	14,835
500	17,453	8,726	5 000	49,450	24,725
600	20,944	10,472	10 000	98,900	49,450
800	27,925	13,962			
1000	34,907	17,453			
1500	52,360	26,180			
2000	69,814	34,907			

Сетку нитей трубы от ОЦ-2 не переделывали, она полностью удовлетворяет задаче получения отсчетов по экрану разворотов щита в плане и профиле.

Визирные оси двух труб *А* и *Б* должны сохранять неизменное взаимное положение.

Определение положения щита на круговой кривой

Расположение нитей в сетке зрительной трубы *А* и закон постоянства вписанного в окружность угла, опирающегося на одну и ту же дугу, позволили на круговой кривой принять такую же схему ориентирования, что и на прямой (рис. 208). Круговая кривая, на которой были расположены сигналы и прибор (при нулевом отклонении), автором прибора инж. С. И. Ашпиз, условно названа «ориентирной кривой».

Уход прибора с ориентирной кривой при очередном передвижении щита оценивается отсчетом по рамке, этот отсчет и является фактическим отклонением от проекта точки оси щита в плоскости прибора. На рис. 209 показано положение, когда ось тоннеля совпадает с ориентирной кривой. Чтобы удовлетворить требованию $d \geqslant 25$ м, по табл. 36 видно, что применять данную схему можно на горизонтальной кривой $R \geqslant 800$ м.

Вертикальную нить *3* сетки трубы (на рис. 209 поворот кривой направо) наводят на световой сигнал *С* и по нити *1* или *2* (в зависимости от радиуса кривой) получают отсчет по рамке *Р*. Муфту подвески прибора по этой схеме постоянно совмещают со средним индексом (100) так же, как и на прямом участке трассы.

Разница в отсчетах на штангах, характеризующая взаимное положение муфт экрана и прибора, обозначается величинами b и b_1. Сами отсчеты на штангах условно называются установками прибора и экрана. Для первого и второго приведенных положений (см. рис. 209) b и b' соответственно определяются по формуле

$$b = \beta \cdot S_{\text{пэ}},$$

$$b' = \beta' \cdot S_{\text{пэ}},$$

где $S_{\text{пэ}}$ — расстояние между прибором и экраном; β и β' — углы, определяемые выражением $\frac{S_2 - \text{П}}{2R_1}$.

Величины β и β' вычисляются только для начального продвижения по данному базису, а затем для каждого последующего передвижения щита на одно кольцо вводится постоянная поправка ψ, условно называемая переменной установкой экрана, равной

$$\psi = \frac{l_{\text{к}}}{2R_1} \cdot S_{\text{пэ}},$$

где $l_{\text{к}}$ — ширина одного кольца обделки.

На криволинейной трассе $R < 800$ м для ориентирной кривой принимается такой радиус $R_2 = (R_2 > R_1)$, при котором длина базиса d, определяемая по формуле (2), будет не меньше

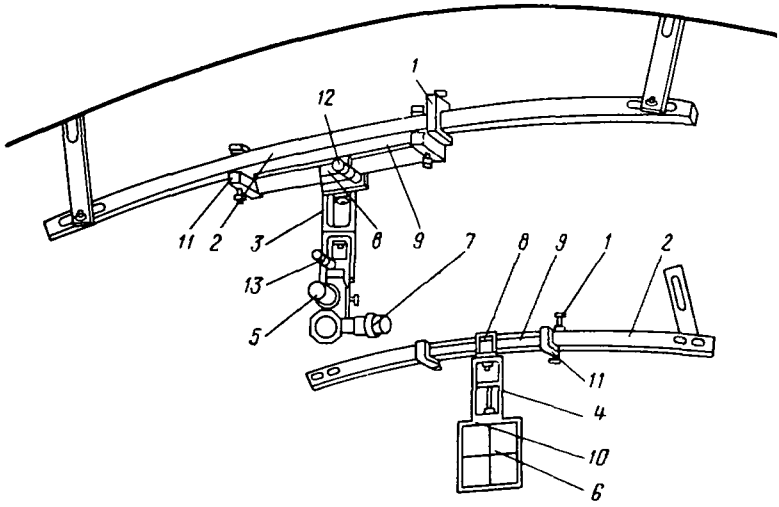


Рис. 208. Размещение прибора и экрана разворота по оси щита:

1 — фиксатор; *2* — дуга; *3* — подвеска прибора; *4* — подвеска экрана; *5* — основная зрительная труба *А*; *6* — экран; *7* — вспомогательная зрительная труба *Б*; *8* — муфта; *9* — штанга; *10* — ползунок; *11* — кронштейн; *12* — винт горизонтальной наводки; *13* — винт вертикальной наводки

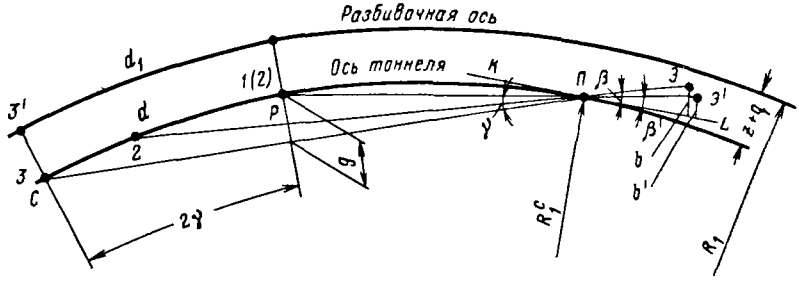


Рис. 209. Схема определения положения щита на круговой кривой по базису на оси тоннеля:

С — световой сигнал; *Р* — рамка; *П* — положение прибора; *Э*, *Э'* — положение экрана; *1*, *2*, *3* — номера вертикальных нитей сетки; γ — угол между вертикальными нитями; β, β' — углы между касательной и хордой *2—П* или *(2)—П*; *b* и *b'* — разница в отсчетах на штангах, характеризующая положение муфт экрана и прибора; R_1 — радиус разбивочной кривой; R_1^c — радиус оси тоннеля; *z* — смещение оси пути относительно разбивочной кривой; *q* — смещение оси тоннеля от оси пути; *g* — стрелка прогиба кривой от визирного луча *СП*; *KL* — направление касательной *l* в точке *П*

25 м. Эта ориентирная кривая имеет с осью тоннеля общую точку касания *Т* (рис. 210). Выбор местонахождения точки *Т* по пикетажу подчинен условию, чтобы световой сигнал *С* находился в габарите тоннеля.

Для нахождения смещений сигналов от оси тоннеля (Δr_c, Δr_p) пользуются специальными таблицами на ЭВМ.

Для получения установочных индексов прибора a на штанге *9* (см. рис. 204) вычисляют смещения от оси тоннеля

$$\Delta r_п = KS^2,$$

где

$$K = \frac{R_2 - R_1}{2R_2 \cdot R_1},$$

S — разность пикетажа точек T и прибора $П$.

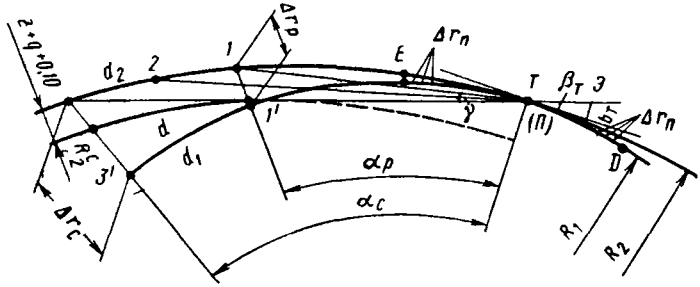


Рис. 210. Схема определения положения щита на круговой кривой по базису на ориентирной кривой при $R_2 > R_1$:

R_1 — радиус разбивочной кривой; R_2 — радиус ориентирной кривой; d_1 — длина базиса по разбивочной кривой; d_2 — длина базиса по ориентирной кривой; d — длина базиса по смещенной ориентирной кривой; Δr_c, Δr_p, $\Delta r_п$ — смещения точек ориентирной кривой от разбивочной оси в плоскостях расположения светового сигнала C, рамки P и прибора $П$; ED — участок трассы ориентирования щита по базису d_2; T — точка касания разбивочной и ориентирной кривых; a_c, a_p — центральные углы; β_T — угол между касательной в точке T и хордой $2-T$; b_T — установка муфты экрана при $П$, совпадающем с T

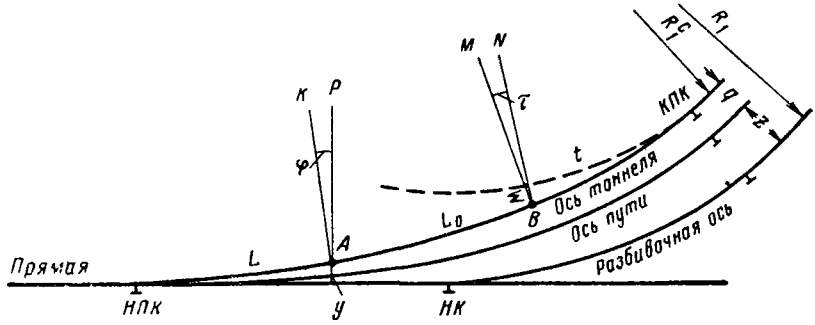


Рис. 211. Схема определения положения щита на переходной кривой:

НПК, *КПК* — начало и конец переходной кривой; *НК* — начало разбивочной кривой; L_0 — длина всей переходной кривой; L — длина переходной кривой от *НПК* до A. t — длина переходной кривой от *КПК* до B; AK, BM — нормали переходной кривой в точках A и B; AP — перпендикуляр к продолжению прямой (тангенсу); BN — нормаль продолженной круговой части оси тоннеля R_1^c; y — ордината переходной кривой от тангенса; W — ордината переходной кривой в точке B от продолженной круговой кривой (пунктирная линия)

Определение положения тоннельного щита на переходной кривой

На железнодорожных путях в тоннелях и в метрополитенах прямые участки пути сопрягаются с круговой кривой при помощи переходной кривой, у которой кривизна постепенно меняется от 0 до $\frac{1}{R_1}$.

Кроме того, ось тоннеля на длине переходной кривой (по линейной зависимости) постепенно смещается с оси пути на величину от 0 до q (рис. 211). Методы определения щита на переходной кривой в начальной и конечной ее частях различны.

В начальной части, примыкающей к прямой там, где y не превышает 100 мм, определение положения щита производится так же, как на прямой, но муфты подвесок прибора и экрана перемещаются на величину y в соответствии с фактическим пикетажем. Во всех случаях прохождения щита по переходной кривой заранее составляют таблицу значений y в зависимости от удаления точек от *НПК* (L).

Вычисление табличных значений производится по известной формуле

$$y = \frac{L^3}{6C} + \frac{q}{L_0} L,$$

где C — параметр переходной кривой; L_0 — вся длина переходной кривой.

Во второй части переходной кривой, примыкающей к круговой, определение положения щита производится от ориентирной кривой, как это описано ранее.

К установочным индексам прибора и экрана a и b, рассчитанным по методам ориентирования на круговой кривой, добавляется поправка; для a поправка ω, для b поправка $\tau S_{\text{пэ}}$.

Если точка A находится на таком же расстоянии от *НПК*, как B от *КПК* ($L = t$), то $\omega = y$, а $\tau = f$.

Поэтому поправку ω выбирают из таблиц значений y по аргументу $t = y$, а τ вычисляют по известной формуле

$$\tau = \frac{t^2}{2C},$$

причем величина $\frac{1}{2C}$ является постоянным коэффициентом, и потому угол τ пропорционален квадрату расстояния от КПК.

Сигналы при передвижении щита на первой части переходной кривой располагаются на прямой, а на второй — на продолженной ориентирной кривой, совпадающей ($R \geqslant 800$ м) или не совпадающей ($R_1 < 800$ м) с продолженной осью круговой части тоннеля. На рис. 211 показано положение, когда осуществляется переход с прямой на круговую кривую. При обратном дви-

жении с круговой на прямую расчеты не изменяются, но вначале производится определение по круговой кривой, а затем по прямой.

Одновременное определение положения щита на горизонтальной и вертикальной кривых

Изменение положения светового сигнала и рамки в вертикальной плоскости не влияет на определение положения щита в горизонтальной плоскости. Поэтому в случае совмещения горизонтальной и вертикальной кривых решается, в какой плоскости наиболее ограничен выбор длины базиса.

Затем на основе этих ограничений устанавливаем длину базиса d. Для второй же плоскости она принимается такой же.

Подготовка исходных данных

Расчет исходных данных производится до начала щитовой проходки по получении проектных чертежей трассы и организации работ.

Вычисления ведутся на специальных формулярах, в результате которых заблаговременно будут определены:

1) разбивка по пикетажу базисов;

2) смещения сигналов от оси тоннеля для кривых $R_1 < 800$ м;

3) установочные индексы a и b на кривых для пикетов точек трассы через 1 м.

По этим данным во время самой щитовой проходки производят следующие работы:

1) от пунктов полигонометрии, закрепляемых на расчетных пикетах сигналов, производят выноску в тоннеле точек базиса (C и P) по их смещениям от оси тоннеля на установленную высоту подвески сигналов от УГР;

2) в соответствии с фактическим пикетом колец обделки, укладываемых в оболочке щита, выписывают из расчетных формуляров установочные индексы a и b.

Лазерная система управления движением проходческого щита

В результате исследований, проведенных Новочеркасским политехническим институтом совместно с Главтоннельметростроем, разработана и создана лазерная система автоматического управления направленным движением проходческих щитов.

Разработанная система управления предназначена для непрерывного определения положения проходческого щита в плане и профиле и автоматического ведения щита по проектному направлению, задаваемому лучом оптического квантового генератора.

Аппаратура системы отвечает следующим основным требованиям: обеспечивает определение положения щита в плане и профиле с точностью ±10 мм и управление движением щита по проектной трассе с отклонениями от нее, не превышающими ±50 мм; исключает влияние вращения щита вокруг продольной оси на изменения положения; позволяет вести оперативный непрерывный контроль за правильностью направления и исправностью работы отдельных блоков; может использоваться без значительной конструктивной привязки на щитах различных типов.

Комплект аппаратуры системы состоит (рис. 212, 213) из оптического квантового генератора-лазера *1*, блока дистанцион-

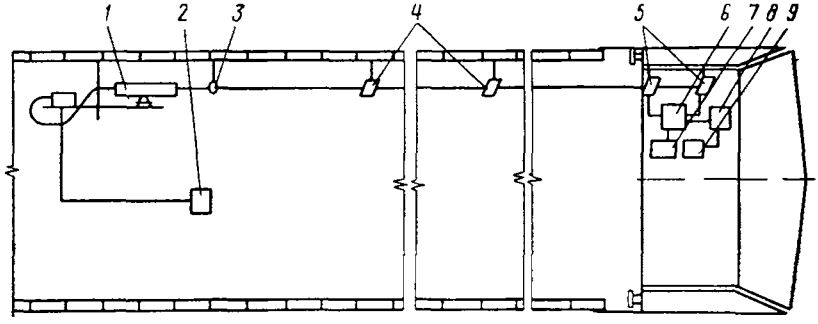


Рис. 212. Лазерная система управления движением проходческого щита

ного управления лазером *2*, модулятора луча лазера *3*, диафрагм *4*, приемных устройств *5* с электронным блоком *6*, пульта управления и индикации положения щита *7*, блока логической обработки сигналов положения щита *8* и блока индикации включаемых домкратов *9*.

Общий вид аппаратуры показан на рис. 213, где *1* — лазер, *2* — блок управления лазером, *3* — приемные устройства, *4* — электронный блок, *5* — пульт управления и индикации положения щита, *6* — блок логической обработки сигналов положения щита, *7* — блок индикации включаемых домкратов.

Система выполняет следующие функции: слежение за положением щита в плане и профиле с учетом вращения ее вокруг своей продольной оси; выдачу сигналов о положении оси машины на указывающие приборы пульта управления; логическую обработку сигналов положения щита и выдачу команд на управление домкратами.

Направление движения щита задается лучом лазера. Ориентирование луча лазера по заданному маркшейдером направлению производится визуально. Для модуляции луча лазера используется электромеханический модулятор. Приемные устройства системы представляют две координатные следящие системы с четырьмя фотоэлементами. Матрицы с фотоэлементами перемещаются за лучом при отклонениях щита. Величина смещения мат-

рицы, а следовательно, и оси машины относительно заданного направления измеряется с помощью индуктивных датчиков и после логической обработки выдается на приборы, указывающие положение щита и номера включаемых домкратов.

При работе на криволинейных участках тоннеля производится измерение пути, который проходит щит. В функции пройденного щитом расстояния вводится поправка в измерения координат оси щита.

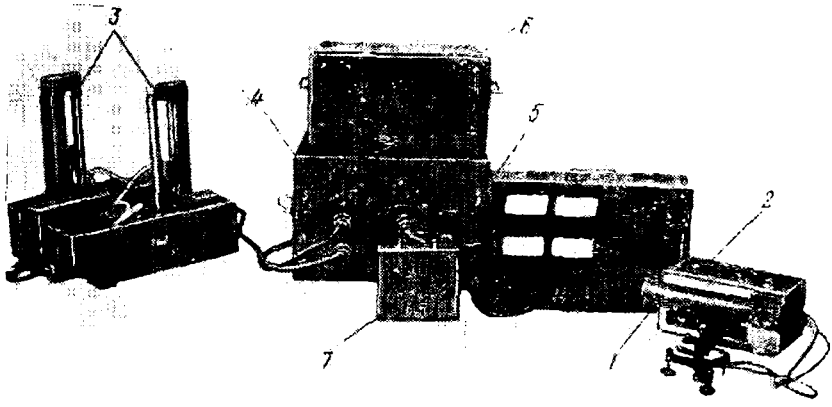


Рис. 213. Комплект аппаратуры лазерной системы

Техническая характеристика системы

Предел измерения отклонений, мм	0±125
Точность определения положения, мм	±10
Точность стабилизации, мм	±50
Напряжение питания, В	36, 220, 380
Потребляемая мощность, Ват	500
Дальность действия, м	300
Рабочий диапазон температур, °С	От —10 до +45

Система автоматического контроля и управления использовалась при щитовой проходке тоннелей Бакинского и Ленинградского метрополитенов, а также строительстве Большого Ставропольского канала.

Аппаратура системы устанавливалась на проходческих щитах типа Щ-19, ЩН-1 и КТ1-5,6.

Датчик направления — газовый оптический квантовый генератор ЛГ-56 или ЛГ-75 — устанавливался на кронштейнах в своде тоннеля.

Направление луча задавалось и контролировалось от плановой и высотной геодезической основы.

Угол расхождения примененных лазеров составляет 10—15′, что приводит к значительному увеличению диаметра луча по мере удаления от источника. Это в свою очередь влияет на точность

задания направления и на работу всей системы в целом. Для осуществления фокусировки светового луча применена безлинзовая система. На пути луча устанавливаются диафрагмы, за которыми происходит интерференция излучения. За диафрагмой, в центре луча, возникает светлая или черная точка, что позволяет с точностью до 1 мм определять центр лазерного луча и точно задавать проектное направление луча от подземной геодезической основы. Направление светового луча за диафрагмой не изменяется при повороте лазера в пределах диаметра луча, падающего на диафрагму. Эта особенность делает заданное направление некритичным к возможным незначительным деформациям обделки тоннелей в месте установки лазера.

На криволинейных участках тоннеля устанавливали систему так же, как на прямых участках трассы, так как щит вели на кривых по заданным расчетом хордам. Длина хорды, т. е. протяженность проходки с одной установки лазера, зависит от радиуса кривой.

Отклонение щита от заданного направления измеряется приемным устройством. На пульте управления стрелочные приборы указывают величину и направление отклонения ножевой и хвостовой точек щита, а также указываются номера домкратов, которые необходимо включить для осуществления передвижки.

Применение системы контроля и управления обеспечивает непрерывную наглядную информацию об отклонениях от проектного положения проходческих машин, позволяет принимать необходимые меры к удержанию машины на проектной оси. Это обстоятельство позволяет повысить скорость проходки улучшить условия труда и безопасность работ.

Применение лазерных систем контроля и управления открывает широкие перспективы для создания автоматизированных проходческих комплексов.

ГЛАВА XIX

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАЗБИВКИ ПРИ СООРУЖЕНИИ И ОТДЕЛКЕ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

§ 143. Особенности укладки колец станционных тоннелей. Набегание и кручение колец. Методы борьбы с кручением

Станция метрополитена представляет собой комплекс подземных инженерных сооружений, в который обычно входят три параллельных тоннеля замкнутого очертания, связанных между собой проходами.

В станциях пилонного типа два боковых тоннеля предназначены для движения поездов и размещения посадочных пассажирских платформ. Средний тоннель служит распределительным залом для пассажиров.

В станциях колонного типа два боковых (путевых) тоннеля незамкнутого контура и средний зал со сводом, опирающимся на колонны, образуют общий пассажирский зал.

Вследствие того, что все три станционных тоннеля сопрягаются различными конструкциями, оформляющими станционные проемы, к укладке колец при проходке станционных тоннелей предъявляются значительно более высокие требования, чем при укладке колец перегонного тоннеля.

При укладке колец один раз в сутки определяют их положение в плане и профиле. Измеряют горизонтальные, вертикальные и косые (под углом 45°) диаметры колец для определения их эллиптичности. Отклонения в плане и профиле от проектного положения станционных колец допускают не свыше ±50 мм, а эллиптичность в укладке — не более ±25 мм.

Маркшейдерские работы при строительстве станции из сборной тюбинговой или блочной обделки начинают с разбивки в выработке, предназначенной для сборки первых колец, продольной оси будущего тоннеля. Одновременно на уровне горизонтального диаметра тоннеля разбивают нормаль к закрепленной продольной оси. После этих работ производят разбивку и закрепление центров станционного тоннеля в начале и конце выработки.

Первые (прорезные) кольца станционных тоннелей устанавливают с особой тщательностью, соблюдая следующие допуски:

а) боковое и вертикальное опережение кольца не должно превышать ±5 мм;

б) фактический центр кольца в плане и профиле не должен отклоняться от проектного положения более чем на ±15 мм;

в) кручение прорезных колец не должно превышать ±15 мм. Кручение (поворот кольца вокруг своей продольной оси вправо или влево) определяют смещением замкового отверстия относительно фактической оси кольца или же нивелированием симметричных отверстий торцевых граней тюбингов или других элементов тоннельного кольца на уровне горизонтального диаметра;

г) эллиптичность колец по четырем диаметрам (горизонтальному, вертикальному и двум под углом 45° к горизонту) не должна быть более ±25 мм;

д) фактический пикетаж колец не должен отклоняться от проектного значения более чем на ±10 мм.

Первый лотковый сегмент кольца тоннеля устанавливают симметрично относительно продольной оси тоннеля строго на проектном пикетаже и отметке с погрешностью, не превышающей ±5 мм. Проектный уклон проверяют нивелированием лоткового сегмента.

Положение последующих сегментов проверяют от закрепленного центра тоннеля по радиусам или хордам; одновременно проверяют переднюю плоскость кольца.

Для обеспечения требуемой точности во взаимном положении осей всех станционных тоннелей следует до начала их сооружения проложить по передовым, транспортным, поперечным и другим выработкам, связанным со строительством станции, полигонометрические и нивелирные ходы.

При укладке станционных колец обделки необходимо следить за тем, чтобы набегание колец во всех трех станционных тоннелях было практически одинаковым. В случае появления разностей набегания в отдельных тоннелях, превышающих 20 мм, для

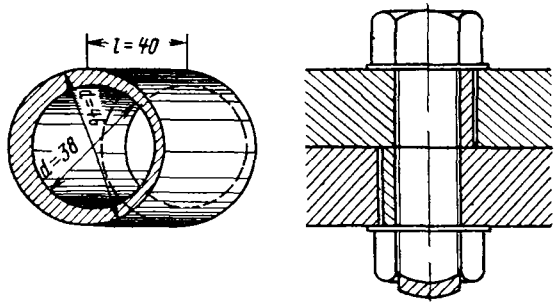


Рис. 214. Ограничитель кручения тюбинговых колец

уравнивания колец по пикетажу применяют специальные неразмерные кольца и прокладки. Так же строго по проекту должен быть выдержан пикетаж кольца среднего тоннеля, сопрягающегося с веерной частью эскалаторного тоннеля.

Пикетаж плоскостей колец, укладываемых в станционных тоннелях, определяют промерами стальной компарированной рулеткой расстояний от этих плоскостей до нормалей ближайших полигонометрических знаков.

Пикетаж определяют систематически через 8—12 колец; с такими же интервалами определяют кручение колец, боковое и вертикальное опережение. Кручение колец в проемной части станции не должно быть более ±50 мм.

Кручение колец исправляют при помощи так называемых ограничителей (рис. 214) или вставкой кольца, к которого по одному фланцу все болтовые отверстия смещены в одну, нужную для исправления сторону. Опережения колец в плане и профиле исправляют специальными прокладками.

При строительстве станционных тоннелей из чугунных или железобетонных тюбингов в местах будущих проемов укладывают усиленные рамные тюбинги, соблюдая маркировку, указанную в укладочной схеме, и установленные допуски.

С особой тщательностью должны проводиться геодезические и монтажные работы при сооружении станций колонного типа. При строительстве такой станции сначала проходят два крайних тоннеля, а затем ведут проходку средней части станции и монтируют полусвод из тюбинговых колец, опирающихся на фасонные тюбинги, ранее уложенные в боковых тоннелях. Фасонные тюбинги снизу имеют приливы для прикрепления к ним болтами

Рис. 215. Горизонтальные стяжки в станционном тоннеле

металлических колонн и отверстия для сбалчивания тюбингов среднего полусвода.

Для станций колонного типа проектная организация выдает специальные монтажные чертежи и определяет допуски на сборку, по которым монтируют колонны.

Чтобы обеспечить подводку колонн после проходки станционных тоннелей, должны быть строго соблюдены расстояния между бортами тюбингов, где будут монтироваться колонны. Для этого рекомендуется в местах, где будут собирать колонну, укладку колец вести с плюсовой вертикальной эллиптичностью, а также не допускать деформации тоннеля. Это достигается своевременной постановкой на горизонтальном диаметре колец стяжек (рис. 215) и качественным нагнетанием цементного раствора за тоннельную обделку.

Необходимо также строго следить во время монтажа за тем, чтобы оси колонн находились в одних и тех же вертикальных плоскостях в продольном и поперечном направлениях. Отклонения колонн в поперечном направлении зависят от кручения колец и положения их в плане.

§ 144. Разбивка осей на станционных платформах. Облицовка путевых стен. Допуски при укладке бортового камня и при других работах

До начала отделочных и облицовочных работ в станционных тоннелях окончательно увязывают всю сеть полигонометрии, расположенную в станционных сооружениях.

Во время строительства станционных тоннелей закладывают временные полигонометрические знаки на ребрах жесткости тюбингов на уровне головки рельсов. После сооружения жест-

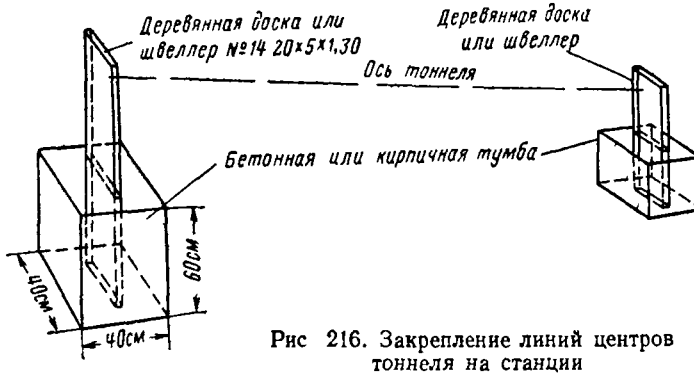


Рис 216. Закрепление линий центров тоннеля на станции

кого основания знаки геодезической основы переносят на путевую сторону в бетон с таким расчетом, чтобы они сохранялись на период эксплуатации.

Продольные оси станционных тоннелей выносят в натуру одним из способов, описанных в гл. XIV, и закрепляют в своде маркшейдерскими гвоздями. Кроме свода тоннеля, продольные оси можно закрепить на специальных расстрелах, или стяжках.

После окончания строительства платформ на них выносят и закрепляют временными кирпичными или бетонными тумбами продольные оси станционных тоннелей (рис. 216). Для закрепления осевых точек на уровне горизонтального диаметра станционного тоннеля в верхней части тумб закладывают деревянные доски или швеллеры, на которых и закрепляют ось.

Такие знаки рекомендуется закреплять с интервалом 40—50 м по каждому тоннелю и в процессе разбивочных работ натягивать по ним струны. Эти струны и являются основной осью тоннеля, от которой производят разбивку для всех облицовочных и отделочных работ станционных тоннелей. Облицовочным и отделочным работам предшествуют заполнение ячеек тюбингов бетоном, установка стеновых блоков, кирпичная кладка стенок, укладка всевозможных железобетонных балок и карнизов, а также установка зонтов (гидроизоляция станции).

Разбивку для установки зонтов выполняют непосредственным откладыванием проектных радиусов от закрепленных осей. Для

разбивки зонта может быть применена специальная тележка, передвигающаяся по станционной платформе.

К стойкам тележки на уровне центра тоннеля прибивают широкую доску, на которой при помощи нивелира отмечают две точки, лежащие на уровне горизонтального диаметра. Между этими точками натягивают леску, на которой промером от закрепленной оси отмечают положение центра тоннеля.

Далее в ячейках тюбингов радиально закрепляют металлические штыри, на них откладывают от оси тоннеля величину радиусов зонта и отмечают насечками внутреннюю поверхность зонта.

На стены путевых тоннелей выносят и закрепляют оси проемов. На станциях с тюбинговой обделкой за оси проемов принимают середину одноименных колец крайних тоннелей. Все разбивки для устройства опалубочных работ, а также укладку сборного железобетона производят с запасом в 2 см в сторону увеличения габарита.

В конструкциях, подлежащих облицовке мрамором, гранитом и плиткой, закрепляют металлические штыри. На штырях делают нарезки, фиксирующие лицевую поверхность будущей облицовки. Нарезки на штырях выносят от осей станционных тоннелей с точностью ±3 мм. Для установки облицовочного мрамора, плиток и гранита по высоте с помощью нивелира выносят условный горизонт с точностью ± 3 мм и закрепляют его масляной краской.

Для укладки гранита и асфальта станционных полов равномерно по всему полу с помощью нивелира устанавливают маячки на проектную отметку. Бортовой камень на платформе станции укладывают от оси пути с допусками от 0 до +10 мм, а по высоте +5 мм.

Станционные зонты монтируют с точностью ±2 см.

Все конструкции из сборного железобетона и готовые изделия в подплатформенных помещениях устанавливают также от разбивочных осей с точностью ±3 см.

ГЛАВА XX

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ НАКЛОННЫХ ТОННЕЛЕЙ И МОНТАЖЕ ЭСКАЛАТОРОВ

§ 145. Геометрическая схема эскалаторного тоннеля

Эскалаторный тоннель представляет собой цилиндр, ось которого наклонена к горизонту под углом 30°. Если рассечь его плоскостью, перпендикулярной к продольной оси, то в сечении

получим окружность (рис. 217); если же рассечем горизонтальной плоскостью, то в сечении образуется эллипс, центр которого совпадает с центром сечения тоннеля. Радиус колец эскалаторных тоннелей метрополитена, как правило, принимают равным 4,25 м.

Проходку наклонных эскалаторных тоннелей нередко приходится проводить в слабых обводненных слоях водоносных песков-плывунов, которые сильно осложняют или совсем исключают возможность проходки обычным горным способом. Для обеспечения безопасности работающих в забое и сохранности

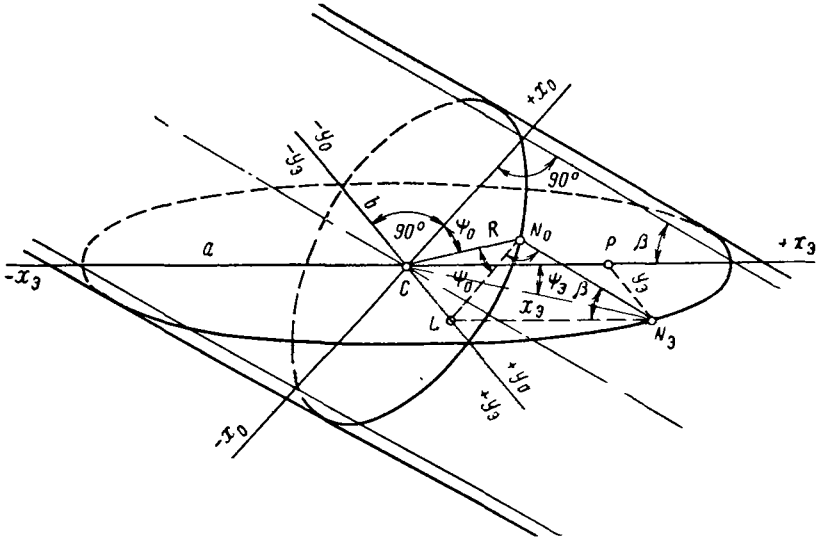


Рис. 217. Сечение наклонного цилиндра нормальной и горизонтальной плоскостями

городских сооружений, расположенных над эскалаторным тоннелем, неустойчивые породы закрепляют путем искусственного замораживания грунтов. Для этого по окружности, центр которой совпадает с центром нормального сечения наклонного тоннеля и которая имеет радиус 5,75—6,00 м, пробуривают 30—40 наклонных скважин, равномерно расположенных по контуру окружности.

Пробуренные скважины укрепляют обсадными трубами, внутри которых монтируют питательные трубы, подключаемые к рассолопроводу замораживающей установки. Охлажденный рассол хлористого кальция, циркулируя между обсадной и питательной трубами, охлаждает породу. Таким образом, вокруг скважины образуется замороженная зона, имеющая вид цилиндра диаметром 1—1,5 м, Так как скважины по окружности расположены на расстоянии 1—1,25 м друг от друга, а замораживание распространяется на 1—1,5 м, то вокруг будущего эскалаторного

тоннеля образуется сплошной замороженный цилиндр, в котором осуществляют проходку и сооружение наклонного тоннеля.

При бурении замораживающих скважин необходимо следить за тем, чтобы они на всем своем протяжении заняли положение, предусмотренное проектом как в плане, так и в профиле. При значительных отклонениях скважин от проекта могут образоваться незамороженные места — окна, через которые возможен прорыв в тоннель водоносного грунта, что может повлечь за собой аварию. Поэтому разбивка и определение положения замораживающих скважин в плане и профиле являются ответственной работой.

§ 146. Маркшейдерский столик; установка колец эскалаторного тоннеля, веерной части и натяжной камеры; разбивочные работы для бетонирования фундаментов

До начала сооружения наклонного хода и наземного вестибюля на поверхности создается плановая и высотная геодезическая основа, обеспечивающая разбивки и сбойку наклонного

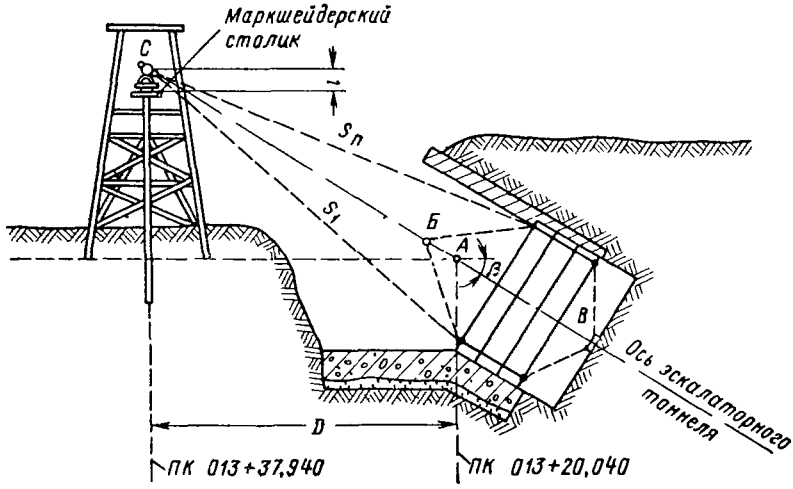


Рис. 218. Маркшейдерский столик, задание оси наклонного хода, установка и определение вертикального опережения колец

хода со средним станционным тоннелем или другими подземными сооружениями.

От знаков геодезической основы разбиваются и закрепляются вне зоны замораживания ось наклонного хода и нормаль к ней. Закрепление их производят в местах, удобных для использования при сооружении наклонного хода и вестибюля.

В процессе проходки ось наклонного хода задается визирным лучом теодолита и лазерным визиром Л6-5М, установленным на специальном маркшейдерском столике (рис. 218).

Маркшейдерский столик должен удовлетворять следующим требованиям:

1) конструкция его должна быть жесткой, изолированной от площадки наблюдателя и окружающих механизмов;

2) визирная ось трубы теодолита, установленного на столике, должна совпадать с проектной осью наклонного хода;

3) от столика должна быть установлена видимость на два-три достаточно удаленных маркшейдерских знака, один из которых фиксирует направление оси наклонного хода, а остальные являются контрольными. Должна быть также обеспечена постоянная видимость по проектной оси наклонного хода;

4) центр столика (проекция точки пересечения визирной и горизонтальной осей трубы) и места постановки подъемных винтов теодолита должны быть накернены на плите столика.

Столик оборудуется телефонной и световой сигнализацией для передачи указаний в забой.

До начала укладки первого кольца производится контрольное определение центра столика от знаков полигонометрии и высотных реперов с последующим вычислением фактических значений его координат и отметок. Расхождения полученных результатов с проектными не должны превышать ±3 мм.

Проектные координаты центра столика рассчитываются по формулам

$$y_{\text{пр ст}} = y_A - D \cdot \sin\alpha;$$

$$x_{\text{пр. ст}} = x_A - D \cdot \cos\alpha,$$

где y_A, x_A — проектные координаты точки A (точки перегиба); D — расстояние от точки перегиба наклонного хода до центра столика; α — дирекционный угол наклонного хода.

Проектная отметка столика определяется по формуле (см. рис. 218)

$$H_{\text{ст}} = H_A + D \operatorname{tg}\beta - i,$$

где H_A — проектная отметка точки, β — угол наклона оси наклонного хода, равный 30°, i — высота инструмента.

Положение столика периодически контролируется от знаков полигонометрии и реперов, находящихся вне зоны деформации. В случае его деформации производят новое кернение мест постановки подъемных винтов теодолита.

Сооружение наклонного хода начинается с устройства оголовника, в котором монтируются первые кольца.

При закладке первого кольца наклонного хода необходимо учитывать набегание колец (удлинение наклонного хода) из расчета 1 мм на кольцо, если оно не учтено проектной организацией.

Укладка сегментов первого кольца и проверка его установки производятся измерением восьми радиусов — от проектного центра кольца и образующих — от точки, закрепленной на оси

Таблица 37

Наименование отклонений	Величина отклонений, мм
Отклонения диаметров кольца от проектного размера (эллиптичность)	±10
Отклонения фактических радиусов от проектного значения	±5
Отклонения фактических длин образующих конуса от их рассчитанных значений	±5
Смещение фактических центров колец от продольной проектной оси	±5
Горизонтальное и вертикальное (относительно проектного положения) опережения передней плоскости кольца	±10
Смещение фактического пикетажа от проектного с учетом угона	—10
Отклонение по пикетажу первого кольца	Допускается только в сторону столика

наклонного хода. Измерения производят от центров болтовых отверстий передней плоскости кольца.

Допустимые отклонения уложенных первых колец наклонного хода должны удовлетворять требованиям табл. 37.

Окончательно установленные первые кольца наклонного хода должны быть надежно закреплены с использованием имеющихся конструкций (оголовника и т. д.).

Допустимые отклонения тюбинговой обделки тоннелей наклонных ходов приведены в табл. 38.

Вынос теодолитом в забой продольной проектной оси наклонного хода производится с погрешностью ±20″.

Эллиптичность и смещение от оси в плане и профиле определяются на каждом кольце. Горизонтальное и вертикальное опережения определяются через 8—10 колец и (дополнительно) при отклонениях центров колец, близких к предельно допустимым.

Таблица 38

Наименование отклонений	Величина допускаемых отклонений, мм	
	при укладке	за эректором
Отклонения диаметров кольца от проектного размера (эллиптичность)	±25	±50
Смещение центров колец в плане и профиле от продольной проектной оси	±25	±50
Горизонтальное и вертикальное (относительно проектного положения) опережения передней плоскости кольца	±15	—

После сбойки наклонного хода со средним станционным тоннелем или другими подземными сооружениями производится увязка их осей и высотных отметок и закрепляются линии пере-

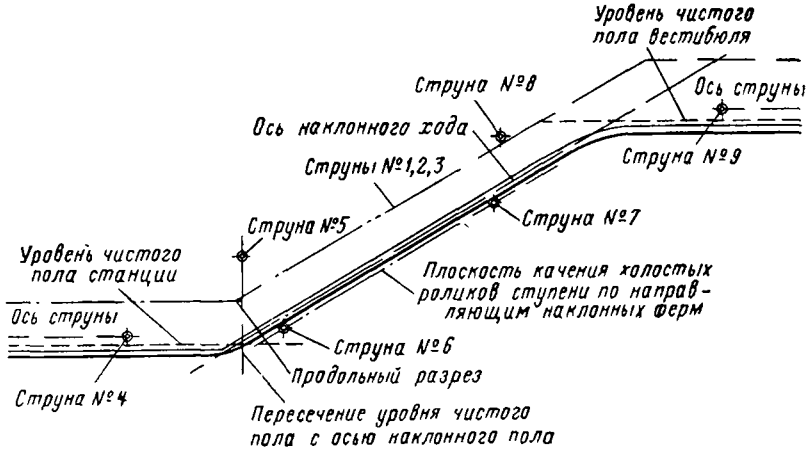


Рис. 219. Схема закрепления струн (в продольном разрезе) при монтаже эскалаторов

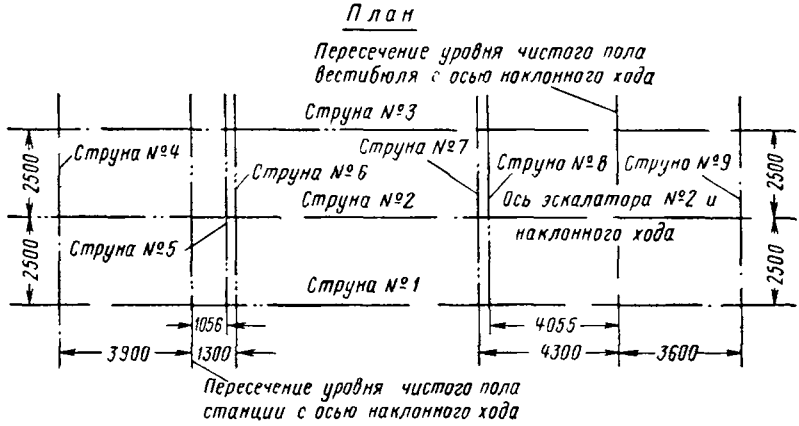


Рис. 220. Схема закрепления струн (в плане) при монтаже эскалаторов

гибов — линии пересечения уровней чистого пола станции и вестибюля с осью наклонного хода (рис. 219, 220).

Между линиями перегибов производится непосредственное измерение расстояний по наклону.

По окончании монтажа колец наклонного хода и сбойки со средним станционным тоннелем производится тщательная съемка последних колец наклонного хода и натяжной камеры. На основании полученных результатов съемки составляется укладочная

схема тюбингов веерной части для создания плавного сопряжения наклонного тоннеля с натяжной камерой.

Для монтажа колец веерной части разбивается в натуре увязанная ось наклонного и станционного тоннелей.

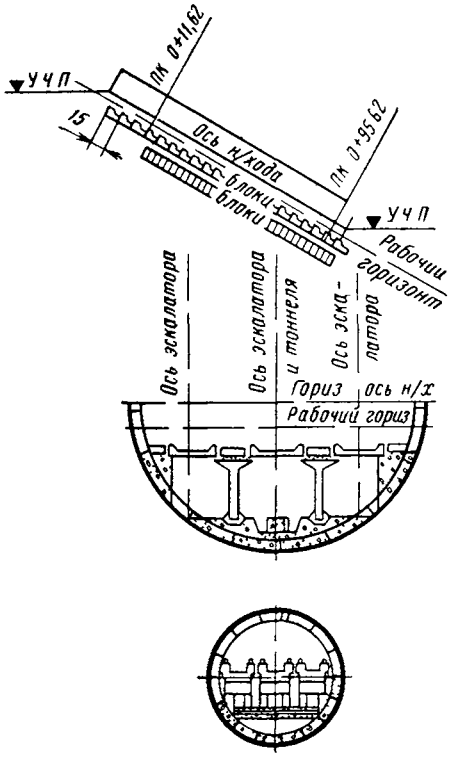


Рис 221. Фундаменты под эскалаторы из сборного железобетона

Сборка колец веерной части наклонного хода производится согласно проектной схеме и маркировке тюбингов.

Первые тюбинги раструбного кольца должны быть уложены строго по проекту. Кручение колец не допускается.

Отклонения тюбинговой обделки натяжной камеры должны удовлетворять требованиям табл. 38.

При бетонировании фундаментов под эскалаторы установка поперечных уголков производится с занижением на 10 мм относительно проектного горизонта.

При сооружении фундаментов под эскалаторы из сборного железобетона установка элементов производится с точностью в плане ±20 мм, в профиле — от нуля до минус 20 мм. Рабочий горизонт выносится на обеих сторонах тоннеля оптическим теодолитом с точностью ± 20″ (рис. 221).

§ 147. Установка продольных швеллеров, монтаж натяжных и приводных станций; выверка направляющих ферм эскалаторов

Основными исходными данными при установке продольных швеллеров и монтаже эскалаторов являются продольные и поперечные оси, разбиваемые в натуре маркшейдерами, согласно проектным чертежам. Закрепление указанных осей струнами производится монтажниками

Перед началом работ по монтажу эскалаторов производят контрольные промеры расстояния между верхней и нижней линиями прогибов по обеим сторонам наклонного хода (см. рис. 219). Рекомендуется также произвести высотную связку верхней и нижней линий перегибов.

Установка продольных швеллеров под фермы эскалаторов производится монтажниками при участии маркшейдеров с занижением на 10 мм относительно проекта и с точностью ±5 мм в плане и профиле.

Реборды верхних направляющих всех ферм эскалаторов устанавливаются в плане симметрично относительно их осей, т. е. от струн № *1*, *2* и *3* (см. рис. 220), с точностью ±1 мм.

Плоскости литых направляющих натяжных и приводных станций должны быть расположены горизонтально ниже уровня чи-

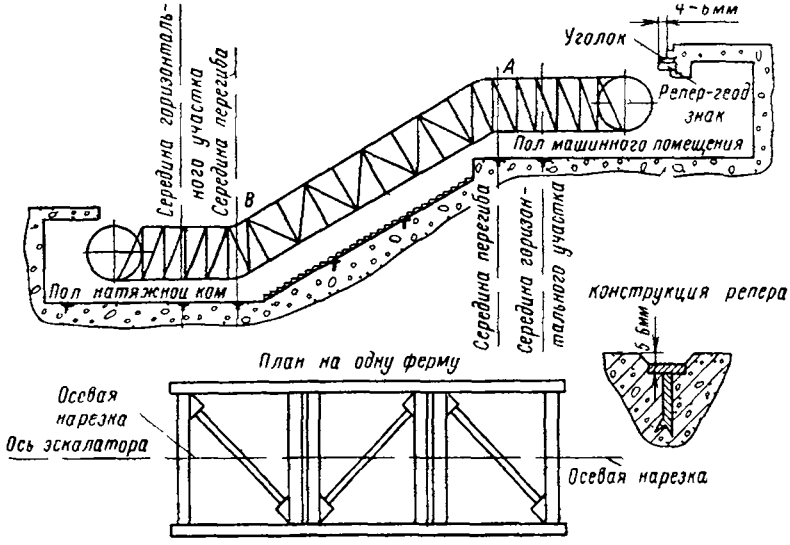


Рис 222. Закрепление постоянных маркшейдерских знаков

стого пола на 310 мм. Установка этих станций производится от струн № *4* и *9*, закрепленных перпендикулярно к продольным осям эскалаторов.

Перпендикулярность струн № *4* и *9* к продольным осям эскалаторов обеспечивается с точностью ±30″, а струн № *5*, *6*, *7* и *8* — с точностью ± 10″.

Окончательная проверка направляющих ферм наклонной части эскалатора (под углом 30°) производится теодолитом, который устанавливается на швеллерах, приваренных к натяжным станциям с таким расчетом, чтобы отсчеты по рейке были минимальными. Отклонения в отсчетах по рейке не должны превышать ±2 мм.

При пользовании тридцатисекундным теодолитом, установленным на швеллере, визируют на струну (марку), закрепленную в верхнем вестибюле, так как вертикальный круг не обеспечивает требуемой точности.

Поперечный перекос направляющих наклонных ферм не должен превышать ±2 мм.

Монтажные продольные оси эскалаторов закрепляются в натуре специальными знаками в бетоне лотка, в элементах железобетонных конструкций и нарезками, вынесенными на фермы (рис. 222).

Перед бетонированием фундаментов под приводные и натяжные станции производятся маркшейдерские разбивки для анкерных отверстий в плане и по высоте с точностью ± 10 мм.

По мере сооружения наклонного хода и монтажа эскалаторов производится съемка поперечных сечений обделки тоннеля и монтируемого оборудования для составления исполнительных чертежей.

§ 148. Маркшейдерские работы при искусственном замораживании грунтов

А. Разбивка мест заложения скважин

При искусственном замораживании грунтов выполняются следующие маркшейдерские работы:

разбивка мест заложения замораживающих скважин;

установка кондукторов;

определение отклонений замораживающих колонок;

определение глубины (длины) замораживающих скважин;

составление исполнительных чертежей;

определение объемов исполненных работ.

Разбивка мест скважин производится (согласно привязкам, данным в проекте) от основных осей сооружений, выносимых от пунктов геодезической основы и закрепляемых постоянными бетонными знаками. Точность выноса осей ±10 мм, а скважин ±30 мм.

В случае невозможности произвести разбивку скважин от осей сооружений (застроенность участка и другие препятствия) разбивка производится непосредственно от геодезической основы.

Б. Маркшейдерские разбивки вертикальных и наклонных скважин

Местоположение скважин, расположенных по криволинейному контуру, определяется в полярной системе координат с началом в центре сооружения.

При расположении скважин по окружности полярный угол определяется по формуле

$$\gamma_к = \frac{360^\circ}{n}(k-1),$$

где k — номер скважины; n — число скважин.

При невозможности произвести разбивку из центра полярные координаты скважин перевычисляются в координаты системы, принятой для данного строительства, и разбивка их осуществляется от пунктов геодезической основы.

Перевычисление координат из полярной системы в прямоугольную производится по формулам

$$y_к = y_п + \rho_к \sin \alpha_к;$$

$$x_к = x_п + \rho_к \cos \alpha_к,$$

где k — номер скважины; ρ_k — радиус-вектор скважины с номером k; α_k — дирекционный угол радиуса-вектора.

Глубина бурения вертикальной скважины определяется разностью фактической отметки устья и проектной отметки забоя (заложения) скважины:

$$h = H_{\text{устья}} - H_{\text{забоя}},$$

где h — глубина бурения.

Для наклонных скважин

$$L = (H_{\text{устья}} + H_{\text{забоя}}) \operatorname{cosec} \beta = h \cdot \operatorname{cosec} \beta,$$

где L — длина бурения, β — угол наклона скважины к горизонту.

При замораживании грунтов вертикальными скважинами над сводами тоннелей круглого сечения проектная отметка забоя рассчитывается по формулам (рис. 223):

а) для горизонтальных тоннелей

$$H_{\text{забоя}} = H_0 + \sqrt{(R+m)^2 - y^2};$$

б) для наклонных тоннелей

$$H_{\text{забоя}} = H_0 + \sec \beta \sqrt{(R+m)^2 - y^2},$$

где H_0 — отметка центра тоннеля, R — радиус тоннеля, m — расстояние, на которое скважины не доходят до обделки тоннеля, y — расстояние от оси тоннеля до забоя скважины; β — угол наклона тоннеля.

При замораживании грунтов над сводами горизонтально расположенных тоннелей пересекающимися рядами наклонных скважин («шатер») данные для разбивки (рис. 224) определяются по следующим формулам:

$$\operatorname{tg}(\alpha + \gamma) = \frac{h}{l}; \qquad \sin \gamma = \frac{R+m}{\sqrt{h^2 + l^2}}; \quad a = (\alpha + \gamma) - \gamma,$$

где h — глубина заложения центра тоннеля, R — радиус тоннеля, m — удаление скважины от внешней поверхности тоннеля, l — удаление устья скважины от оси тоннеля, γ — угол, составленный осью скважины и линией, соединяющей ее устье с центром тоннеля, α — угол наклона оси скважины к горизонту.

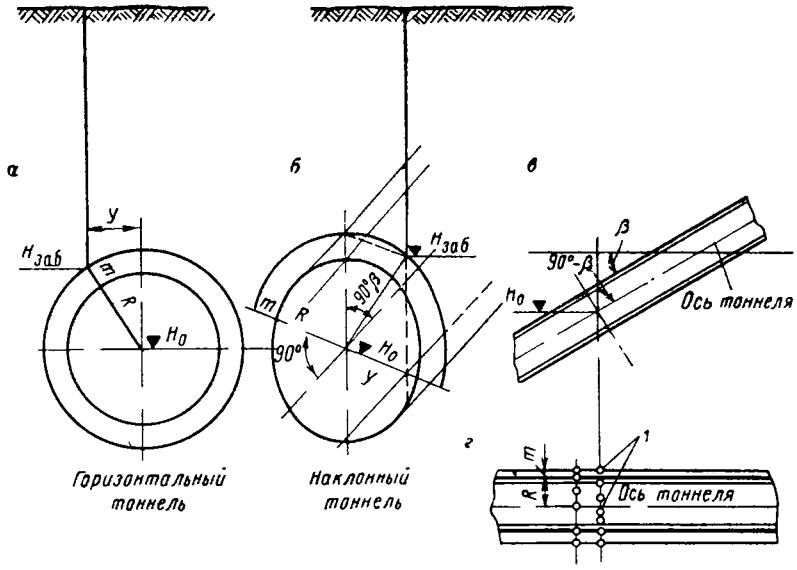


Рис. 223. Определенне отметки забоя вертикальной скважины:

а — поперечный разрез горизонтального тоннеля вертикальной плоскостью; *б* — поперечный разрез наклонного тоннеля вертикальной плоскостью; *в* — продольный разрез по оси наклонного тоннеля; *г* — план тоннеля и замораживающих скважин; *1* — скважины

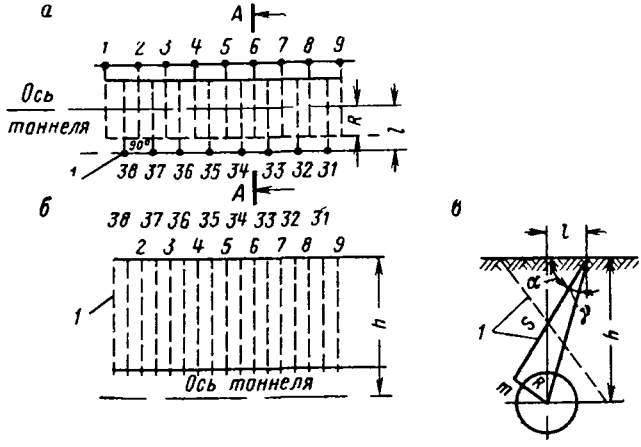


Рис. 224. Расположение скважин при замораживании «шатром»:

а — план; *б* — продольный разрез по оси тоннеля; *в* — разрез по *а—а*; *1* — замораживающие скважины; *s* — длина скважин

В. Расчеты для разбивок наклонных скважин на поверхности при сооружении наклонных тоннелей

Разбивка скважин производится от основных осей эллипса, закрепляемых на дневной поверхности. Расчет центра эллипса и разбивка скважин производятся на отметке установленного нулевого горизонта (на средней планировочной отметке строительной площадки).

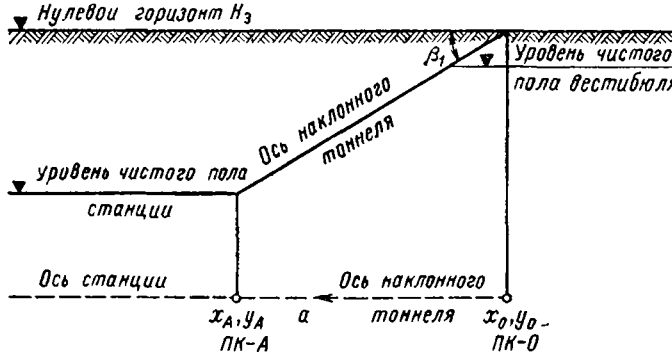


Рис. 225. Геометрическая схема вычисления координат центра эллипса

Вычисление координат и пикетного значения центра эллипса (пересечения оси наклонного хода с поверхностью нулевого горизонта) производится (рис. 225) по формулам

$$y_0 = y_A + \Delta y; \quad x_0 = x_A + \Delta x;$$

$$\Delta y = a \cdot \sin\alpha; \quad \Delta x = a \cdot \cos\alpha;$$

$$\text{ПК}O = \text{ПК}A \pm a = \text{ПК}\,A \pm \frac{H_э - H_A}{\operatorname{tg}\beta} = \text{ПК}A + h \cdot \operatorname{ctg}\ \beta,$$

где y_A, x_A, H_A — проектные координаты и отметка точки пересечения оси наклонного тоннеля с уровнем чистого пола станции, a — горизонтальные проекции оси наклонного тоннеля от точки перегиба A до центра эллипса, α — обратный дирекционный угол оси наклонного тоннеля, $H_э$ — отметка нулевого горизонта, β — проектный угол наклона тоннеля.

Центр и оси эллипса разбиваются от геодезической основы, принятой для строительства тоннеля, и закрепляются постоянными знаками (бетонными монолитами), а направления осей — монолитными или специальными марками в стенах фундаментальных зданий. Направления осей закрепляются с расчетом их видимости из центра эллипса и сохранности на весь период производства работ по бурению и монтажу колонок.

Разбивка скважин осуществляется из центра эллипса по прямоугольным или полярным координатам, вычисленным относительно большой и малой осей эллипса $x_э$ и $y_э$ (см. рис. 217). Прямоугольные координаты скважин вычисляются по следующим формулам:

$$x_{кэ} = \frac{R \cos \gamma_{ко}}{\sin \beta};$$

$$y_{кэ} = R \cdot \sin \gamma_{ко}.$$

При $\beta = 30°$

$$x_{кэ} = 2R \cdot \cos \gamma_{ко};$$

$$y_{кэ} = R \cdot \sin \gamma_{ко},$$

где $x_{k_э}$, $y_{k_э}$ — координаты скважины на эллипсе, R — радиус окружности скважин, γ_{k_o} — полярный угол на окружности расположения скважин, β — проектный угол наклона тоннеля.

Полярные координаты вычисляются по формулам

$$\operatorname{tg} \gamma_{кэ} = \frac{y_{кэ}}{x_{кэ}};$$

$$\rho_к = \frac{y_{кэ}}{\sin \gamma_{кэ}} = \frac{x_{кэ}}{\cos \gamma_{кэ}},$$

где $\gamma_{k_э}$ — полярный угол на эллипсе, $\rho_{k_э}$ — радиус-вектор скважины.

Г. Установка направляющих кондукторов

Направляющие кондукторы вертикальных скважин устанавливаются по отвесу или уровню.

Перед установкой кондукторов для наклонных скважин производится разбивка траншей для них в плане и профиле. Разбивка производится от осей эллипса. Дно траншеи профилируется при помощи нивелира или шаблона в соответствии с расчетными данными низа трубы кондуктора.

Перед установкой кондуктора на дне траншеи укладывается и укрепляется основание по линии проектного положения низа направляющих труб (кондуктора) при помощи наклонного луча трубы теодолита.

Кондукторы для наклонных скважин длиной до 30 м и с углом наклона β от 70 до 90° устанавливаются следующими способами:

1) при помощи величин $h = l \cdot \sin \beta$ и $l_1 = l \cdot \cos \beta$ (рис. 226);

2) при помощи прямоугольного треугольника с углом, равным углу наклона скважины, и уровнем на его катете (рис. 227);

3) путем нивелирования концов кондуктора (рис. 228);

4) подбором длины горизонтальной проекции кондуктора, для чего верхний конец его передвигают в створе оси скважины до

получения величины $l_1 = l \cdot \cos \beta$ (рис. 229). Этот способ рекомендуется при углах наклона, бо́льших 45°, как наиболее точный.

Кондукторы для наклонных скважин длиной более 30 м и с углом наклона от 0 до 70° устанавливаются с помощью теодолита.

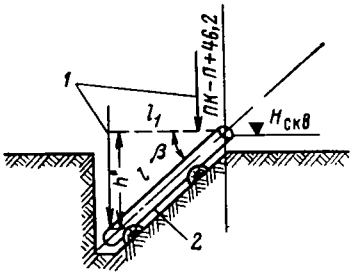


Рис. 226. Установка кондуктора по величинам $l_1 = l \cdot \cos \beta$, $h = l \cdot \sin \beta$ и двум отвесам

1 — отвесы, *2* — кондуктор

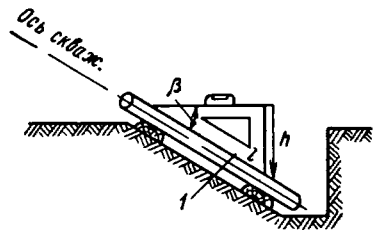


Рис. 227 Установка кондуктора с помощью треугольника

1 — треугольник

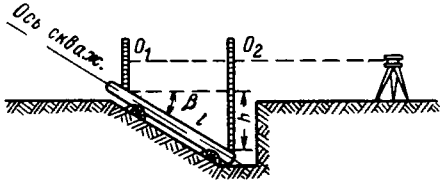


Рис. 228. Схема установки кондуктора нивелированием его концов

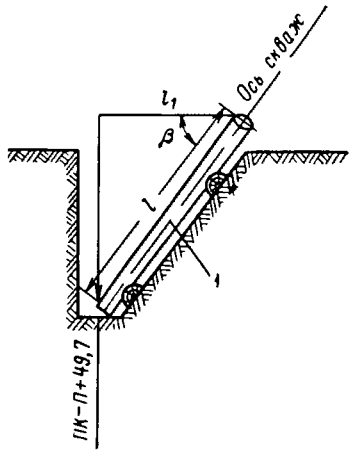


Рис 229. Установка кондуктора способом подбора его горизонтальной проекции

1 — кондуктор

Д. Горизонтальная и вертикальная съемка скважин

По окончании бурения скважины и монтажа колонки производится съемка устья скважин в плане и по высоте. Определение устьев скважин производится от основных осей сооружений и высотных реперов с точностью ±30 мм.

Примечание. За устье принимается верхний центр замораживающей колонки.

Работы по определению отклонений осей скважин состоят из:

определений искривлений скважин в пределах прямой видимости источника света, опускаемого в скважину;

измерения искривлений за пределами видимости источника света;

вычислений отклонений;

составления исполнительных чертежей.

Перед измерением искривлений из скважины удаляется вода, колонка раскрепляется в устье кондуктора.

Б. Измерение искривлений с помощью оптического центрира

Измерение искривлений вертикальных скважин и наклонных с углом наклона от 80 до 90° в пределах видимости опущенного источника света производится при помощи оптического центрира

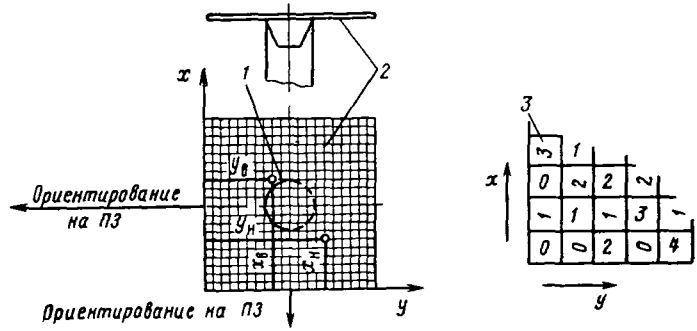


Рис. 230. Определение отклонения скважин с помощью лотаппарата и палетки:

1 — скважина; *2* — палетка; *3* — оцифровка палетки

и специальной палетки с миллиметровой сеткой (рис. 230), служащей для фиксирования наклонного и вертикального направлений визирной оси трубы оптического центрира в момент измерения.

Палетка центрируется по центру устья замораживающей колонки и ориентируется относительно ближайших опорных пунктов геодезической основы или надежно определенных съемочных точек (скважины, осевые точки и др.).

Измерения искривлений скважин производятся через интервалы 5—10 м при подъеме и опускании источника света. Определения искривлений наклонных скважин производятся дважды, при ориентировании палетки на два разных пункта.

Палетка ориентируется глазомерно или при наклонных скважинах по шнуру, натянутому от центра определяемой скважины по направлению на пункт ориентировки.

Измерение отклонения скважины от вертикали оптического центрира производится в следующем порядке:

а) опускают источник света в скважину на глубину его максимальной видимости;

б) устанавливают оптический центрир над скважиной и с помощью подъемных винтов, а также регулированием ножек штатива направляют визирный луч на видимый источник света;

в) подводят палетку под оптический центрир, центрируют ее над центром скважины и ориентируют на выбранную точку;

г) производят по палетке отсчеты $x_н$ и $y_н$;

д) приводят визирную ось оптического центрира в вертикальное положение и производят по палетке отсчеты $x_в$ и $y_в$.

По окончании этих измерений снимают палетку, поднимают источник света на следующий определяемый горизонт скважины и затем производят все описанные выше действия; при каждом наблюдении палетка ориентируется на одну и ту же точку.

По окончании наблюдений скважины измеряется «высота оптического центрира» (расстояние от палетки до середины головки штатива). Глубина измерений определяется тросиком, на котором опускается источник света.

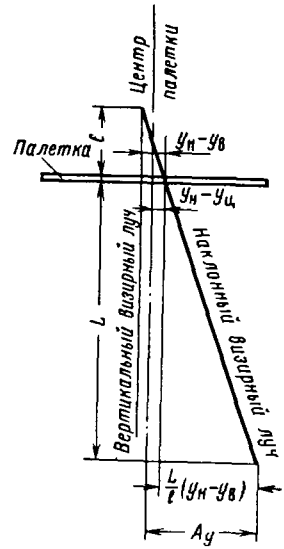


Рис. 231. Геометрическая схема определения искривления скважины

Глубина наблюдаемых точек фиксируется с точностью ±10 см. Погрешность в определении высоты оптического центрира над палеткой и погрешность центрирования палетки над центром устья скважины не должны превышать ±10 мм. Отсчеты на палетке производятся с точностью +0,5 мм. Расхождения в разностях отсчетов по палетке при двойных измерениях допускаются в пределах от 1 до 2 мм, в зависимости от глубины наблюдаемых точек.

Вычисление отклонений скважины от вертикали производится по формулам (рис. 231)

$$A_x = \frac{L}{l}(x_н - x_в) + (x_н - x_ц);$$

$$A_y = \frac{L}{l}(y_н - y_в) + (y_н - y_ц),$$

где A_x A_y — отклонения скважины относительно ориентированных осей палетки, l — «высота оптического центрира» (расстояние от палетки до середины головки штатива), L — глубина наблюдаемой точки (относительно палетки); $x_н$, $y_н$ — отсчеты на палетке по наклонному лучу, направленному на определяемую точку A в скважине, $x_в$, $y_в$ — отсчеты на палетке по вертикальному

лучу, $x_ц$, $y_ц$ — отсчеты центра палетки, установленного над центром скважины.

Примечание. Указанные формулы применяются в случаях, когда палетка отцентрирована над скважиной.

При замораживании грунтов вертикальными скважинами для проходки стволов шахт и других вертикальных выработок должны быть составлены следующие исполнительные чертежи:

а) план в масштабе 1 : 100 на нулевом горизонте с показанием фактического расположения скважин, рассольной сети, замораживающей станции и других коммуникаций, связанных с исполнением работ по замораживанию;

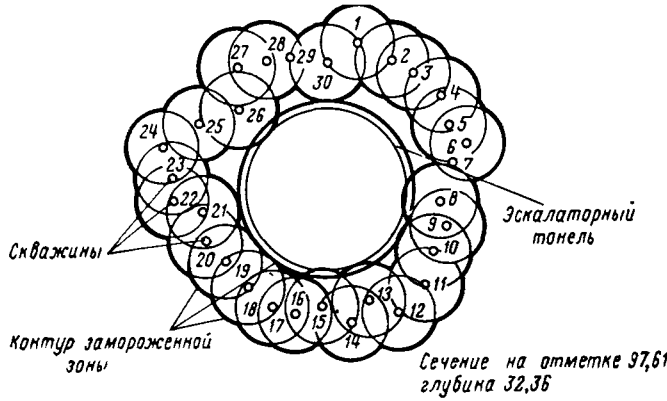


Рис. 232. Сечение наклонных замораживающих скважин и эскалаторного тоннеля плоскостью, перпендикулярной к его оси:

1 — скважины; *2* — контур замороженной зоны; *3* — эскалаторный тоннель, сечение на отметке 97,61, глубина 32,36 м

в) развертка скважин по проектному контуру с показанием геологического разреза, положения скважин с указанием фактических и проектных отметок забоя (конуса), фактического уровня подземных вод, положения фильтров (по высоте) наблюдательных гидрогеологических скважин;

г) нормальные (к оси вертикальной выработки) сечения с показанием фактического положения скважин.

При замораживании грунтов наклонными скважинами для проходки наклонных тоннелей должны быть составлены следующие исполнительные чертежи:

а) проекция фактического расположения скважин на нормальную к оси наклонного хода плоскость в масштабе 1 : 50 с указанием габаритов выработки и проектного расположения скважин (сборное сечение);

б) нормальные к оси наклонного тоннеля сечения через каждые 5—10 м в масштабе 1 : 50 с литологической и гидрогеологической характеристикой грунтов с показанием фактического положения скважин и габаритов выработки;

в) проекция скважин на вертикальную осевую плоскость наклонного тоннеля по правой и левой стороне в масштабе 1 : 100 с нанесением контура выработки, гидрогеологического разреза, уровня подземных вод и положения фильтров наблюдательных гидрогеологических скважин;

г) план в масштабе 1 : 100 на нулевом горизонте с расположением скважин, рассольной сети, замораживающей станции и других коммуникаций, связанных с замораживанием.

На исполнительных сечениях по расчетному радиусу замораживания пород наносится положение ледогрунтового ограждения, и на основании анализа фактического расположения скважин определяется степень соответствия проекту ледогрунтовой защиты (рис. 232).

Условный радиус замораживания $r_з$ по каждому сечению определяется специальными расчетами в зависимости от фактического расстояния между скважинами, заданной толщины ледогрунтовой перемычки, теплосодержания породы и времени замораживания.

При графическом построении замкнутых ледогрунтовых стен по заданному радиусу замораживания необходимо учитывать неравномерность распространения замороженной зоны относительно линии расположения скважин и центр окружности ледогрунтового цилиндра скважины смещать в направлении центра выработки на величину, равную 0,1 D, где D — расчетный диаметр замораживания, равный $2r_з$.

ГЛАВА XXI

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

§ 149. Общие положения

В городских кварталах с относительно небольшим движением городского транспорта и широкими уличными магистралями, а также в районах с малой застроенностью сооружают тоннели метрополитена мелкого заложения открытым способом.

При этом способе роют котлованы шириной 11—13 м на глубину 10—15 м. В котлованах сооружают из сборного железобетона тоннели так, чтобы верх перекрытия был ниже уровня дневной поверхности.

Стены котлованов закрепляют сваями с затяжкой досками, а в неустойчивых грунтах — металлическим шпунтовым креплением. На незастроенных участках при благоприятных геологиче-

ских условиях крепления не применяют, а ограничиваются лишь созданием боковых откосов грунта.

Сложным и трудоемким процессом при открытом способе является перекладка и подвеска сетей городских подземных коммуникаций (кабели, теплосеть, газопровод, канализация и т. д.), попадающих в сечение котлованов.

Одновременно с перекладкой и подвеской подземных коммуникаций должны быть выполнены работы по укреплению фундаментов и стен зданий, расположенных вблизи трассы, с тем чтобы предохранить их от возможных деформаций.

§ 150. Подготовительные геодезические работы

До начала земляных работ проект оси трассы должен быть вынесен в натуру. Для выполнения этих разбивок необходимо создать опорную геодезическую сеть, для чего проводят рекогносцировку всего участка трассы. При рекогносцировке обычно используют план поверхности с нанесенным на нем проектом трассы.

В процессе рекогносцировки намечают и затем закрепляют на местности пункты геодезической основы. При этом учитывают удобства разбивки трассы и хорошую видимость с этих пунктов на участки закладки основных точек оси трассы. На пересеченной местности предпочитают строить опорную сеть в виде цепочки треугольников со сторонами 50—100 м (микротриангуляция). Преимущество такой системы построения геодезической сети заключается в замене трудоемких и объемных линейных измерений измерениями углов.

В условиях города для закрепления пунктов геодезической основы используют ободки колодцев подземного городского хозяйства, металлические штыри в асфальтовом и бетонном покрытии проездов и тротуаров, в бортовых камнях и пр.

Одновременно с плановой геодезической основой по трассе закладывают и высотные реперы, обычно размещая их за пределами зоны возможной деформации поверхности. Высотные знаки совмещают по возможности со знаками плановой основы.

Первоочередной работой, которая должна быть выполнена до начала земляных работ на трассе, является нивелирование и составление продольного и поперечных профилей трассы. Эти профили будут положены в основу маркшейдерского учета объемов земляных работ, так как на них отражено положение дневной поверхности до начала работ.

§ 151. Вынесение и закрепление трассы на местности

Для вынесения в натуру проекта трассы предварительно решают обратные задачи по координатам и составляют схемы разбивок. В результате вычислений получают необходимые для раз-

бивки дирекционные углы и длины отрезков от геодезических пунктов до выносимых основных точек проекта трассы: вершин прямых, *НК* и *КК* для кривых, а также целых пикетов трассы по обеим осям пути.

Выносимые в натуру точки трассы предварительно закрепляют временными знаками, которые необходимо как можно скорее заменить на постоянные, отвечающие требованиям инструкции. При замене знаков рекомендуется не зачеканивать их центр медью, так как при неизбежном накоплении погрешностей (при разбивке, при замене знака и т. п.) этот центр может оказаться смещенным в пределах нескольких миллиметров и его необходимо будет перекернить. По этой же причине головку постоянного знака делают продолговатой по направлению нормали к оси.

После закрепления разбивки постоянными знаками все эти точки контролируют привязкой их к тем же полигонометрическим знакам, с которых проводилась разбивка.

Контроль можно осуществить также прокладкой полигонометрического хода по разбитым в натуре центрам с привязкой начала и конца хода к знакам геодезической основы.

По данным, полученным при проложении полигонометрического хода, вычисляют координаты закрепленных центров и величины поперечного (δ) и продольного (Δ) их смещения относительно проекта. По результатам сравнения фактического положения центров с проектным смещают в случае необходимости знаки так, чтобы фактические центры соответствовали проектным, и чеканят их медью.

Инструкцией по производству геодезическо-маркшейдерских работ предусмотрено проектные точки трассы закреплять на глубину до 1 м, т. е. в зоне зимнего промерзания, что не гарантирует центры от смещения при замерзании и оттаивании грунта. Поэтому знаки необходимо проверять угловыми и линейными измерениями после смен переходных сезонов (весна и осень) до окончания строительства тоннелей.

В процессе строительства ведут систематическое наблюдение за сохранностью пунктов опорной сети, а также за вынесенными в натуру знаками, обозначающими положение проектной трассы. Эти наблюдения проводят периодически. Новые осевые знаки, а также полигонометрические знаки по возможности необходимо переносить в готовые отрезки тоннелей. Таким образом, все точки проектной оси трассы последовательно, по мере готовности тоннелей, будут перенесены с дневной поверхности в тоннели.

§ 152. Плановые и высотные разбивки для разработки и крепления котлована

До начала разработки котлована по его контуру забивают сваи. Глубина забивки свай и расстояния между ними указаны в проекте. Расстояния между сваями в ряду зависят от плотности про-

ходимых грунтов и колеблются в пределах 1,5—2,5 м. В процессе работ должны быть выполнены контрольные промеры длин свай и определена фактическая отметка их погружения.

Сваи забивают вибропогружателем с передвижного копра, который перемещается вдоль котлована по уложенным для него

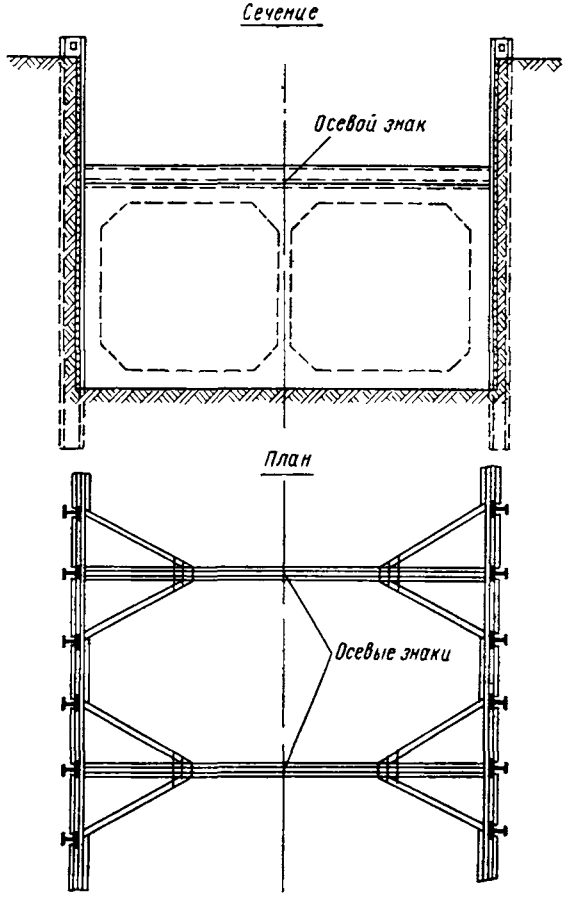


Рис. 233. Схема закрепления котлована сваями

рельсам. Забивку производят так, чтобы сохранялось вертикальное направление свай (шпунта). При нарушении вертикальности концы свай могут войти в габарит тоннеля.

Иногда сваи забивают со специальных копров, которые смонтированы на самоходных автошасси.

Укладка рельсов для передвижных копров выполняется по точной разбивке внутреннего (по отношению к котловану) рельса, расстояние от которого до сваи в разных копрах разное. Расстояние от оси тоннеля до лицевой плоскости сваи получают из про-

екта. Там же указан строительный запас, который обычно составляет ±15 см. Этот запас необходим на случай отклонения сваи от вертикальности во внутрь котлована. Для забивки свай точно по вертикали каждую нитку рельсового пути копра следует уложить в одном и том же горизонте. Нарушение этого условия приведет к наклону сваи как в направлении, параллельном оси котлована, так и по нормали к оси (рис. 233).

Рельсы под тяжестью копра и под действием динамических сил при забивке свай меняют свое положение, особенно по высоте, поэтому должен быть обеспечен ежедневный инструментальный контроль за их состоянием.

Вертикальность направляющей фермы копра, смонтированного на автошасси, проверяется в процессе забивки каждой сваи с помощью отвеса, который закрепляют для этой цели на направляющей.

В некоторых случаях в котлованах встречаются переувлажненные песчаные пласты, в которых работы по разработке грунта и креплению стенок вызывают большие затруднения. При работе в таких грунтах возможны случаи выпуска грунта в котлован, что вызывает осадку дневной поверхности, а вместе с ней и окружающих зданий. В подобных условиях для осушения грунтов применяют водопонижение путем установки системы иглофильтров, соединенных коллектором с вакуум-насосом. Все разбивки для установки системы иглофильтров по данным проекта выполняют от оси трассы, закрепленной на местности, а также от реперов высотной основы.

§ 153. Снесение проектной оси и отметок на крепление котлована

Ось трассы, закрепленная на поверхности, является исходным началом для дальнейших разбивок по мере разработки и постановки крепления котлована. После выемки грунта на глубину 1,5—2,5 м разработку приостанавливают и к сваям приваривают швеллерный пояс для крепления в нем концов металлических расстрелов (см. рис. 233), которые монтируют из спаренных швеллеров на каждой третьей паре свай.

На прямых участках трассы ось выносят на расстрелы теодолитом, установленным на одном из центров, заложенном на оси трассы. На расстрелах закрепляют осевые знаки (рис. 234) и промерами рулеткой определяют их пикетное значение, исходя из пикетных значений осевых знаков трассы, закрепленных на дневной поверхности. Места закрепления оси окрашивают в белый цвет, а рядом крупно надписывают значения их пикетов. На кривых участках трассы, как известно, ось по кривой заменяют системой хорд или секущих, образующих ломаную линию, которая лишь незначительно отклоняется (в пределах ±0,020 м) от факти

ческой кривой. Длины сторон ломаного контура зависят от радиуса кривой и составляют для хорд

$$X_{\text{пр}} = 2{,}8\sqrt{Rb_{\max}}$$

и для секущих

$$C_{\text{пр}} = 4{,}0\sqrt{Rb_{\max}},$$

где b — стрела изгиба (м), R — радиус кривой (м).

Поэтому на кривых участках разбивка более сложна, чем на прямых, так как необходимо сносить на расстрелы крепления котлована ломаную линию хорд или секущих по отдельным частям.

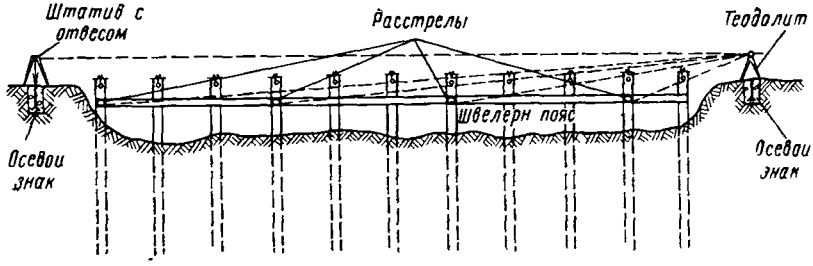


Рис 234. Сноска на крепление котлована оси и отметок

Для переходных кривых закрепляют линии тангенсов, а в некоторых случаях — линию стягивающей хорды.

При разработке котлована без крепления с откосами временные осевые знаки (створы прямых, вершины хорд и секущих) разбивают и закрепляют в подошве котлована или на обносках.

Высотные отметки с наземных реперов переносят на лицевые плоскости свай, обозначая их белой краской в виде небольших треугольников с вершиной, обращенной вниз. Верхняя горизонтальная черта (основание) треугольника является временным репером.

По мере углубления котлована на тех же сваях намечают новые треугольники, абсолютные отметки которых получают промером высоты между верхним и нижним высотными треугольниками. Перед окончанием разработки грунта у нижних треугольников надписывают величину (глубину) выемки грунта до проектной отметки. При этом учитывают необходимость укладки лотковых блоков или лоткового бетона на породном целике, а поэтому механизмами не добирают до проектной отметки 15—20 см с тем, чтобы последний слой был снят вручную.

На этом этапе строительных работ возникает необходимость иметь точную высотную разбивку для укладки по проекту бетонной подготовки под блоки лотка тоннеля. Для этой цели на сваях и креплении котлована закладывают реперы и определяют их отметки от реперов на поверхности.

§ 154. Перенесение оси, точек полигонометрии и высотных реперов в готовый тоннель

Конструкцию тоннелей собирают на проверенной нивелиром бетонной подготовке. Лотковые блоки монтируют в плане по расстоянию от проектной оси, закрепленной на расстрелах крепления котлована. Особое внимание при монтаже стеновых блоков уделяют их вертикальности, которую проверяют отвесами. Завершается монтаж укладкой блока перекрытия, который вводится в пазы верхней части стен При закладке блоков лотка и при монтаже стеновых блоков закрепляют постоянные осевые знаки на бетонном основании, снося их с расстрелов крепления.

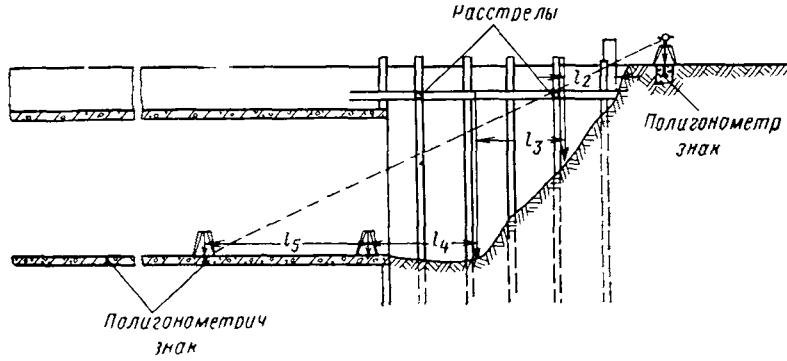


Рис 235. Вынос оси и ПЗ в готовый отрезок тоннеля

По мере продвижения сооружения тоннелей в бетоне их лотковой части закладывают знаки подземной полигонометрии. Места закладки знаков должны соответствовать общей схеме размещения полигонометрии на данном перегоне. Знаки закладывают на прямых участках с правой стороны по ходу движения поездов в тоннеле, а на кривых — с внешней стороны кривой. По высоте знаки закладывают примерно на уровне поверхности будущего путевого бетона с допуском +10 см. От стены тоннеля знаки должны находиться на расстоянии, достаточном для установки над ними теодолита на штативе.

После закладки в тоннелях полигонометрических знаков на них передают координаты и дирекционные углы со знаков наземной геодезической основы. Передача может быть осуществлена прокладкой полигонометрического хода, начало и конец которого должны опираться на ближайшие пункты геодезической основы на поверхности. При переходе от знаков на дневной поверхности к знакам в тоннелях линии измеряют отдельными горизонтальными отрезками между отвесами, подвешенными на креплении котлована (рис. 235). При отсутствии в некоторых местах прямой видимости применяют способы косвенного измерения линий и внецентренного измерения углов, описанные в гл. X. До момента пере-

крытия тоннелей возможно передавать координаты методом микротриангуляции. По окончании измерения углов и линий подсчитывают суммы углов и приращений координат, увязывают результаты и вычисляют координаты вершин хода.

В некоторых случаях для передачи координат с дневной поверхности в тоннель пользуются отвесами, которые пропускают через отверстия или щели в перекрытиях тоннелей. Координаты отвесов определяют одновременно на дневной поверхности и в тоннелях.

Знак подземной полигонометрии одновременно является репером. Отметки этих знаков определяют нивелированием от тоннельных реперов, отметки которых получены непосредственно с наземных реперов, путем одновременного нивелирования в тоннеле и на поверхности рулетки, опущенной через перекрытие.

По окончании обратной засыпки готовых участков тоннелей и передачи координат и дирекционных углов на тоннельные полигонометрические знаки осевые точки в тоннеле проверяют измерениями с полигонометрических знаков. После такого контроля пользуются осевыми знаками для путейских и монтажных работ.

§ 155. Наблюдение за деформациями и сдвигами тоннелей

Отрезки тоннелей, собранных по частям из сборных железобетонных блоков, представляют собой некоторую шарнирную систему, которая под действием внешних сил может изменить положение своих частей. Только обратная засыпка, которая должна производиться одновременно с обеих сторон тоннеля небольшими слоями с тщательной поливкой водой и трамбовкой, придаст конструкции тоннелей достаточную жесткость и монолитность. Нарушения технических условий при обратной засыпке неизбежно приводят к смещениям отрезков тоннелей в плане и, как следствие, к изменениям значений координат знаков подземной полигонометрии.

Поэтому на все время производства обратной засыпки необходимы наблюдения за деформациями и сдвигами тоннелей. Наблюдения заключаются в проверке теодолитом створов осевых знаков на прямых участках тоннелей, в выборочном нивелировании деформационных реперов, закладываемых в плиты перекрытия, в измерениях вертикальности стен, а также в периодическом контроле рулеткой внутренних размеров тоннелей через каждый 20—30 м.

Для записи замеренных объемов работ должна быть заведена специальная прошнурованная книга. Объемы выполненных работ привязывают к пикетажу и отметкам.

За основу замеров грунта принимают данные продольного и поперечных профилей, составленных по результатам первичного нивелирования, и данные повторных нивелировок площадей, на

которых за отчетный период производилась выемка грунта. Разница в отметках точек, равномерно размещенных на площади выемки грунта, позволяет подсчитывать объемы. Из месячного объема вынутого грунта выделяют ту его часть, которая не была вывезена за пределы строительства, а оставлена в отвале для обратной засыпки котлованов. Обмеры объемов уложенных в конструкцию бетона и железобетона (монолиты, блоки и целые секции) производят обычными приемами.

Кроме записей объемов, в книге зарисовывают геометрические фигуры деталей обделки с размерами, а также записывают формулы подсчетов как основание для вычисления объемов.

§ 156. Сооружение тоннелей из цельносекционной обделки

При сооружении тоннелей применяются проходческие прямоугольные щиты, дающие возможность сооружать тоннель из отдельных замкнутых секций прямоугольного сечения шириной 1 м.

Сооружение тоннеля из цельносекционной обделки при открытом способе работ может производиться и без прямоугольного щита при помощи кранов. Требования к тоннельной обделке в этом случае должны соответствовать допускам (табл. 39).

Сборка щита осуществляется по проектным рабочим чертежам. Все фактические размеры щита после сборки не должны иметь расхождений с проектом более ±20 мм.

После монтажа на щите закрепляются:

а) продольная ось щита;

б) две марки на сборной части щита для определения отклонений щита в профиле и контрольных определений продольного уклона;

Таблица 39

Наименование отклонений	Допустимая величина отклонения от проекта, мм
Бетонная подготовка (основание) тоннеля в плане	±50
Бетонная подготовка (основание) тоннеля в профиле	±20
Отклонения лотковых блоков в плане	±25
Отклонения лотковых блоков в профиле	±20
Отклонения стеновых блоков в плане	±25
Отклонения стеновых блоков в профиле	±25
Точность разбивки осей колонн, балок перекрытий и продольных прогонов	±15
Отклонения стеновых блоков и колонн от вертикали не более 0,002 высоты, но не более	±15 ±25
Допустимые избыточное вертикальное и горизонтальное опережения установленных блоков от проектных, не более	±25

в) две марки в ножевой части для определения величины ее деформации;

г) нормаль к оси щита;

д) отвесы или гидроуровни для наблюдения за поперечным и продольным уклонами щита во время его продвига.

Введение щита по трассе и определение его отклонений осуществляются:

а) в плане — от трех сигналов, установленных на дневной поверхности или в готовом тоннеле.

Закрепление сигналов на проектной оси тоннеля производится инструментально от полигонометрических знаков;

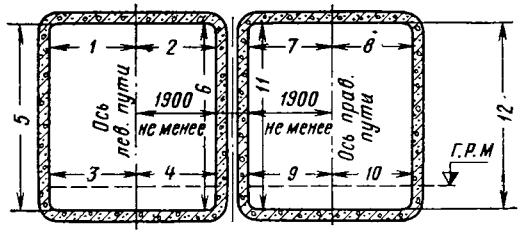


Рис. 236. Установка прямоугольной обделки тоннеля

б) в профиле — при помощи нивелира и закрепленных на щите марок.

Исправление перекосов щита в плане и профиле и поперечном уклоне производится соответствующей разработкой грунта в забое перед щитом.

Готовая прямоугольная секция тоннельной обделки перед укладкой проверяется путем замеров стальной рулеткой ее ширины, длины и диагоналей.

Изготовленные прямоугольные секции тоннельной обделки должны удовлетворять следующим допускам:

а) расхождения фактических и проектных размеров при измерениях в свету между стенами должны находиться в пределах от 0 до +30 мм;

б) торцевые плоскости секций должны быть ровными, без уступов, искривлений или наплывов.

Расхождения в расстояниях между соответствующими точками передней и задней плоскостей секций не должны превышать ±10 мм.

Отклонения установленных секций от проектного положения допускаются не свыше:

а) в плане ±30 мм;

б) в профиле ±30 мм;

в) перекос в плане ±20 мм;

г) отклонение от проектного уклона 0,001.

Установка каждой секции по высоте производится при помощи нивелира в соответствии с проектным уклоном.

Основание перед установкой секции проверяется также при помощи нивелира. Зачистка грунта должна быть выполнена с точностью ±30 мм.

При установке каждой секции определяются (рис. 236):

а) расстояния от оси — *1*, *2*, *3*, *4*, *7*, *8*, *9*, *10* и в свету — *5*, *6*, *11*, *12*;

б) отметки лотка;

в) горизонтальность нижней плоскости секции.

Определение горизонтального опережения в плане (перекосы) производится от закрепленных в тоннеле нормалей через 5 секций, а на кривых — каждой третьей.

Для поворота обделки тоннеля в плане ставятся клиновидные секции.

На вертикальных кривых секции должны иметь рассчитанные увеличенные размеры в свету по высоте, в зависимости от уклона трассы.

При ведении щита прямоугольного сечения в специальный маркшейдерский журнал заносятся все данные о продвиге, положении щита и секций.

ГЛАВА XXII

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАЗБИВКИ ПРИ УКЛАДКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ТОННЕЛЯХ

§ 157. Основные сведения о верхнем строении пути на жестком основании

Железнодорожные пути в тоннелях метрополитенов имеют три основные части (рис. 237): нижнее строение пути (жесткое основание) *1*, верхнее строение пути *2* и контактный рельс *3*. Нижняя часть пути состоит из тощего бетона, который укладывают после возведения тоннельной обделки, а в последнее время, в связи с внедрением сборного железобетона, нижняя часть пути является составной частью самой конструкции тоннельной обделки: лотковые блоки делают уже с готовой нижней частью пути. Верхнее строение пути состоит из железнодорожных рельсов типа Р-50, сваренных в плети длиной 100 м и более, шпал длиной 2,7 м, пропитанных креозотом (в количестве 1680 штук на 1 км на прямых участках и 1840 штук — на кривых участках пути), и стальных прокладок специального типа, на которые укладываются рельсы. Стальные прокладки крепят к шпале четырьмя шурупами. Между шпалой и стальной прокладкой кладут противошумную

деревянную прокладку обычно из прессованной осины толщиной 10 мм. Под подошву рельса на стальную прокладку укладывают прокладку из резины или полихлорвинила толщиной 8 мм. Рельсы стыкуют между собой двумя стальными накладками длиной 600 мм. Часть стыков делают изолированными; для этой цели в зазор (равный 8 мм) между торцами рельсов вводят фибровые прокладки толщиной 7,5 мм и вместо стальных накладок ставят специальные лигнофолевые.

По оси пути устраивают водоотводную канаву шириной 900 мм. Дно канавы располагают на 500 мм ниже уровня головки рельсов

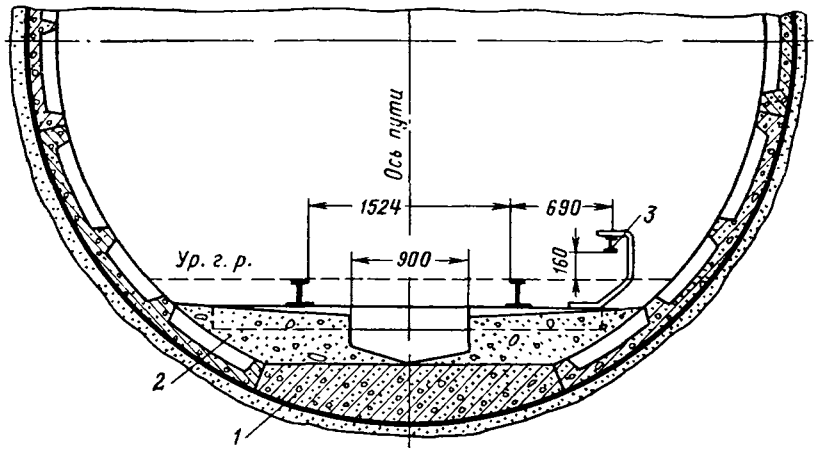


Рис. 237. Тип пути на прямой в перегонном тоннеле

в перегонных тоннелях и не менее 600 мм — в станционных тоннелях. В станционных тоннелях пути укладывают на шпалах-коротышах длиной 0,9 м.

При бетонировании пути шпалы заливают бетоном. Для стока воды поверхность путевого бетона устраивают с уклоном 0,03 в сторону оси пути. Закрепление рельсов от угона осуществляют клиновыми противоугонами, количество которых определяется проектом.

Контактный (третий) рельс в тоннеле предназначается для питания подвижного состава электротоком. Его располагают с левой по ходу поезда стороны и подвешивают на специальных кронштейнах, установленных на расстоянии 4,5—5,5 м один от другого. Контактный рельс сверху закрывают защитным деревянным коробом.

Строение пути в железнодорожных тоннелях отличается от пути в метрополитенах только устройством дренажа и электропитания. При электротяге контактный рельс отсутствует, а электропитание осуществляется так же, как и на открытых участках.

§ 158. Габариты тоннелей

Габаритом называют предельное очертание какого-либо сооружения. Для обеспечения безопасности движения поездов по рельсовым путям установлены следующие габариты.

Для тоннелей метрополитенов

1. Габарит подвижного состава — поперечное, перпендикулярное к оси пути очертание, в пределах которого должен размещаться как порожний, так и груженый подвижной состав.

2. Габарит приближения строения — предельное поперечное очертание, внутрь которого не могут заходить никакие части строения и сооружения.

3. Габарит приближения оборудования, ограничивающий размещение оборудования по отношению к габариту подвижного состава. Этот габарит находится между габаритами подвижного состава и приближения строения.

4. Габарит верхнего строения пути и контактного рельса — поперечное очертание, за пределы которого не должны выходить путевые устройства и различные детали их крепления. Особое внимание следует обращать на то, чтобы габаритная линия подвижного состава находилась выше уровня головки рельсов лишь на 50 мм, а линия верхнего строения пути — на 25 мм. Ниже первой линии не могут располагаться двигатели вагонов и детали их сцепления с ведущими осями, а также детали тормозных устройств, элементы рессорного подвешивания и др.; выше второй линии — контррельсы принудительного (рабочего) прохождения, их стыковые и промежуточные скрепления, а также другие элементы верхнего строения пути. На рис. 238 показаны габариты перегонных тоннелей метрополитенов с вертикальными стенами на прямом участке.

Габарит приближения строений назначают с учетом необходимости размещения в пространстве между ним и габаритом приближения оборудования: устройств пути, сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и энергоснабжения, осветительной арматуры, кабельной связи. Габарит должен обеспечивать проход в тоннеле обслуживающего персонала, а также учитывать допуски на отклонения и деформации тоннельных обделок при строительстве.

На кривых участках пути габариты определяются для каждого радиуса кривой расчетами в зависимости от радиуса кривой и величины возвышения наружного рельса. В перегонных тоннелях круглого очертания внутренним диаметром 5,1 м со стороны, противоположной контактному рельсу, по всей длине тоннеля устраивают площадку для прохода служебного персонала на высоте не более 0,2 м от головки рельса и на расстоянии не менее 1,62 м от оси пути до края площадки. В однопутных тоннелях с вертикаль-

ными стенами предусматривают ниши глубиной 0,50 м, шириной 1,2 м и высотой 2,0 м, располагаемые с правой стороны тоннеля (считая по ходу поезда) через 25 м по пикетажу. В двухпутных тоннелях ниши должны предусматриваться в обеих стенах с теми же интервалами в 25 м. Проемы ниш не должны закрываться трубами и кабелями.

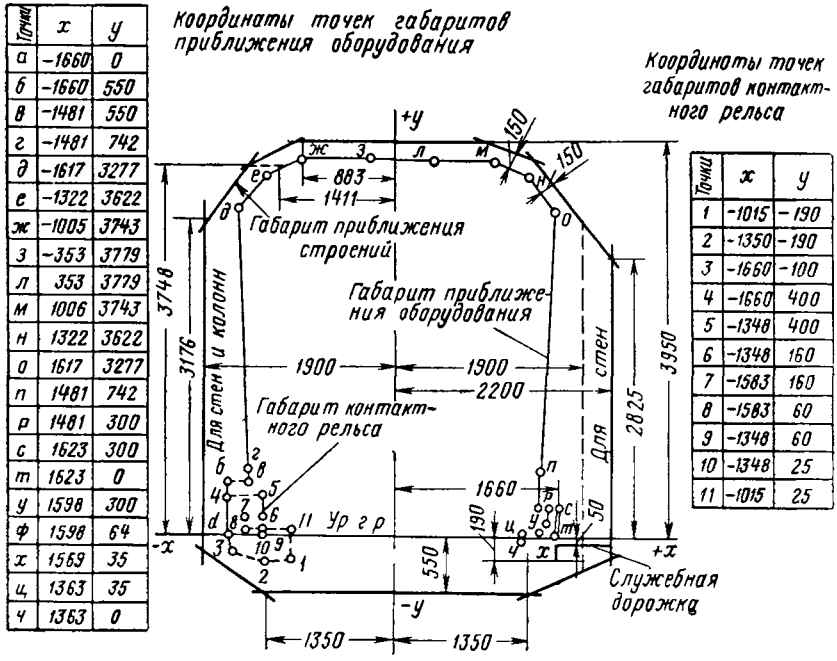


Рис. 238. Габариты для перегонных тоннелей с вертикальными стенами на прямом участке пути

Форма поперечного сечения тоннелей зависит главным образом от его размеров и глубины заложения тоннелей. В практике встречаются следующие формы поперечных сечений: 1) круглая, 2) прямоугольная, 3) подковообразная, 4) эллиптическая.

Для железнодорожных тоннелей

С января 1960 г. введен в действие новый государственный стандарт (ГОСТ 9238—73) «Габарит приближения строения и подвижного состава железных дорог колеи 1524 мм». В ГОСТе установлен единый для всех сооружений и устройств железных дорог габарит приближения С (рис. 239) взамен габаритов 1-С, 2-С, СТ-1 и СТ-2 (однопутные и двухпутные тоннели). В ГОСТе размеры даны для прямого участка пути. На кривых эти размеры увеличиваются. Увеличение размеров зависит от радиуса

кривой и величины возвышения наружного рельса. Уширение габарита с внутренней стороны кривой определяется по формуле

$$c = \frac{L^2}{8R} + \frac{hb}{a},$$

где L — длина вагона в метрах, R — радиус кривой в метрах, h — возвышение наружного рельса в метрах, b — высота от головки рельса рассматриваемой точки отклонения подвижного со-

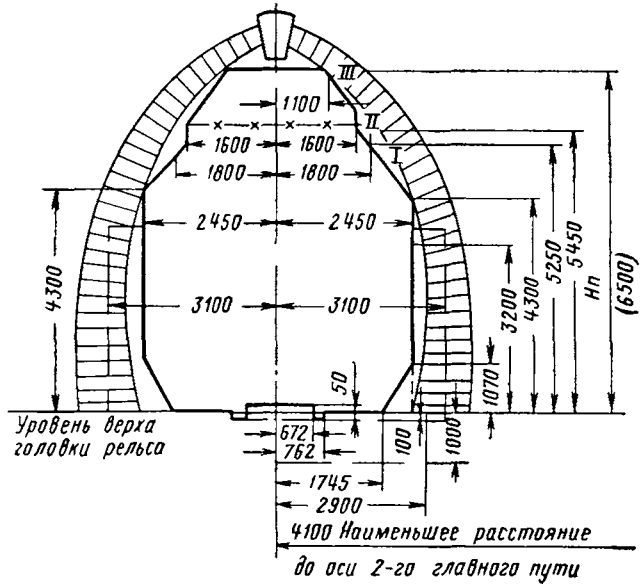


Рис. 239. Габарит С приближений строений для железнодорожных тоннелей

става в метрах, a — расстояние между осями головок рельсов в метрах.

Габариты гидротехнических тоннелей определяются объемом воды, которую необходимо пропустить через тоннель. Коммунальные тоннели имеют разнообразные габариты в зависимости от назначения тоннелей. Поперечные сечения этих тоннелей имеют самые разнообразные размеры, начиная от трубопроводов и кончая большими коллекторами, объединяющими несколько видов подземных коммуникаций.

§ 159. Проектные укладочные схемы

Железнодорожный путь в тоннелях сооружается согласно утвержденному укладочному плану и профилю пути и геометрической схеме трассы, а при отсутствии таковых — по рабочему профилю железнодорожного пути. Эти основные документы составляются

проектной организацией. Перед тем как приступить к разбивке мест установки путейских реперов в тоннеле, проверяют проектные данные укладочной схемы.

На укладочном плане и профиле пути показывают: а) величины и протяженность уклонов; б) отметки реперов, соответствующие головке рельсов на прямом участке пути; в) отметки реперов, соответствующие головке наружного рельса на кривом участке пути; г) условный профиль рельсовых ниток; д) длины прямых участков, круговых и переходных кривых; е) длины ходовых рельсов, контррельсов и типы стыков; ж) пикетаж путейских реперов, рельсовых стыков и различного оборудования; з) геометрические элементы осей пути. Исходными данными для разбивки мест установки путейских реперов служат пикетаж и высотные отметки реперов, указанные в укладочной схеме.

Геодезической основой для установки и определения удаления путейских реперов по оси пути служат знаки подземной полигонометрии, окончательно увязанной после сбойки встречных тоннелей. Путейские реперы на прямых участках трассы устанавливают с интервалом 20 м (за исключением реперов, фиксирующих целые пикеты, которые устанавливаются на своих местах) с правой стороны по ходу поезда, а на кривых — по внешней стороне кривой, т. е. со стороны возвышения рельса, с интервалом 5 м. На прямых участках, где имеются вертикальные кривые, реперы устанавливают с правой стороны по ходу движения поезда с интервалом 5 м. Реперы, фиксирующие перегибы профиля, а также начало и конец вертикальных кривых, устанавливают на своих проектных пикетах. Реперы, фиксирующие точки кривых *НКК*, *ККК*, *НПК*, *КПК*, также устанавливают на своих проектных пикетах.

§ 160. Способы закладки путейских реперов в тоннелях

Общий вид путейского репера изображен на рис. 240. Он представляет собой болт *2* со сферической головкой, который ввинчивается в обойму-стакан репера *1*. В головке репера имеется отверстие диаметром до 2 мм, которое является центром путейского репера. Под круглой головкой болт имеет квадратное сечение, предназначенное для регулирования гаечным ключом положения болта по высоте.

Реперы бетонируют согласно типовому проектному чертежу. На местах установки и бетонирования реперов устраивают опалубку таким образом, чтобы она не выступала за контур внутреннего очертания тоннеля (рис. 241). В тоннелях прямоугольной формы путейские реперы устанавливают также по типовому чертежу.

Для определения мест закладки реперов на поверхности тоннельной обделки, между двумя полигонометрическими знаками,

откладывают рулеткой последовательно расстояния, сначала равные разности пикетажа путейского репера и первого полигонометрического знака, а затем — разности пикетажа смежных путейских реперов. Полученные места установок реперов отмечают мелом. Линейную невязку в разбивке реперов между двумя полигонометрическими знаками распределяют пропорционально отмеренным расстояниям между путейскими реперами и окончательно обозначают полученные места краской. Разбивку мест

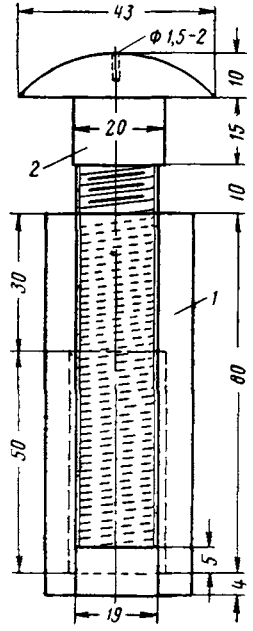


Рис. 240. Путейский репер

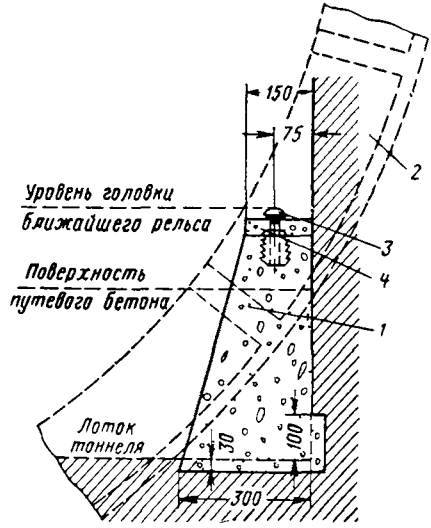


Рис. 241. Закрепление путейских реперов в тоннеле:

1 — прямоугольного сечения; *2* — в тюбинговом тоннеле; *3* — путейский репер; *4* — бетонная подливка

установки путейских реперов в плане производят с погрешностью не более ±3 см.

При разбивке реперов, располагающихся по внешней стороне тоннеля относительно центра кривой, следует иметь в виду, что пикетажные значения как путейских реперов, так и полигонометрических знаков даются отнесенными к оси пути. Поэтому разности пикетов реперов, закладываемых на кривой по внешней стене тоннеля, должны быть исправлены на величину, вычисленную по формуле

$$\Delta d = \frac{D}{R} d,$$

где D — среднее расстояние от путейских реперов до оси пути, R — радиус кривой, d — откладываемая разность пикетов.

Для разбивки путейских реперов в профиле используют отметки полигонометрических знаков или реперов, полученные из нивелирования после сбойки тоннелей и окончательно увязанные. В тоннеле определение путейских реперов по высоте производят в следующем порядке. Нивелир устанавливают в середине между полигонометрическими знаками, рейку ставят на одном из них и берут по ней отсчет. Далее рейку ставят на путейский репер и, поднимая или опуская его болт, добиваются такого положения рейки, когда отсчет по ней будет равен величине b_i, определяемой по формуле

$$b_i = (H_{пз} + a) - H_{p_i},$$

где $H_{пз}$ — отметка полигонометрического знака; a — отсчет по рейке, установленной на полигонометрическом знаке; H_{p_i} — проектная отметка головки рельса на пикете определяемого путейского репера.

§ 161. Определение фактического пикетажа путейских реперов

После затвердения бетона необходимо снова определить пикетные значения путейских реперов в соответствии с их фактическим положением и подсчитать проектную отметку каждого репера. Для определения фактического пикетажа установленных и забетонированных реперов измеряют стальной рулеткой расстояния между ними, привязывая крайние реперы к полигонометрическим знакам, пикеты которых приняты за твердые.

Путейские реперы устанавливают по высоте при помощи технического нивелира, который должен быть до работы тщательно проверен. Рейки должны быть также тщательно проверены стальной рулеткой или контрольным метром. Если случайные погрешности дециметровых делений рейки превышают ± 1 мм, то ее нельзя использовать на работе по установке реперов. Исходными данными, как уже указывалось, служат отметки полигонометрических знаков. При этом отметка второго полигонометрического знака используется для контроля. Если в результате контроля правильность установки репера подтверждается, то его закрепляют, сбивая зубилом резьбу болта на уровне обоймы репера или делая сварку болта с обоймой с тем, чтобы предотвратить вращение болта и изменение его положения по высоте. Установка реперов на проектные отметки должна быть произведена с погрешностью не более ± 2 мм.

§ 162. Определение удалений путейских реперов от оси пути на прямом участке трассы и на круговой кривой

Железнодорожный путь в тоннелях укладывают и рихтуют в плане от путейских реперов. Удаления реперов от оси пути должны быть определены с погрешностью, не превышающей ± 3 мм.

На прямых участках трассы расстояния путейских реперов от оси пути определяют от линии, параллельной оси пути и заданной с полигонометрического знака. Для этого в тоннеле над полигонометрическим знаком *1* (рис. 242) устанавливают теодолит. Смещение этого знака δ_1 от оси пути известно, как известно и смещение δ_2 второго знака *ПЗ 2* от оси пути. От *ПЗ 2* по нормали к оси пути откладывают величину $\delta_2 - \delta_1$ и отмечают полученную точку *С*, на которую наводят визирную ось трубы теодолита. Та-

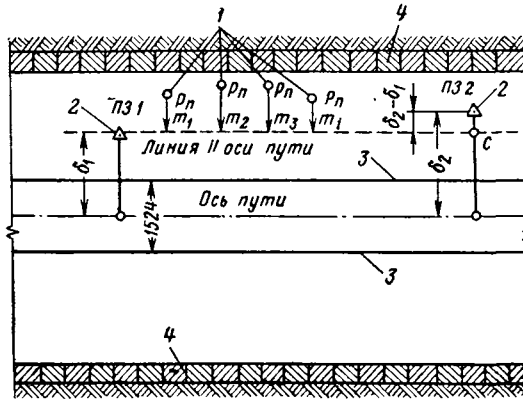


Рис. 242. Схема определения путейских реперов:
1 — путейский репер; *2* — полигонометрический знак; *3* — рельсы; *4* — блоки тоннельной обделки

ким образом, линия *ПЗ 1 — С* оказывается параллельной оси пути. От этой визирной линии и производят съемку всех путейских реперов, пользуясь для этого специальной рейкой, с помощью которой определяют отрезки *m*. Удаления реперов от оси пути вычисляют по формуле

$$d_i = \delta_1 + m_i,$$

где δ_1 — смещение полигонометрического знака, на котором установлен теодолит, от оси пути, m_i — отсчет по горизонтальной рейке.

Чтобы определить расстояние от путейского репера до ближайшей внутренней грани рельсовой нитки, вычисленную величину d_i уменьшают на величину, равную половине ширины нормальной колеи, $\frac{1524}{2} = 762$ мм.

На участках круговой кривой с малым радиусом рекомендуется определять координаты путейских реперов непосредственно от пунктов подземной полигонометрии. Тогда, имея координаты путейских реперов и центра кривой и решая обратную геодезическую задачу, вычисляют расстояние от центра кривой до опреде-

ляемого путейского репера. Удаление путейского репера от оси пути вычисляют по формуле

$$d_i = D_i - (R - z),$$

где D_i — вычисленное расстояние между путейским репером и центром кривой, R — радиус разбивочной кривой, z — смещение оси пути относительно разбивочной оси.

Вообще же на участке круговой кривой положение путейских реперов определяют от линии, параллельной хорде AB (рис. 243).

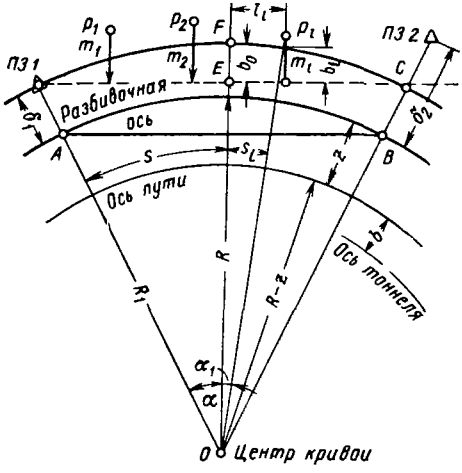


Рис 243 Схема съемки и определения удалений, путейских реперов на круговой кривой от оси пути

Для этого на полигонометрическом знаке *ПЗ 2* откладывают разность смещений полигонометрических знаков $\delta_2 - \delta_1$ и отмечают точку C. Линия, соединяющая *ПЗ 1* с вспомогательной точкой C, будет параллельна хорде AB. Теодолит устанавливают на *ПЗ 1*, визирную ось трубы наводят на точку C и с помощью рейки определяют величины m_1, m_2, .., m_i. Удаление реперов от оси пути определяют по формуле

$$d_i = \delta_1 + \frac{m_i - b_i}{\cos \alpha_i} + z,$$

где δ_1 — смещение полигонометрического знака от разбивочной оси круговой кривой, m_i — отсчет по горизонтальной рейке (измеренное расстояние от определяемого путейского репера до линии *ПЗ 1* — C, параллельной хорде), b_i — стрела изгиба дуги *ПЗ 1* — C на пикете определяемого репера, вычисляемая по формуле

$$b_i = b_0 - \frac{l_i^2}{2R}$$

Здесь b_0 — стрела изгиба дуги на середине хорды; l_i — длина дуги от точки F до репера с номером i, которая определяется как разность пикетных значений этих точек на разбивочной кривой, умноженная на отношение радиусов $\frac{R_1}{R}$ (R_1 — радиус дуги, проходящей через *ПЗ 1*); α_1 — угол между радиусами, проходящими через середину хорды, и определяемый путейский репер.

Стрелу b_0 на середине хорды вычисляют по формуле

$$b_0 = \frac{L^2}{8R},$$

Таблица 40

R, м	Максимальная длина хорд, м	R, м	Максимальная длина хорд, м	R, м	Максимальная длина хорд, м
100	20	400	50	800	90
200	30	600	70	1000	100

где L — длина всей хорды, соединяющей *ПЗ 1* и вспомогательную точку C.

При радиусах кривых и длинах хорд, не превышающих значений, указанных в табл. 40, величины $m_i - b_i$ за $\cos\alpha$ не исправляют.

Удаления путейских реперов определяют дважды. Расхождения между двойными определениями не должны превышать ± 3 мм.

Кроме описанного способа, инженеры В. Н. Ишмаев, Г. Н. Кельх и А. П. Мазурок предложили свои методы определения удаления путейских реперов от оси пути. Для облегчения вычислительных работ каждым из них составлены соответствующие таблицы.

§ 163. Определение удалений путейских реперов на переходной кривой

Удаления путейских реперов от оси пути на переходных кривых можно определить от линии тангенса. Сущность такого способа определения удалений заключается в следующем. В тоннеле на ближайшем к переходной кривой полигонометрическом знаке устанавливают теодолит и трубу его направляют параллельно линии тангенса (рис. 244), при этом угол β вычисляют как разность дирекционных углов стороны подземной полигонометрии *1—2* и линии тангенса. Расстояние m_i между путейским репером и линией *2 — А*, параллельной линии *НКК—В* тангенса, определяют теодолитом по горизонтальной рейке. Удаления путейских реперов от оси пути вычисляют по формуле

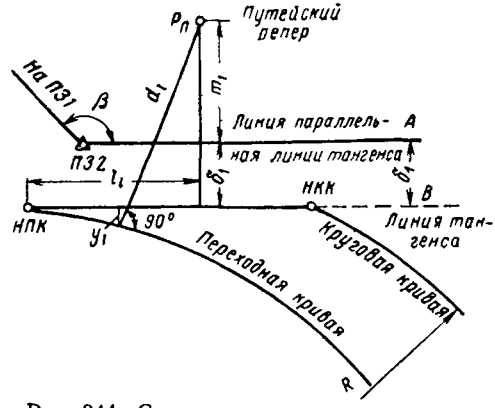


Рис 244 Схема определения удаления путейских реперов на переходных кривых

$$d_i = \delta_1 + m_i + y_i + \frac{l^4}{4C^2},$$

Таблица 41

C	l								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
10 000	0,4	1,0	2,0	3,8	6,4	10,3			
15 000		0,4	0,9	1,7	2,8	4,6	6,9		
20 000			0,5	0,9	1,5	2,6	3,9	5,7	
25 000				0,6	1,0	1,6	2,5	3,7	5,2
30 000					0,7	1,1	1,7	2,5	3,6
35 000						0,8	1,3	1,9	2,6

где δ_1 — величина смещения полигонометрического знака, на котором установлен теодолит, от линии тангенса, m_i — отсчет по рейке, y_i — расстояние от линии тангенса до переходной кривой на пикетаже определяемого репера с номером i, вычисляемое по формуле

$$y_i = \frac{l^3}{6C} - \frac{l_i^7}{336C^3}.$$

Здесь l_i — расстояние от *НПК* до определяемого путейского репера. Коэффициент $\frac{l^4}{4C^2}$ можно определить по величинам l и C из табл. 41.

По окончании определений пикетажа и удалений реперов от оси пути составляют их ведомость, согласно которой ведут все последующие работы по укладке железнодорожного пути в тоннелях. В тоннеле у каждого репера подписывают его пикет и удаление от внутренней грани ближайшего рельса.

§ 164. Установка рельсов железнодорожного пути на проектные отметки

Организация путевых работ в тоннеле делится на два этапа: подготовительный и укладочный. Прежде чем приступить к монтажу рельсовых звеньев в тоннеле и установке их на проектные отметки, на строительной базе проверяют размеры и допуски всех поступающих для пути материалов, гнут рельсы для кривых участков пути и выполняют ряд других необходимых работ.

В тоннеле шпалы раскладывают на поверхности жесткого основания; затем укладывают рельсы на подкладки, ставят распорные шаблоны и устанавливают путь на бетонные кубики по уровню путейских реперов.

В таком положении путь укрепляют при помощи распорных домкратов (рис. 245), которые устанавливают по пять пар на каждое звено рельсов длиной 12,5 м (на кривых — 7 пар). Между

каждой парой домкратов устанавливают межрельсовые деревянные распорки, равные ширине колеи. Под подошвой рельса у каждой пары домкратов дополнительно устанавливают бетонные кубики, регулируя их высоту железобетонными плитами размером 250 × 250 × 50 мм. Между подошвой рельсов и плитами устанавливают деревянные клинья. Подбивая или ослабляя клин, можно поднять или опустить рельс. После раскрепления пути

Рис. 245. Укрепление пути распорными домкратами

устанавливают деревянную опалубку для водоотводной канавы и противоугонных приямков. Установку и раскрепление путей в плане и профиле производит путейская бригада по данным ведомости путейских реперов и подписям их в тоннеле.

Для правильной укладки пути в профиле ближайший к путейскому реперу рельс выверяют при помощи специальной рейки с накладным уровнем. Второй рельс по высоте монтируют по уже установленному первому рельсу, используя рейку и накладной уровень и соблюдая на кривых участках трассы завышение наружного рельса над внутренним, предусмотренное проектом.

В тоннелях метрополитена в момент бетонирования железнодорожный путь остается без резиновых прокладок. Но после заливки шпал бетоном рельсы перешивают и устанавливают на резиновые прокладки толщиной 8 мм; поэтому при первоначальной рихтовке уложенного пути для бетонировки нужно учитывать, что головка рельсов пути должна быть уложена ниже проекта на 8 мм.

§ 165. Способы выверки и окончательной установки железнодорожного пути в плане и профиле

По отрихтованному пути, уложенному на бетонные кубики и раскрепленному домкратами и клиньями, происходит движение вагонеток с грузами, что может вызывать местные расстройства пути. Поэтому, прежде чем приступить к укладке путевого бетона, путь тщательно проверяют и приводят в точное соответствие с укладочным планом и профилем. Проверка уложенных рельсовых ниток в плане осуществляется измерением расстояний от центра путейского репера до внутренней грани головки ближайшего к реперу рельса и сравнением этих расстояний с проектными. Отклонения уложенных рельсов от проекта в плане не должны превышать ±2 мм. Уложенные пути проверяют в плане не только против реперов, но и в промежутках между ними, для чего на прямых участках пути между точками, полученными от путейских реперов, натягивают леску длиной 20 м и с помощью передвижного отвеса осуществляют проверку. В некоторых случаях устанавливают теодолит, визирный луч которого направляют параллельно внутренней грани проверяемых рельсов. Обнаруженные отклонения рельсов от прямой более чем на ±2 мм выправляют домкратами.

На кривых участках трассы, помимо контрольных измерений расстояний от внутренней грани рельса до центра путейского репера, проверяют еще плавность кривой по стрелам прогиба.

Фактическая величина прогиба не должна отличаться от теоретической более чем на 3 мм. На участках трассы с кривыми малых радиусов применяют хорды длиной 10 м. Здесь отклонения фактических величин стрел прогиба от теоретических не должны превышать ±2 мм.

На переходных кривых проверка плавности уложенных рельсов также может быть осуществлена при помощи десятиметровых хорд. Стрелу прогиба в середине хорды вычисляют по формуле

$$b = \frac{(l_1 - l_2)^2 (l_1 + l_2)}{18C},$$

где l_1 и l_2 — расстояния от начала переходной кривой до начала и конца хорды, а C — параметр переходной кривой.

Контролируют также ширину колеи — расстояние между внутренними гранями рельсов. На кривых участках трассы с радиусом, меньшим 200 м, делают уширение колеи, которое устанавливается проектом.

Чтобы проверить уложенный путь в профиле, на левом и правом рельсах мелом через каждые 3 м отмечают точки у каждого кубика. Определяют пикетное значение отмеченных точек и их проектные отметки. Затем устанавливают нивелир и, пользуясь отметками путейских реперов или полигонометрических знаков, определяют отметку горизонта инструмента (ГИ). Отсчет по рейке,

установленной на головке рельса в точке, отмеченной мелом, должен быть равен величине b, подсчитанной по формуле

$$b = \text{ГИ} - H_{\text{пр}},$$

где $H_{\text{пр}}$ — проектная отметка головки рельсов в точке, в которой установлена рейка.

В случае отклонения от проектной отметки уложенный путь или поднимают домкратами с подбивкой клиньев, или опускают за счет ослабления клиньев. Рихтовку продолжают до тех пор, пока отклонения фактических отсчетов по рейке от рассчитанных станут меньше ±3 мм. На кривых участках отметки головки рельсов внутренней нитки пути должны быть меньше отметки путейского репера на величину возвышения наружного рельса.

§ 166. Тоннельные путевые знаки. Исполнительные чертежи

Путевые и сигнальные знаки устанавливают в тоннелях для ориентировки машинистов поездов и для рабочих бригад при ремонте и текущем содержании железнодорожного пути. Знаки устанавливают на стенах тоннеля, а места их установки определяются проектом. В путевых тоннелях устанавливают следующие сигнальные и путевые знаки.

Путевые

1) пикетные; 2) уклоноуказатели; 3) начало и конец переходных и круговых кривых; 4) начало и конец отвода возвышения рельсовых ниток; 5) начало, середина и конец вертикальных кривых; 6) таблицы с характеристикой кривой; 7) нумерация рельсовых звеньев; 8) реперные таблицы; 9) указатели границ дистанций пути, околотков, рабочих отделений.

Сигнальные

1) ограничения скорости на кривых малых радиусов (менее 400 м); 2) указатели остановки передней кабины поезда на станции; 3) указатели границ станции; 4) предельные столбики и рейки; 5) знаки подачи звукового сигнала.

Знаки, необходимые для машинистов поездов, устанавливают на высоте не ниже 2 м от головки рельсов; знаки, необходимые для работников службы пути, устанавливают на высоте 1,2 м от головки рельсов. Сигнальные и путевые знаки надежно закрепляют.

После затвердения путевого бетона производят нивелировку путей и съемку их в плане. По результатам этих работ составляют специальные таблицы, отображающие фактическое положение путей до их обкатки. После обкатки съемку пути в плане и профиле повторяют и данные съемки заносят в ту же таблицу. Кроме того,

составляют графики уклонений отметок путейских реперов и головок рельсов от проектных значений и графики перекосов рельсов в масштабах: горизонтальном — 1 : 1000, вертикальном — 1 : 10.

Для составления исполнительного плана и профиля железнодорожного пути производят детальную съемку поставленного в тоннелях оборудования. В результате этой съемки получают: а) длины всех звеньев рельсов основных и вспомогательных путей и контррельсов, а также число уложенных под каждым звеном шпал; б) привязку, через каждые три звена, стыков рельсов к пикетажу; в) данные привязки по пикетажу всех изолированных стыков, начал и концов отвода контррельсов, острия перьев стрелочных переводов, центров переводов, начал и концов третьего рельса; г) данные привязки дроссельных ящиков, релейных шкафов, скоб автостопов, светофоров, начал и концов различных оснований пути (бетон, щебенка). Данные съемки представляются в виде абриса. По данным абриса составляют план путей, к которому прилагается каталог путейских реперов.

ГЛАВА XXIII

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЕЙ СООРУЖЕНИЙ

§ 167. Организация наблюдений за деформацией поверхностных сооружений

До начала работ по сооружению тоннелей на имеющемся плане в масштабе 1 : 500—1 : 2000 намечают территорию, охватывающую зону возможных деформаций, и составляют схему расположения реперов, предназначенных для регистрации оседания. Эти реперы обычно называют деформационными реперами. Одновременно составляют и программу наблюдений. Система деформационных реперов должна состоять из сети грунтовых реперов (в качестве таковых могут служить смотровые колодцы подземных ком-

Таблица 42

№ реперов	Адреса реперов	Характер здания	Фасад или двор	Характер репера	Примечание
756	Пр. Пушкина, д. 30	7 кж	Двор	Костыль	
157	ул. Огарева, д. 20	2 смж	Фасад	Цоколь	

муникаций — водопровода, канализации и пр.) и реперов на зданиях и сооружениях, расположенных на дневной поверхности (рис. 246). Эти реперы при систематическом их нивелировании позволят получить данные раздельно о деформации дневной поверхности и сооружений. Эти данные могут не совпадать по времени и по размерам осадок.

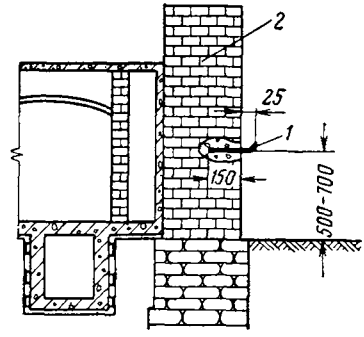


Рис. 246. Стенной деформационный репер:

1 — деформационный репер; *2* — цоколь здания. Размеры указаны в мм

Деформационные реперы намечают вблизи основных углов зданий, а на вытянутых в длину зданиях — на расстоянии 20—25 м один от другого (рис. 247). После составления схемы расположения реперов производят рекогносцировку в натуре. Выбранные места закладки реперов нумеруют и отмечают масляной краской. При рекогносцировке ведут описание деформационных реперов по следующей форме (табл. 42).

В процессе рекогносцировки уточняют характеристики и адреса зданий, а также планы поверхности. В необходимых случаях производят съемку домов, не отмеченных на плане.

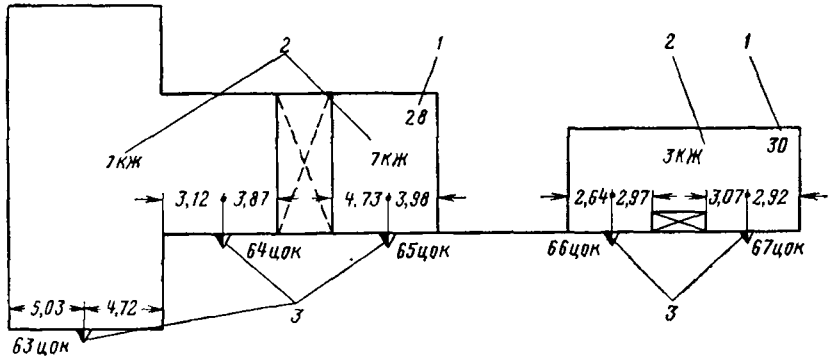


Рис. 247. План расположения деформационных реперов на цоколях зданий:

1 — номера домов; *2* — характеристика зданий; *3* — деформационные реперы Размеры указаны в метрах

В качестве реперов применяют либо готовые железнодорожные костыли, либо изготовленные из арматурного железа толщиной не менее 15 мм. Деформационными реперами могут служить также площадки, отмеченные на цоколях облицовки зданий из мрамора и гранита или на ступенях лестниц. Места постановки нивелирной рейки на таких реперах окрашивают краской, при этом вы-

полняют зарисовку и линейные привязки репера к ближайшей характерной точке ситуации.

Деформационными реперами охватывается вся зона предполагаемых осадок. В целях удобства изучения характера деформации деформационные реперы желательно закладывать по створам, нормально к продольной оси подземных сооружений. Место расположения створа определяют по положению будущих выработок и поверхностной ситуации.

На участках станций метрополитена створы деформационных реперов располагают по средине и по концам станции, а в камерах съездов — в характерных местах.

§ 168. Зарисовка и фотографирование существующих дефектов на наземных сооружениях. Первичное нивелирование

До начала производства горных работ необходимо также обследовать все здания и другие искусственные сооружения, расположенные в предполагаемой зоне осадок поверхности, и установить их техническое состояние. Для этого на строительном объекте создают комиссию в составе представителей строительства, представителя проектной организации и представителей организаций, эксплуатирующих эти здания и сооружения. Комиссия в результате обследования составляет акт, в котором отмечает все имеющиеся дефекты стен, перекрытий, фундаментов и т. д.

Фасады и другие элементы зданий, имеющие трещины и дефекты облицовки, фотографируют. Эти фотографии, с указанием даты, адреса и местоположения снимка, заверяются управляющими зданий.

Несфотографированные трещины зарисовывают и в характерных местах определяют их размеры. На трещинах устанавливают гипсовые маяки. Наблюдения за маяками включают в программу наблюдения за деформацией.

Для выявления величин осадок необходимо систематически наблюдать за поверхностными сооружениями, расположенными в зоне возможной деформации. Наблюдения состоят в периодическом нивелировании установленных на сооружениях и на дневной поверхности деформационных реперов.

Отметки деформационных реперов определяют простым техническим нивелированием, первый раз перед началом производства горных работ, а последующие — в процессе строительных работ по сооружению тоннелей. Исходными отметками для нивелирования деформационных реперов служат отметки реперов нивелирования II и III разрядов. Для сгущения высотной сети в районе трассы и для одновременного контроля отметок исходных реперов до производства горных работ производится нивелирование IV разряда, реперами которого могут служить удаленные от трассы деформационные реперы и характерные точки наземных сооружений.

Таблица 43

№ реперов	Адреса реперов	Первичные отметки	Текущие отметки					
			1973 г		1974 г		1975 г	
			I	II	I	II	I	II
795	ул. Пушкина, д. 38	132, 720			717	715	713	710
8560	Плотников пер., д. 20	145, 913	913	913	910	907	898	

На все реперы нивелирования II, III и IV разрядов составляют единый каталог по следующей форме (табл. 43).

Первичное нивелирование выполняют выверенными нивелирами и двусторонними рейками, погрешности нанесения дециметровых штрихов и пяток которых не должны превышать ±0,5 мм. Для получения первичных отметок деформационных реперов прокладывают нивелирные ходы между реперами II, III и IV разрядов. Нивелирование производят по черной и красной сторонам реек. При нивелировании для определения деформации не разрешается применять висячие ходы, протяженность которых более трех станций.

§ 169. Оформление каталогов и схем. Периодичность нивелирования деформационных реперов

Первичные значения отметок, а также описания деформационных реперов заносят в специальную книгу — каталог. Отметки выписывают красной тушью. Каталоги составляют в двух экземплярах. Один экземпляр постоянно находится на строительном объекте, ведущем горные работы, а другой — в маркшейдерском отделе управления строительства

Для повторных нивелировок применяют те же инструменты и рейки, что и для первичного нивелирования, но отсчеты на промежуточные точки берут только по черной стороне рейки. Периодичность повторных нивелировок определяется степенью интенсивности осадок, но не реже одного раза в 1,5 месяца Повторное нивелирование ведут до полного затухания осадок.

Записи результатов наблюдений деформационных реперов оформляют в следующем виде (табл. 44).

Помимо записей в каталогах, деформация дневной поверхности отображается на планах графически в условных знаках.

По результатам повторного нивелирования ежемесячно составляют сводную ведомость осадок. В особых случаях, когда осадки достигают значительных размеров, составляют промежуточные ежедневные сводки непосредственно после получения полевых данных.

Таблица 44

Дата наблюдений	№ реперов											
	7674	7675	7676	7677	7678	7679	7680	7681	7682	7683	17684	7685
	Осадки в мм											
15.XII.1973 г.	2	1	3	4	1	2	3	4	2	1	0	2
12.I.1974 г.	4	5	6	7	8	10	4	6	4	5	12	5

Для выявления деформации исходных реперов через каждые 4—6 месяцев выполняют повторное контрольное нивелирование IV разряда.

На незастроенной территории наблюдения за деформацией дневной поверхности производят по специально заложенным грунтовым реперам, равномерно покрывающим зону возможной деформации.

Для первичных и повторных нивелировок деформационных реперов устанавливают следующие допуски:

а) расхождения в превышениях, определенных по черной и красной сторонам рейки, не должны превышать ± 3 мм;

б) невязки в замкнутых ходах и полигонах не должны превышать $\pm 3\sqrt{n}$ мм, где n — число штативов в ходе.

Расхождения в отметках деформационных реперов, полученных из первой и второй первичных нивелировок, не должны превышать 5 мм.

При строительстве горных и других тоннелей наблюдения за деформацией дневной поверхности производят в случае:

а) наличия на трассе наземных сооружений;

б) расположения тоннеля в неустойчивых грунтах.

§ 170. Организация наблюдений за деформацией в тоннелях

Во время строительства подземных сооружений в результате разработки породы развивается горное давление. При значительном горном давлении возможны деформации временного крепления и постоянной тоннельной обделки.

Горное давление, действующее в различных направлениях, в зависимости от гидрогеологических условий вызывает осадку временного крепления при проходке штолен и разработке калотт, а также выпучивание лежанов рам.

В постоянных сооружениях горное давление вызывает осадку свода, сближение стен, выпучивание лотков и обратных сводов, эллиптичность тоннельной обделки круглого очертания и пр. В неустойчивых породах горное давление вызывает трещины, а иногда и разрушение самой конструкции подземного сооружения.

Указанные обстоятельства требуют организации тщательных наблюдений за деформацией подземных сооружений.

Наблюдения производят регулярно, на всех этапах строительства. Цель их:

а) следить за поведением конструкций как во время строительства, так и после их сооружения, и выявлять места интенсивных деформаций (осадки, смещения), чтобы своевременно принять необходимые меры;

б) собрать необходимые данные для суждения о поведении пород, в которых сооружаются тоннели, с целью установления необходимых строительных запасов для строящихся и будущих сооружений.

Наблюдения выполняют методом обычных геодезических измерений, применяемых в тоннелестроении (нивелирование, угловые измерения, линейные измерения). Производят периодическое нивелирование сводовой части крепления и тоннельной обделки, линейные измерения горизонтальных, вертикальных и косых диаметров и расстояний между знаками, заложенными в стенах сооружения. Нивелируют также нижнюю часть сооружения.

При строительстве станций горным способом особое внимание надо обратить на осадки свода, которые могут быть обусловлены разработкой боковых штросс и подводкой стен. В тоннелях, сооружаемых из сборных элементов тоннельной обделки (тюбинги, блоки секции и др.), необходимо организовать наблюдения за горизонтальным, вертикальным и косыми диаметрами, а также наблюдения за положением (по высоте) свода и лотка. Наблюдения ведут применительно к типу станции. Характер и количество наблюдений зависят от геологических и гидрогеологических условий, а также от принятой последовательности выполнения строительных работ и интенсивности деформации.

Программа наблюдений согласовывается с техническим руководством строительства.

На всех станциях, помимо наблюдений, указанных выше, нивелируют осевой сегмент рам проемов и определяют его положение относительно продольной оси тоннеля.

Характер деформации станционного кольца показан на рис. 248.

В станциях колонного типа необходимо измерять наклон колонн и других элементов конструкций, которые могут подвергаться большим деформациям.

Особое внимание следует уделять наблюдению за деформациями в период раскрытия проемов, нагрузки перемычек, снятия временных распорок и прочих ответственных операций. В случае появления трещин в тюбингах их зарисовывают и устанавливают маяки.

При сооружении эскалаторных тоннелей наблюдение за осадкой свода производят путем измерения расстояний от наклонного луча, параллельного оси тоннеля, до свода.

Все данные по наблюдениям за деформацией подземных сооружений оформляют в специальном журнале. В случае интенсивной

деформации подземного сооружения составляют специальные чертежи, дающие наглядное представление о характере и направлении деформации.

В местах пересечения вновь сооружаемого тоннеля с действующими сооружениями в последних организуется наблюдение за их

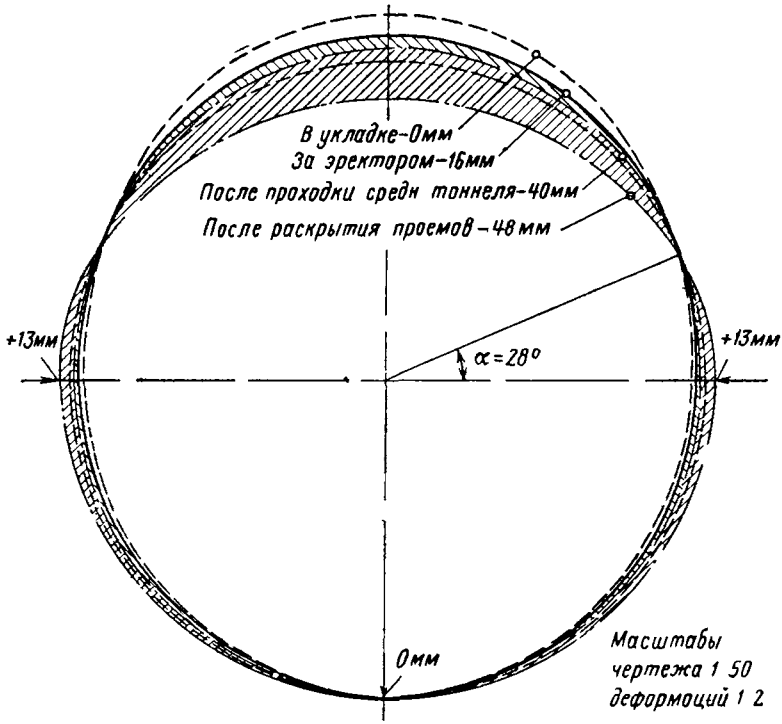


Рис 248 Деформация кольца тоннеля станции

деформацией Для этой цели в конструкцию закладывают деформационные реперы равномерно по всей площади действующего сооружения, со средним расстоянием между реперами порядка 10—15 м

Исходными реперами для наблюдения за деформацией служат знаки подземной высотной основы (знаки полигонометрии, высотные реперы), удаленные от зоны осадок по трассе не менее чем на 50 м.

Периодичность повторных нивелировок определяется в каждом отдельном случае в зависимости от местных условий и интенсивности осадок, но не реже одного раза в 20 дней до полного затухания всех осадок

Первичная и повторная нивелировки и их графическое оформление производятся так же, как и при наблюдениях за деформацией на поверхности

ГЛАВА XXIV

СОСТАВЛЕНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ

§ 171. Съемка выработок и конструкций в процессе строительства

Съемка горных выработок для составления исполнительной технической документации при сооружении тоннелей горным способом с монолитной бетонной тоннельной обделкой производится от установленных по проекту кружал и лекал радиальными промерами. При строительстве тоннелей с помощью щитов и эректоров из сборных элементов тоннельной обделки съемку горных выработок можно произвести от сооруженной тоннельной обделки радиальными промерами от внешнего очертания тоннельной обделки с учетом ее деформации и эллиптичности, если таковая имеется

Тоннельную обделку как в плане, так и в профиле собирают строго по проекту, а небольшие ее отклонения от проекта всегда фиксируют в процессе строительства на каждом погонном метре Поэтому после съемки горной выработки от собранного кольца на требуемом пикете всегда можно вычислить отметку лотка и свода и составить план, профиль и поперечное сечение горной выработки. Съемка горной выработки производится до укладки бетона, а при сборной обделке — после замыкания очередного кольца.

При щитовой проходке в мягких грунтах, в забоях, где не применяются буровзрывные работы, съемка горных выработок не производится, так как порода не перебирается и очертание горной выработки фиксируется положением щита В этих случаях снимают и строго фиксируют только отдельные вывалы или выпуски пород Съемку таких участков выполняют также радиальными промерами рулеткой или рейкой от щита или тоннельной обделки.

Съемку конструкций и самой тоннельной обделки производят после завершения бетонных и монтажных работ С помощью теодолита, нивелира, рулетки и рейки производят внутритоннельную съемку от знаков подземной полигонометрии методами и приемами, известными из геодезии Съемку внутреннего очертания тоннеля, сооружаемого из монолитного бетона, чаще всего выполняют способом засечек, как наиболее быстрым и простым Имеются и другие инструментальные, более точные, способы, например с помощью оптического тоннельного тахеометра, который позволяет без рейки или рулетки определить расстояние от инструмента до точки на тоннельной обделке, а также горизонтальный и вертикальный углы

При съемке способом засечек на правой и левой стенах тоннеля на уровне, лежащем выше головки рельсов на 1,0—1,5 м, отмечают

точки B_1 и B_2 (рис. 249) и расстояние между ними принимают за базис для съемки. Расстояния b_1 и b_2 от этих точек до оси тоннеля определяют промерами стальной рулеткой, а положение по высоте — при помощи нивелира.

Положение точек *1*, *2*, *3*, *4*, расположенных на внутреннем очертании тоннельной обделки, можно определить путем измерения расстояний $B_1 - 1$, $B_2 - 1$, $B_1 - 2$ и $B_2 - 2$ и т. д. стальной рулеткой при помощи шеста (нуль рулетки плотно прижимают шестом к определяемой точке на бетонной поверхности, а в точках B_1 и B_2 делают отсчет по рулетке).

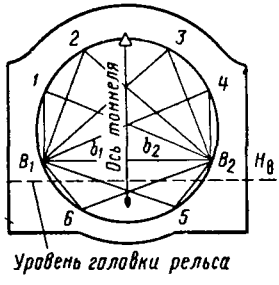


Рис. 249. Съемка внутреннего очертания тоннеля

Для уточнения и ускорения съемки к шесту прикрепляют две рулетки: одной из них измеряют расстояние до точки B_1, а другой — до точки B_2. Для того чтобы составить исполнительный чертеж поперечного сечения построенного тоннеля, достаточно снять 8—10 точек по внутреннему очертанию.

При круглом сечении тоннеля удобнее производить съемку измерением длин восьми радиусов от центра тоннеля до тюбингов или бетона. Для фиксации центра тоннеля опускают отвес от осевой точки в своде, находящейся на пикете поперечного сечения. На леске отвеса, пользуясь проектной отметкой, находят при помощи нивелира положение центра тоннеля по высоте и закрепляют его узелком. Центр тоннеля для съемки поперечного сечения можно зафиксировать при помощи теодолита, установленного на проектной оси тоннеля. Для этого на горизонтальном диаметре тоннеля натягивают леску и на ней закрепляют узелком ось тоннеля. Ось тоннеля для съемки поперечного сечения можно также закрепить специальными распорками, изготовленными из досок и реек.

Радиусы измеряют по горизонтальным и вертикальным диаметрам и по диаметрам, расположенным под углом 45° к горизонту. В тех сечениях, где производилась съемка тоннеля, нивелируют свод и лоток тоннеля по продольной оси.

Съемку конструкции тоннеля производят на кривых участках через каждые 5 м, на прямых участках — через 10 м, а также во всех характерных местах.

§ 172. Порядок и сроки составления чертежей. Технические требования, предъявляемые к исполнительным чертежам

По окончании строительства тоннелей и всего комплекса других притоннельных сооружений составляют исполнительные чертежи в двух экземплярах на чертежной бумаге формата 31 ×

× 43 см (рис. 250) в объеме и масштабах, предусмотренных технической инструкцией (ВСН160—69, Минтрансстрой).

Ответственность за правильное и своевременное составление всех исполнительных чертежей по данному строительству возлагается на начальника строительства и главного маркшейдера. Они подписывают оба экземпляра чертежей и отвечают за соответствие указанного в чертежах с натурой.

Исполнительные чертежи начинают составлять по мере готовности отдельных законченных элементов строящегося комплекса сооружений. В процессе же строительных работ выполняют съемку выработок и конструкции, а также систематизацию съемочного материала. Исполнительные чертежи располагают на форматках (или группе форматок) так, чтобы трасса была примерно параллельна обрезам бумаги и располагалась по возрастанию пикетажа, принятого для данного комплекса сооружений.

При составлении планов, имеющих большую протяженность по трассе, направление координатной сетки рассчитывают так, чтобы чертеж расположился на середине листа. Для того чтобы криволинейные участки трассы не выходили за пределы листа, делают разрывы и повороты сетки на рассчитанные углы.

Чертежи небольшого размера размещают по нескольку штук на одну форматку. Брошюровку и склейку форматок в альбомах производят по их длинной стороне. При составлении чертежей в карандаше материал конструкции в условных знаках не изображается, а подписывается. Все размеры указывают в сантиметрах.

Планы подземных сооружений круглого сечения составляют на уровне горизонтального диаметра, овального — на уровне наибольшего горизонтального сечения и прямоугольного — на уровне 1,7 м выше головки рельсов. Для сооружений, имеющих несколько этажей, составляют поэтажные планы.

На планах и продольных разрезах показывают (стрелками, с указанием взгляда) места поперечных сечений и подписывают номер сечения и пикетаж. На сечениях подписывают отметки верха перекрытия (кольца), головки рельсов и низа лотка. Продольные профили тоннелей составляют по оси сооружения, для станции в профиле указывают также отметки дна дренажных канав, расположенных под консолями платформы.

Все элементы конструкции, пересекаемые плоскостью чертежа, показывают условными знаками соответствующего строительного материала. Видимые элементы конструкции и архитектурной облицовки на чертеже изображают сплошными линиями. Раскраску облицовки производят по условным знакам. Размеры на всех чертежах дают дважды: проектные — красной тушью *, фактические — черной.

10

2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5

Строительство №

Экз №

Чертеж №

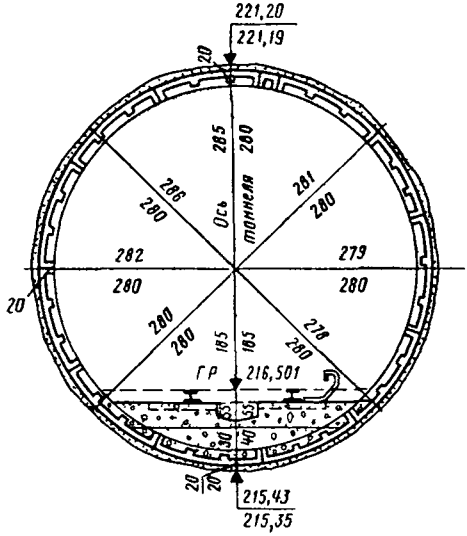
10

ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ ТОННЕЛЯ

ЛЕВЫЙ ПУТЬ

ПК-290+56,73

М-1:50



2 6 2 20

Начальник строительства / Кочергин /

Главный маркшейдер / Чеклин /

10

Рис. 250. Поперечное сечение тоннеля

§ 173. Наименования исполнительных чертежей и их масштабы

Чертежи по трассе. Исполнительные план и профиль (совмещенный) составляют в масштабах: горизонтальный — 1:5000, вертикальный — 1 : 500. Профиль трассы с геологическим разрезом составляют только по оси правого тоннеля. План поверхности трассы в масштабе 1 : 500 составляют на основе городского плана или других имеющихся в проекте планов. На плане показывают вновь построенные постоянные наземные сооружения, а также все подземные сооружения и забутованные выработки.

Чертежи по перегонным тоннелям. План перегонных тоннелей составляют в масштабе 1 : 200 с показом на нем всех подземных сооружений и выработок, в том числе и забутованных. Продольные профили перегонных тоннелей составляют в масштабах: горизонтальный — 1 : 200 и вертикальный — 1 : 100. На профиле показывают проекции всех сооружений, расположенных с правой и левой сторон его, по следующему принципу: при ходе пикетажа на плане слева направо проекции контуров сооружений, расположенных с левой стороны от оси тоннеля (считая по ходу пикетажа), вычерчивают сплошными линиями, с правой — пунктиром, а при ходе пикетажа справа налево — наоборот. Наименования сооружений и пикетаж их осей подписывают. Кроме того, показывают конические кольца в условных знаках. В нижней части чертежа приводят легенду профиля.

Поперечные сечения перегонного тоннеля составляют в масштабе 1 : 50 только в характерных местах. На все же остальные сечения (на прямых через 20 м, а на кривых через 10 м) составляют таблицы с указанием всех исполнительных размеров, характеризующих сооружение и одно типовое поперечное сечение.

Планы и продольные разрезы служебных и подсобных сооружений перегона (санузлы, дренажные перекачки и др.) составляют в масштабе 1 : 100. Поперечные сечения служебных сооружений перегона составляют в масштабе 1 : 50. Для планов присоединения скважин к городским коммуникациям принят масштаб 1 : 500, а для продольных профилей установлены масштабы: горизонтальный — 1 : 500, вертикальный — 1 : 100.

Чертежи по станции. План тоннелей станции (рис. 251) составляют в масштабе 1 : 200. На плане показывают сопряжение станции с перегонными тоннелями, служебными и станционными сооружениями (понизительные подстанции, санузлы и др.) и околоствольные выработки. Продольные профили (рис. 252) по осям путевых тоннелей станции составляют в масштабах: горизонтальный 1 : 200, вертикальный 1 : 100. На них показывают поверхность земли и конструкцию тоннелей. В нижней части чертежа дают легенду профиля. Продольные профили накладывают от линии условного горизонта, которому придают два значения отметок с таким расчетом, чтобы низ сооружения рас-

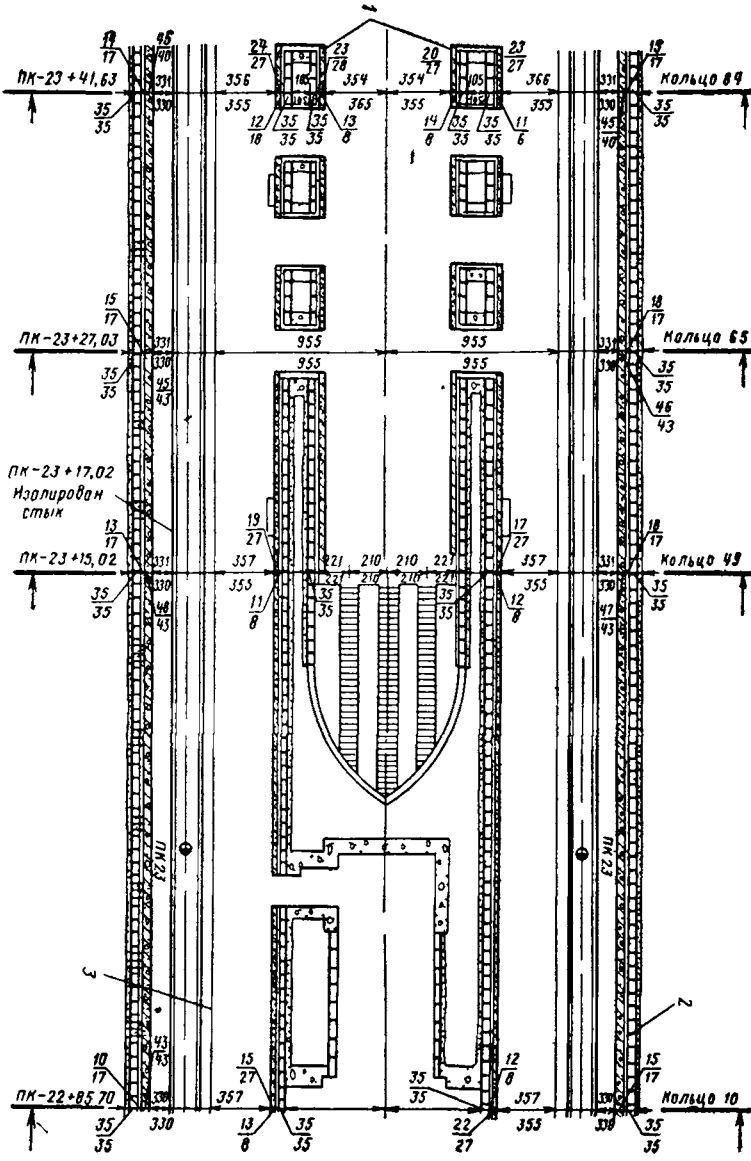


Рис. 251. План тоннеля станции:

1 — мраморная облицовка; *2* — облицовка плиткой; *3* — третий рельс

полагался от этой линии примерно в 5—10 см, а поверхность земли — в 20—25 см. При больших уклонах допускаются разрывы профиля как для сооружения, так и для поверхности земли. На продольных профилях показывают проекции контуров сооружений (выходы вентиляционных тоннелей, камер, пилонов, колонн и пр.) и архитектурной облицовки, расположенных с правой сто-

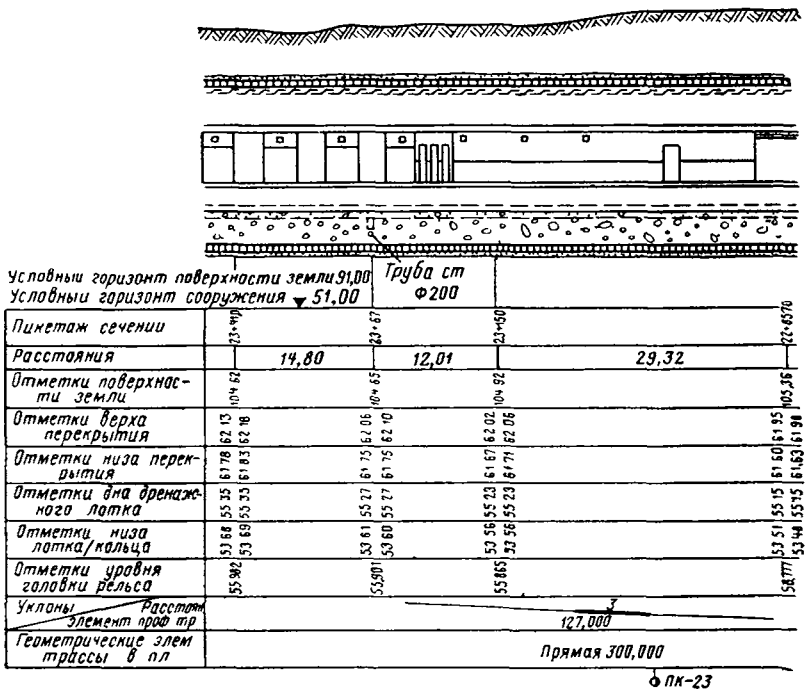


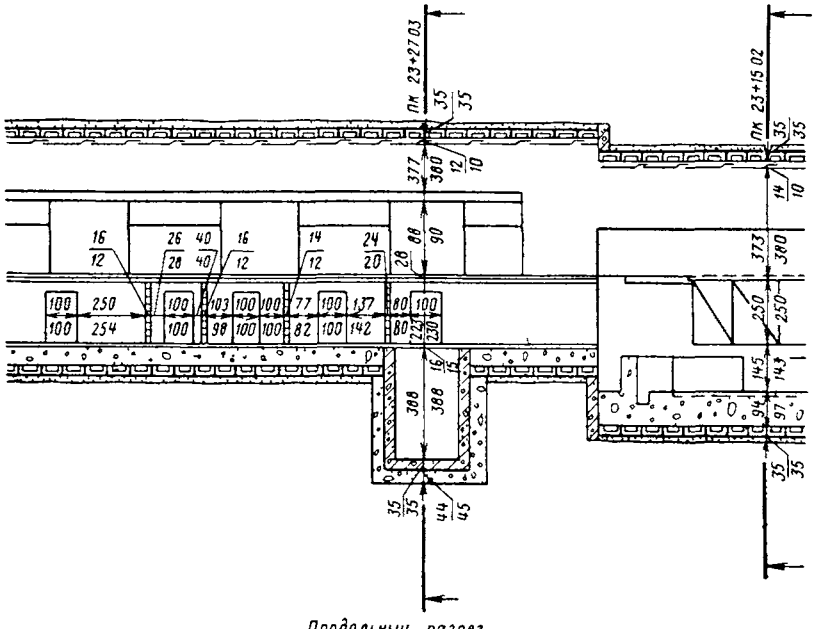
Рис. 252 Продольный профиль станции по левому пути

роны от оси тоннеля (при ходе пикетажа на профиле справа налево). Поперечные сечения станции составляют в масштабе 1 : 50 с показанием осей тоннелей, уровня головки рельсов, материала стен, лотка, свода и платформ, облицовки, жесткого основания, шпал, рельсов, 3-го контактного рельса, дренажных лотков и труб, цементации за обделку тоннеля, креплений, оставленных в бетоне, и пр. Здесь же показывают в цифрах толщину стен, свода, лотка, железобетонной рубашки, а также расстояния от оси тоннеля до оси пути, до стен платформы, колонн и др.

Продольный разрез по оси среднего тоннеля (рис 253), а также планы, продольные разрезы и поперечные сечения (рис. 254) служебных и подсобных сооружений станции и наклонных ходов (рис. 255) составляют с выполнением тех же требований, что и при составлении чертежей самой станции

Вестибюли. Поэтажные планы, продольные и поперечные разрезы вестибюля составляют в масштабе 1 : 100 с отображением основной конструкции вестибюля; его архитектурного оформления и облицовки. Составляют один продольный и один-два поперечных разреза. Главный фасад вестибюля составляют в масштабе 1 : 100 с изображением архитектурного оформления и облицовки.

Железнодорожные, гидротехнические и другие тоннели. При строительстве железнодорожных,



Продольный разрез по оси среднего тоннеля

Рис. 253. Продольный разрез по оси среднего тоннеля

гидротехнических, автодорожных и другого назначения тоннелей составляют следующие исполнительные чертежи в двух экземплярах:

1) план участка строительства (масштаб 1 : 10 000—1 : 100 000);

2) план поверхности надтоннельной зоны (масштаб 1 : 500—1 : 5000);

3) профиль трассы с геологическим разрезом (горизонтальный масштаб 1 : 500—1 : 5000, вертикальный 1 : 200);

4) продольный профиль тоннеля (горизонтальный масштаб 1 : 200, вертикальный 1 : 100);

5) продольный профиль дренажа тоннеля (горизонтальный масштаб 1 : 200, вертикальный 1 : 50);

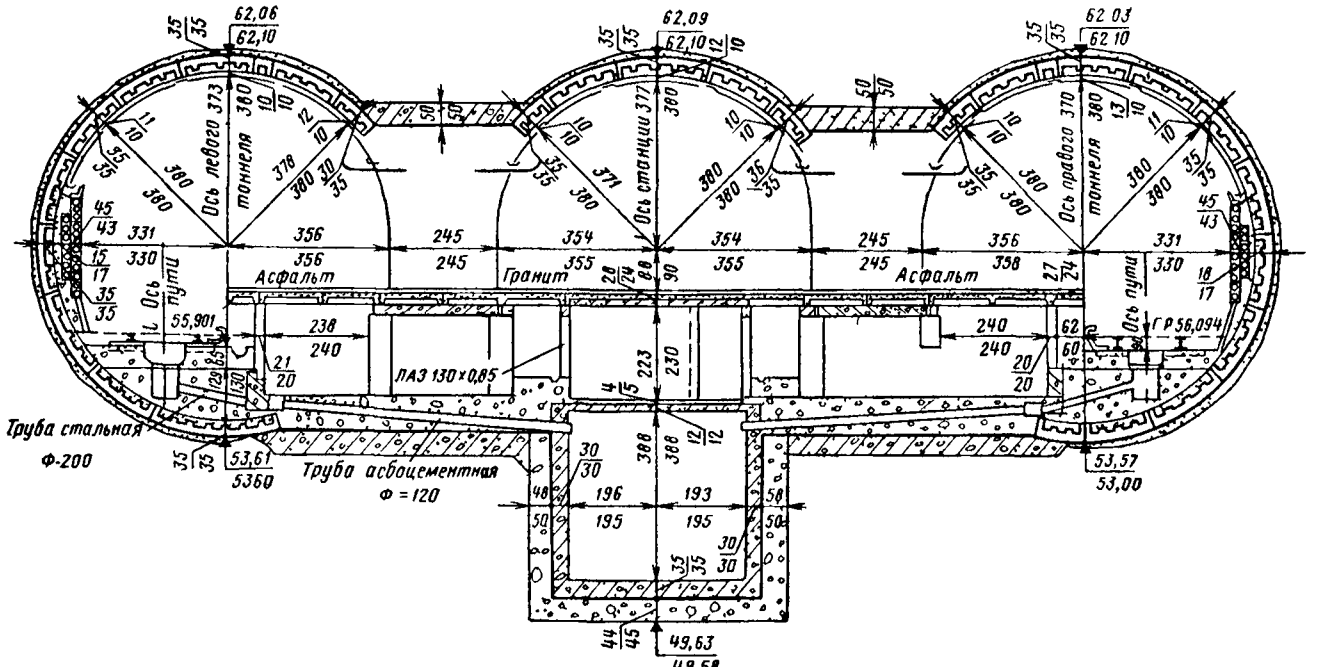


Рис. 254. Поперечное сечение станции

6) поперечные сечения тоннеля (масштаб 1 : 50);

7) для портала и предпортальной выемки: план (масштаб 1 : 200), продольный профиль (горизонтальный масштаб 1 : 200, вертикальный 1 : 100), поперечные сечения (масштаб 1 : 100);

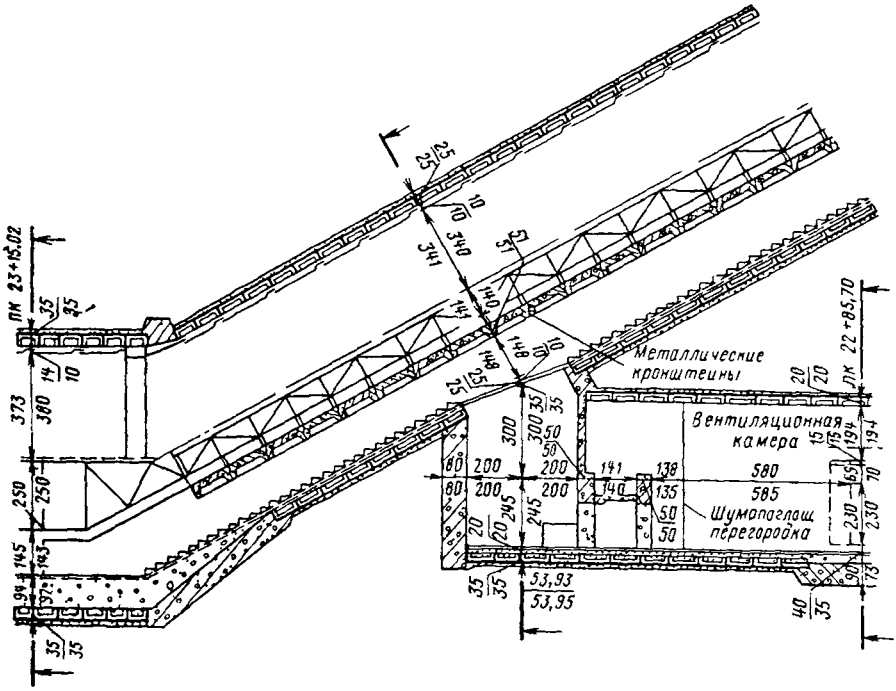


Рис 255. Продольный разрез наклонного хода

8) фасад и продольный разрез портала (масштаб 1 : 100);

9) планы и продольные разрезы вентиляционных сооружений (масштаб 1 : 100), поперечные сечения (масштаб 1 : 50);

10) схемы и каталоги геодезической основы.

§ 174. Составление чертежей, схем и каталогов геодезической основы

Схемы расположения пунктов геодезической основы (наземной и подземной полигонометрии и нивелирования) составляют в мас-

штабах 1 : 2000—1 : 5000 с показом городских кварталов и контуров сооруженных тоннелей.

Составляются также следующие документы:

1) каталоги пунктов наземной и подземной полигонометрии;
2) каталог отметок реперов на поверхности;
3) описание пунктов подземной полигонометрии;
4) привязки пунктов наземной полигонометрии;
5) каталог координат стволов шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. Г., Алексеев А. О., Соколов Е. Н.* Геодезия и маркшейдерия при строительстве тоннелей и метрополитенов. М., «Недра», 1965. 299 с.

2. *Ашпиз С. И.* Опыт применения навигационного прибора ЦНИИСа для определения положения проходческих щитов на трассе. — Экспресс-информация «Оргтрансстрой», 1973. 25 с.

3. *Воронков Н. Н., Ашимов Н. М.* Гироскопическое ориентирование. М., «Недра», 1973. 233 с.

4. *Геодезия.* М., «Недра», 1974. 412 с. Авт.: В. В. Данилов, Л. С. Хренов, П. П. Кожевников, Н. С. Кононов.

5. *Грин В. С.* Техническая информация. — «Транспортное строительство», 1969, № 3, 60 с.

6. *Дробышев Ф. В.* Основы аэрофотосъемки и фотограмметрии. М., «Недра», 1973. 286 с.

7. *Захаров А. И., Зуйков И. И.* Теодолиты средней точности и оптические дальномеры. М., «Недра», 1965. 232 с.

8. *Инструкция* по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей ВСН 160-69. М., Минтрансстрой, 1970. 462 с.

9. *Лазерная* система автоматического контроля положения проходческих щитов. — «Транспортное строительство», 1970, № 1. 62 с. Авт.: С. Н. Власов, М. С. Левин, В. Т. Загороднюк, Н. А. Глебов.

10. *Лебедев Н. Н.* Инженерная геодезия. М., Геодезиздат, 1959. 234 с.

11. *Левчук Г. П.* Курс инженерной геодезии. М., «Недра», 1970. 411 с.

12. *Павлов Ф. Ф., Мепуришвили Г. Е.* Геодезия. М., «Недра», 1965. 237 с.

13. *Применение* системы автоматического контроля положения проходческих щитов при строительстве метрополитена. — «Техническая информация», 1970. 25 с. Авт.: С. Н. Власов, М. С. Левин, В. Т. Загороднюк, Н. А. Глебов.

14. *Справочник* инженера-дорожника. М., «Транспорт», 1965. 735 с.: Авт.: И. С. Акальрод, Б. М. Афанасьев, М. Б. Вейнблат и др.

15. *Справочник* строителя транспортных тоннелей. М., «Транспорт», 1965. 765 с. Авт.: В. Г. Афанасьев, А. О. Белый, Ю. И. Воков и др.

16. *Справочное* руководство по инженерно-геодезическим изысканиям при проектировании и строительстве гидроэлектростанций. М., Геодезиздат, 1960. 447 с. Авт.: Е. Ф. Беликов, В. Н. Воронин, Г. Ф. Глотов и др.

17. *Тоннели* и метрополитены. М., «Транспот», 1975. 542 с. Авт.: В. П. Волков, С. Н. Наумов, А. Н. Пирожкова, В. Т. Храпов.

18. *Топография* и аэрофототопография. М., Геодезиздат, 1959. 471 с. Авт.: П. И. Измайлов, В. В. Кислов, В. Ф. Павлов и др.

19. *Федоров Б. Д.* Маркшейдерско-геодезические приборы и инструменты. М., «Недра», 1971. 288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

ЧАСТЬ I.

ГЕОДЕЗИЯ

Глава I. Общие сведения по геодезии 4

§ 1. Предмет геодезия 4
§ 2. Вид и размеры Земли 5
§ 3. Методы изображения земной поверхности 6
§ 4. Понятие о плане, карте и профиле 7
§ 5. Понятие о координатах 7
§ 6. Масштабы съемок и чертежей 11
§ 7. Условные знаки планов и карт 13
§ 8. Рельеф земной поверхности и его формы 14
§ 9. Изображение рельефа на планах и картах 15
§ 10. Задачи, решаемые по плану с горизонталями 16
§ 11. Ориентирование линий, истинный и магнитный азимуты, дирекционный угол, румбы 17
§ 12. Связь между горизонтальными и дирекционными углами 19
§ 13. Вычисление прямоугольных координат 20
§ 14. Прямая и обратная геодезические задачи 21
§ 15. Краткие сведения из теории погрешностей результатов измерений 23

Глава II. Теодолитная съемка 26

§ 16. Теодолиты, их устройство и поверки 26
§ 17. Способы измерения горизонтальных углов 35
§ 18. Теодолитная съемка 38
§ 19. Обозначение точек на местности. Вешение линий 39
§ 20. Приборы для измерения длин линий на местности 40
§ 21. Способы измерения линий мерными приборами 42
§ 22. Приведение длин наклонных линий к горизонту 44
§ 23. Дальномеры 44
§ 24. Способы съемки ситуации 45
§ 25. Обработка результатов съемки 48
§ 26. Вычисление дирекционных углов сторон замкнутого теодолитного хода 50
§ 27. Линейные невязки в приращениях координат замкнутого теодолитного хода 51
§ 28. Построение координатной сетки 52
§ 29. Накладка точек и контуров на план 54

Глава III. Геометрическое нивелирование 56

§ 30. Общие сведения о нивелировании 56
§ 31. Геометрическое нивелирование 57
§ 32. Поправки за кривизну Земли и рефракцию 58
§ 33. Нивелиры и нивелирные рейки 59
§ 34. Инженерно-техническое нивелирование 64
§ 35. Продольное и поперечное нивелирование по трассе линейного сооружения 65
§ 36. Разбивка пикетажа и главных точек кривых 65
§ 37. Нивелирование магистрали 68
§ 38. Работа на нивелирной станции 69
§ 39. Нивелирные журналы 71
§ 40. Обработка журнала нивелирования 71
§ 41. Составление продольного и поперечного профилей . . . 71
§ 42. Построение на профиле проектной линии. Уклоны. Рабочие отметки 73
§ 43. Нивелирование площадей 74

Глава IV. Различные виды съемок 76

§ 44. Общие сведения 76
§ 45. Тахеометры 77
§ 46. Нитяный оптический дальномер 79
§ 47. Определение горизонтальных проложений расстояний, измеренных дальномером 81
§ 48. Опорные точки при тахеометрической съемке 82
§ 49. Тахеометрическая съемка 83
§ 50. Камеральные работы 85
§ 51. Мензульная съемка 87
§ 52. Мензула 87
§ 53. Кипрегель 90
§ 54. Мензульная топографическая съемка 91
§ 55. Сводка планшетов и их вычерчивание 94
§ 56. Понятие о фотограмметрических методах съемки 95
§ 57. Характеристика аэроснимков 97
§ 58. Элементы внутреннего и внешнего ориентирования аэроснимков 98
§ 59. Аэрофотоаппараты и аэронавигационные приборы . . . 99
§ 60. Изготовление фотоплана 102

Глава V. Основные геодезические работы 103

§ 61. Государственная геодезическая сеть 103
§ 62. Тоинельная триангуляция, основная и подходная полигонометрия 106

Глава VI. Инженерно-геодезические работы при гидротехническом строительстве 115

§ 63. Разбивочные работы при строительстве гидротехнических сооружений и зданий 115

§ 64. Геодезические работы при возведении земляного полотна, плотин 118
§ 65. Плановая и высотная разбивка при возведении опалубки и укладке бетона 124

Глава VII. Инженерно-геодезические работы в мостостроении . . . 128

§ 66. Виды искусственных сооружений 128
§ 67. Разбивка осей при постройке водопропускных труб и малых мостов 130
§ 68. Разбивочные работы при строительстве больших мостов 133
§ 69. Передача отметок через большие водотоки 141
§ 70. Монтаж бетонных, железобетонных и стальных мостовых конструкций 143
§ 71. Наблюдения за осадками и смещениями мостовых опор 144

Глава VIII. Инженерно-геодезические работы при строительстве железных дорог 144

§ 72. Геодезические работы при изысканиях трасс железных дорог 144
§ 73. Восстановление трассы 147
§ 74. Элементы закруглений. Разбивка главных точек круговой кривой 149
§ 75. Детальная разбивка круговых кривых 151
§ 76. Вертикальные кривые 155
§ 77. Разбивка земляного полотна 157
§ 78. Сооружение железнодорожных путей для метрополитенов на поверхности 161
§ 79. Разбивка соединений и парков железнодорожных путей 163

Глава IX. Инженерно-геодезические работы при строительстве аэродромов 167

§ 80. Плановая и высотная разбивка сооружений 167
§ 81. Требования к выбору площадки для аэродромов 168
§ 82. Разбивочные работы при строительстве аэродромов . . . 170
§ 83. Разбивка и закрепление осей летного поля 171
§ 84. Разбивочные работы при планировке летного поля . . . 172

ЧАСТЬ II.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

Глава X. Вычисление геометрических элементов трассы тоннеля и данных для разбивки ее в натуре 175

§ 85. Общие сведения о тоннелях 175
§ 86. Общие сведения о проектировании и расчетах трассы тоннелей 182

§ 87. Основные проектные чертежи 183
§ 88. Геометрическая схема трассы. Контрольные вычисления на прямых, круговых 185
§ 89. Ось тоннеля на кривой. Переходные кривые. Неправильные пикеты 186
§ 90. Вычисление пикетажа и удалений полигонометрических знаков относительно проектной оси 192
§ 91. Способы разбивки проектной оси тоннеля от знаков полигонометрии 194

Глава XI. Геодезические работы при строительстве железнодорожных, автомобильных и гидротехнических тоннелей . . . 196
§ 92. Геодезические работы при изыскании и проектировании тоннелей 196
§ 93. Размеры и формы поперечных сечений тоннелей 198
§ 94. Геодезические работы, производимые при строительстве гидротехнических тоннелей 201
§ 95. Наблюдения за деформацией тоннелей 206

Глава XII. Разбивка надшахтных сооружений 207
§ 96. Составление плана и планировка шахтной площадки . . . 207
§ 97. Способы разбивки зданий 208
§ 98. Разбивка на поверхности земли центра ствола 209
§ 99. Разбивка осей ствола от знаков полигонометрии 210
§ 100. Разбивка оси подъема и шахтного комплекса 210

Глава XIII. Ориентирование подземной маркшейдерской основы . . . 212
§ 101. Общие сведения 212
§ 102. Проектирование точек. Схемы примыкания 213
§ 103. Оборудование для проектирования отвесов. Подготовка ориентирования 215
§ 104. Производство ориентирования. Вычисления, точность ориентирования 217
§ 105. Физические способы ориентирования 224
§ 106. Ориентирование через две шахты 241
§ 107. Передача абсолютных отметок в подземные выработки 242

Глава XIV. Подземная маркшейдерская основа 244
§ 108. Схема подземной полигонометрии 244
§ 109. Расположение и закрепление полигонометрических знаков 246
§ 110. Особенности геодезических работ в подземных условиях 247
§ 111. Внецентренный способ измерения углов 260
§ 112. Вычисление и уравнивание подземной полигонометрии после сбойки 264
§ 113. Уравнивание полигонометрии для путейских работ 267
§ 114. Разбивка продольной оси тоннеля в подземных выработках 270
§ 115. Высотная основа в подземных выработках 273

Глава XV. Маркшейдерские разбивки при проходке стволов околоствольных выработок и штолен 277
§ 116. Разбивка центра ствола форшахты и методы наблюдения за вертикальностью ствола при проходке 277
§ 117. Профилирование, определение рабочего сечения ствола и разбивки для армирования 281
§ 118. Рассечки и разбивки околоствольных выработок и сооружений 282
§ 119. Разбивки и съемки при проходке штолен 283

Глава XVI. Маркшейдерские разбивки при сооружении тоннелей горным способом с монолитной обделкой 285

§ 120. Общие сведения 285
§ 121. Передача оси и высотных отметок в боковые штольни. Расчеты для лекал 286
§ 122. Передача оси и высотных отметок в верхний горизонт через фурнели 287
§ 123. Разбивка оси и горизонтов для разработки калотт . . . 288
§ 124. Изготовление, установка и выверка кружал для сводов 291
§ 125. Разбивка для лекал при бетонировании стен и лотка . . . 292
§ 126. Вынесение и закрепление продольной оси для железобетонной рубашки 293
§ 127. Маркшейдерские разбивки при сооружении тоннелей с раскрытием на полный профиль 294
§ 128. Вычисление объемов грунта и бетона 296

Глава XVII. Маркшейдерские работы при сооружении тоннелей горным способом со сборной обделкой 297

§ 129. Геометрические характеристики элементов железобетонных и чугунных колец 297
§ 130. Клиновидные кольца и прокладки 299
§ 131. Замена продольной оси на кривой системой хорд и секущих 300
§ 132. Укладка первых (прорезных) колец 301
§ 133. Эллиптичность колец. Причины ее возникновения и способы устранения 302
§ 134. Съемка колец в плане и профиле 303

Глава XVIII. Ведение и определение тоннельного щита по трассе . . . 308

§ 135. Щит, его монтаж, маркшейдерское оборудование . . . 308
§ 136. Способы определения вращения щита вокруг продольной оси 311
§ 137. Способы определения положения щита в плане на прямых участках трассы и на переходных кривых 314
§ 138. Способы определения положения щита в плане на участках круговой кривой. Оптический клин 316

§ 139. Способы определения положения щита в профиле; продольный уклон щита 318
§ 140. Наблюдение за щитом во время его движения по трассе 320
§ 141. Механизированные щиты и агрегаты для проходки в крепких породах 321
§ 142. Новые способы определения положения механизированных тоннельных щитов 322

Глава XIX. Маркшейдерские разбивки при сооружении и отделке станций метрополитена 335
§ 143. Особенности укладки колец станционных тоннелей. Набегание и кручение колец. Методы борьбы с кручением 335
§ 144. Разбивка осей на станционных платформах. Облицовка путевых стен. Допуски при укладке бортового камня и при других работах 339

Глава XX. Маркшейдерские работы при сооружении наклонных тоннелей и монтаже эскалаторов 340
§ 145. Геометрическая схема эскалаторного тоннеля 340
§ 146. Маркшейдерский столик; установка колец эскалаторного тоннеля, веерной части и натяжной камеры; разбивочные работы для бетонирования фундаментов 342
§ 147. Установка продольных швеллеров, монтаж натяжных и приводных станций; выверка направляющих ферм эскалаторов 346
§ 148. Маркшейдерские работы при искусственном замораживании грунтов 348

Глава XXI. Геодезические работы при сооружении тоннелей открытым способом 357
§ 149. Общие положения 357
§ 150. Подготовительные геодезические работы 358
§ 151. Вынесение и закрепление трассы на местности 358
§ 152. Плановые и высотные разбивки для разработки и крепления котлована 359
§ 153. Снесение проектной оси и отметок на крепление котлована 361
§ 154. Перенесение оси, точек полигонометрии и высотных реперов в готовый тоннель 363
§ 155. Наблюдение за деформациями и сдвигами тоннелей . . . 364
§ 156. Сооружение тоннелей из цельносекционной обделки . . . 365

Глава XXII. Маркшейдерские разбивки при укладке железнодорожного пути в тоннелях 367
§ 157. Основные сведения о верхнем строении пути на жестком основании 367
§ 158. Габариты тоннелей 369
§ 159. Проектные укладочные схемы 371

§ 160. Способы закладки путейских реперов в тоннелях . . . 372
§ 161. Определение фактического пикетажа путейских реперов 374
§ 162. Определение удалений путейских реперов от оси пути на прямом участке трассы и на круговой кривой 374
§ 163. Определение удалений путейских реперов на переходной кривой 377
§ 164. Установка рельсов железнодорожного пути на проектные отметки 378
§ 165. Способы выверки и окончательной установки железнодорожного пути в плане и профиле 380
§ 166. Тоннельные путевые знаки. Исполнительные чертежи 381

Глава XXIII. Наблюдения за деформацией сооружений 382

§ 167. Организация наблюдений за деформацией поверхностных сооружений 382
§ 168. Зарисовка и фотографирование существующих дефектов на наземных сооружениях. Первичное нивелирование 384
§ 169. Оформление каталогов и схем. Периодичность нивелирования деформационных реперов 385
§ 170. Организация наблюдений за деформацией в тоннелях 386

Глава XXIV. Составление и оформление исполнительных чертежей . . . 389

§ 171. Съемка выработок и конструкций в процессе строительства 389
§ 172. Порядок и сроки составления чертежей. Технические требования, предъявляемые к исполнительным чертежам 390
§ 173. Наименования исполнительных чертежей и их масштабы 393
§ 174. Составление чертежей, схем и каталогов геодезической основы 398

Список литературы 400