

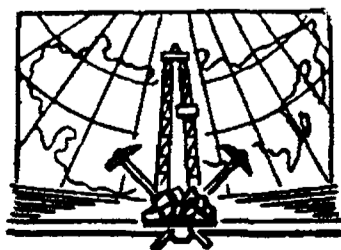
**ГЕОДЕЗИЯ
И МАРКШЕЙДЕРИЯ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ТОННЕЛЕЙ
И МЕТРОПОЛИТЕНОВ**

В. Г. АФАНАСЬЕВ • А. Д. АЛЕКСЕЕВ • Е. Н. СОКОЛОВ

В. Г. АФАНАСЬЕВ, А. О. АЛЕКСЕЕВ, Е. Н. СОКОЛОВ

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ

*Допущено в качестве учебника для техникумов
транспортного строительства*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва 1965

Замеченные опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
133	табл. 16, графы 1 и 4 слева	l	l'
170	Рис. 88	$\theta, \theta_1, \theta_2$	$\vartheta, \vartheta_1, \vartheta_2$
211	8 снизу	$m = (\delta + \Delta\delta + a) - \frac{D}{2};$	$m = (\delta \pm \Delta\delta + a) - \frac{D}{2};$
230	9 сверху	на прямых	на кривых
237	12 снизу	монтируют питательные трубы,	монтируют заморажива- ющие колонки и питатель- ные трубы,
237	10 снизу	циркулируя между обсад- ной и питательной трубами,	циркулируя между стен- ками замораживающей колонки и питательной трубой,
239	7 сверху	$x_N - x_M - \Delta x;$ $y_N - y_M - \Delta y,$	$x_N = x_M + \Delta x;$ $y_N = y_M + \Delta y,$
267	7, 8 сверху	лишь на 50 мм	на 50 мм
278	9 снизу	§ 4	§ 59

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный учебник восполняет пробел, имеющийся при изучении геодезии и маркшейдерии в техниках транспортного строительства для специальности «Строительство тоннелей и метрополитенов». Учебник написан по программе, утвержденной Управлением кадров и учебных заведений Государственного производственного комитета по транспортному строительству.

Главы учебника: 9, 11, 13, 14, 15, 18, 19 и 20 написаны В. Г. Афанасьевым, введение и главы 1—6, 8, 12 и 17—А. О. Алексеевым и главы 7, 10, 16 — Е. Н. Соколовым.

Такой учебник для среднего технического звена издается впервые, поэтому он не свободен от недостатков. Авторы с благодарностью примут все замечания, направленные на дальнейшее улучшение содержания учебника.

Авторы выражают благодарность доктору технических наук М. С. Черемисину, принявшему на себя труд по редактированию данного учебника, а также инженерам Д. А. Слободчикову и Е. И. Зельцеру за просмотр рукописи и полезные указания.

Часть I
ГЕОДЕЗИЯ

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Предмет геодезии

Геодезия — прикладная математическая наука, возникшая еще в глубокой древности. В переводе с греческого слово «геодезия» означает «землеразделение». Это свидетельствует, что геодезия зародилась при решении практических задач в процессе распределения земельных участков.

Геодезия развивалась в двух направлениях: как наука, изучающая форму и размеры Земли, и как практическое руководство для геодезических работ в различных отраслях общественного производства. Поэтому в современных условиях геодезию подразделяют на высшую геодезию и геодезию.

К области высшей геодезии относятся все вопросы, связанные с определением формы и размеров Земли, а также определение местоположения систем точек земной поверхности, называемых геодезическими пунктами. Совокупность таких пунктов, взаимное положение которых с большой точностью определено на территории всей страны или ее части, называют **государственной геодезической сетью**.

Государственные сети являются основой для всех последующих геодезических работ, а также служат для изучения формы и размеров Земли, ее поверхности, строения земной коры, векового движения суши и других научных целей.

Решение всех теоретических и практических вопросов методами высшей геодезии производится с учетом сферичности поверхности Земли.

К области геодезии относится определение местоположения точек съемочного обоснования на основе пунктов государственной сети, а также производство (на базе съемочного геодезического обоснования) съемок подробностей и в конечном итоге составление геодезических планов местности, т. е. уменьшенного изображения горизонтальных проекций контуров и постоянных предметов местности. Эти планы используются при составлении проектов инженерных сооружений и при переносе проектов в натуру.

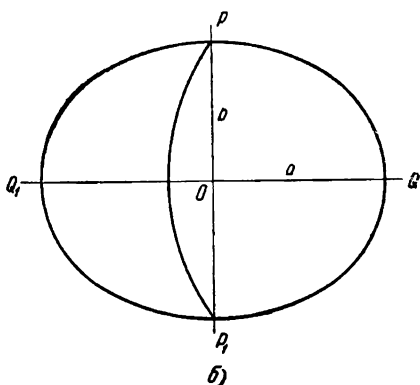
В геодезии все теоретические и практические вопросы рассматриваются для небольших частей поверхности Земли, которые принимают за плоскость.

§ 2. Понятие о форме Земли и ее размерах

Физическая поверхность Земли представляет собой сочетание возвышенностей и углублений, большая часть которых заполнена водой океанов и морей. Под общей фигурой Земли понимают форму поверхности воды в океанах в спокойном состоянии, мысленно продолженную под материками, составляющими около 29% поверхности Земли (рис. 1, а). Эту поверхность принимают за основную *уровенную поверхность* и называют *геоидом*. Вследствие того, что массы в земной коре распределены неравномерно, *уровенная поверхность* Земли имеет сложную форму.



а)



б)

Рис. 1. Форма Земли
а — геоид, б — сфероид

В первом приближении форму Земли считают шарообразной. Однако, как показали специальные исследования, она ближе подходит к поверхности эллипсоида, образованного вращением эллипса вокруг его малой оси. Эту фигуру называют также *сфероидом* (рис. 1, б). Размеры Земли неоднократно уточнялись. В 1946 г. по постановлению Совета Министров в СССР введены размеры эллипсоида Земли, вычисленные в Центральном

научно-исследовательском институте геодезии, аэро съемки и картографии (ЦНИИГАиК)

$$a = 6\,378\,245 \text{ м,}$$

$$b = 6\,356\,863 \text{ м,}$$

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

Сечения сфероида плоскостями, проходящими через ось вращения, образуют на его поверхности *меридианы*; сечения же плоскостями, перпендикулярными к оси вращения, дают на поверхности сфероида линии, называемые *параллелями*.

Высоту любой точки земной поверхности, недр или сооружений относительно уровенной поверхности геоида называют а б с о л ю т н о й о т м е т к о й этой точки и обозначают буквой H . Определение разностей высот таких точек называется нивелированием их.

§ 3. Единицы мер в геодезии. Прямоугольные координаты. Изображение сферической поверхности

В геодезии для угловых измерений применяют г р а д у с н у ю систему ($1^\circ = 60'$ и $1' = 60''$), а для линейных — м е т р и ч е с к у ю систему мер. В ряде зарубежных стран, а частично и в Советском Союзе наряду с градусной системой применяется д е с я т и ч н а я (д е ц и м а л ь н а я) система угловых измерений, в которой прямой угол делится на 100 частей, называемых градами (100^g). Град делится на 100 градовых минут ($1^g = 100^c$), в градовой минуте содержится 100 градовых секунд ($1^c = 100^{cc}$). Некоторые угломерные инструменты изготавливаются с такими делениями кругов. Изданы также таблицы натуральных величин тригонометрических функций в десятичной системе.

На геодезических планах расстояние между двумя точками земной поверхности выражают горизонтальной проекцией этой линии. Фактические длины измеренных линий для нанесения на план предварительно перевычисляют, т. е. определяют их проекцию на горизонтальную плоскость, 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.

В геодезии обозначения осей прямоугольных координат отличаются от обозначений, принятых в математике, тем, что о с ь а б с ц и с с (XX) направлена по меридиану, а о с ь о р д и н а т (YY) — по параллели.

Геодезические планы составляют в е д и н о й системе прямоугольных координат. Поэтому на каждый план наносят координатную сетку и подписывают значения координат для данного плана.

Известно, что сферическую поверхность нельзя развернуть на плоскости без разрывов или складок. Разработкой способов изображения земной сферической поверхности на плоскости занимается специальная дисциплина — м а т е м а т и ч е с к а я к а р т о г р а ф и я.

При составлении географических карт всей поверхности Земли или ее части картографы по особым математическим правилам уменьшают или увеличивают масштаб в отдельных частях карты и таким путем получают без разрывов и накладок плоское изображение сферической поверхности Земли.

При составлении топографических карт или планшетов кривизну поверхности учитывают при нанесении рамок планшетов и пунктов съёмочного обоснования. Масштаб изображения контуров ситуации выдерживается без изменений на всей площади планшета.

В геодезии сферичность поверхности при съемках участков, имеющих длину не более 20—25 км, не учитывают. В этих случаях поправка за кривизну составляет в натуре величину около 15 см. В масштабе плана эта величина настолько незначительна, что не может быть выражена графически.

§ 4. Практическое значение геодезии. Виды съемок

Геодезия тесно связана с рядом отраслей науки и прежде всего с математикой, астрономией и географией.

Методы обработки результатов измерений и решения геодезических задач основаны на выводах тригонометрии и высшей математики.

Астрономо-географические данные служат для определения положений геодезических точек на поверхности Земли и для ориентирования геодезических линий относительно стран света.

Геодезия имеет большое практическое применение в различных отраслях народного хозяйства, а также в деле обороны страны. Большое значение имеют геодезические работы в промышленном, гидротехническом и транспортном строительстве, на горных предприятиях, при геологоразведочных работах, в сельском хозяйстве, в штурманских расчетах и в других областях. Особое значение имеет геодезия при инженерно-строительных работах. Решение о строительстве какого-либо сооружения может быть принято лишь при наличии детальных геодезических планов соответствующей местности. Для проектирования этого сооружения необходимо провести изыскания, существенную часть которых составляют геодезические съемки. Постройку сооружения сопровождают геодезические работы по переносу проекта в натуру. Эксплуатация готового сооружения включает геодезические работы по наблюдениям за нормальной работой конструкций, осадками и деформациями их.

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

Как уже указывалось, конечным результатом геодезических измерений является составление геодезических карт и планов местности. В зависимости от способов геодезических измерений, применяемых инструментов и назначения планов выполняют следующие виды съемок:

- 1) теодолитные,
- 2) тахеометрические,
- 3) мензурные,
- 4) аэрофотосъемки и фототеодолитные.

Сущность каждого вида съемок будет изложена в последующих главах, но общим для всех видов съемок является последовательность в организации работ, которая следует основному геодезическому принципу «от общего к частному»: съемки начинают с ос-

новных геодезических работ, в процессе которых создают на всей площади съемочную геодезическую сеть, исходные данные для которой получают из каталогов государственной сети.

На базе съемочной сети выполняют работы по собственно съемке контуров и деталей местности. В результате съемки составляют и оформляют геодезический план местности.

Большой размах строительных работ в СССР вызвал необходимость выделить из общего предмета геодезии отдельный раздел — инженерную геодезию, предметом которой являются геодезические работы при изыскании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений (дорог, тоннелей, плотин, заводов и пр.).

В состав вопросов, освещаемых в курсах инженерной геодезии, входит изучение и разработка наиболее целесообразных способов производства геодезических съемок и разбивок в различных отраслях народного хозяйства.

Перечисленные выше виды съемок выполняются геодезическими организациями различных ведомств. Этим организациям для производства съемок, как было сказано выше, требуется сеть опорных съемочных пунктов, которую они создают методами триангуляции, полигонометрии и нивелирования, опираясь при этом на пункты государственной сети. На основе созданной сети эти организации производят съемку деталей и контуров и в результате измерений составляют планы участков местности нужных им масштабов.

Надзор за качеством выполняемых организациями геодезических работ осуществляется Госгеонадзором, представители которого имеются в административных центрах областей страны. Органы Геонадзора увязывают планы геодезических работ всех организаций, устраняя параллелизм и не допуская повторных съемок по участкам, где имеются материалы съемок предыдущих лет.

§ 5. Государственная геодезическая сеть

Как указывалось в § 1, 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 методами триангуляции и полигонометрии;
- 2) вертикальная (высотная) геодезическая основа, которая создается методами точного нивелирования.

Триангуляция является основным методом определения положения пунктов плановой основы. Метод триангуляции заключается в построении и закреплении на местности системы смежно расположенных треугольников со сторонами длиной 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.

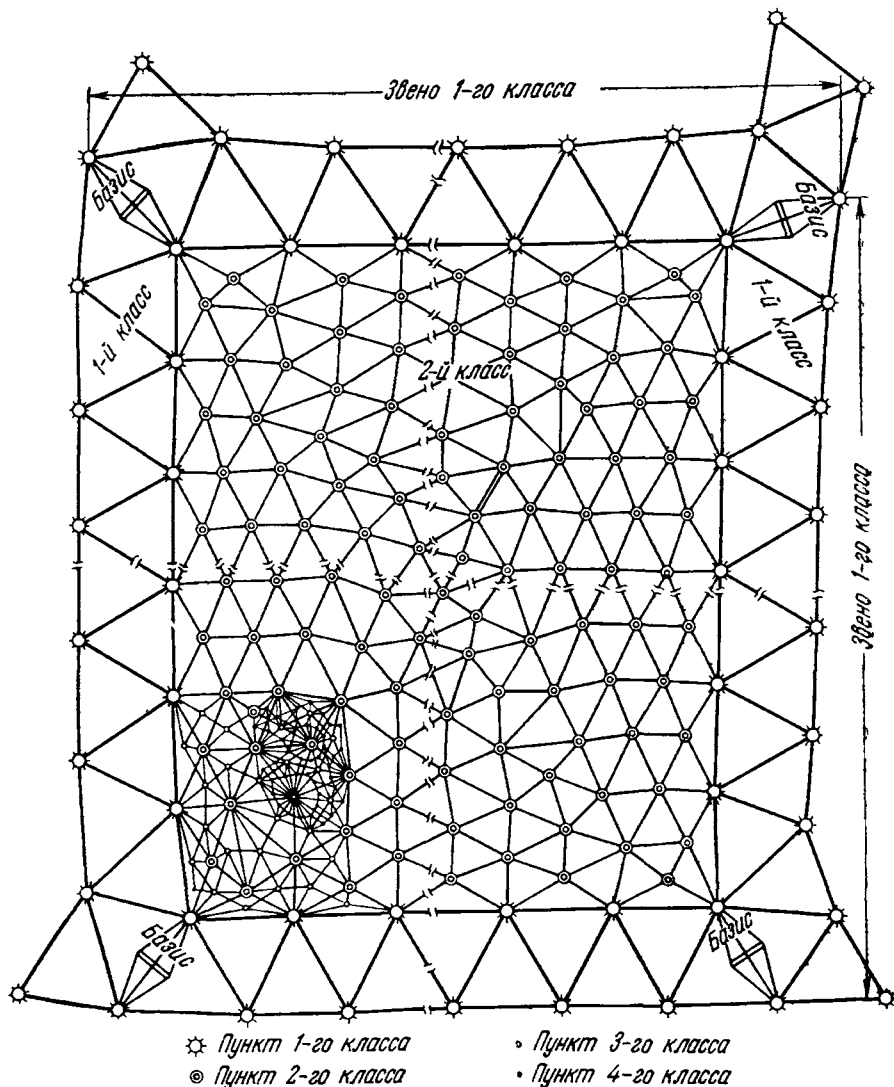


Рис. 2. Схема государственной геодезической основы

Государственная триангуляция 1 класса состоит из рядов треугольников со сторонами 20—25 км. Ряды располагают преимущественно по меридианам и по параллелям. Общий периметр четырехугольников, образованных этими рядами, не превышает 800 км. Триангуляцию 1 класса используют в научных целях, для определе-

ния фигуры и размеров 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. 2).

В населенных пунктах и лесных массивах триангуляцию 4 класса заменяют геодезическими ходами между пунктами триангуляции. Эти ходы называют полигонометрическими. Они 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) 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 опирается 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.

§ 6. Маркшейдерия при тоннелестроении — раздел инженерной геодезии

Маркшейдерия* один из разделов инженерной геодезии, применяемый на горных предприятиях и при строительстве тоннелей. Маркшейдерия занимается ведением пространственно-геометрических измерений (съемок) в недрах Земли и на соответствующих участках ее поверхности. Результаты маркшейдерских съемок отображаются на планах и разрезах, называемых маркшейдерскими графиками.

На горных предприятиях маркшейдеры выполняют следующие основные работы:

1. Прокладку ходов наземного и подземного геодезического обоснования.

2. Съемку и изображение (карты, планы, разрезы, графики) всех данных, характеризующих инженерное сооружение (тоннели) или месторождение полезного ископаемого, а также все проведенные в них горные и разведочные работы.

3. Разбивку направлений горных выработок и сооружений, контроль за ведением их в соответствии с проектом.

4. Подсчет проектных объемов и запасов полезного ископаемого. Текущий учет объемов выполненных работ.

* Слово маркшейдерия буквально означает: mark — граница и sheiden — распознавать.

5. Участие в составлении проектов горных и шахтостроительных работ, перенос проектов в натуру и контроль за их осуществлением.

6. Контроль в общей системе горного надзора за правильным использованием недр. Решение горно-геометрических задач.

7. Наблюдение за деформацией сооружений, сдвижением горных пород, а также за осуществлением мер по охране сооружений на дневной поверхности.

§ 7. Требования, предъявляемые к точности геодезических и маркшейдерских работ при строительстве тоннелей

Тоннели (железнодорожные, метро и др.) сооружаются встречными забоями на отдельных изолированных участках, которые к окончанию всех работ должны соединиться в одно целое инженерное сооружение. Это обстоятельство требует наличия высокоточной геодезической основы по трассе, а также точной разбивки оси сооружения на каждом участке и в целом по трассе.

Как это видно из рис. 3, между конструкцией тоннеля и подвижным составом предусмотрены весьма малые зазоры. Поэтому даже незначительные отклонения сооружаемого тоннеля от проектных осей вызовут большие затраты на переделку.

Приведенные обстоятельства вызывают необходимость повышенной точности как в определении пунктов в геодезической основы, так и в разбивках проектной оси сооружения, а также в съемках от нее уже сооруженных частей тоннелей.

Действующая техническая инструкция Главтоннельметростроя предъ-

Рис. 3. Сечение тоннеля и контур в нем подвижного состава

являет высокие требования к точности при измерении углов и линий, а также при создании высотной опорной сети. Так, значения углов определяются с точностью, характеризуемой средней квадратической ошибкой от $\pm 4''$ до $\pm 1''$, допуск центрирования угломерных инструментов определен в $\pm 0,5$ мм. Установлены обязательные нормы количества приемов при измерении углов (от 2 до 8 приемов). Визирование должно производиться на марки или нити отвесов.

При измерении линий отсчитывание производят с точностью от 1 мм (по рулетке) до 0,1 мм (по проволоке). Линии измеряют «на весу» с натяжением и при этом дважды, в прямом и обратном направлениях.

При создании высотной основы применяют нивелиры с увеличением 30^{\times} , с ценой деления уровня не более $12''$ на 2 мм , а также нивелиры с плоско-параллельными пластинками.

Все измерения периодически повторяют, а в средние результаты измерений систематически вносят поправки.

Контрольные вопросы:

1. Что называют уровенной поверхностью Земли?
 2. Чем сфероид отличается от геоида?
 3. Два вида геодезической основы; их назначение?
 4. Чем вызывается необходимость повышенной точности геодезических работ при строительстве тоннелей?
-

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГЕОДЕЗИИ

§ 8. Понятие о карте, плане и профиле

К а р т о й называют такое уменьшенное изображение всей поверхности Земли или ее части на плоскости (на бумаге), при котором принята во внимание кривизна этой поверхности. На картах во всех их частях не может быть выдержан одинаковый масштаб, так как при составлении карт прибегают к искусственным приемам для изображения сферической поверхности на плоскости.

Геодезическим планом называют уменьшенное изображение участков земной поверхности, при котором поверхность принимают за плоскость.

Изображение вертикального разреза местности по заданному направлению называют **п р о ф и л е м**. Для наглядности профили составляют в двух масштабах: для горизонтальных и для вертикальных размеров.

Местность характеризуется элементами ситуации и рельефа. **С и т у а ц и е й** называют совокупность постоянных предметов и контуров местности. **Р е л ь е ф о м** называют совокупность неровностей земной поверхности естественного происхождения. Рельеф изображается на планах **г о р и з о н т а л я м и** — кривыми линиями, соединяющими точки земной поверхности с равными абсолютными отметками, т. е. находящимися на одинаковой высоте над уровнем поверхности. Форма и густота горизонталей на плане дают возможность судить о характере рельефа местности.

§ 9. Масштабы

Степень уменьшения изображения предмета по сравнению с его действительными размерами называют **ч и с л е н н ы м м а с ш т а б о м** и обозначают буквой *M*.

Помимо численного масштаба, обычно строят л и н е й н ы й м а с ш т а б, при помощи которого измеряют на плане расстояния, а также откладывают на нем необходимые размеры.

Для построения линейного масштаба проводят прямую линию параллельно нижней рамке. На ней несколько раз откладывают основание масштаба, которое обычно берут равным 2 см. 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 отрезков основания. Например, при масштабе 1 : 100 величина основания в натуре равна 2 м. В этом случае значения

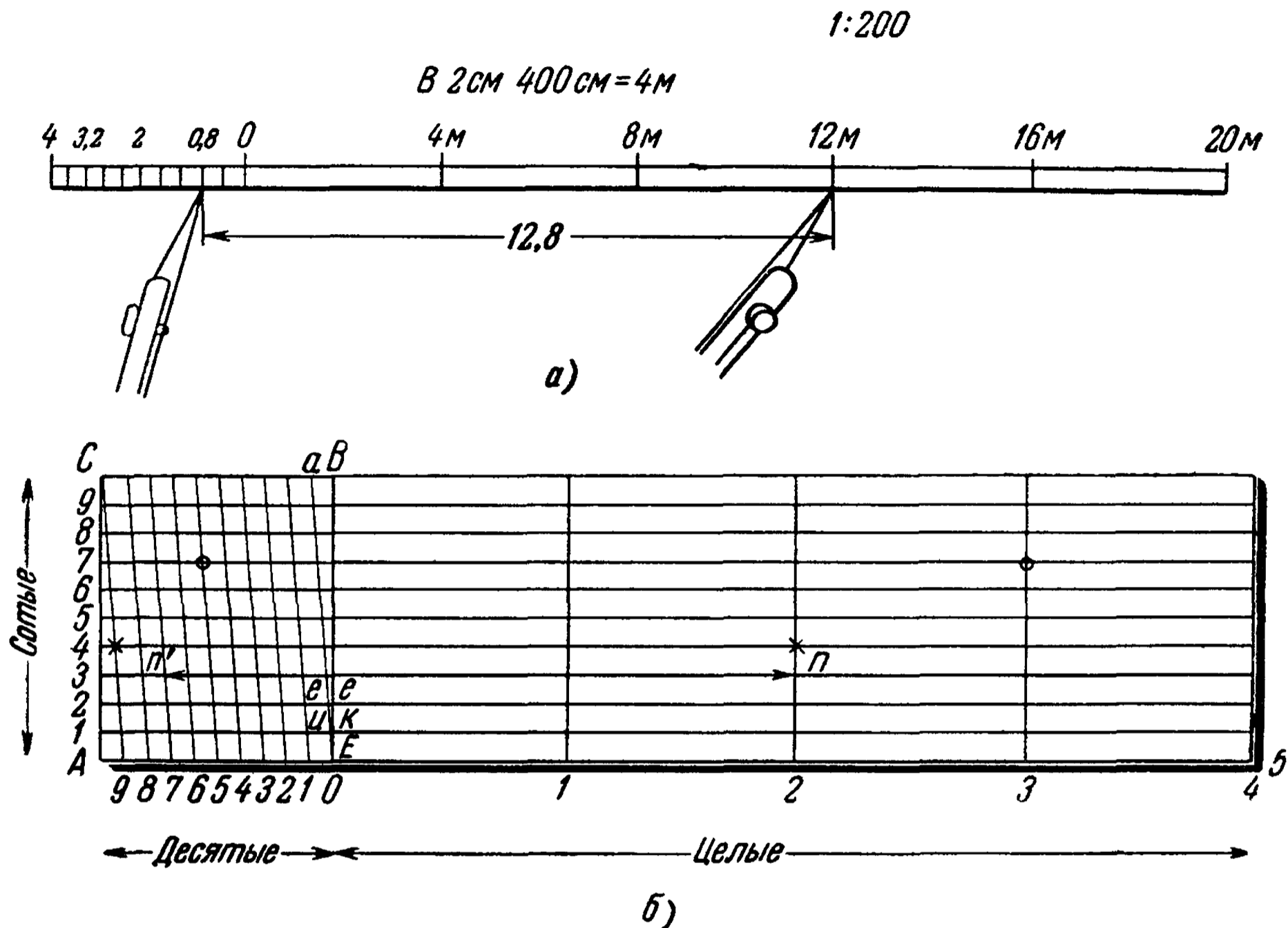


Рис. 4. Масштабы:

а — линейный, б — нормальный поперечный

штрихов левого основания в метрах составят 0; 0,2; 0,4;... 1,8 и 2,0, а значения штрихов целых оснований направо от нуля подписывают у концов отрезков: 2,0; 4,0; 6,0 м и т. д.

На рис. 4, а показано, как определить действительную длину линий 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. Всякая линейка с миллиметровыми делениями может быть использована в качестве линейного масштаба. В этих случаях к линии на плане прикладывают линейку так, чтобы нуль ее совместился с крайней точкой измеряемого расстояния. По штрихам линейки подсчитывают количество сантиметров и миллиметров до конца линии, оценивая на глаз десятые доли неполного

миллиметра. По значению численного масштаба вычисляют фактический размер измеряемой линии.

Чтобы избежать оценки на глаз неполных интервалов и уточнить измерения, применяют поперечные масштабы. Их изготавливают заводским путем на металлических линейках, в том числе и на линейках полукруглых транспортиров.

Для построения поперечного масштаба на бумаге откладывают на прямой линии несколько раз основание (2 см). На концах оснований восставляют перпендикуляры одинаковой высоты ($h > > 2\text{ см}$). Крайние перпендикуляры делят на 10 равных частей и через разметки проводят 10 линий, параллельных нижней прямой (рис. 4, б). Далее нижнюю и верхнюю линии крайнего левого основания делят на 10 равных частей (по 2 мм). В пределах этого основания проводят наклонные линии.

Из построения видно, что в треугольнике BEa отрезки последовательно отличаются на $0,01$ основания, так как $uk = 0,1 aB$, $ee = = 0,2 aB$ и т. д., а aB есть десятая часть основания.

Для определения длины линий на плане с помощью поперечного масштаба пользуются измерителем, иглы ножек которого совмещают с концами измеряемого отрезка. Затем прикладывают измеритель правой ножкой к одному из штрихов целых отрезков основания. Тогда левая ножка попадет в одно из делений левого отрезка. Далее продвигают вверх обе иглы измерителя до тех пор, пока и левое острие измерителя войдет в наклонную линию (на рис. 4, б в точке n'). Длина отрезка nn' составит $2,73$ единицы основания, или $5,46\text{ см}$, что в масштабе $1 : 100$ составит $5,46\text{ м}$, а в масштабе $1 : 500$ — $27,30\text{ м}$.

§ 10. Условные знаки — контурные и внемасштабные.

Координатная сетка

Чтобы облегчить чтение планов, детали контуров и предметов местности должны изображаться с достаточной наглядностью. Для планов съемок разных масштабов изданы таблицы условных знаков.

Условные знаки делятся на две основные группы. К первой относятся контурные, или масштабные, знаки, ко второй — внемасштабные условные знаки.

Изображения контуров разных угодий на плане подобны соответствующим контурам на местности. Контурные покрывают условными знаками. Так, контур пашни (рис. 5) не покрывается какими-либо значками; за условный знак леса приняты кружки, напоминающие сечения стволов; за условный знак луга приняты два штриха, напоминающие кустящую траву. В дополнение к основным знакам применяют пояснительные знаки и надписи: породу леса (хвойный или лиственный) показывают соответствующими силуэтами деревьев, а средние их высоты и диаметры стволов — сокращенными подписями.

М е с т н ы е п р е д м е т ы (колодцы, лесные сторожки, геодезические пункты и т. д.) по малости своих размеров при уменьшении в масштабе обращаются в точки. В таких случаях применяют немасштабные знаки, центр которых указывает местоположение предмета, а само изображение условно напоминает предмет.

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

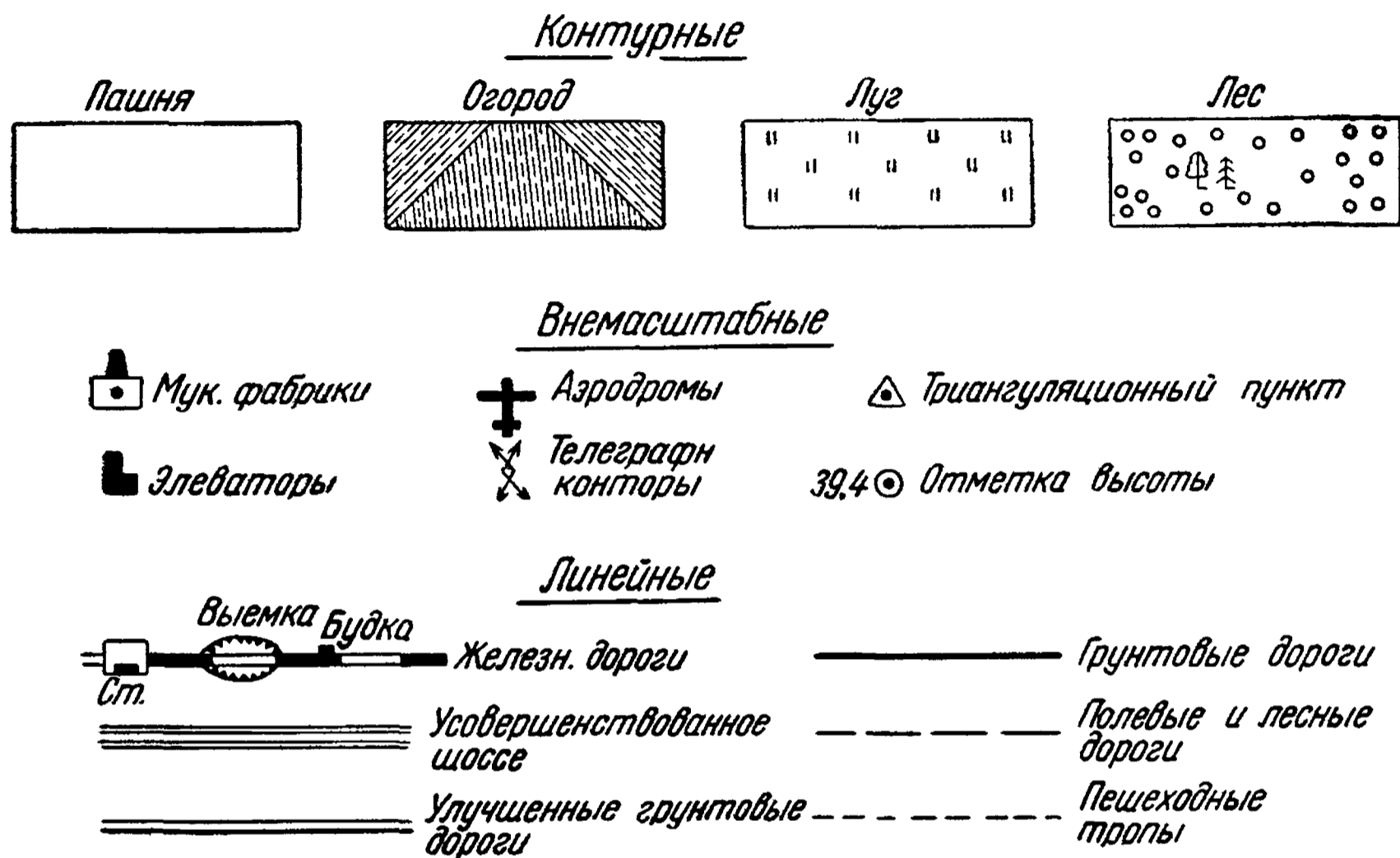


Рис. 5. Условные знаки

промерах. Так же наносят и подземные коммуникации (газопроводы, электрокабели, кабели связи и пр.). Такие знаки называют л и н е й н ы м и. На рис. 5 показаны некоторые виды условных знаков.

Имеют значение и п о д п и с и 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 (юг — север) 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.

§ 11. Изображение рельефа местности

Для изображения рельефа местности в настоящее время применяют метод горизонталей. Горизонталю являются следами сечения рельефа уровнями поверхностями разных высот, которые на небольшом протяжении принимают за горизонтальные плоскости, проведенные на равных расстояниях по вертикали одна от другой. Эти расстояния называют высотой сечения рельефа (рис. 6, а). Расстояние между горизонталями на плане называют заложением горизонталей. В местах, где горизонталю расположены близко друг от друга, уклон местности больший и наоборот.

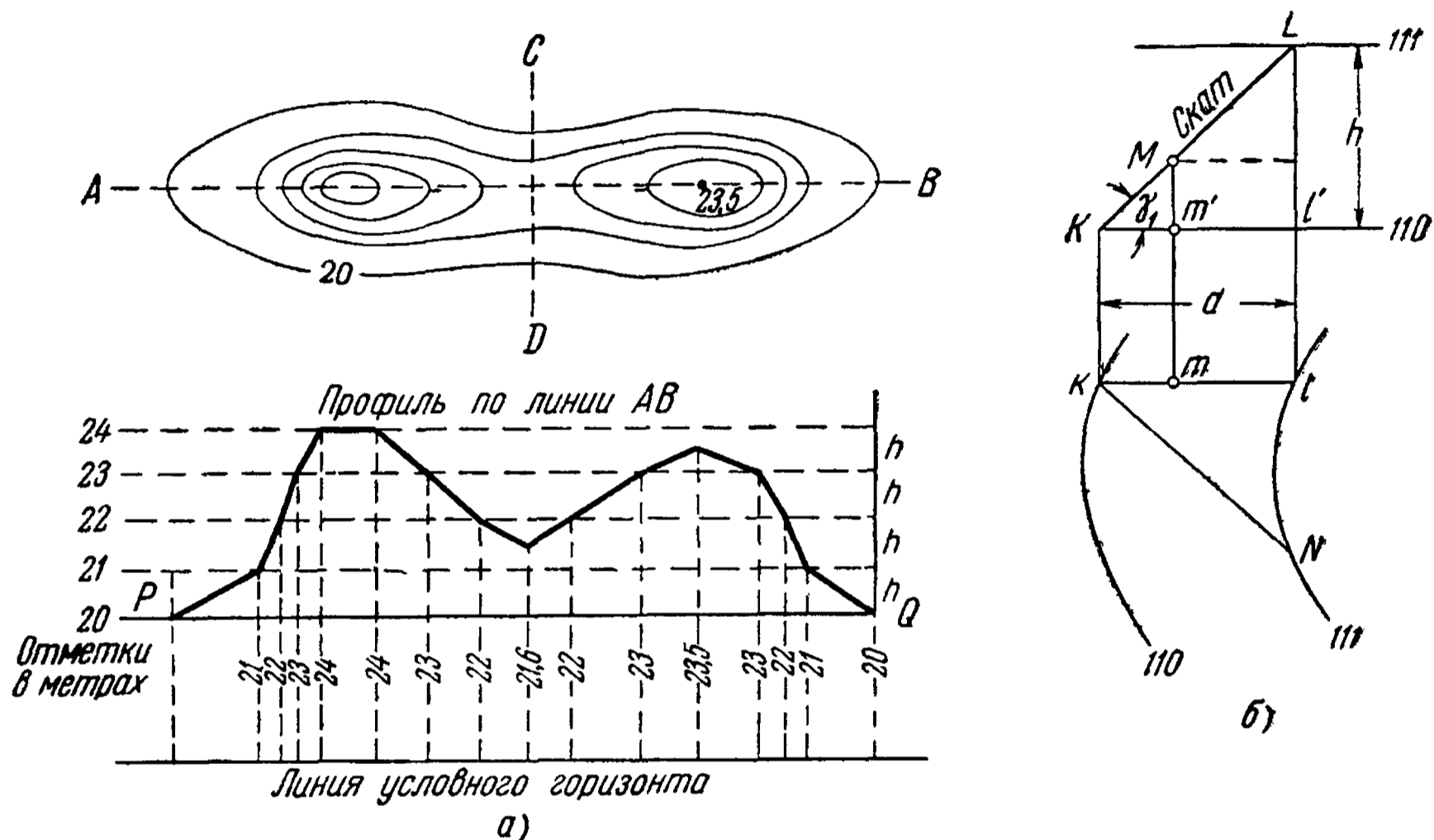


Рис. 6. Построение профиля по плану с горизонталями

Для геодезических 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 — 0,25; 0,50; 1,0 м в зависимости от характера рельефа и технических требований.

В случае, когда некоторые детали рельефа не выражаются горизонталями установленного сечения, проводят дополнительные, так называемые полугоризонталю с высотой сечения, равной половине высоты основного сечения. Полугоризонталю проводят на плане пунктирной линией.

Для облегчения чтения рельефа и направлений скатов проставляют штрихи (бергштрихи) в сторону стока. Каждую пятую горизонталь (иногда десятую) утолщают и надписывают ее отметку. Отметки характерных точек рельефа (вершин, глубин оврагов и проч.) также надписывают на планах. Горизонталю, отметки и бергштрихи вычерчивают коричневой тушью (жженой сиеной).

§ 12. Задачи, решаемые на планах с горизонталями

Отметку любой точки на плане определяют подсчетом значения горизонтали, на которой расположена 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 точку m проводят отрезок кратчайшего заложения kl , величину частей которого (km и ml) используют при интерполяции (рис. 6, б).

Для построения профиля местности по линии AB (см. рис. 6, а) отмечают на плане точки пересечения этой линии с горизонталями, а затем переносят ее со всеми точками пересечения на линию PQ . Из этих точек восстанавливают нормали и откладывают на них от условного горизонта величины высот горизонталей. Для наглядности эти величины рекомендуется откладывать в увеличенном в несколько раз масштабе по сравнению с масштабом плана. Точки профиля, полученные на нормалях, соединяют ломаной линией.

Определение крутизны (уклонов) скатов показано на рис. 6, б. Отрезок kl является проекцией ската KL и называется заложением. 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 крутизны, равную $\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{h}{d}$. В инженерной геодезии наклон выражают не угловой мерой, а величиной тангенса, которую называют **у к л о н о м** i . Следовательно, $i = \operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{h}{d}$. В практике уклоны часто выражают в миллиметрах на 1 м заложения и записывают в следующем виде: $i = 0,015$ или $i = 15^0/_{00}$.

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.

§ 13. Ориентирование линий местности

Каждая линия местности может быть ориентирована относительно стран света по азимуту. **А з и м у т о м** линии в данной точке называется угол, отсчитываемый от северного направления географического (истинного) меридиана по ходу часовой стрелки до направления этой линии. Азимут обозначается буквой A . На рис. 7, а показаны азимуты A_1, A_2, A_3, A_4 линий $0-1, 0-2, 0-3, 0-4$.

Для осуществления единой математической системы прямоугольных координат вся поверхность земного шара разделена на зоны, каждая из которых ограничена двумя меридианами, следующими через 6° или 3° по долготе.

Средний меридиан зоны называют о с е в ы м. Так как все меридианы сходятся в полюсах Земли и, следовательно, непараллельны друг другу, то в каждой точке данной линии азимут меняет свое значение. Чтобы избежать связанных с этим неудобств, в пределах зоны прямоугольных координат для ориентирования линий пользуются не азимутами, а д и р е к ц и о н н ы м и у г л а м и, которые также отсчитываются по ходу часовой стрелки от северного направления линий, параллельных осевому меридиану зоны, и обозначаются буквой α . Значения дирекционных углов, так же как и азимутов, изменяются в пределах от 0 до 360° .

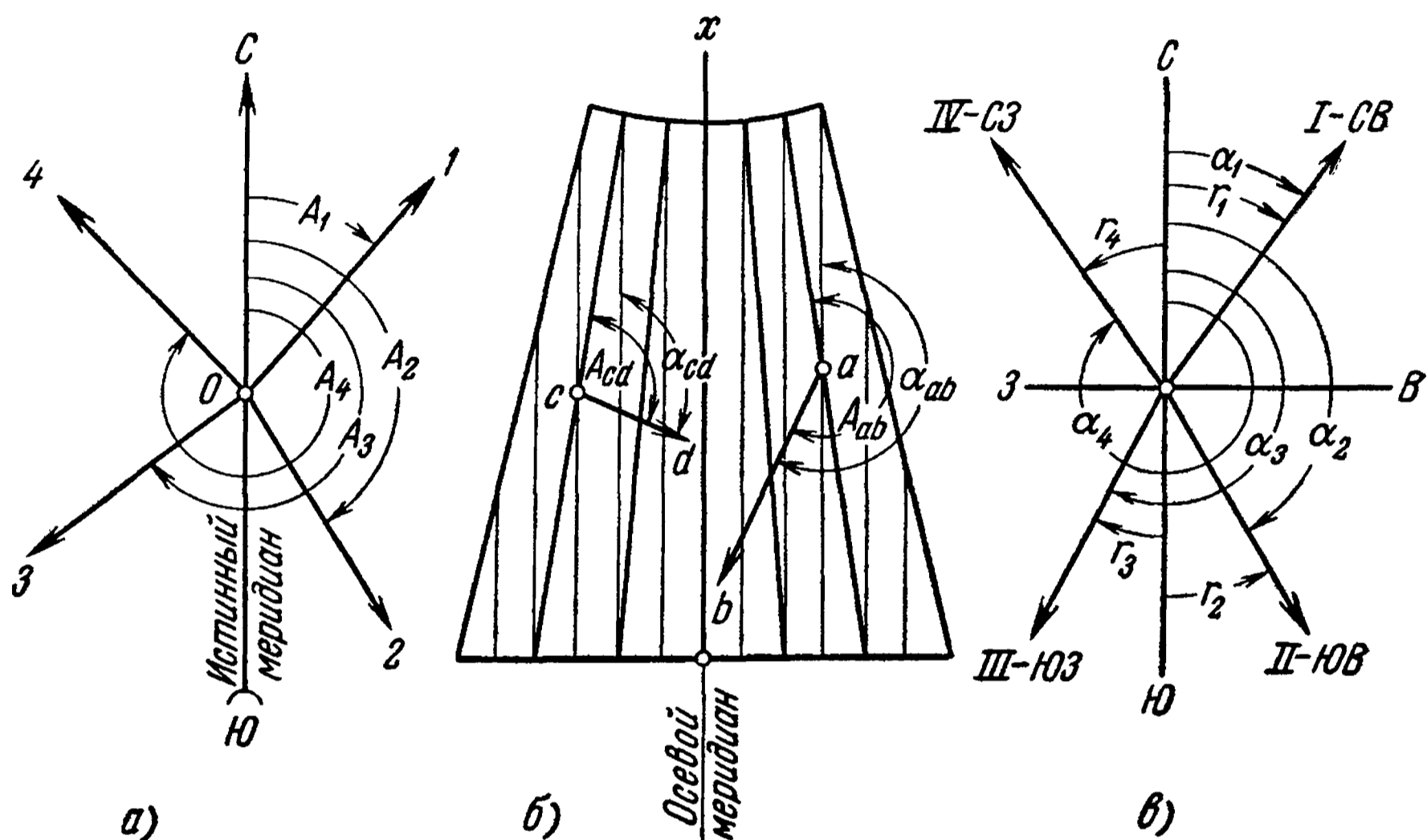


Рис. 7. Ориентирование линий:

a — по географическому меридиану, b — по осевому меридиану зоны, c — взаимосвязь дирекционных углов и румбов

На рис. 7, б, где утолщенными линиями изображены истинные меридианы, а тонкими — линии, параллельные осевому меридиану зоны, показаны A и α двух линий cd и ab . Угол между направлениями в данной точке осевого меридиана и географического называется с б л и ж е н и е м м е р и д и а н о в. Как видно из рис. 7, б, разность между истинным азимутом, например, линии ab и ее дирекционным углом равна величине сближения меридианов для точки a .

В геодезии применяют также м а г н и т н ы е а з и м у т ы, обозначаемые A_m и считаемые от северного направления магнитного меридиана.

Все тригонометрические таблицы для геодезических вычислений составлены в пределах от 0 до 90° . Поэтому при вычислениях предпочитают пользоваться не дирекционными, а т а б л и ч н ы м и у г л а м и r , которые называют р у м б а м и, т. е. острыми углами, отсчитываемыми от ближайшего направления меридиана (север, юг) до данного направления (рис. 7, в).

При определении направлений румбами указывают, кроме величины угла, также название четверти, в которую направлены линии. В первой четверти, например, обозначают румб СВ: $43^{\circ} 34'$, во второй — ЮВ: $38^{\circ} 42'$, в третьей — ЮЗ: $28^{\circ} 39'$, в четвертой — СЗ: $39^{\circ} 45'$. На рис. 7, в графически показана взаимосвязь α и r . При вычислениях предпочитают предварительно перейти от величин α к величинам табличных углов r .

Для определения дирекционного угла любой линии, например α_2 , 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_1 . Таким путем дирекционный угол стороны съемочного обоснования определяют по углу, примычному к стороне государственной сети, дирекционный угол которой известен. Из построения, приведенного на рис. 8, а, видно, что

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 180^{\circ} - \beta_{\text{пр}} \quad \text{или} \quad \alpha_2 = \alpha_1 - 180^{\circ} + \beta_{\text{лев.}}$$

§ 14. Вычисление дирекционных углов сторон хода по углам. Вычисление углов хода по дирекционным углам его сторон

Обобщая равенства, приведенные в предыдущем параграфе, можно написать, что

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180^{\circ} - \beta_{\text{пр}}$$

или

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - 180^{\circ} + \beta_{\text{лев.}}$$

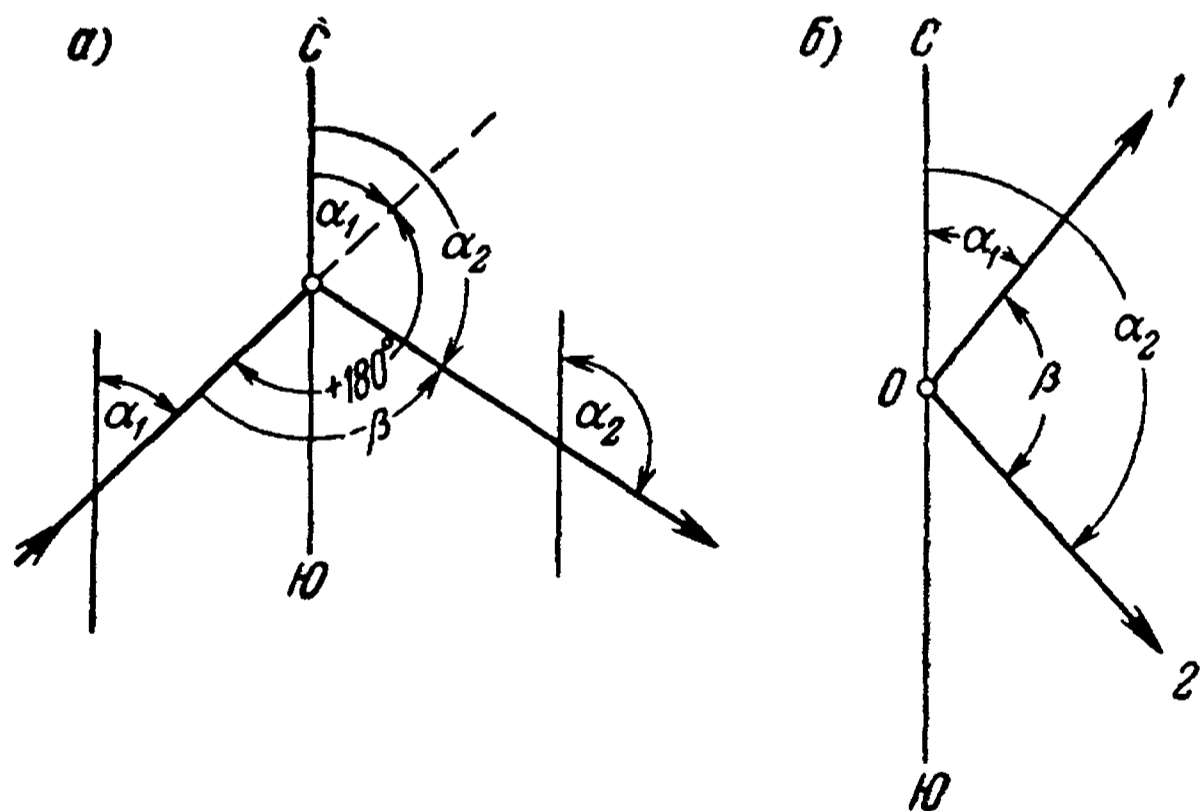


Рис. 8. Связь углов и направлений сторон их

т. е. дирекционный угол последующей линии равен дирекционному углу предыдущей линии плюс 180° , минус правый по ходу угол или дирекционному углу предыдущей ли-

нии минус 180° , плюс левый по ходу угол. В случаях, когда значение α_{n+1} окажется более 360° , следует из результата отнять целый период (360°). Если же при вычитании окажется, что уменьшаемое меньше вычитаемого, то к первому необходимо прибавить период, а затем выполнить вычитание.

Иногда бывает необходимо получить значения углов, дирекционные углы сторон которых известны. В этих случаях для каждого угла составляют схему и на ней надписывают значения дирекционных углов сторон в направлении их от вершины определяемого угла (рис. 8, б). При этом надо учитывать, что каждый отрезок (сторона угла) имеет два направления. Например, отрезок AB имеет дирекционный угол, прямой от A к B и обратный от B к A . Прямой дирекционный угол отличается от обратного на 180° .

Из рис. 8, б видно, что величину угла β можно получить прямым вычитанием $\beta = \alpha_2 - \alpha_1$. В ряде случаев может оказаться, что $\alpha_2 < \alpha_1$. Тогда следует предварительно к α_2 прибавить 360° , т. е. целый период, после чего получим искомую разность

$$\beta = (\alpha_2 + 360^\circ) - \alpha_1.$$

§ 15. Прямоугольные координаты точек. Приращения 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 (рис. 9). Положение отрезка AB определяют коор-

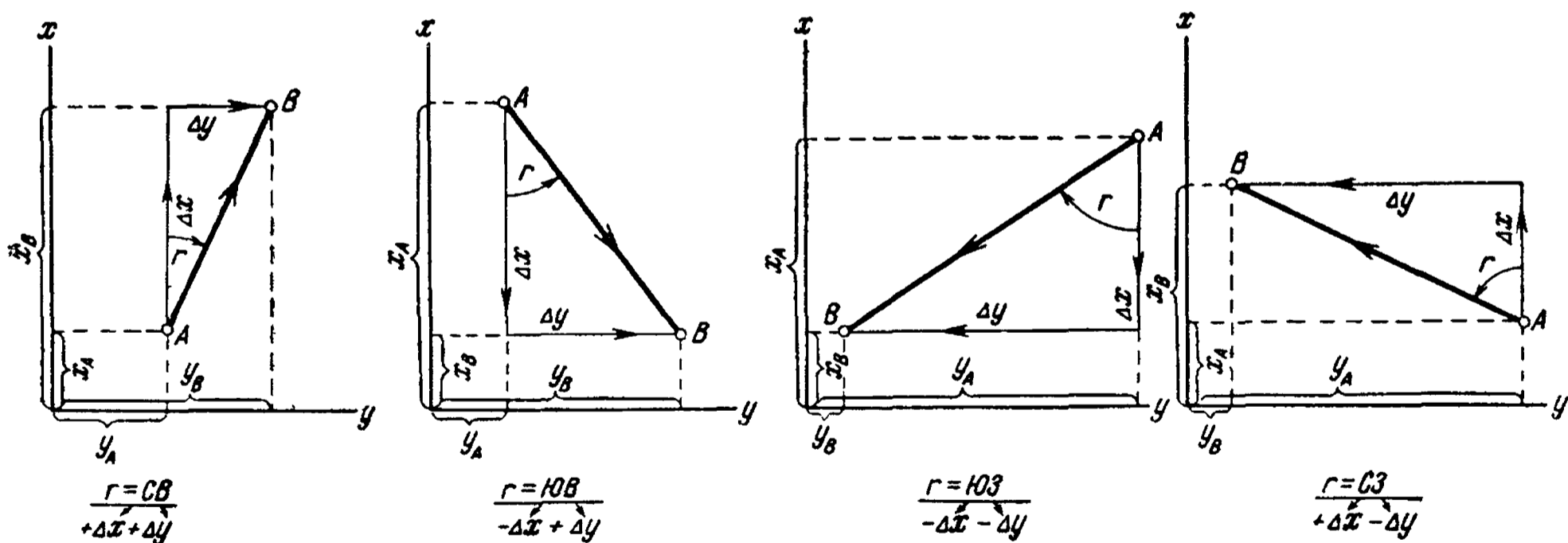


Рис. 9. Графическое изображение приращений координат

динаты (x_A, y_A) и (x_B, y_B) , т. е. координаты его начальной и конечной точек A и B .

Разность координат конечной B и начальной A точек называют приращениями координат и обозначают так:

$$\Delta x_{AB} = x_B - x_A$$

и

$$\Delta y_{AB} = y_B - y_A.$$

На рис. 9 показаны четыре направления (СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ), которые могут иметь отрезки на геодезических планах. Знаки приращения (плюс или минус) зависят только от направления отрезка AB . Разбор возможных направлений отрезков позволяет сделать следующие выводы:

1. При вычислении приращений и координат в геодезии заменяют каждый отрезок (AB) двумя направленными отрезками приращений координат (векторами) Δx_{AB} и Δy_{AB} . При этом сначала строят приращение по главному направлению (меридиональному) Δx , а затем, продолжая движение к конечной точке (B), строят Δy — приращение, направленное по параллели.

2. При соблюдении первого условия табличным углом r треугольника всегда будет угол между катетом Δx и отрезком AB .

3. Знаки приращений Δx и Δy получают по первой и второй буквам румбических (табличных) обозначений, т. е. для Δx буква С (север) дает знак плюс (+), а буква Ю (юг) — минус (—); для Δy буква В (восток) дает плюс (+), а буква З (запад) — минус (—), т. е. так, как это показано стрелками на четырех построениях рис. 9.

§ 16. Прямая и обратная геодезические задачи

Геодезические работы при строительстве тоннелей характеризуются большим объемом вычислительных работ, необходимых для съемок ситуации и для разбивок в натуре проектов сооружений от пунктов геодезической основы. При всем разнообразии вычислительных работ нетрудно найти в них то общее, что позволяет все задачи разделить на две основные группы.

К первой группе относят так называемые **п р я м ы е з а д а ч и** на координаты, целью которых является определение координат новых пунктов геодезической основы (полигонометрии), вершин теодолитных ходов, проектных осевых точек на разных пикетах сооружения и т. п. Прямые геодезические задачи решают по таким формулам:

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{1,2},$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y_{1,2},$$

где

$$\Delta x = S \cdot \cos \alpha \quad \text{и} \quad \Delta y = S \cdot \sin \alpha.$$

Ко второй группе относят так называемые **о б р а т н ы е з а д а ч и** на координаты, решение которых заключается в вычислении длин (S) и дирекционных углов (α) отрезков между точками, координаты которых известны, например между полигонометрическими знаками (п. з.) и проектными осевыми точками сооружения, между осевыми отвесами и проектными осевыми пикетами, между полигонометрическими знаками и проектной осью (δ) или проектным пикетом (Δ) и т. д.

Обратные геодезические задачи решают по таким формулам:

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

Решение задач указанных видов выполняют по общепринятым схемам:

Схема 1. Прямая геодезическая задача

У с л о в и е: Определить координаты п. з. 2, если известны координаты п. з. 1, а также дирекционный угол α и расстояние S между п. з. 1 и п. з. 2.

а) Выписывают исходные данные:

$$\begin{aligned}x_1 &= 2143,567; & y_1 &= 3745,218; \\ \alpha_{1,2} &= 48^\circ 23' 16''; & S_{1,2} &= 58,259 \text{ м.}\end{aligned}$$

б) Вычисляют приращения координат:

А. При наличии арифмометра Б. По таблицам логарифмов

$\Delta x = S_{1,2} \cdot \cos \alpha_{1,2} =$	$\Delta y = +43,558$ (6)
$= 58,259 \cdot 0,747657;$	$\lg \Delta y = 1.639\ 0651$ (4)
$\Delta y = S_{1,2} \cdot \sin \alpha_{1,2} =$	$\lg \sin \alpha_{1,2} = 9.873\ 7021$ (2)
$= 58,259 \cdot 0,664086;$	$\lg S_{1,2} = 1.765\ 3630$ (1) + ↑
	$\lg \cos \alpha_{1,2} = 9.822\ 2242$ (3) + ↓
$\Delta x = +38,689;$	$\lg \Delta x = 1.587\ 5872$ (5)
$\Delta y = +43,558.$	$\Delta x = +38,689$ (7)

П р и м е ч а н и е: В схеме Б очередность заполнения указана номерами действий (в скобках).

в) Подсчитывают координаты искомой точки:

$+ x_1 = 2143,567$	$y_1 = 3745,218$
$\Delta x = +38,689$	$\Delta y = +43,558$ +
$x_2 = 2182,256$	$y_2 = 3788,776$

Схема 2. Обратная геодезическая задача

У с л о в и е: Даны координаты полигонометрических знаков п. з. 1 и п. з. 2. Определить дирекционный угол α и расстояние S между этими знаками.

а) Выписывают исходные данные:

$$\begin{aligned}x_1 &= 3412,765; & x_2 &= 3449,354; \\ y_1 &= 5473,812; & y_2 &= 5532,238.\end{aligned}$$

б) Подсчитывают приращения координат:

$$\begin{array}{r} x_2 = 3449,354 \\ - x_1 = 3412,765 \\ \hline \Delta x = +36,589 \end{array} \qquad \begin{array}{r} y_2 = 5532,238 \\ - y_1 = 5473,812 \\ \hline \Delta y = +58,426 \end{array}$$

в) Подсчитывают значения дирекционного угла и расстояние:

А. При наличии арифмометра Б. По таблицам логарифмов

$\begin{array}{r} \Delta y = +58,426 \\ \Delta x = +36,589 \\ \hline \operatorname{tg} r = 1,596\ 819 \\ r = 57^\circ 56' 36'' \\ \alpha = 57^\circ 56' 36'' \end{array}$	$\begin{array}{r} \lg \Delta y = 1.766\ 6062 \\ \lg \Delta x = 1.563\ 3505 \\ \hline \lg \operatorname{tg} r = 0.203\ 2557 \\ r = 57^\circ 56' 36'' \\ \alpha = 57^\circ 56' 36'' \end{array}$
$\begin{array}{r} \Delta y = \\ = +58,426 \\ \sin \alpha = \\ = 0,847524 \\ \hline S'_{1,2} = \\ = 68,935 \end{array}$	$\begin{array}{r} \lg \Delta y = \\ = 1.766\ 6062 \\ \lg \sin \alpha = \\ = 9.928\ 1518 \\ \hline \lg S'_{1,2} = \\ = 1,838\ 4544 \end{array}$
$\begin{array}{r} \Delta x = \\ = +36,589 \\ \cos \alpha = \\ = 0,530757 \\ \hline S''_{1,2} = \\ = 68,937 \end{array}$	$\begin{array}{r} \lg \Delta x = \\ = 1.563\ 3505 \\ \lg \cos \alpha = \\ = 9.724\ 8963 \\ \hline \lg S''_{1,2} = \\ = 1,838\ 4542 \end{array}$
$\begin{array}{r} S'_{1,2} = \\ = 68,935 \end{array}$	$\begin{array}{r} S''_{1,2} = \\ = 68,937 \end{array}$
$S_{1,2} = 68,936$	$S_{1,2} = 68,937$

Если не требуется вычислять дирекционный угол, применяют формулу

$$S_{1,2} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

§ 17. Общие понятия об ошибках измерений и их вычисление

Абсолютная и относительная ошибки. Допустимая невязка

Все геодезические измерения неизбежно сопровождаются ошибками.

Различают три вида ошибок:

1. Грубые ошибки, появление которых вызывается промахом и недосмотром исполнителя: просчет целых метров или градусов, ошибки при опознании знаков и пр.

Грубые ошибки обнаруживаются при повторных и контрольных измерениях.

2. Систематические ошибки, которые являются следствием неточностей, допущенных при изготовлении измерительных приборов, влияния среды, в которой проводят измерения, и пр.

Причины возникновения систематических ошибок часто могут быть заранее изучены и влияние их исключено из результатов измерений введением соответствующих поправок или применением специальных методов пользования приборами.

3. Случайные ошибки, размеры и характер влияния которых на результаты измерений заранее полностью определить нельзя. Причины их возникновения весьма разнообразны и учесть их не представляется возможным. Если, например, измерять несколько раз достаточно длинный отрезок, то результаты измерений будут различаться в большей или меньшей степени, что зависит от окружающей среды и несовершенства прибора, а также от несовершенства органов чувств измеряющего.

Если обозначить через x истинное значение измеряемой величины, а через l — измеренное значение этой же величины, то истинную величину ошибки Δ измеренного значения найдем по разности: $\Delta = x - l$. Ошибка Δ положительна, если $x - l > 0$, и отрицательна при $x - l < 0$.

Опытом установлено, что случайные ошибки обладают следующими свойствами:

- 1) для данных условий измерений случайные ошибки не превышают определенного предела;
- 2) малые по абсолютной величине ошибки появляются чаще, чем большие;
- 3) в измерениях одинаково часто появляются случайные ошибки, равные по абсолютной величине, но противоположные по знаку;
- 4) среднее арифметическое из случайных ошибок измерений одной и той же величины с увеличением числа измерений стремится к нулю.

На основании этого свойства во всех геодезических измерениях за наиболее вероятный результат измерений при многократном их повторении принимают среднее арифметическое из них, хотя и оно не свободно от ошибок.

В этом случае получают не истинную величину случайной ошибки измерения, а ее вероятнейшее значение, вычисляемое по разности

$$\delta = l_{\text{ср}} - l_{\text{изм.}}$$

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

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

где $[\Delta^2]$ — сумма квадратов случайных ошибок ряда измерений, а n — количество измерений. Квадратная скобка условно обозначает сумму.

В этом случае усиливается влияние более крупных ошибок на квадрат средней квадратической ошибки

$$m^2 = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}.$$

Так как в практике геодезическо-маркшейдерских работ имеют дело не с истинными, а с вероятнейшими ошибками, то оценку точности производят по формуле

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

где $[\delta^2]$ — сумма квадратов вероятнейших ошибок ряда измерений, n — количество измерений.

Указанная величина средней квадратической ошибки характеризует точность одного отдельного в ряду измерения. Средняя квадратическая ошибка общей арифметической середины вычисляется по формуле

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

Пример. Угол в натуре измерен шестью приемами. Требуется определить среднюю квадратическую ошибку измерения угла.

Значения угла β	δ	δ^2
111°37'56"	-6	36
111 37 51	-1	1
111 37 45	+5	25
111 37 46	+4	16
111 37 51	-1	1
111 37 50	0	0
$\beta_{\text{ср}} = 111^\circ 37' 50''$	$[\delta] = 0$	$[\delta^2] = 79$

$$m = \pm \sqrt{\frac{79}{6-1}} = \pm \sqrt{15,8}$$

$$m = \pm 4",0$$

$$M = \frac{\pm 4",0}{\sqrt{6}} = \pm 1",6$$

На основе теории вероятностей считают, что наибольшая ошибка, которая может появиться при данных условиях измерений, не будет превышать утроенной величины средней квадратической ошибки или $\Delta_{\text{пред}} = 3M$. Иногда предельную ошибку принимают равной удвоенной средней квадратической ошибке, т. е. $\Delta_{\text{пред}} = 2M$.

Для приведенного выше примера предельная ошибка величины среднего значения измеренного угла 111°37'50" равна:

$$1) \Delta_{\text{пред}} = 3M = 3 \cdot (\pm 1",6) = \pm 5",$$

$$2) \Delta_{\text{пред}} = 2M = 2 \cdot (\pm 1",6) = \pm 3".$$

Среднюю квадратическую ошибку нельзя понимать как «поправку», при помощи которой можно исправить результат измерений. Средняя квадратическая ошибка лишь характеризует точность данного вида измерений.

Весьма часто приходится вычислять среднюю квадратическую ошибку функции некоторых измеренных величин и, в частности, ошибки их суммы или разности. В этом случае средняя квадратическая ошибка суммы или разности равна корню квадратному из суммы квадратов ошибок каждой величины, т. е.

$$m_{a \pm b} = \pm \sqrt{m_a^2 + m_b^2}.$$

Для большего количества слагаемых

$$m_{\sum_1^n} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2}.$$

Для оценки точности линейных измерений пользуются величиной относительной ошибки, определяемой как отношение

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

где ΔD — расхождение результатов двух измерений, называемое абсолютной ошибкой, D — длина измеряемой линии.

Если, например, имеются два результата измерения линии полигонометрического хода: 217,386 и 217,380 м, то $\Delta D = 0,006$ м и относительная ошибка равна $\frac{0,006}{217,383} \approx \frac{1}{36\,000}$.

Для оценки точности измерений в замкнутых полигонах или в ходах служат формулы

$$f_S = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad f_{\text{отн}} = \frac{f_S}{\sum S}$$

где f_S — абсолютная линейная невязка полигона или хода; f_x — невязка суммы приращений по оси иксов; f_y — невязка суммы приращений по оси игреков.

Для каждого вида работ инструкциями устанавливаются пределы допустимых величин относительных, а в некоторых случаях и абсолютных ошибок линейных измерений и замкнутых полигонов и ходов.

Для угловых измерений и нивелирования устанавливаются допустимые невязки в полигонах и ходах согласно следующим формулам:

$$m_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 2m_{\beta} \sqrt{n},$$

$$m_{h_{\text{доп}}} = \pm 2m'_h \sqrt{n},$$

$$m_{h_{\text{доп}}} = \pm 2m''_h \sqrt{L},$$

где m_{β} — средняя квадратическая ошибка измеренного угла; n — количество измеренных углов или количество штативов при ниве-

лировании; m'_h — средняя квадратическая ошибка превышения на одной станции нивелирования; m''_h — средняя квадратическая ошибка нивелирования на 1 км хода; L — длина нивелирного хода в километрах.

Контрольные вопросы:

1. В чем разница между картой и геодезическим планом?
 2. Как изображается ситуация и рельеф местности на планах?
 3. Как определить отметки точек на плане с горизонталями?
 4. В чем отличие дирекционного угла какой-либо линии от азимута той же линии?
 5. Что называют приращениями координат отрезка?
 6. Как определить знаки приращений координат по буквенному выражению румба того же отрезка?
 7. Формулы прямой и обратной геодезических задач на координаты?
-

ГЛАВА 2

ОСНОВНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

§ 18. Тоннельная триангуляция. Основная и подходная полигонометрия. Высотная основа

Первоочередной задачей геодезических работ при постройке тоннелей является обеспечение будущих разбивок в натуре точным и надежным плановым наземным геодезическим обоснованием — триангуляцией и полигонометрией, а также высотной основой.

По всей запроектированной трассе создается триангуляционная цепь треугольников, по форме близких к равносторонним со сторонами в среднем около 3 км. В городских условиях триангуляционные знаки закрепляют на крышах зданий, вне зоны возможных деформаций, но не далее 1 км от трассы.

Для подводных тоннелей применяют форму геодезического четырехугольника с измерением по одной базисной стороне на каждом берегу водного пространства, под которым прокладывается тоннель.

Характерной особенностью тоннельной триангуляции является вытянутая форма триангуляционного ряда и относительно короткие стороны основных фигур (треугольников и четырехугольников) ряда. Для ориентирования тоннельную сеть привязывают к пунктам государственной триангуляции.

Углы измеряют большими оптическими теодолитами. Результаты измерений обрабатывают строгими способами, описанными в высшей геодезии.

Между пунктами тоннельной триангуляции в городах по уличным магистралям прокладывают ходы основной полигонометрии. Средняя длина линий полигонометрии составляет 250 м, причем наибольшая длина не превышает 500 м, а наименьшая не должна быть короче 100 м. Центры пунктов закрепляют в соответствии с требованиями городских условий.

Назначение основной полигонометрии заключается в передаче координат и дирекционных углов от пунктов триангуляции на поли-

гонометрические знаки стройплощадок, от которых будут задавать направления подземным выработкам.

Допустимая угловая невязка в замкнутых полигонах и ходах не должна превышать $\pm 6'' \sqrt{n}$, где n — количество углов в ходе. Длины сторон полигонометрии измеряют инвариными или стальными проволоками по штативам в прямом и обратном направлениях. Относительная ошибка измерения каждой линии, полученная по расхождению прямого и обратного хода, не должна превышать: для проволок $\frac{1}{70\,000}$, а для рулеток $\frac{1}{30\,000}$. Относительная невязка в периметре хода не должна превышать $\frac{1}{30\,000}$.

Для обеспечения исходными данными различных разбивок, а также для ориентирования шахт на строительные площадки прокладывают от знаков основной полигонометрии под ходную полигонометрию. Длины отдельных сторон ее не должны быть меньше 30 м и больше 300 м. Ошибки центрирования теодолитов и сигналов не должны превышать $\pm 0,5$ мм, а угловая невязка ходов $\pm 8'' \sqrt{n}$. Линии измеряют по штативам проволоками или рулетками по нормам основной полигонометрии (см. выше). Для коротких линий допускается расхождение при измерениях в прямом и обратном направлениях не свыше ± 3 мм.

Основной задачей высотной основы при строительстве внегородских тоннелей является связь реперов, расположенных у порталов, шахт и штолен, а также обеспечение высотного обоснования для наблюдений за оседанием поверхности, сооружений и геодезических знаков, заложенных на дневной поверхности в зоне возможной деформации. Связь реперов высотной основы осуществляется двумя независимыми нивелирными ходами, причем, учитывая тяжелые топографические условия (горная местность, водное пространство), нивелирование производят при допусках для нивелирования III разряда методами и инструментами, применяемыми для нивелирования II разряда.

Для высотного обоснования разбивок при строительстве тоннелей метрополитенов прокладывают нивелирные ходы III разряда. Расстояния между реперами в ходах должны быть не более 200 м, а на проездах в районе строительных площадок — не свыше 100 м. Нивелирование выполняют точными нивелирами, имеющими увеличение трубы не менее $30\times$ и уровень с ценой деления не менее $12''$ на 2 мм. Рейки применяют шашечные и штриховые, снабженные круглыми уровнями.

Расхождение в превышениях ходов в прямом и обратном направлениях для метрополитенов и внегородских тоннелей не должно быть более ± 8 мм \sqrt{L} , где L — число километров хода, а в замкнутых полигонах невязка не должна превышать $\pm (6\sqrt{L} + 0,6L)$. Если на 1 км было более 16 штативов, невязка подсчитывается по формуле $f_h = \pm 2\sqrt{n}$ мм, где n — число штативов.

§ 19. Понятие о теодолитной съемке

Сущность теодолитной съемки заключается в измерении углов и линий, необходимых для определения местоположения и очертания предметов и контуров местности (строений, сооружений, дорог, каналов, полей, лесов и пр.). В результате теодолитной съемки составляют план местности в заданном масштабе. Такого вида съемку называют **к о н т у р н о й**, плановой или горизонтальной.

Для изображения на плане рельефа местности необходимо провести дополнительно высотную (вертикальную) съемку.

В процессе изысканий измеряют углы поворотов трассы, разбивают пикетаж и производят нивелирование по трассе. Углы измеряют теодолитами одномоментной или 30-секундной точности одним приемом со смещением лимба на 90° после первого полуприема. Линии измеряют стальной 20-метровой лентой, причем точность измерения не должна быть ниже $\frac{1}{2000}$.

В тоннелестроении теодолитная съемка в масштабе 1 : 500 и крупнее необходима на сравнительно небольших участках, а именно на шахтных и строительных площадках, а также в застроенных кварталах над трассой тоннеля. Для съемки небольших участков достаточно бывает проложить вдоль их границ **з а м к н у т ы й т е о д о л и т н ы й х о д**, опираясь на вершины и стороны которого можно заснять всю ситуацию данного участка. В застроенной и лесной местности для создания опорных пунктов прокладывают **д и а г о н а л ь н ы е** теодолитные ходы. В более сложных условиях съемке предшествует создание на участке **с е т и о п о р н ы х с ь е м о ч н ы х т о ч е к**. Между точками опорной сети прокладывают теодолитные ходы. Эти ходы образуют замкнутые полигоны, а также диагонали в них.

Теодолитные ходы необходимо привязывать к пунктам государственной геодезической основы. Самый удобный случай привязки хода такой, когда теодолитный ход **п р и м ы к а е т с д в у х с т о р о н** к знакам геодезической опоры. В этих случаях привязка ограничивается измерением в каждой точке примыкания двух углов. Если обстоятельства позволят сделать привязку только в начале или в конце теодолитного хода, то такой ход будет **в и с ь а ч и м** и пользоваться им для дальнейших съемок можно только после контроля его.

§ 20. Закрепление точек на местности. Вешение линий

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

В р е м е н н ы е точки, потребные на короткий срок, закрепляют простейшим путем: в землю забивают деревянный кол длиной 30—40 см и толщиной около 5 см. Для более удобного (скорого) отыска-

ния этого колышка рядом с ним забивают сторожок, т. е. еще один кол так, чтобы он возвышался над поверхностью земли на 20 см. В городских условиях деревянные колышки заменяют гвоздями с широкими шляпками. Гвозди забивают в покрытие мостовых или тротуаров и отмечают их масляной краской.

Точки, которые устанавливают на более длительный период, закрепляют деревянными столбами с перекладинами внизу или металлическими стержнями. Вокруг столба делают канавку.

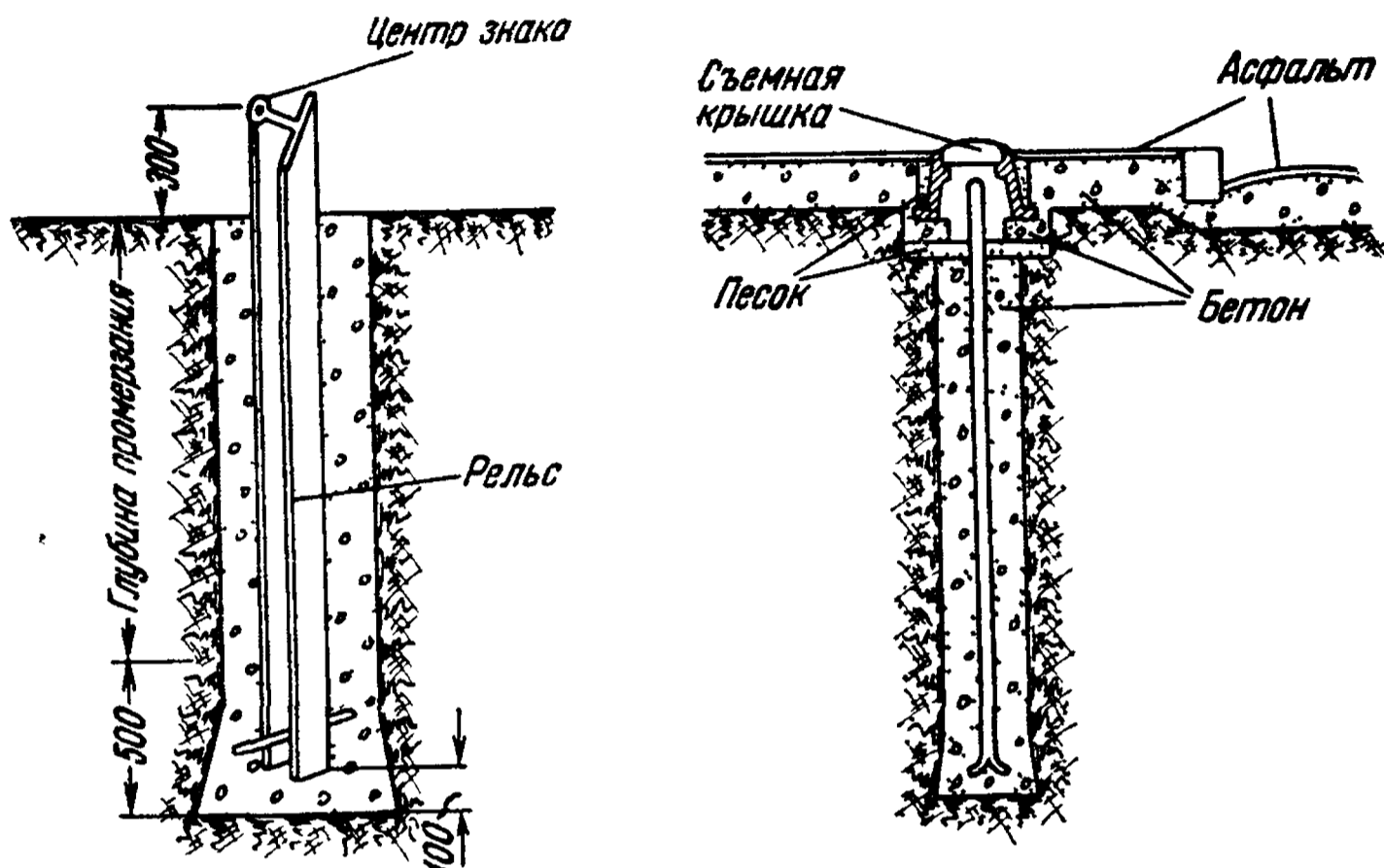


Рис. 10. Закрепление полигонометрических знаков

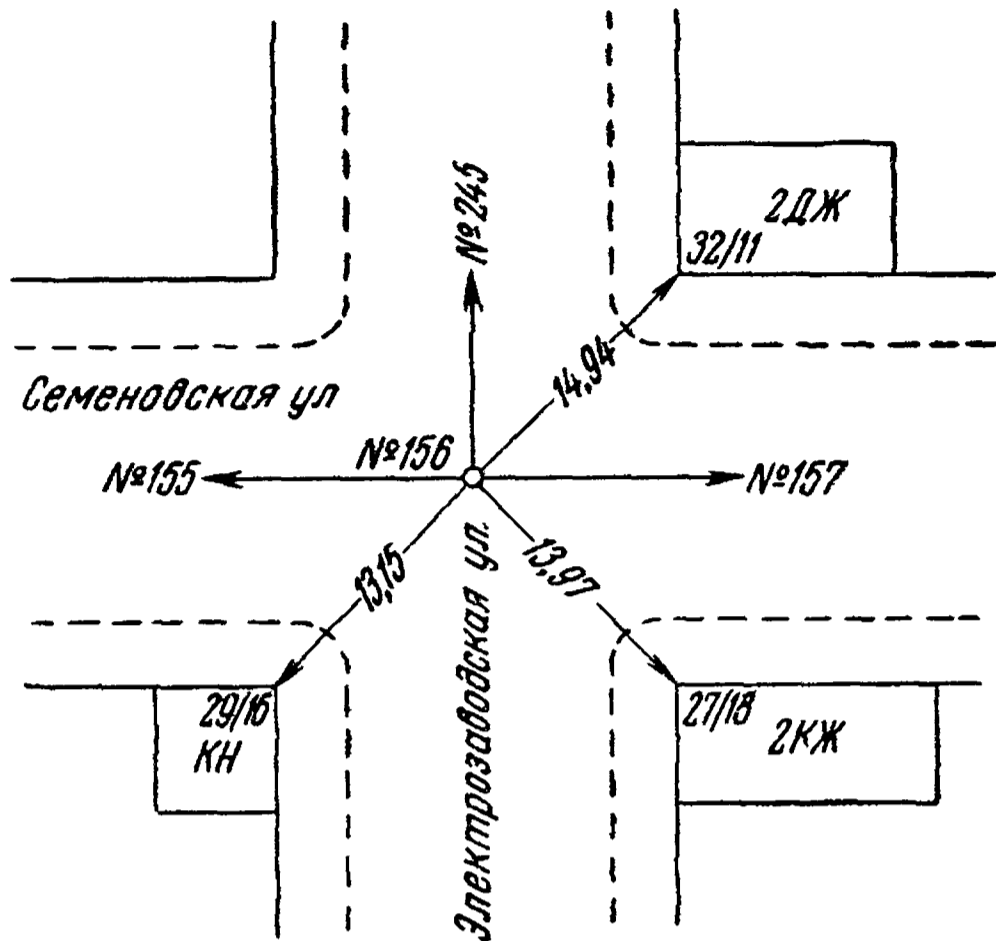
Знаки полигонометрии закрепляют металлическими штырями или отрезками рельсов в бетоне (рис. 10). В верхушках штырей просверливают центры и зачеканивают их медной проволокой. В условиях жилых кварталов используют также ободки смотровых колодцев подземных коммуникаций (водопровод, водосток, канализация и пр.), где для центра знака также высверливают отверстие и чеканят его медью.

Для облегчения отыскания геодезических знаков их привязывают к постоянным предметам местности (рис. 11). Как правило, в геодезических каталогах знаков сети приведены их адреса и привязки.

Для того чтобы геодезические знаки были видны издали с других точек, над ними в зависимости от назначения их и местных условий устанавливают постоянные или переносные сигналы надлежащей высоты. Постоянные сигналы или пирамиды устанавливают на опорных пунктах геодезических сетей (рис. 12).

В качестве переносного сигнала применяют марки на штативах и вежи — прямые ровные шесты высотой 2—3 м. Вежи устанавливают вертикально над центром знака. В подземных сооружениях, где точность геодезических работ повышенная, вместо вех применяют 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** линии. Например, линии всегда измеряют по их створам. Поэтому для измерения линий предварительно провешивают их, т. е. устанавливают в створе линий вежи, отвесы или специальные марки на штативах. В зависимости от требуемой точности вешение производят на глаз или инструментально, с помощью зрительной трубы.

Рис. 11. Привязка полигометрических знаков

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

При вешении зрительной трубой визирную ось трубы следует наводить на нижнюю видимую часть вежи или верхнюю часть нитей подвешенных отвесов. Вешение может быть выполнено и из середины линии методом постепенного приближения к створу.

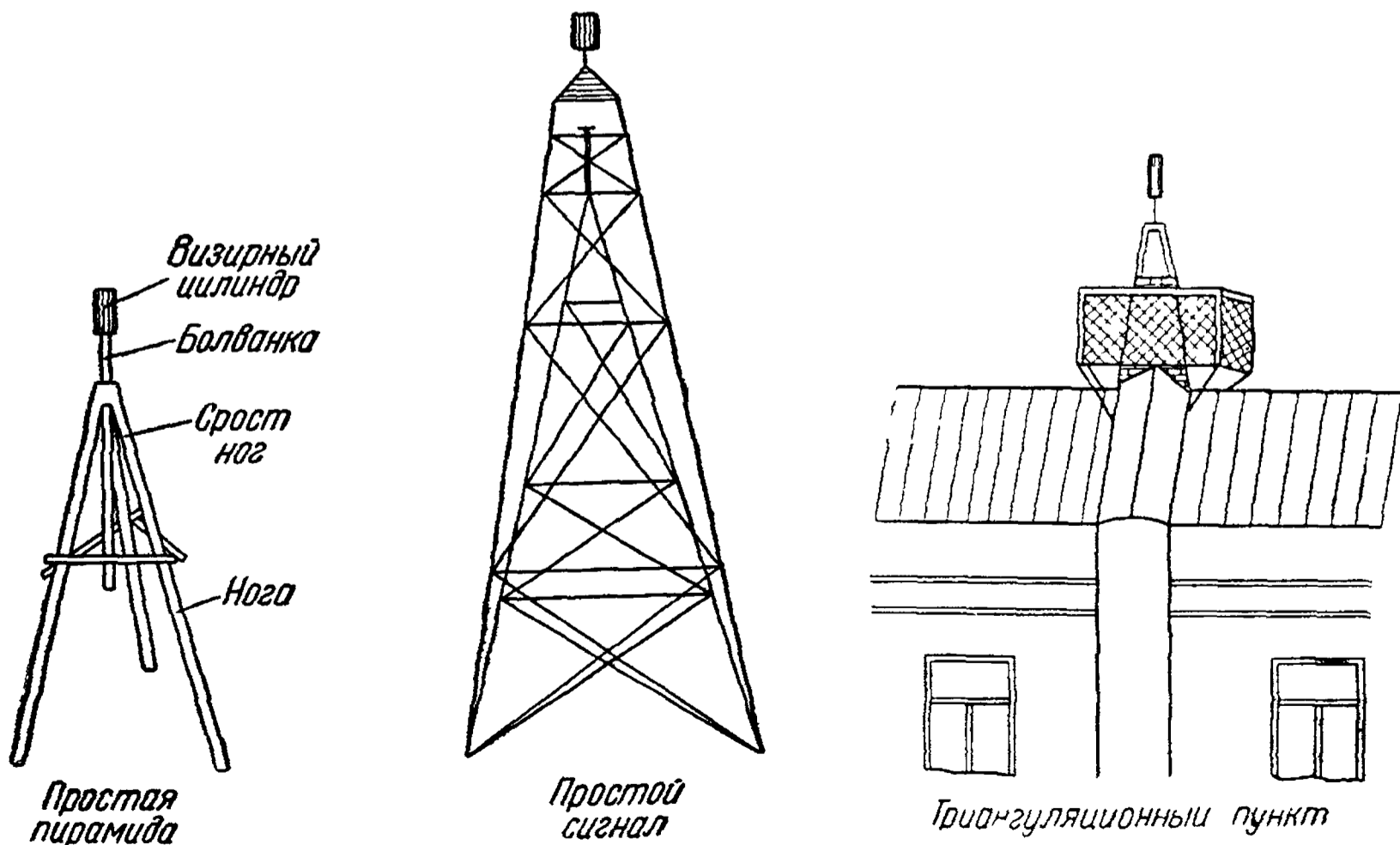


Рис. 12. Постоянные сигналы и пирамида

§ 21. Приборы для измерения линий

Для измерения линий применяют: 1) стальные ленты, 2) стальные рулетки и 3) стальные и инварные проволоки длиной 24 м.

Ленты имеют: метровые деления, закрепленные латунными бляшками с указанием на них количества метров; полуметры, отмеченные латунными заклепками, и дециметры, обозначенные круглыми отверстиями. Вблизи концов ленты нанесены штрихи и вделаны вырезы для пропуска шпилек (рис. 13, а). К концам ленты при-

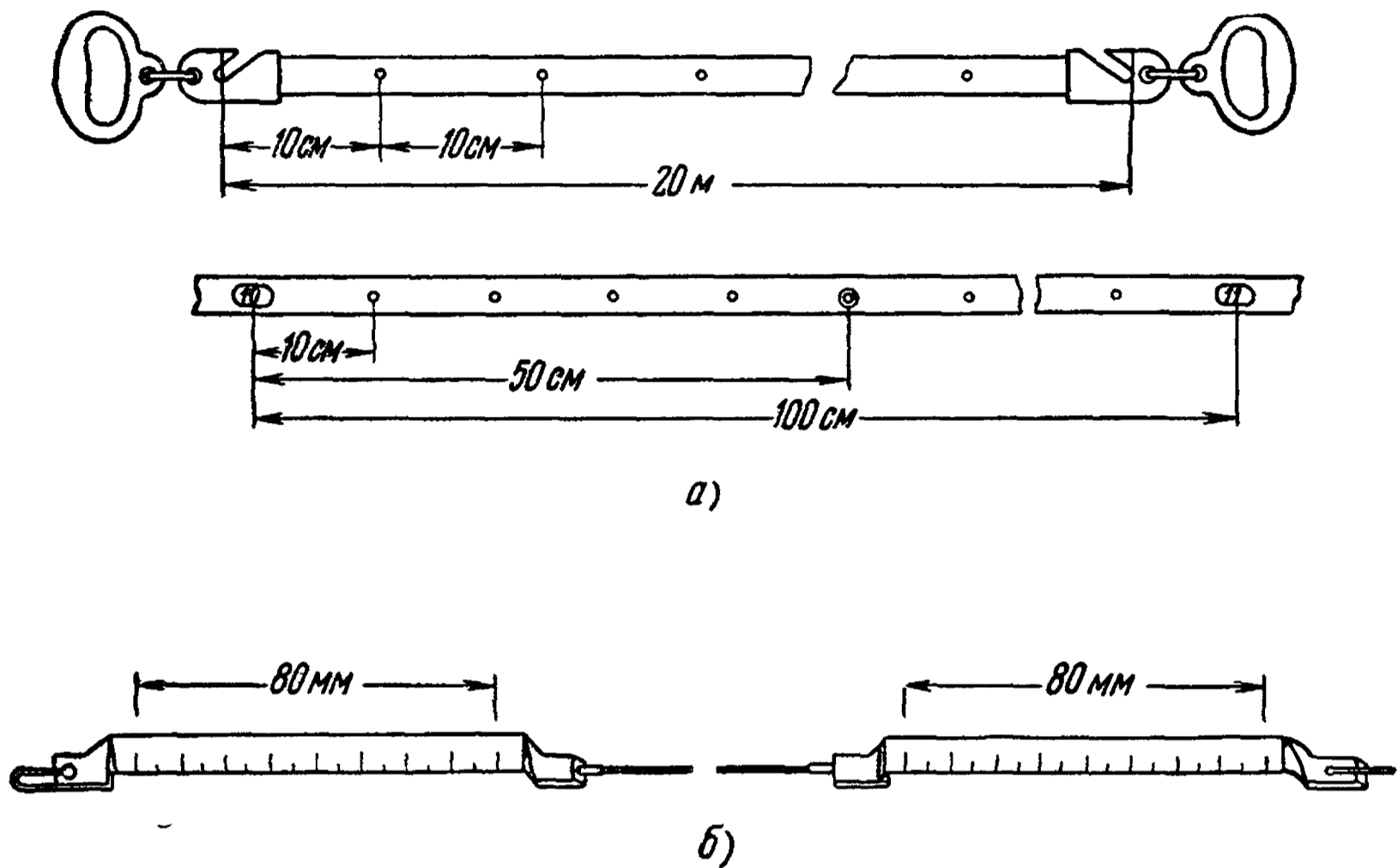


Рис. 13. Приборы для измерений линий:

а — лента, б — проволока

креплены ручки. Длиною ленты считается расстояние между ее конечными штрихами. Такая лента называется штриховой лентой. К ленте прилагаются 10 или 11 металлических шпилек. Ошибка измерения лентой не больше $\frac{1}{1000}$ длины линии.

На рулетках нанесены сантиметровые деления, отсчеты по которым производят до 0,1 см. Встречаются рулетки с миллиметровыми делениями, что дает возможность делать отсчеты до 0,1 мм. Все ленты и рулетки, предназначенные для геодезических измерений, имеют паспорта, в которых указываются их длины при определенной температуре.

Стальные и инварные мерные проволоки имеют на обоих концах металлические шкалы с миллиметровыми делениями. Длина шкал равна 80 мм (рис. 13, б). Каждый экземпляр проволоки имеет паспорт, в котором указана истинная длина проволоки между нулями шкал при температуре $+20^\circ$.

Все мерные приборы до начала и в процессе измерений должны сравниваться с эталонами длин на компараторах. По результатам определения разности длин рабочего и нормального (эталонного) приборов в паспорте указывается, какую следует вносить поправку в длину измеренных линий, чтобы устранить в измерениях погрешности за неточность того или иного прибора. Компарирование приборов по технической инструкции повторяется: для проволок — через каждые 15 дней, для рулеток — через каждые 2 месяца.

§ 22. Способы измерения линий. Допуски

Длина линий может быть измерена либо путем укладки мерного прибора по земле, либо измерениями «на весу». Измерение по земле дает менее точные результаты, чем измерение «на весу». При изысканиях и 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.

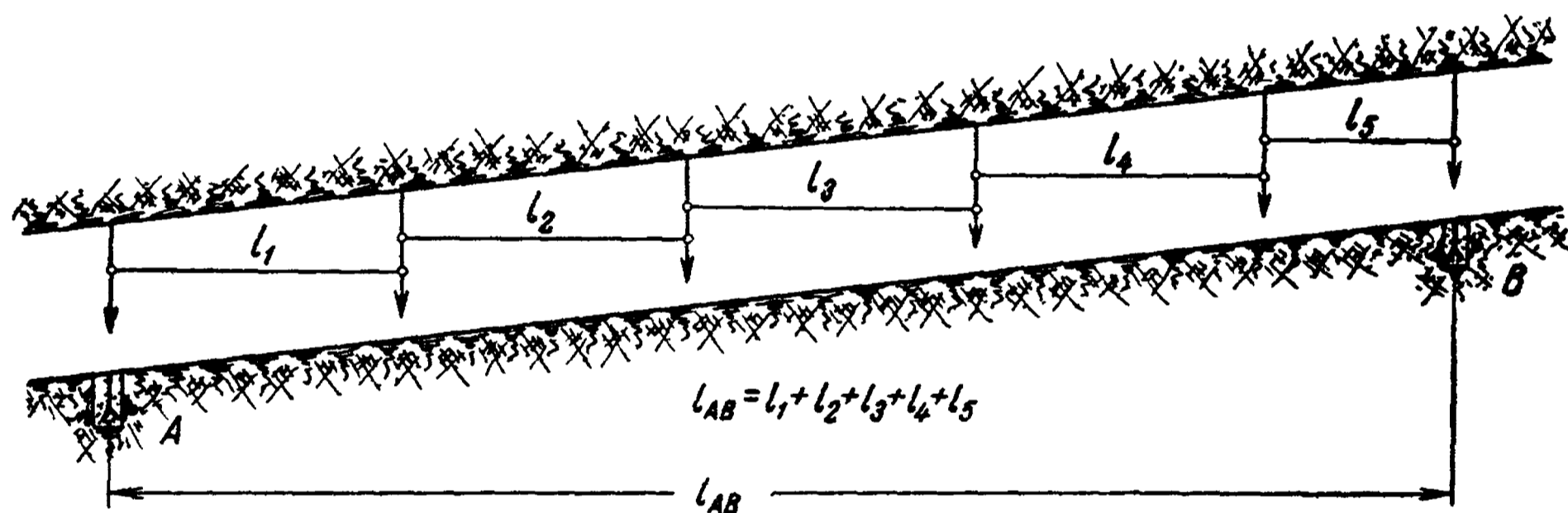


Рис. 14. Измерение линии отрезками по отвесам

При точных наземных и подземных геодезических измерениях линии измеряют «на весу» 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 стальной рулетки (рис. 14). Одновременно с вешением на нитях отвесов на уровне, удобном для производства измерений, отмечают узелками горизонты, общие для каждой пары отвесов. Для линейных измерений, проводимых в подземных условиях, применяют стальные проволоки и рулетки, длины которых могут быть 20, 24, 25, 48 и 50 м. В комплект приборов, необходимых для измерения линий проволокой по штативам, входят: 1) измерительная проволока

(комплект), 2) облегченные штативы с закрепленными на них целиками, имеющими крестообразные насечки, 3) два блок-штатива (станка), два груза по 10 кг и тросик для натяжения измерительного прибора, 4) 24-метровый стальной гибкий тросик для расстановки штативов, 5) стальная рулетка и держатель для нее, 6) пращ-термометр для измерения температуры.

Пользуясь теодолитом, по створу линии расставляют штативы, намечая места их установки при помощи тросика (рис. 15).

После установки штативов выполняют нивелирование их целиков. Далее к концам проволоки прикрепляют тросики и, пропустив их через блоки натяжных штативов, подвешивают грузы. Уравновешивают грузы так, чтобы середины шкал примерно находились над целиками смежных штативов.

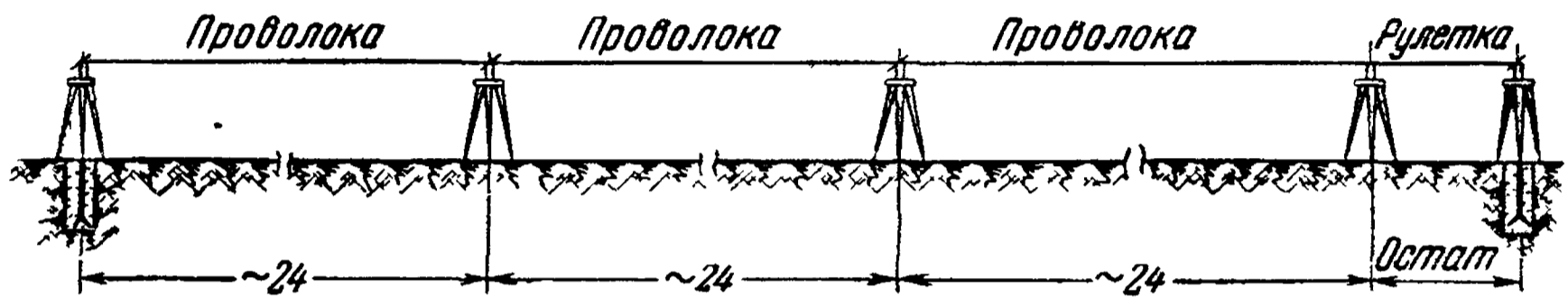


Рис. 15. Схема измерения линий «на весу» по штативам

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

Длина измеряемого отрезка (пролета) равняется постоянной длине проволоки, сложенной с разностью отсчетов по шкалам (передний минус задний). Неполные пролеты измеряют стальной рулеткой. При измерении записывают температуру воздуха с точностью $\pm 0,5^\circ$.

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.

§ 23. Теодолиты. Отсчетные приспособления

Линии местности изображаются на геодезических планах их проекциями на горизонтальную плоскость.

Следовательно, углы между ними на планах также будут изображаться проекциями углов на горизонтальную плоскость. В натуре концы отрезков могут находиться на разных уровнях (рис. 16). Поэтому угол между двумя линиями AB и AC на местности при изображении его на плане должен быть заменен углом между горизонтальными проекциями этих линий ab и ac . Этот угол равен линейному углу двухгранного угла, образованного вертикальными плоскостями, проведенными через стороны AB и AC . Заметим, что этот

линейный угол может быть измерен в любой точке вертикальной линии Aa (ребро двухгранного угла).

Для измерения горизонтального угла на местности надо иметь разделенный на градусы или грады круг (рис. 17), центр которого следует установить над вершиной угла, а плоскость — горизонтально. Такой круг называют **ли м б о м**.

Кроме лимба, в угломерном инструменте должна быть подвижная плоскость, перпендикулярная плоскости лимба и вращающаяся

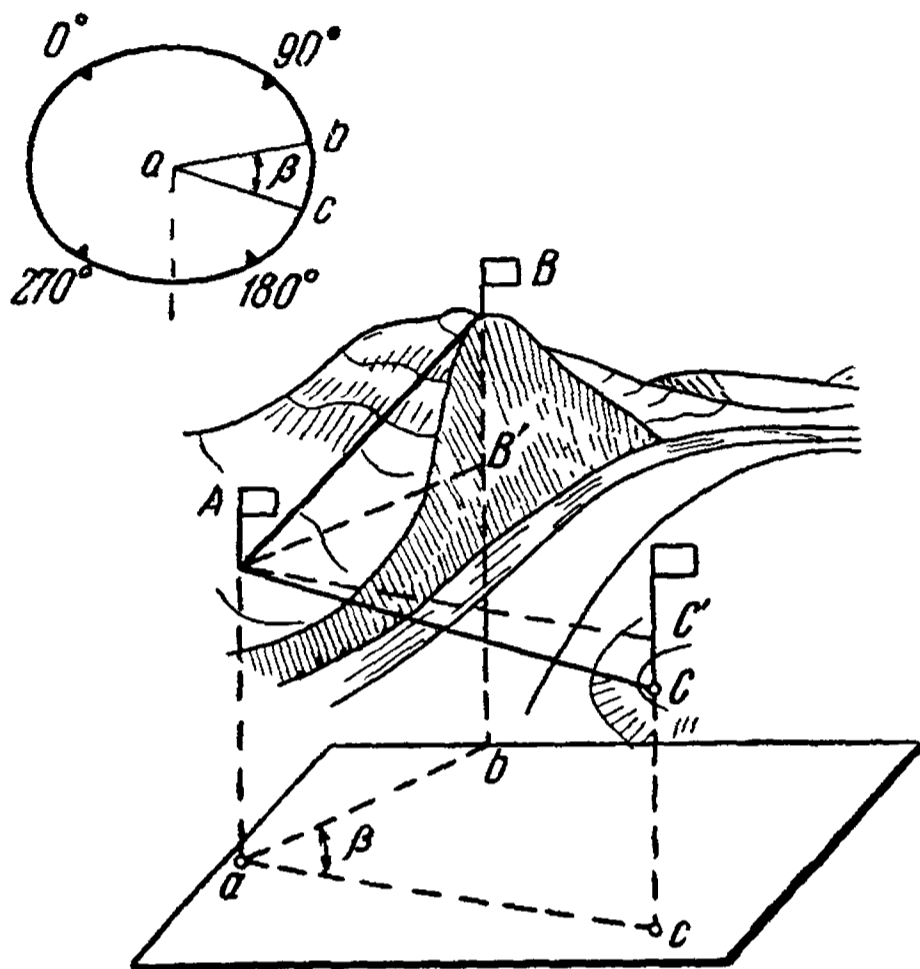


Рис. 16. Схема измерения угла в натуре

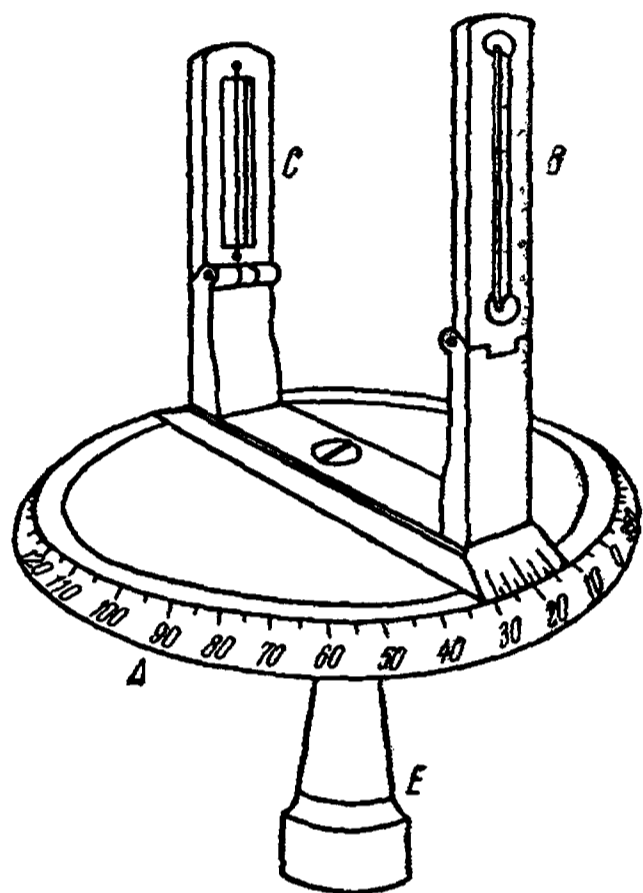


Рис. 17. Простейший угломер
А — лимб, В и С — визирное приспособление

вокруг отвесной линии, проходящей через его центр. На этой подвижной плоскости, называемой **алидадой**, устроено визирное приспособление, а также штрих или верньер, или другое устройство для отсчетов по лимбу.

Современные угломерные геодезические приборы, отвечающие перечисленным выше условиям, называются **теодолитами**.

На рис. 18 изображен распространенный тип теодолита-тахеометра (ТТ). Для приведения его лимба 3 в горизонтальное положение теодолит снабжен установочными уровнями 7 . Отсчеты по лимбу производят при помощи укрепленных на алидаде двух верньеров 5 и луп 6 . Лимб сделан подвижным относительно оси вращения, что дает возможность измерять углы способом повторений. Такой теодолит называют **повторительным**. Алидада 4 имеет закрепительный 14 и наводящий 15 винты для точного наведения на визирные сигналы.

На алидадном круге установлены **подставки** 8 , на которых укреплена визирная труба с вертикальным кругом 9 . На алидаде

вертикального круга имеются два *верньера* *10*. Теодолит собран на металлической подставке *1* с тремя подъемными винтами *2*. Некоторые теодолиты снабжены *буссолью* *11*.

При измерениях теодолит устанавливают на штативе *12*, на котором его закрепляют *становым винтом* *13* с пружиной.

На рис. 18 показан теодолит-тахеометр (ТТ) с открытым лимбом и вертикальным кругом выпуска прежних лет. В полевых условиях, а также при работе в подземных выработках оказалось необходимым защищать ответственные детали теодолитов от вредных влияний среды (пыль, влага), а также улучшить портативность инструмента в целом. Поэтому теодолиты современных выпусков, описываемые в конце этого параграфа, имеют, как правило, закрытые лимбы, а также значительно уменьшенные габариты и вес.

На горизонтальном и вертикальном лимбах теодолитов через определенные интервалы наносят штрихи. Так, на рис. 19, *а* штрихи нанесены соответственно через 1° , $30'$ и $20'$. Подписи штрихов на лимбах делают через каждые 10° по ходу часовой стрелки. Величину дуги лимба, заключающуюся между двумя соседними штрихами и выраженную в градусной или градусовой мере, называют *ценой деления лимба*.

Верньер — это особая шкала по алидаде, которая помогает определять величину неполного деления лимба. Идея *верньера* заключается в следующем: дугу *АВ* (рис. 19, *б*), соответствующую нечетному $(n-1)$ числу делений лимба, разбивают на *верньере* на *n* делений.

Обозначив цену деления лимба через λ , а алидады — через μ , напишем равенство

$$\lambda(n-1) = \mu \cdot n,$$

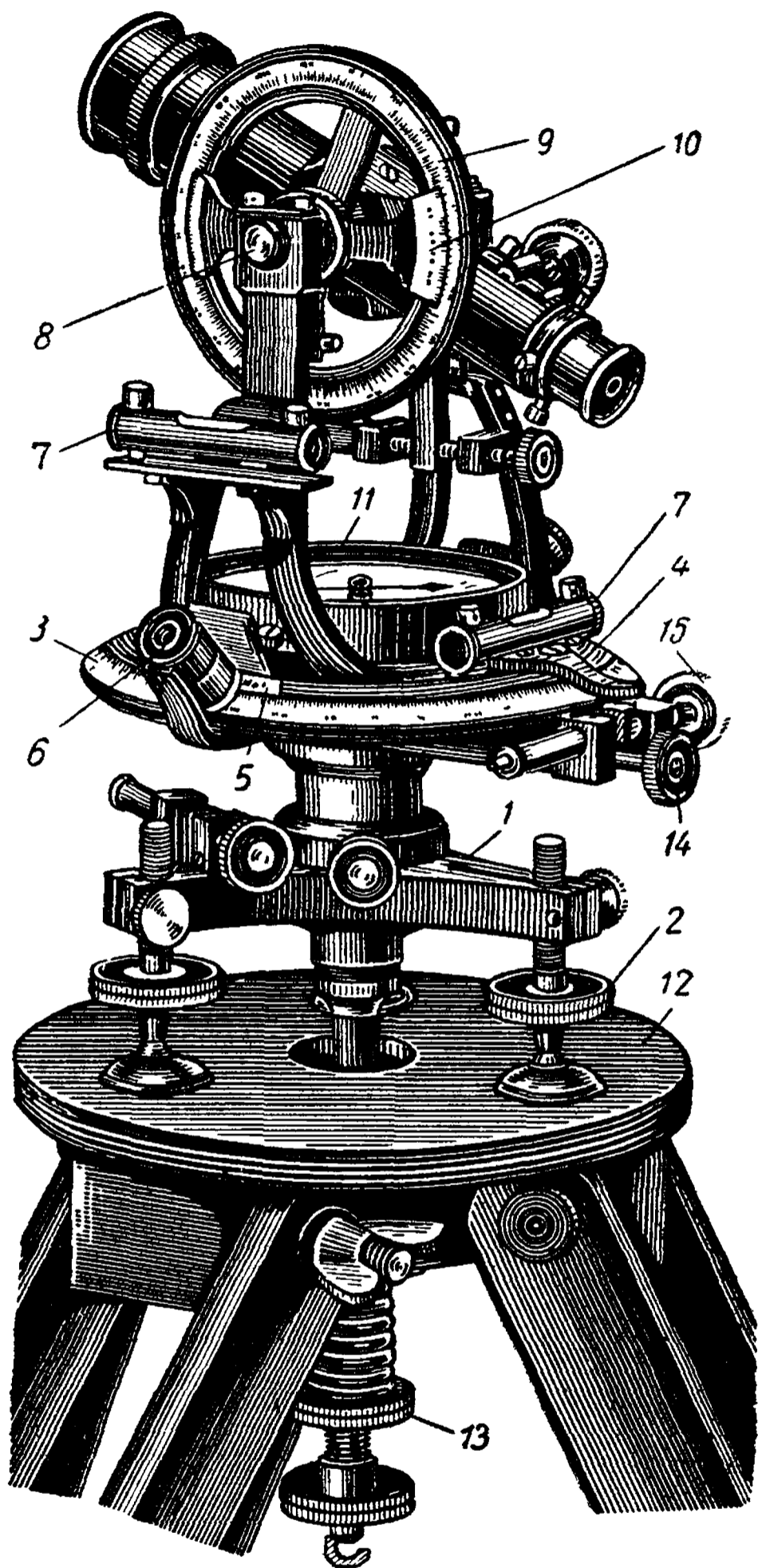


Рис. 18. Теодолит 30''

которое после преобразования

$$\lambda \cdot n - \lambda = \mu \cdot n$$

примет вид

$$n(\lambda - \mu) = \lambda.$$

Обозначим разность $\lambda - \mu$ через t . Тогда $t = \frac{\lambda}{n}$. Это выражение читается так: точность верньера равна цене деления лимба (в минутах), деленной на число делений верньера.

Для приведенного на рис. 19, в случае $\lambda = 30'$, $n = 30$ делениям, $t = 1'$. Ниже, на том же рисунке, $\lambda = 20'$, $n = 40$ делениям, $t = 30''$.

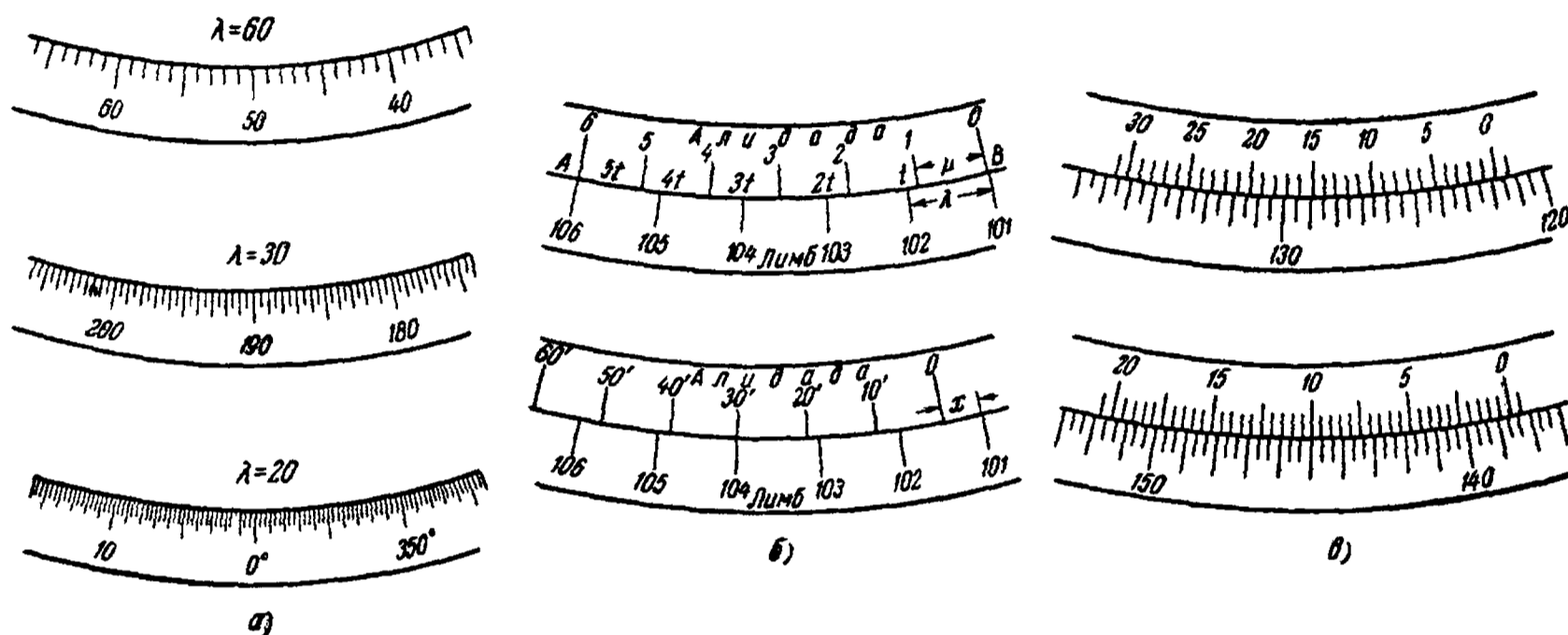


Рис. 19. Отсчеты по лимбам теодолитов:

а — градуировка, б — теория верньера 1' и 30'', в — отсчеты по верньерам

Отсчеты целых делений производят по лимбу. Оценку же величины неполного деления лимба производят по верньеру, считая от нуля до совпавшего штриха. На рис. 19, в приведены два примера на отсчитывание:

Отсчет по лимбу $121^\circ 30'$	Отсчет по лимбу $138^\circ 20'$
по верньеру $14'$	по верньеру $10'$
Общий отсчет $121^\circ 44'$	Общий отсчет $138^\circ 30'$

Каждый верньер снабжен лупой. При отсчитывании по верньеру лупу можно подвинуть так, чтобы центр ее находился над совмещающимися штрихами. Лупа может быть вдвинута или выдвинута в кольцо держателя для установки по глазу. Отсчеты берут по обоим верньерам.

Зрительная труба (рис. 20) представляет собой соединение двух оптических систем: объектива и окуляра. Увеличение зрительных труб теодолитов равно $18-25^{\times}$.

Зрительная труба теодолита может вращаться вокруг своей оси. В фокальной части трубы на диафрагме закреплена сетка нитей,

передвигаемая юстировочными винтами, которые защищены навинчивающимся кожухом. Простейший вид сетки нитей представляет две взаимно перпендикулярные линии. Имеются сетки более сложного устройства. Тогда крайние (верхняя и нижняя) горизонтальные нити являются дальними, а сдвоенные вертикальные нити называют биссектором нитей.

Зрительные трубы современных теодолитов имеют внутреннюю фокусировку. Если при перемещении глаза относительно окуляра кажется, что сетка нитей передвигается по изображению предмета, то это явление, называемое параллаксом сетки нитей, устраняют небольшим изменением фокусировки. Для установки сетки нитей на резкость следует вращать кольцо окуляра.

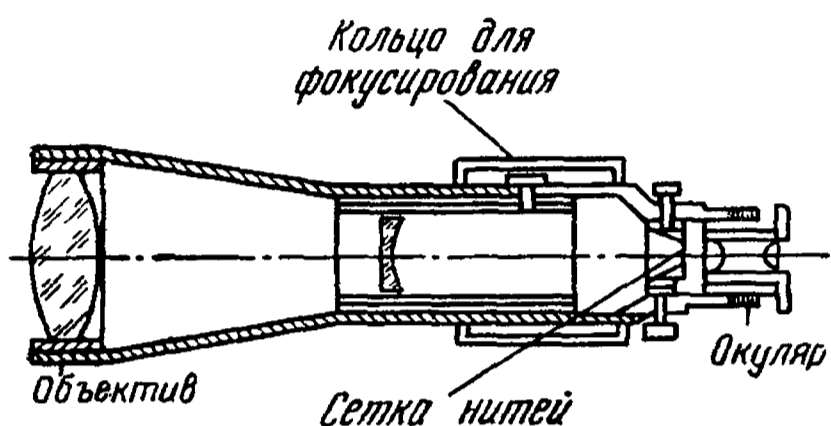


Рис. 20. Оптическая труба с внутренней фокусировкой



Рис. 21. Уровень для геодезических инструментов

Точка пересечения сетки нитей и оптический центр объектива определяют положение визирной оси в зрительной трубе.

Пространство, которое видно в трубу при неподвижном ее положении, называют полем зрения трубы.

Уровни в теодолите служат для приведения осей и плоскостей его в горизонтальное или вертикальное положение. Уровень является одной из основных частей инструмента. Он состоит из стеклянной цилиндрической ампулы, заключенной в оправу, которая снабжена исправительными винтами. Внутренняя поверхность ампулы отшлифована по радиусу (от 3,5 до 200 м). Уровни с большим радиусом более точны.

Ампулу заполняют серным эфиром в горячем состоянии и запаивают. После охлаждения ампулы образуется свободное пространство, заполненное парами эфира, которое называют пузырьком уровня. Этот пузырек занимает верхнюю часть ампулы. На ней нанесены через 2 мм штрихи от середины симметрично в обе стороны (рис. 21).

Ось уровня называют касательную к средней точке кривой уровня. Если концы пузырька расположены симметрично относительно делений, то ось уровня занимает горизонтальное положение.

Угол, на который изменяется наклон оси уровня при перемещении его пузырька на одно деление, называют ценой деления уровня. В обычных теодолитах цена деления уровня равна 30—60''.

В некоторых инструментах для предварительной их установки применяют круглые уровни, цена делений которых больше 5'.

Для геодезических измерений применяют теодолиты разных типов, однако все они могут быть разделены на две группы:

1. Теодолиты-тахеометры (ТТ) с металлическими лимбами, предназначенные для производства съемок и разбивок в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в горной промышленности, в тоннелестроении и т. п. Такие теодолиты имеют массовое распространение. Точность их составляет $10'' - 1'$.

К этой группе относятся ранее выпускавшиеся теодолиты ТТ-2, ТТ-50 и современный ТТ-5 с его модификациями ТТП и ТН.

2. Оптические теодолиты (ОТ) со стеклянными лимбами, предназначенные для работ по созданию опорной сети: триангуляции и полигонометрии. Оптические микрометры и шкаловые микроскопы таких теодолитов позволяют отсчитывать по лимбу с точностью, характеризуемой ошибками $\pm 1 - 6''$. К этой группе относятся теодолиты типа ОТШ, ТБ-1 (средние), ОТ-02 (большие) и др. Теодолиты этой группы снабжены оптическими центрирами. В настоящее время ведутся работы по организации выпуска оптических теодолитов технической точности ($10 - 30''$), которые должны быть более совершенными, чем теодолиты с металлическими кругами, и удовлетворять требованиям ГОСТа 10529-63.

§ 24. Поверки и юстировки теодолитов

В теодолитах основные оси и плоскости должны находиться в определенной взаимосвязи; так, например, плоскость лимба должна быть перпендикулярна к оси вращения инструмента, т. е. должна быть при измерении угла горизонтальной; визирная ось трубы должна быть перпендикулярной к оси вращения трубы, которая при измерении угла должна оставаться горизонтальной.

Соблюдение в теодолитах этих условий необходимо систематически проверять, так как они могут нарушиться при перевозках и даже при переноске теодолита.

Ниже приводится описание четырех основных проверок теодолитов и способов их юстировки.

1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения инструмента. Устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов. Вращая подъемные винты в противоположные стороны, приводят пузырек уровня на середину. Сделав отсчет по одному из верньеров, поворачивают алидаду на 180° . Если пузырек уровня не сошел с середины, то условие считают выполненным. При отклонении пузырька уровня от середины более чем на одно деление необходимо отъюстировать (исправить) уровень. Для этого подъемными винтами смещают пузырек уровня на половину его отклонения, а затем исправительными винтами уровня приводят пузырек на середину.

Таким же образом поверяют и юстируют второй цилиндрический уровень, расположенный также на алидаде, но под прямым углом к первому.

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

Устанавливают теодолит на штативе и приводят его ось вращения в вертикальное положение. Затем наводят трубу на отдаленный, но ясно видимый предмет. Делают отсчеты минут и секунд по двум верньерам и вычисляют из них среднее арифметическое M_1 . Затем переводят трубу через зенит, снова визируют на тот же предмет, делают отсчеты по двум верньерам и также находят среднее арифметическое M_2 . Если $M_1 = M_2$, то условие соблюдено. Если же $M_1 \neq M_2$, то условие не выполнено. Для исправления вычисляют средний отсчет $M_{\text{ср}} = \frac{M_1 + M_2}{2}$, на который устанавливают алидаду при помощи микрометрического винта, а затем при помощи боковых исправительных винтов передвигают сетку нитей до совмещения креста нитей с предметом.

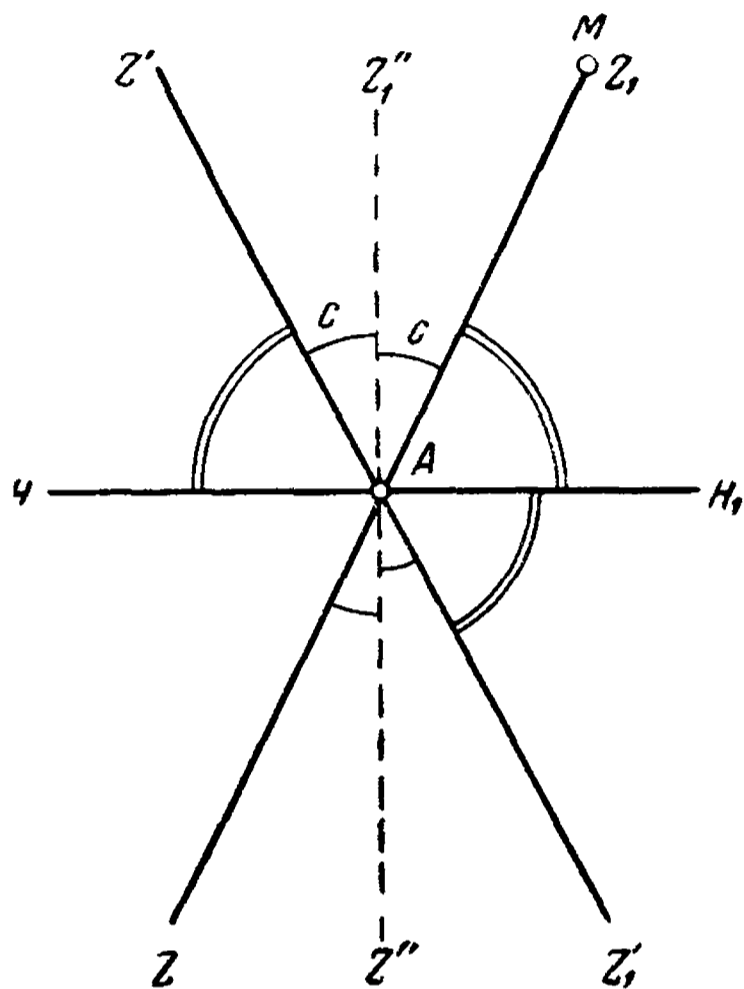


Рис. 22. Схема определения коллимационной ошибки

Справедливость этой проверки и юстировки можно понять при рассмотрении рис. 22. Пусть при первом наведении на точку M визирная ось занимала положение zz_1 , которое с нормальным положением оси составляло угол c . При переводе трубы через зенит и повороте алидады на 180° визирная ось займет положение $z_1'z'$, т. е. визирная ось отклонится от своего нормального положения на тот же угол c , но в противоположную сторону.

Угол c называют коллимационной ошибкой трубы.

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.

Устанавливают теодолит вблизи высокого предмета и приводят его по уровням в исходное положение. Визируют на некоторую верхнюю точку M (рис. 23), а затем, опустив трубу, намечают 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 и затем исправительным винтом одной из подставок трубы добиваются того, чтобы точка пересечения нитей совпала с точкой O . В некоторых типах теодолитов перпендикулярность оси вращения трубы к основной оси инструмента гарантирует завод, поэтому винтов для юстировки оси на подставках трубы нет.

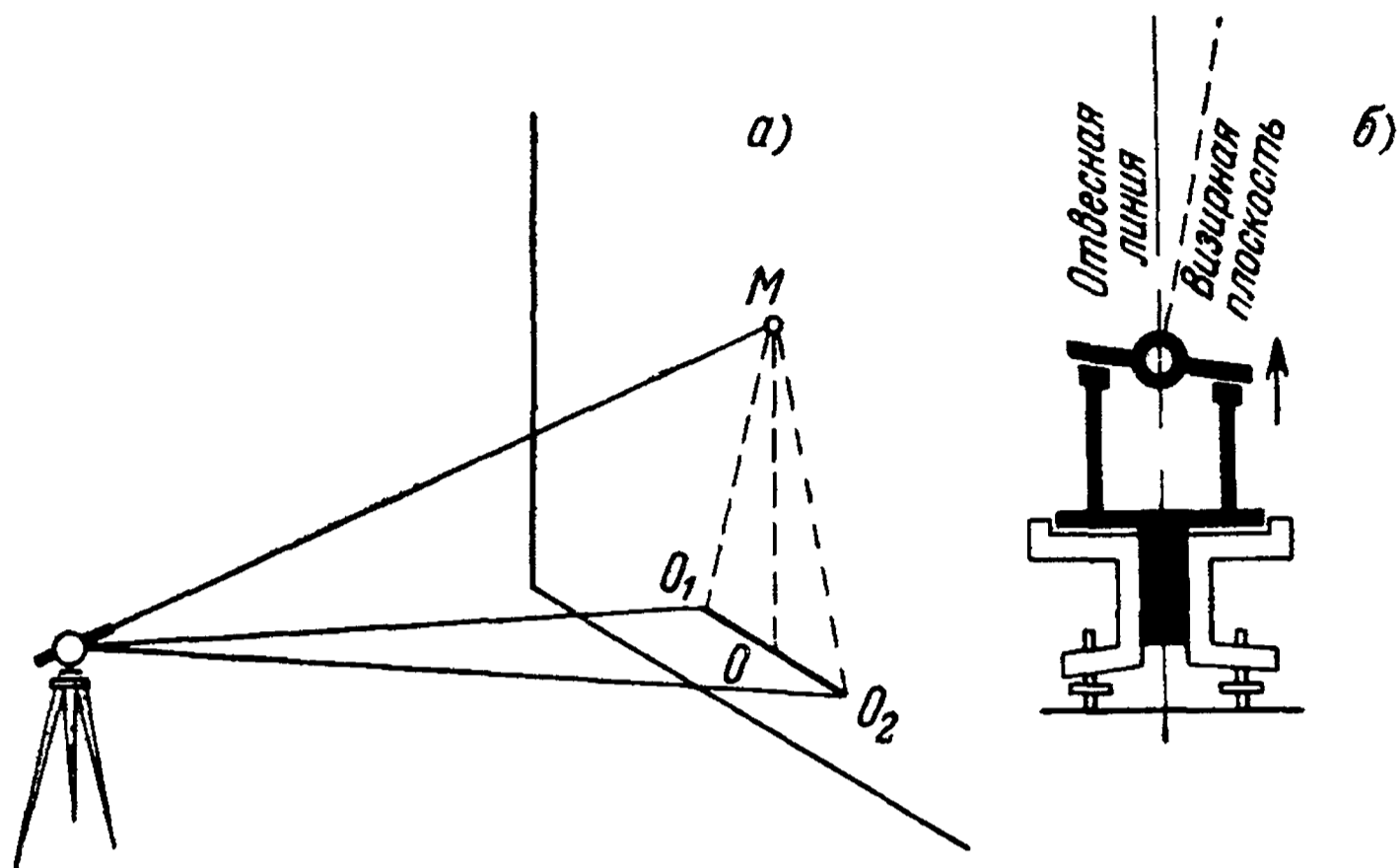


Рис. 23. Юстирование визирной плоскости теодолита

4. Средняя вертикальная нить сетки должна быть вертикальной.

Это условие проверяют наведением визирной оси на нить свободно висящего отвеса. В случае перекоса нити сетки ослабляют исправительные винты ее и слегка поворачивают сетку до слияния средней нити с нитью отвеса.

§ 25. Установка и центрирование теодолитов

При измерении углов теодолиты устанавливают на штативе, следя за тем, чтобы подъемные винты занимали на подставке среднее положение. Пружину станкового винта не закручивают до отказа.

При съемках местности и на изысканиях теодолиты центрируют над знаком с помощью шнурового отвеса, подвешенного на крючок станкового винта. Точность такого центрирования $0,5-1,0$ см.

На основных работах и при измерениях в подземных условиях теодолиты чаще всего центрируют с помощью оптического центрира.

В подземных условиях для установки теодолитов применяют разного рода приспособления: консоли, полки и пр. (рис. 24).

Инструкцией по геодезическо-маркшейдерским работам предусмотрена точность центрирования оптических теодолитов в пределах $\pm 0,5$ мм. Получить заданную точность можно при условии, что оптический центрир выверен и отъюстирован. Есть два способа проверки оптических центриров.

Первый способ. Теодолит устанавливают в помещении с земляным или цементным полом, на котором по визирной оси укрепляют булавку в 2—3 м от инструмента. Затем переводят трубу через зенит и закрепляют вторую булавку на таком же расстоянии. Далее, повернув алидаду примерно на 60° , выставляют вторую пару булавок. То же повторяют после поворота алидады еще на 60° . Каждую пару булавок соединяют тонкой нитью. Все три нити должны пересекаться в одной точке, а центр оптического центрира должен проектироваться на пересечении нитей. В случае несовпадения пересечения нитей с центром юстируют центрир, т. е. исправительными винтами микроскопа наводят центр оптического центрира на точку пересечения нитей.

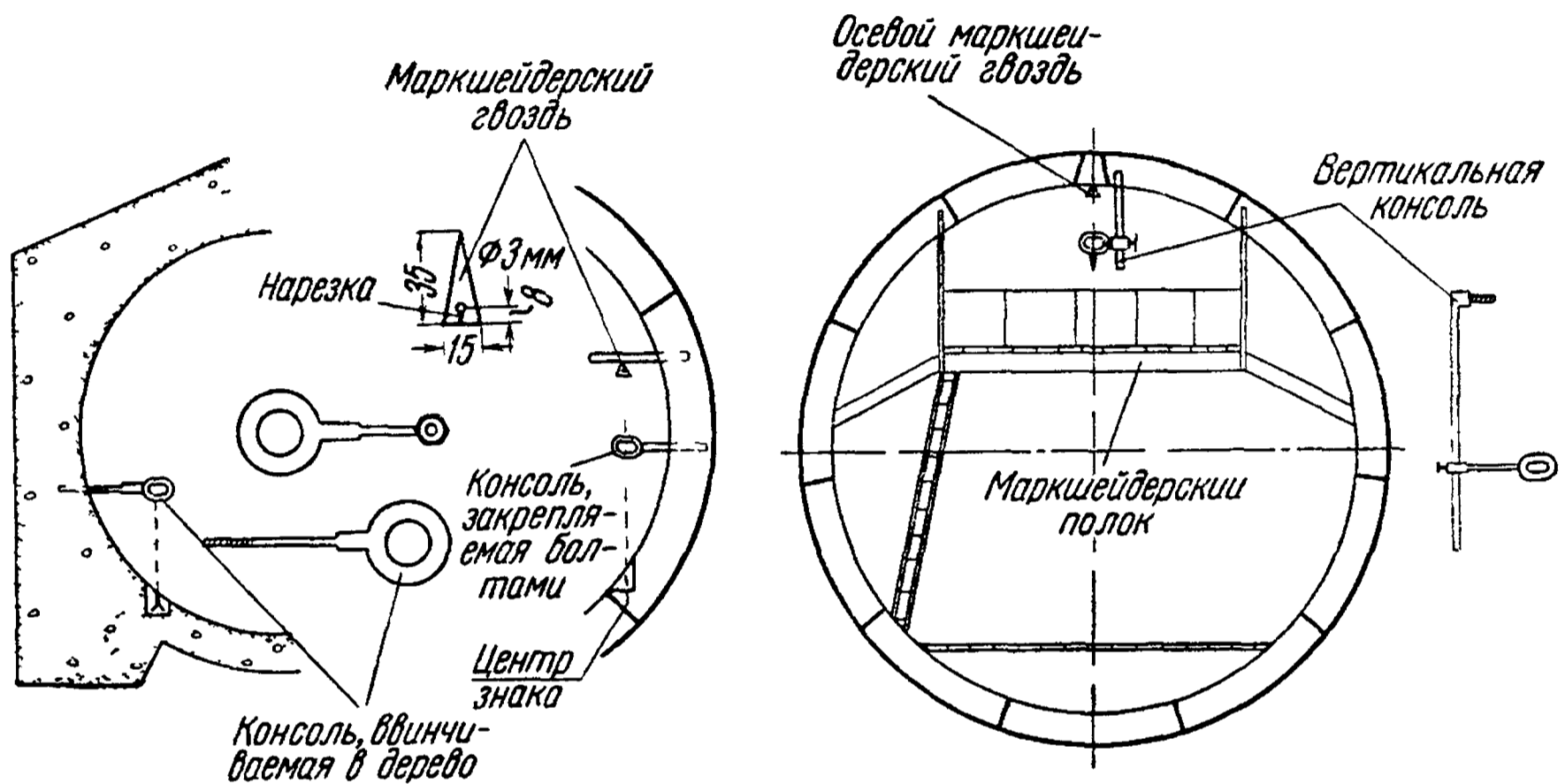


Рис. 24. Консоли, полки и прочие приспособления в тоннелях

Второй способ. В помещении на каменную тумбу или на широкий подоконник укладывают боком теодолит так, чтобы подставка его могла свободно вращаться.

На стене в 3—4 м от инструмента отмечают точку по визирному лучу центрира. Затем поворачивают подставку с окуляром центрира примерно на 120° и делают вторую отметку и далее через 120° — третью. Если отмеченные точки не совпадут, следует соединить их линиями и в центре полученного треугольника наметить точку, на которую исправительными винтами микроскопа навести центр его.

При измерении углов обычными теодолитами выдержать точность центрирования в пределах $\pm 0,5$ мм можно, только соблюдая следующие условия:

а) центрировка теодолита должна производиться «сверху», а не по крючку станкового винта;

б) шнуровые отвесы должны быть проверены на вертикальность.

Некоторые теодолиты имеют на зрительной трубе заводскую маркировку центра, которой пользуются для центрирования сверху при горизонтальном положении трубы. В тех случаях, когда теодо-

лит не имеет такого центра, необходимо выполнить маркировку его своими силами.

Выверка шнуровых отвесов на вертикальность имеет особое значение. Бывают случаи, когда острие отвеса отклоняется от нити подвески на 1—2 мм и более. Для проверки шнурового отвеса подвешивают его на высоту до 2 м. Затем по двум взаимно перпендикулярным направлениям устанавливают два выверенных теодолита. Каждый из теодолитов наводят на нить отвеса в месте подвески и затем визируют на острие отвеса. При несовпадении сноски отвес бракуют.

Шнуровые отвесы имеют несколько разновидностей:

1. Теодолитные отвесы, которые заводы прилагают к инструментам. Противовесами этих отвесов пользоваться нельзя, так как вся система не обеспечивает требуемой вертикальности.

2. Отвесы с выдвижной иглой. Вращением корпуса отвеса можно выдвинуть иглу, что значительно сокращает время на регулирование длины нити отвеса.

3. Отвесы с блоками для нитей, вмонтированными в корпус отвеса. Трение (или пружина) блоков уравнивает вес отвеса. Это позволяет, не снимая нити с точки подвеса, регулировать ее длину,

§ 26. Способы измерения горизонтальных углов

При угломерных работах получают либо левые, либо правые по ходу углы в зависимости от задания (рис. 25). Для получения правого угла следует из отсчета на заднюю точку вычесть отсчет на переднюю, если же вычесть из отсчета на переднюю точку отсчет на заднюю, получим левый по ходу угол.

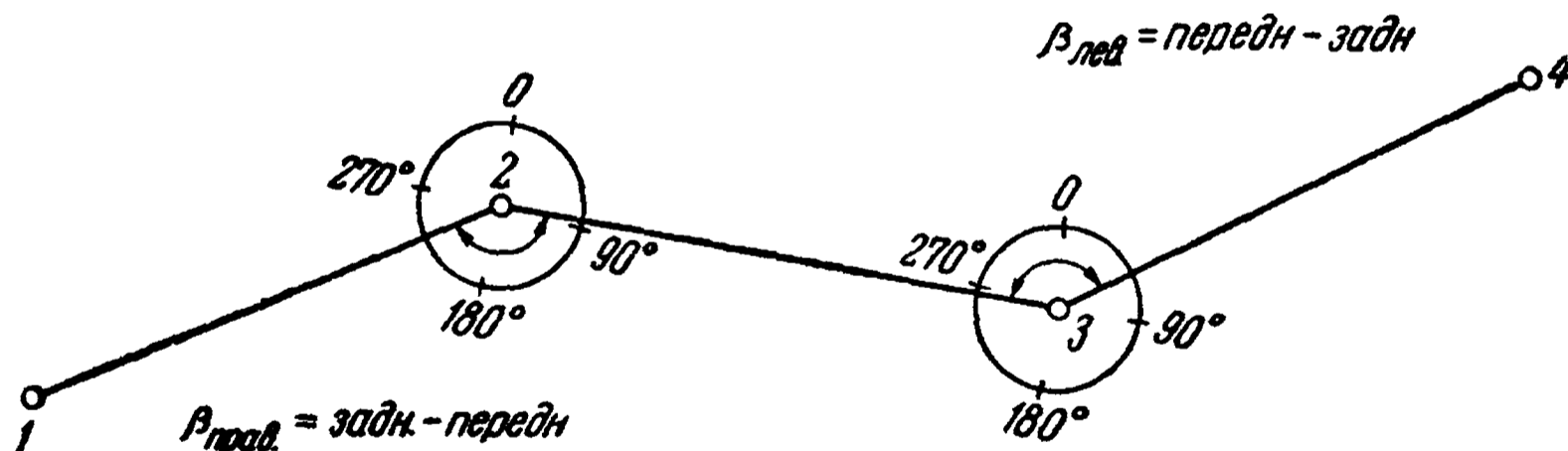


Рис. 25. Вычисление левых и правых по ходу углов

На основных работах применяются два способа измерения углов: способ приемов и способ повторений. Общим для обоих способов является то, что каждый прием состоит из двух полуприемов: а) первое измерение (I полуприем) проводят при круге право (КП), б) второе (II полуприем) — при круге лево (КЛ), считая от окуляра.

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

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

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

Как уже указывалось в § 19, при теодолитной съемке и изысканиях углы измеряют одним приемом, смещая лимб после первого полуприема примерно на 90°.

Если на данном пункте требуется измерить углы между несколькими направлениями (пунктами), то применяют способ круговых приемов. Сущность способа состоит в следующем: установив теодолит над знаком, выбирают за начальное направление на один из пунктов и визируют на установленный над ним сигнал. Записывают отсчеты и, вращая алидаду по ходу часовой стрелки, наблюдают последовательно на все направления. Завершают наблюдения снова отсчетом на начальное направление. Повторный отсчет (замыкание) дает возможность убедиться, что в процессе последовательных наблюдений лимб оставался неподвижным. Такой способ текущего контроля называют замыканием.

Второй полуприем начинают при другом круге с того же исходного направления, но алидаду вращают против хода часовой стрелки, т. е. наблюдения производят в обратном порядке. Таким путем стремятся ослабить влияние на результаты измерений трения осей лимба и алидады, которое проявляется в том, что при вращении алидады последняя увлекает за собой лимб.

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

Журнал измерения углов способом круговых приемов имеет такую форму (табл. 1).

Таблица 1

№ станций	№ визирных точек	Отсчеты по горизонтальному кругу						Среднее из отсчетов			Направления			Примечания
		КП			КЛ			°	'	"	°	'	"	
		°	'	"	°	'	"							
8	9	00	54	18	180	54	47	00	54	ср 30 32	00	0	0	
	1	72	19	25	252	19	51	72	19	38	71	25	08	
	13	94	46	01	274	46	29	94	46	15	93	51	45	
	7	189	13	32	9	13	58	189	13	45	188	19	15	
	9	00	54	12	180	54	43	00	54	28				

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

Для теодолитов ТТ можно значительно повысить точность окончательного результата, измеряя углы способом повторений, так как при этом уменьшатся ошибки отсчетов.

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 при наведении на задний предмет, то искомый угол β получим по формуле

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

Угол измеряют в следующем порядке: закрепляют алидаду на делениях, близких к нулю, и, открепив лимб, наводят трубу теодолита на передний геодезический знак, после чего закрепляют лимб и делают отсчет A . Далее, вращая алидаду, визируют на задний сигнал и производят отсчет B_1 , необходимый для контроля окончательного значения измеряемого угла, при этом на лимбе отложили 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 в третий раз 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. Тогда величина угла

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

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

Результаты записывают в журнал (табл. 2).

Измерение угла по способу повторений требует большого внимания исполнителя. Возможны случаи, когда при повороте лимба или при вращении алидады для визирования на сигнал пользуются по ошибке наводящим винтом алидадного круга вместо наводящего винта лимба и наоборот.

В процессе неоднократного откладывания измеряемого угла происходит переход через нулевой штрих лимба, а каждый такой переход требует прибавления к суммарному отсчету 360° .

При геодезических измерениях в подземных выработках сетки нитей инструментов, деления лимбов, микрометров, нити визирных отвесов, деления мерных лент, проволок и нивелирных реек требуют освещения их электрофонарями или переносными лампами, включаемыми в местную осветительную сеть напряжением не свыше 12 в.

№ пунктов стоянки инструмента	№ пунктов визирова- вания	Число повторений	Отсчеты по верньерам						Величины углов						Примечания	
			отсчитанные			средние			кратных			фактических				
			°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"		
6	7	3 ^x	0	49	30	КП 0	49	45	+360	52	47	15	138	09	00	Конт- рольный угол
				50	00				412	47	15	137	19	15		
			138	09	00	(контрольн.)			411	57	30					
	5		52	47	00	52	47	15	137	19	10	137	19	10		
				47	30							СР. 137	19	05		
5		52	47	00	КЛ 52	47	15	52	47	15						
			47	30				—0	50	15						
6									51	57	00					
										:	3					
7	3 ^x	0	50	30	0	50	15	+120	17	19	00	137	19	00		
			50	00					00	00						

§ 27. Измерение вертикальных углов

При измерении углов наклона линий значения их отсчитывают по вертикальному кругу, который наглухо насажен на ось вращения зрительной трубы.

Вертикальный угол измеряется между наклонным лучом визирной оси трубы теодолита и горизонтальной плоскостью, зафиксированной на алидаде вертикального круга нулевыми штрихами двух верньеров и устанавливаемой специальным уровнем.

В некоторых теодолитах применена разбивка делений от 0 до 360° (рис. 26, а). Градусы, минуты и секунды в этом случае следует отсчитывать только по верньеру, расположенному у окуляра трубы. По второму верньеру отсчитывают только минуты и секунды. Большее распространение имеет симметричная оцифровка, где градусы можно отсчитывать по любому верньеру (рис. 26, б).

Точность верньеров у разных теодолитов бывает — 1', 30'', 20'' и 10''.

Вертикальный круг скреплен с трубой с таким расчетом, чтобы линия, проходящая через деления 0° и 180° (при симметричной оцифровке через оба нуля), была параллельна визирной оси трубы, а ось уровня параллельна линии, проходящей через нули верньеров. Однако при изготовлении теодолитов соблюсти описанные условия практически оказывается невозможным. Поэтому при горизонтальном положении визирной оси и пузырька уровня на середине ампулы

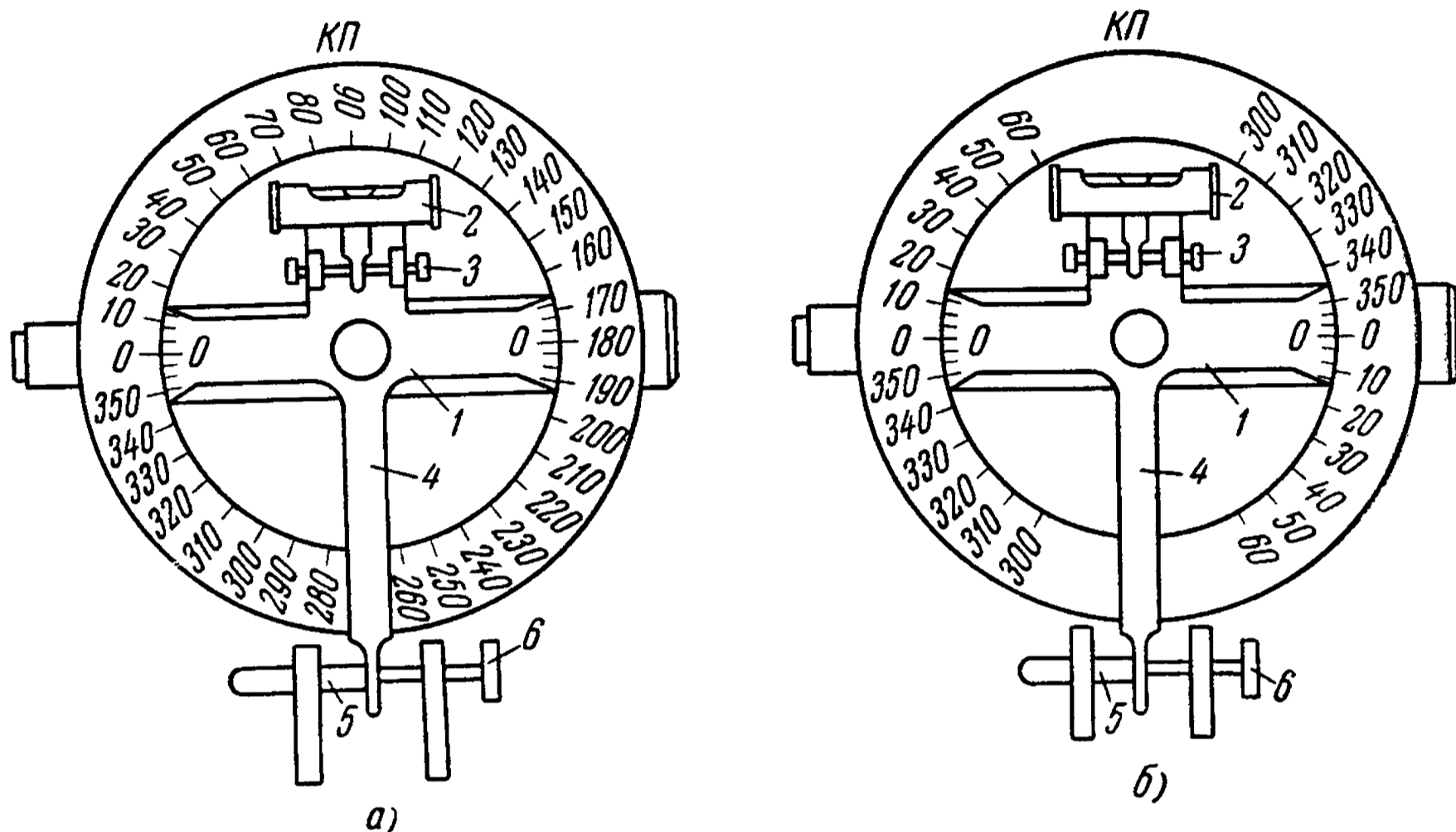


Рис. 26. Вертикальный круг теодолита

1 — алидада, 2 — уровень, 3 — исправительный винт уровня, 4 — рычаг, конец которого зажат микрометрическим винтом 5 и 6

отсчет по верньерам не равняется нулю, а место нуля (МО) составляет с горизонтальной плоскостью некоторый угол. Для определения места нуля разработан способ посредственного определения величины и знака его.

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

$$\gamma = \frac{\text{КП} - \text{КЛ}}{2}.$$

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

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

Таким образом, для определения значения МО и для контроля измерения вертикального угла надо измерять угол наклона дважды: при КП и КЛ.

Для облегчения вычислений при измерении вертикальных углов желательно, чтобы величина места нуля отличалась от нуля на возможно меньшую величину. С этой целью определяют МО и закрепляют на этом отсчете трубу теодолита, причем пузырек уровня приводят на середину (рис. 27, а). Далее микрометрическим винтом *M* алидады совмещают нули вертикального круга и верньеров (рис. 27, б). При этом пузырек уровня отклонится на какую-то величину.

Действуя исправительным винтом *L* уровня, приводят его пузырек на середину (рис. 27, в).

Для измерения вертикальных углов наводят при КП визирную ось трубы так, чтобы средняя горизонтальная нить сетки покрыла ту часть наблюдаемого предмета, которая соответствует высоте ин-

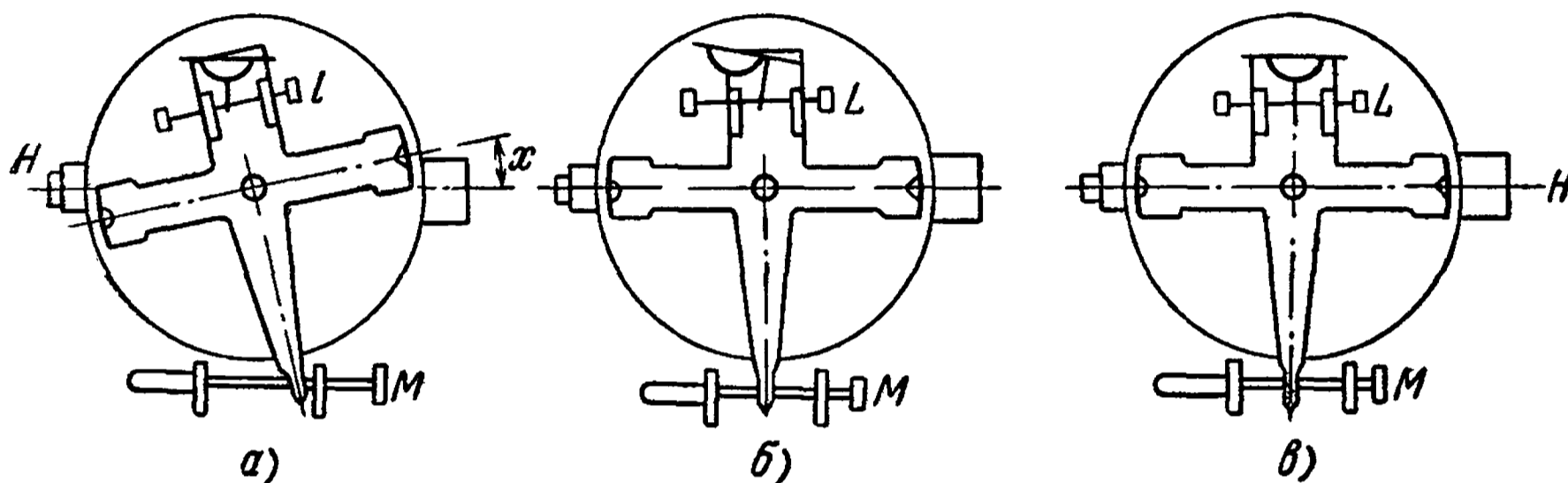


Рис. 27. Приведение МО к нулю

струмента. Затем микрометрическим винтом алидады вертикального круга выводят пузырек уровня на середину, после чего берут отсчеты по верньерам и записывают в журнал их среднее арифметическое. Далее переводят трубу через зенит и повторяют те же действия при КЛ.

Подсчитывают по формулам

$$\gamma = \frac{\text{КП} - \text{КЛ}}{2}$$

и

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

Контролем измерения других вертикальных углов явится относительное постоянство величин МО.

§ 28. Дальномеры. Устройство и пользование ими

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

Для определения дальномером длины линий 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.

Рассмотрим схему нитяного дальномера, приведенную на рис. 28.

Предположим, что визирная ось горизонтальна, а рейка вертикальна. 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

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

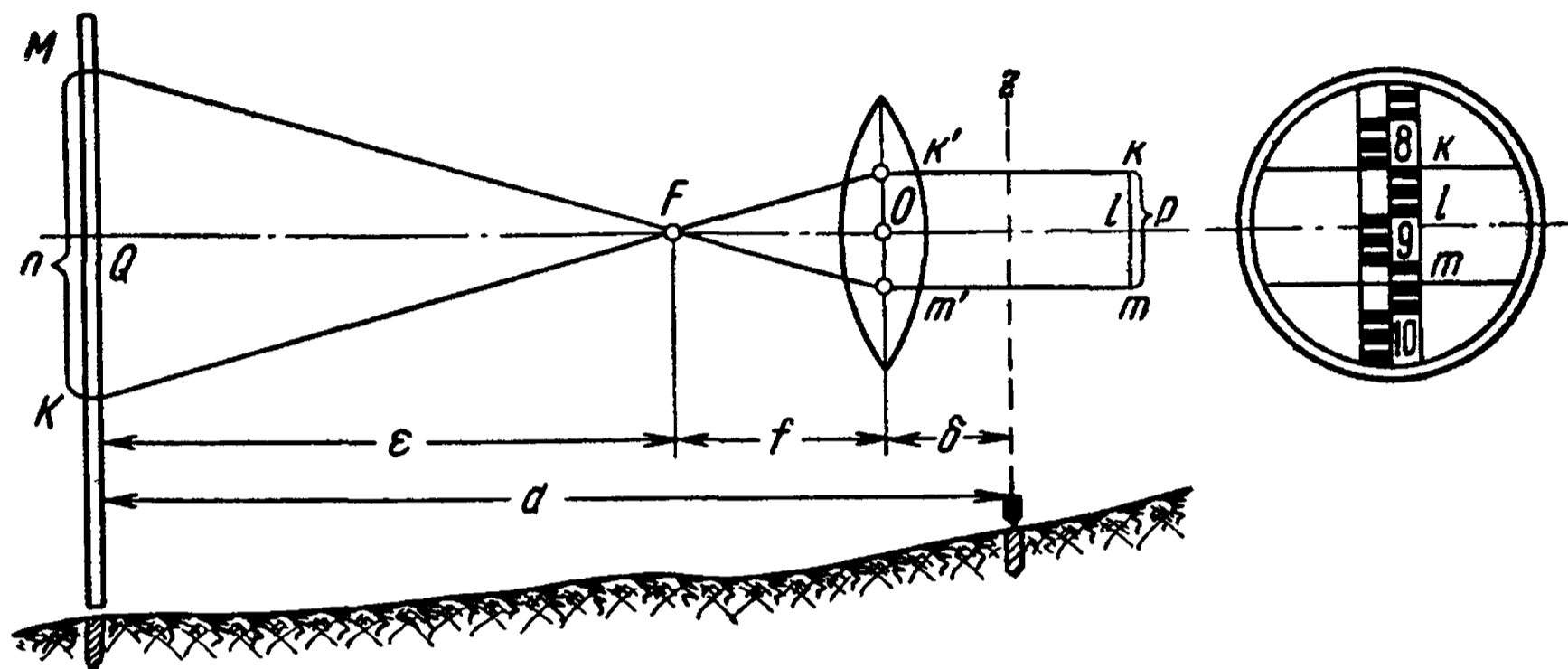


Рис. 28. Схема нитяного дальномера

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

или

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

но

$$\frac{f}{p} = \text{const} = C,$$

тогда

$$FQ = C \cdot n.$$

Из рисунка видно, что

$$d = FQ + f + \delta;$$

обозначив $f + \delta = c$, имеем

$$d = C \cdot n + c.$$

Величину C называют коэффициентом дальномера. Обычно в теодолитах $C = 100$. Поэтому формула дальномера получает чрезвычайно простой и удобный вид для практических целей:

$$d_M = n + c,$$

где n — количество сантиметров, отсчитанных по рейке.

Величину s называют постоянной слагаемой дальномера. Значение ее дается в паспорте теодолита.

В качестве дальномера двойного изображения применяют особую насадку на объектив теодолита в виде оптического клина. Благодаря этому в трубе наблюдают два изображения рейки с делениями, сдвинутые одно относительно другого по вертикали.

Наблюдатель по делениям рейки отсчитывает величину смещения в сантиметрах, выражающую измеряемое расстояние в метрах. Подробно о дальномерах этого типа сказано в учебниках для топографической специальности.

§ 29. Способы съемки ситуации

Наибольшее применение при съемках ситуации находят способы перпендикуляров и засечек от магистрали, считая за последнюю (магистраль) линии теодолитных ходов (рис. 29).

Для каждого перпендикуляра необходимо измерять расстояние по ходу от начальной точки магистрали, а также длину самого перпендикуляра.

Способ створа применяется в случаях видимости с точки теодолитного хода на другую, несмежную точку хода, а также если есть условия для линейных измерений (рис. 30). Этим способом часто пользуются при съемке внутриквартальной ситуации в населенных пунктах.

Съемку обходом применяют при съемке контуров закрытых участков (застроенных, лесных и пр.). Вокруг такого контура размечают вершины теодолитного (рис. 31, а) хода так, чтобы его стороны располагались возможно ближе к контуру.

Затем измеряют все углы и линии полученного многоугольника. При измерении этих линий съемку контура производят от них, как и от магистралей, перпендикулярами и засечками. Съемочный ход (многоугольник) должен быть привязан к опорной сети.

Полярный способ применяют для съемки контуров, открытых для сквозного просмотра (болото, кустарники и пр.), а также

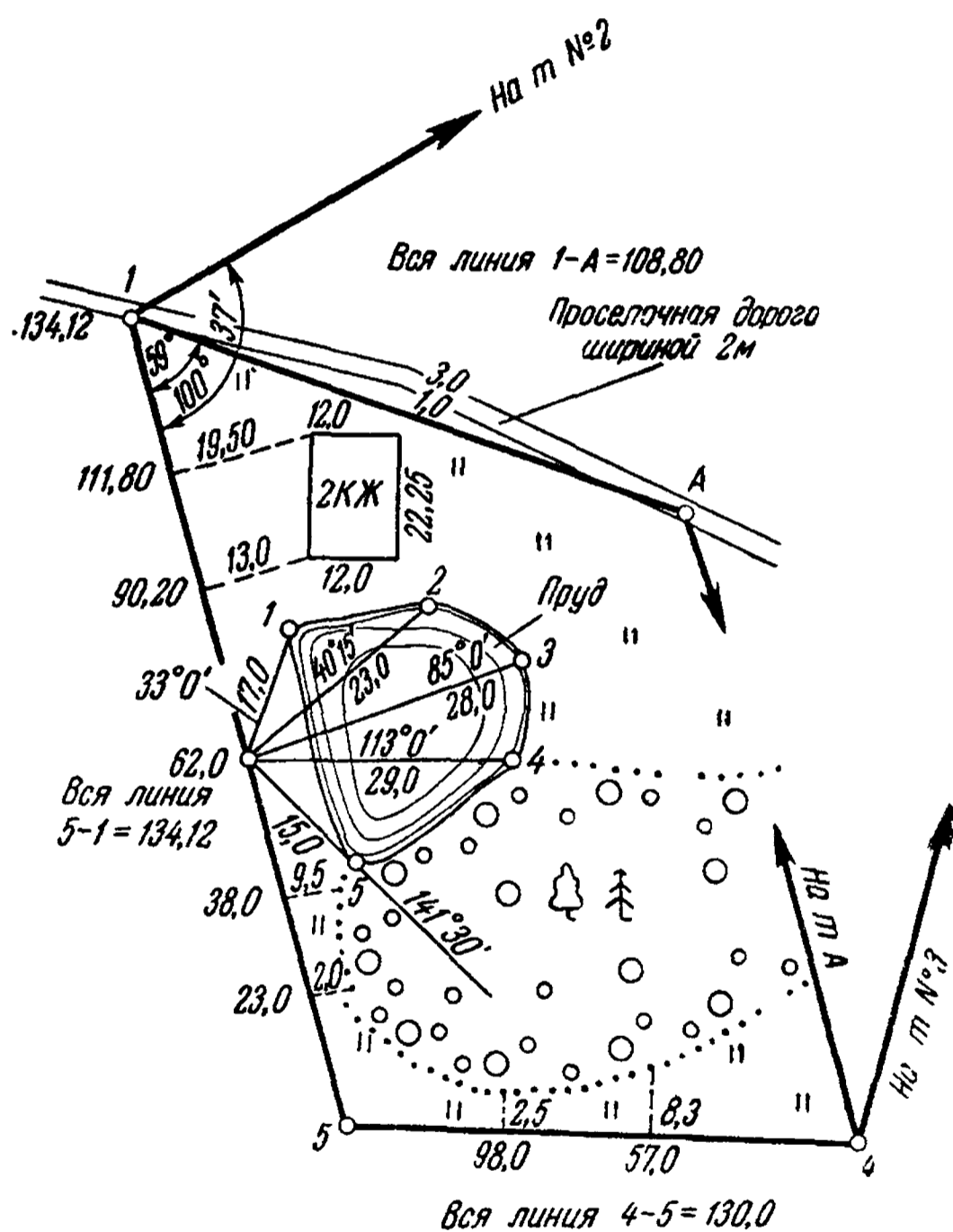


Рис. 29. Абрис при полевых съемках

отдельно стоящих предметов (колодцев, мачт и т. д.) местности (рис. 31, б). Для съемки примерно в центре контура определяют

теодолитную точку. Затем устанавливают на ней теодолит и визируют на вершину магистрали (теодолитного хода), принимая направление на нее за начальное. Далее снимают все характерные точки контура полярным способом. Для этого на каждой точке устанавливают рейку и отсчитывают по горизонтальному кругу направление на нее, а по нитям дальномера определяют расстояние до точки.

На листе абриса изображают съемочную точку, а также характерные точки, которые нумеруют. Рядом

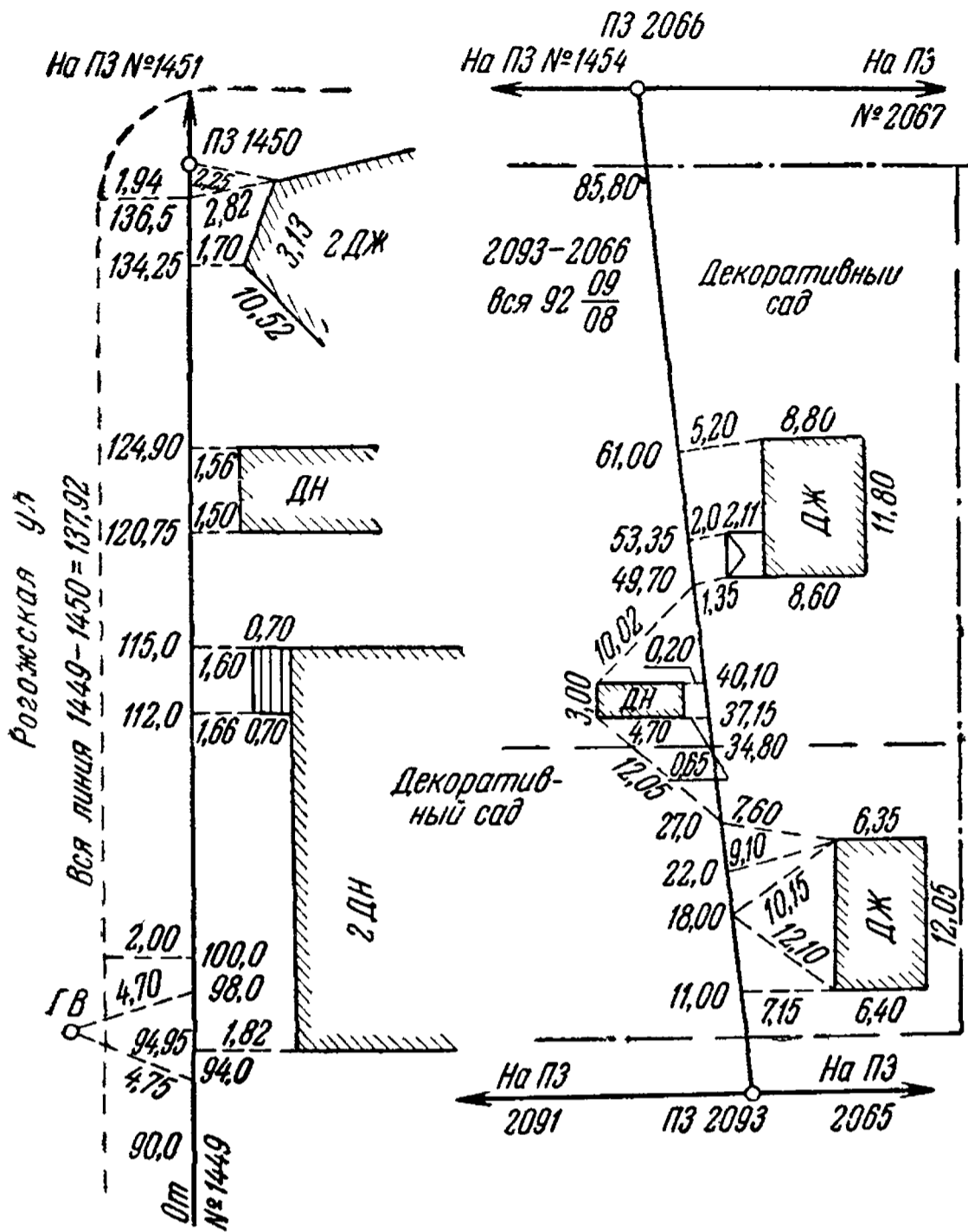


Рис. 30. Абрис городских съемок

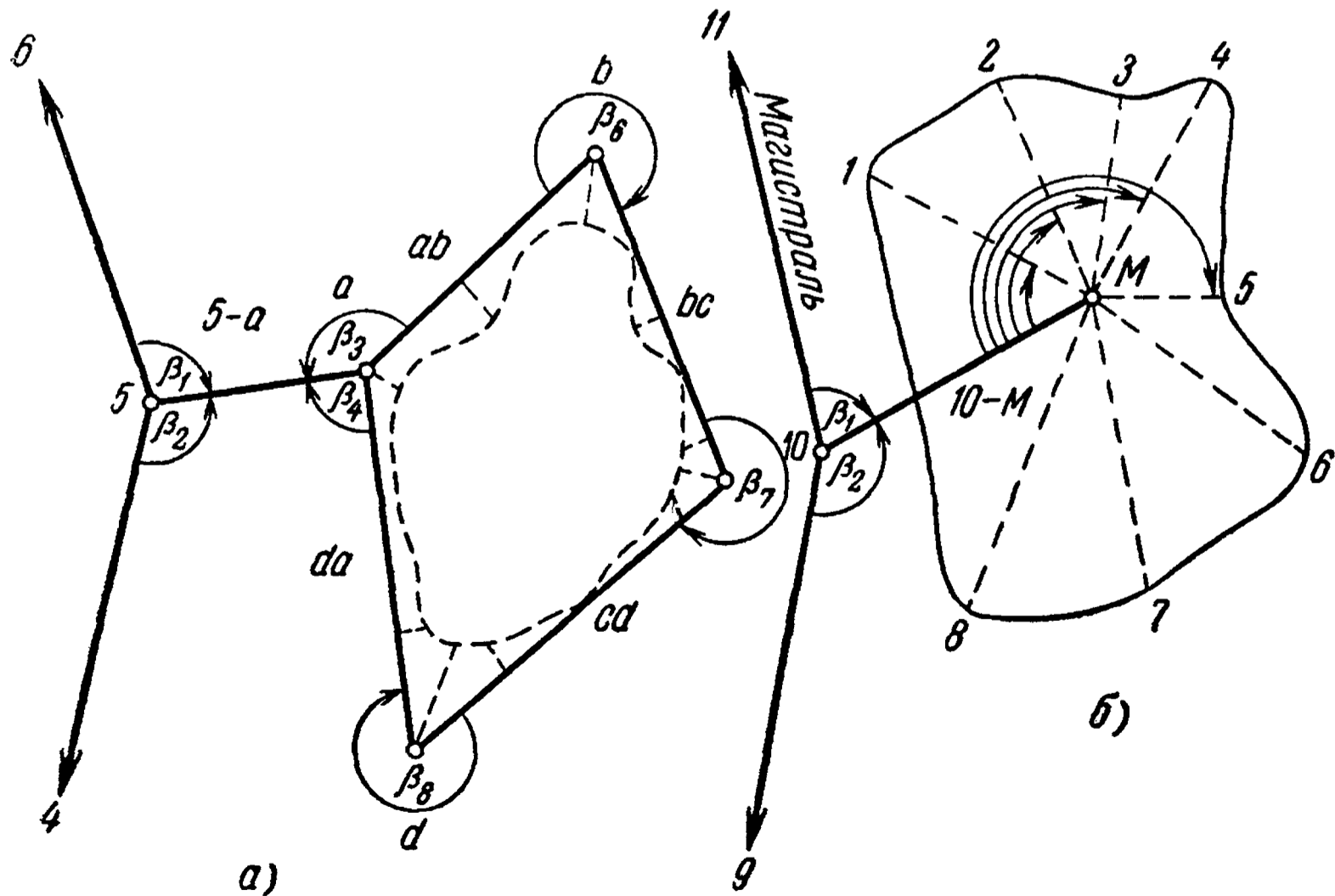


Рис. 31. Съемки
а — обходом, б — полярным способом

Таблица 3

№ пункта	По горизонтальному кругу	Расстояние, м	Примечания
П. З. 10	0°00'	—	
1	23 17	36,7	
2	89 33	42,6	
3	93 49	40,7	
		и т. д.	

помещают табличку, в которую вписывают данные измерений (табл. 3).

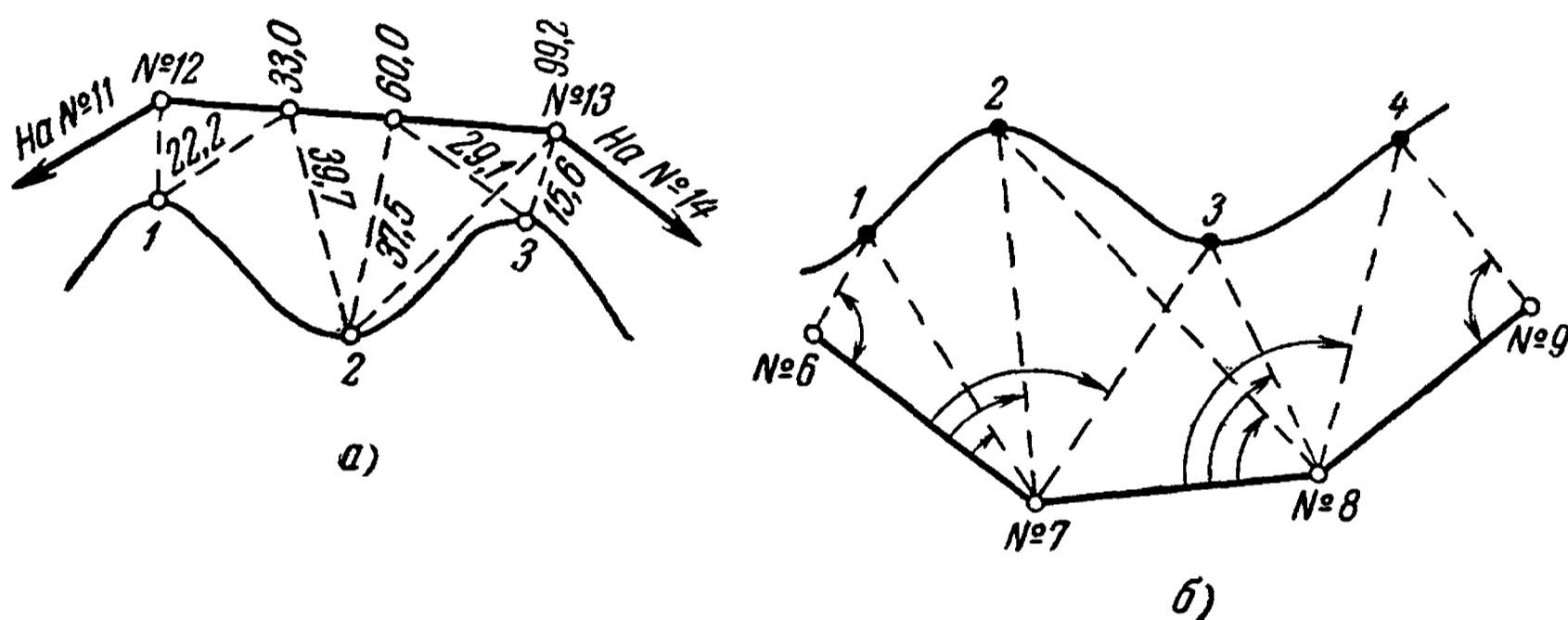


Рис. 32. Съёмки засечками:
а — линейными, б — угловыми

Способ угловых засечек удобен для съёмки точек удаленных контуров или же на местности, где линейные измерения невозможны (рис. 32).

§ 30. Составление геометрической схемы измерений. Обработка результатов измерений

Вслед за проведением измерений приступают вначале к обработке угловых и линейных измерений, а затем к составлению и вычислению ведомости координат.

Предварительно составляют геометрическую схему выполненных работ. Обработку начинают с просмотра всех полевых записей. Должны быть проверены вычисления и вписаны незаполненные в полевых условиях сведения. Всякие исправления в журналах делают чернилами с обязательной оговоркой в примечаниях. Зачеркивать ненужное надо так, чтобы зачеркнутое было ясно видно. Как правило, проверка полевых журналов должна производиться независимо двумя вычислителями или, как говорят, — в две руки.

В измеренные величины каждой линии вводят три поправки: 1) за наклон линии, 2) за компарирование и 3) за температуру.

Поправки за наклон линии определяют: а) при измерении углов наклона по формуле

$$\Delta D = 2D \sin^2 \frac{\alpha}{2};$$

б) при получении h — превышения концов линии путем нивелирования по формуле

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

Во всех случаях поправку вводят со знаком минус.

Поправку за компарирование мерных приборов Δs_K вычисляют по данным, приведенным в паспорте прибора (см. § 21).

Поправку за температуру Δs_t вводят по формуле

$$\Delta s_t = (t_{\text{факт}} - t_{\text{комп}}) \cdot s \cdot k_t,$$

где $t_{\text{комп}} = +20^\circ$, а $k_t = 0,0000125$, т. е. коэффициенту линейного расширения стали.

По мере обработки полевых журналов значения измеренных углов и горизонтальные проложения линий выписывают на геометрическую схему.

После заполнения схемы подсчитывают угловые невязки и подписывают их значения в каждом из полигонов. В замкнутых полигонах размер истинной ошибки в измеренных углах можно определить сравнением суммы измеренных внутренних углов с теоретической суммой. Размер истинной ошибки называют **у г л о в о й н е в я з к о й**. Угловую невязку теодолитного хода между двумя твердыми сторонами опорной сети также определяют сравнением суммы измеренных углов с разностью исходных дирекционных углов линий опорной сети, к которым привязаны в начале и конце теодолитного хода его стороны.

При определении невязок надо вычитать из фактической суммы теоретическую и записывать полученный алгебраический знак невязки.

Обработка угловых измерений при основных работах выполняется применительно к требованиям соответствующего раздела инструкций.

В геодезических инструкциях сказано, что предельная невязка не должна превышать величины $f_{\beta \text{ пред}} = 1,5 t \sqrt{n}$, где t — точность инструмента, а n — количество измеренных углов.

Если фактически угловая невязка в полигоне равна или менее предельной, то ее считают **д о п у с т и м о й**. В этом случае у р а в н о в е ш и в а ю т у г л ы полигона, т. е. изменяют их так, чтобы сумма исправленных углов полигона равнялась теоретической. Уравновешивание заключается в распределении величины невязки поровну

на все углы полигона со знаком, обратным знаку невязки. Если величина угловой невязки оказалась значительно меньше допустимой, ее распределяют только на углы с короткими сторонами.

Поправки в углы распределяют в каждом полигоне отдельно, но с обязательным учетом знаков невязок в соседних полигонах. При одинаковых знаках невязки в двух смежных полигонах поправки необходимо вводить в основные углы полигонов. При различных знаках невязок в соседних полигонах поправки вводят главным образом в их общие углы.

Контролем измерения линий являются суммы приращений координат как замкнутых полигонов, так и ходов, опирающихся на твердые пункты геодезического обоснования.

Вычисления выполняют в особой ведомости, называемой в е д о м о с т ь ю в ы ч и с л е н и я к о о р д и н а т вершин замкнутого полигона (табл. 4).

С геометрической схемы и из проверенных полевых журналов измерений выписывают номера вершин (графа 1), измеренные углы (графа 2) и горизонтальные проложения линии (графа 6). Затем выписывают все исходные дирекционные углы и координаты.

Подсчитывают сумму измеренных углов и записывают ее в графе 2. Так же подсчитывают сумму всех линий и записывают ее под чертой графы 6. После итоговой записи суммы углов подписывают величину угловой невязки

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{факт}} - \sum \beta_{\text{теор.}}$$

Поправки подписывают над значениями углов в графе 2. Затем выводят и выписывают исправленные значения углов в графе 3, а также их сумму, которая должна равняться теоретической.

Далее приступают к вычислению дирекционных углов всех линий.

Следующая графа 5 носит наименование «румбы». Связь дирекционных углов с румбами выражена на рис. 7, в. Румбы вычисляют на основе полученных дирекционных углов.

Вычисление должно быть проверено по зависимости между буквенными обозначениями румбов двух смежных линий (графа 5) и величиной исправленного угла (графа 3), заключенного между этими линиями. Вывод зависимости довольно сложен, поэтому предпочитают пользоваться таблицей мнемонических правил (табл. 5).

После проверки румбов приступают к заполнению графы 7, как подготовительной к вычислению приращений. Приращения вычисляют при помощи арифмометра по шестизначным таблицам натуральных значений тригонометрических функций. Иногда приращения вычисляют с помощью семизначных таблиц логарифмов.

В соответствии с принятым способом вычисления вносят данные в графу 7. Для работы арифмометром выписывают натуральные значения функций румбов ($\sin r$ и $\cos r$). При пользовании логарифмами в графу 7 записывают \lg в такой последовательности, как это пока-

№ вершин	Измеренные углы	Исправленные углы	Дирекционные углы	Румбы	Горизонтальные проложения линий	sin cos r
	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "		lg Δ y lg sin r lg s lg cos r lg Δ x
1	2	3	4	5	6	7
1	+10 85 39 30	85 39 40	Исх. 35°18'10"	ЮВ: 50 21 30	90,111	1.8412964 9.8865186 1.9547778 9.8048099 1.7595877
2	+10 101 17 20	101 17 30		ЮЗ: 28 21 00	82,232	1.5916032 9.6765623 1.9150409 9.9445139 1.8595548
3	+10 79 44 10	79 44 20		СЗ: 51 23 20	99,980	1.8927862 9.8928731 1.9999131 9.7952063 1.7951194
4	+10 93 18 20	93 18 30		СВ: 35 18 10	82,646	1.6790672 9.7618506 1.9172166 9.9117485 1.8289651
	$\Sigma =$ = 359°59'20"	360°00'00"			$\Sigma = 354,97$	

$$f_{\beta} = -40''$$

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \pm 0,030:$$

Приращения координат				Координаты		№ вершин	Примечания
вычисленные		исправленные		x			
$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$	$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$				
8	9	10	11	12	13	14	15
+5 -57,489	+6 +69,390	-57,484	+69,396	1234,567	2468,024	1	
				1177,083	2537,420	2	
+5 -72,369	+5 -39,048	-72,364	-39,043				
				1104,719	2498,377	3	
+5 +62,391	+6 -78,124	+62,396	-78,118				
				1167,115	2420,259	4	
+5 +67,447	+5 +47,760	+67,452	+47,765				
$\sum +129,838$	+117,150	+129,848	+117,161	1234,567	2468,024	1	
$\sum -129,858$	-117,172	-129,848	-117,161				
$f_x = -0,020$	$f_y = -0,022$	0	0				

$$f_{\text{отн}} = \frac{0,030}{354,97} = \frac{1}{11800} \cdot$$

№	Буквы r_1 и r_2	Угол	№	Буквы r_1 и r_2	Угол
1	Все буквы одинаковые (СВ и СВ; ЮЗ и ЮЗ и т. п.)	$180^\circ - (r_1 - r_2)$	3	Первые буквы одинаковые (СЗ и СВ; ЮВ и ЮЗ и т. п.)	$180^\circ - (r_1 + r_2)$
	Все буквы разные (СВ и ЮЗ; СЗ и ЮВ и т. п.)	$r_1 - r_2$	4	Вторые буквы одинаковые (СВ и ЮВ; ЮЗ и СЗ и т. п.)	$r_1 + r_2$

Примечание. При вычитании иногда получается смежный угол.

зано в схеме на стр. 24. Далее вычисляют значения Δx и Δy и записывают их в графах 8 и 9.

Механический способ вычисления (при помощи арифмометра) значительно производительнее, чем логарифмический.

После вычисления приращений координат подсчитывают их сумму для определения линейной невязки. Алгебраические суммы приращений координат ($\sum \Delta x$ и $\sum \Delta y$) в замкнутых полигонах теоретически должны равняться нулю, т. е. $\sum \Delta x = 0$ и $\sum \Delta y = 0$. Это свойство графически показано на рис. 33, а. В теодолитных ходах, проложенных между твердыми пунктами съёмочной основы (рис. 33, б), координаты которых известны, теоретически суммы приращений должны равняться разности координат твердых пунктов, т. е.

$$\sum \Delta x = x_K - x_H \quad \text{и} \quad \sum \Delta y = y_K - y_H.$$

Но так как в результаты измерений углов и линий теодолитных ходов неизбежно входят погрешности, то теоретические и фактические суммы приращений координат не совпадают, т. е. имеются невязки.

Величину линейной невязки и ее направление вычисляют по формулам:

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2};$$

$$\text{tg } \alpha' = \frac{f_y}{f_x}.$$

Подсчитав абсолютную величину невязки, находят относительную линейную невязку, равную

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_s}{\sum s},$$

где $\sum s$ — сумма длин сторон хода. Если невязка в периметре допустима, то приращения координат увязывают (уравновешивают),

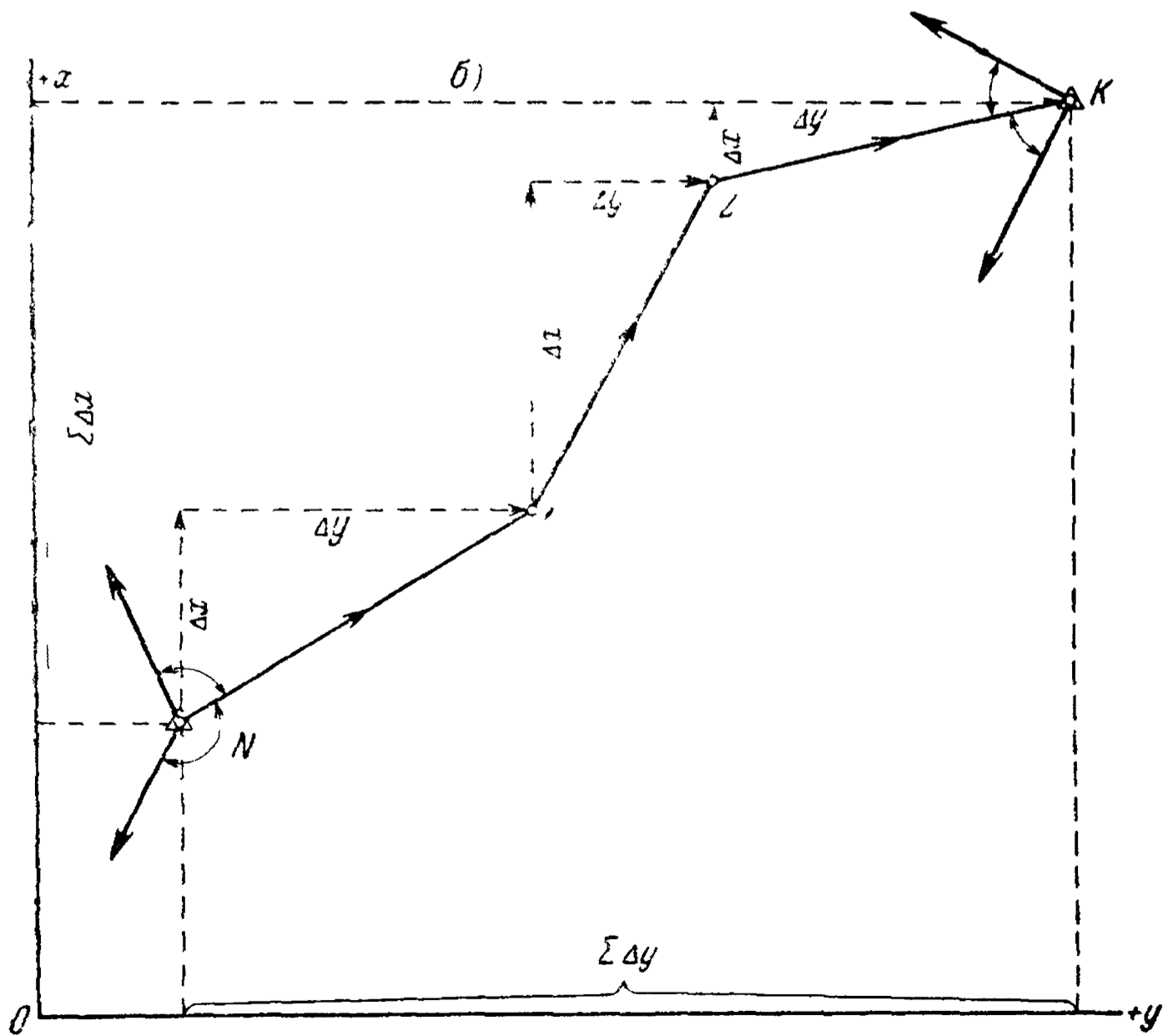
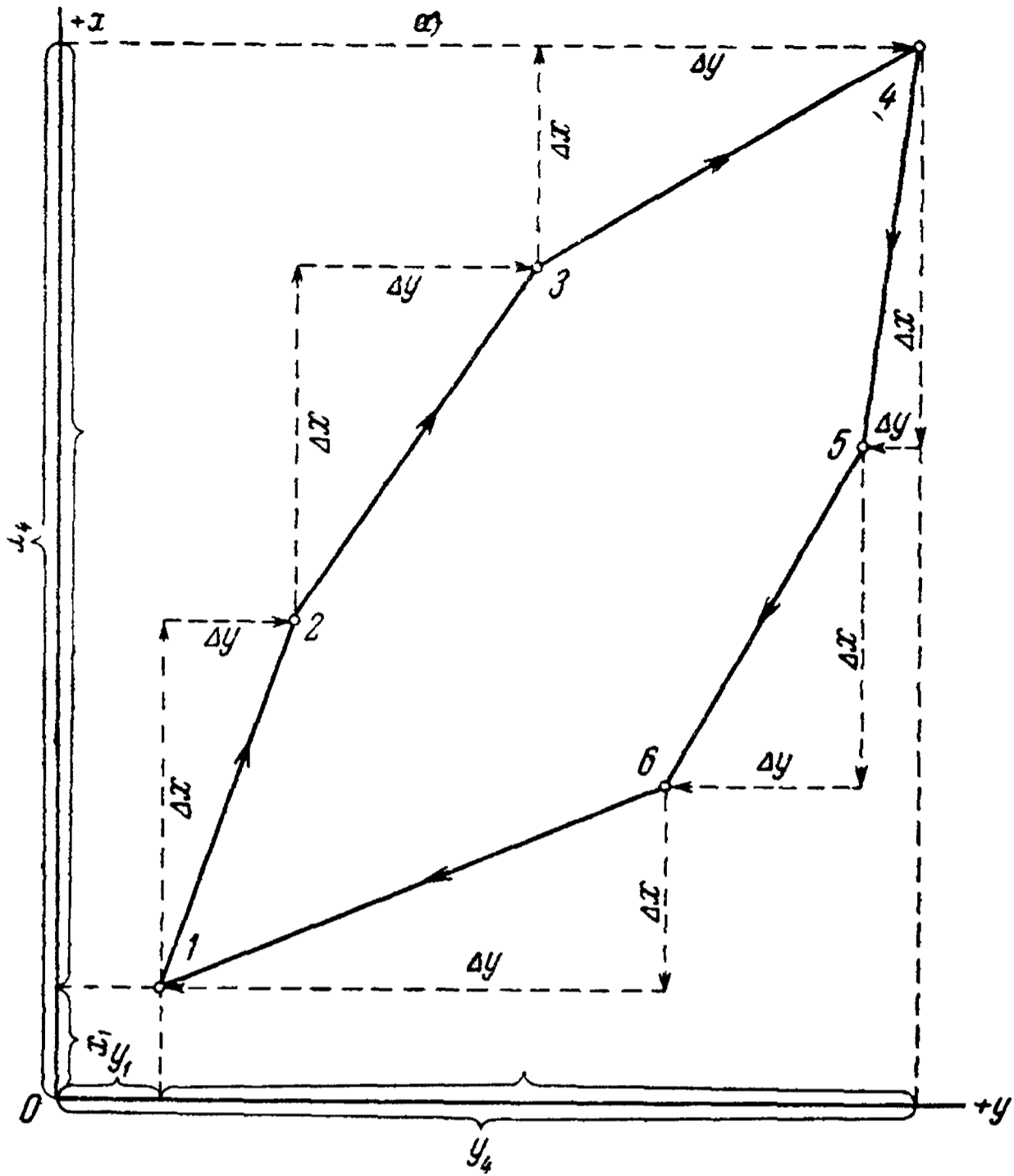


Рис. 33. Графическое изображение сумм приращений

т. е. распределяют на все вычисленные приращения пропорционально длинам сторон со знаком, обратным знаку невязки. Поправки в приращения координат записывают над вычисленными приращениями в графах 8 и 9 ведомости. Затем подсчитывают и записывают в графах 10 и 11 значения исправленных приращений. Сумма исправленных приращений не должна отличаться от теоретической.

Далее подсчитывают и записывают в графах 12 и 13 значения координат для каждой точки.

§ 31. Построение координатной сетки на планах

Для нанесения на план вершин теодолитного хода, координаты которых вычислены, необходимо построить на плане координатную сетку. Сетку из квадратов 100×100 мм строят с большой тщательностью.

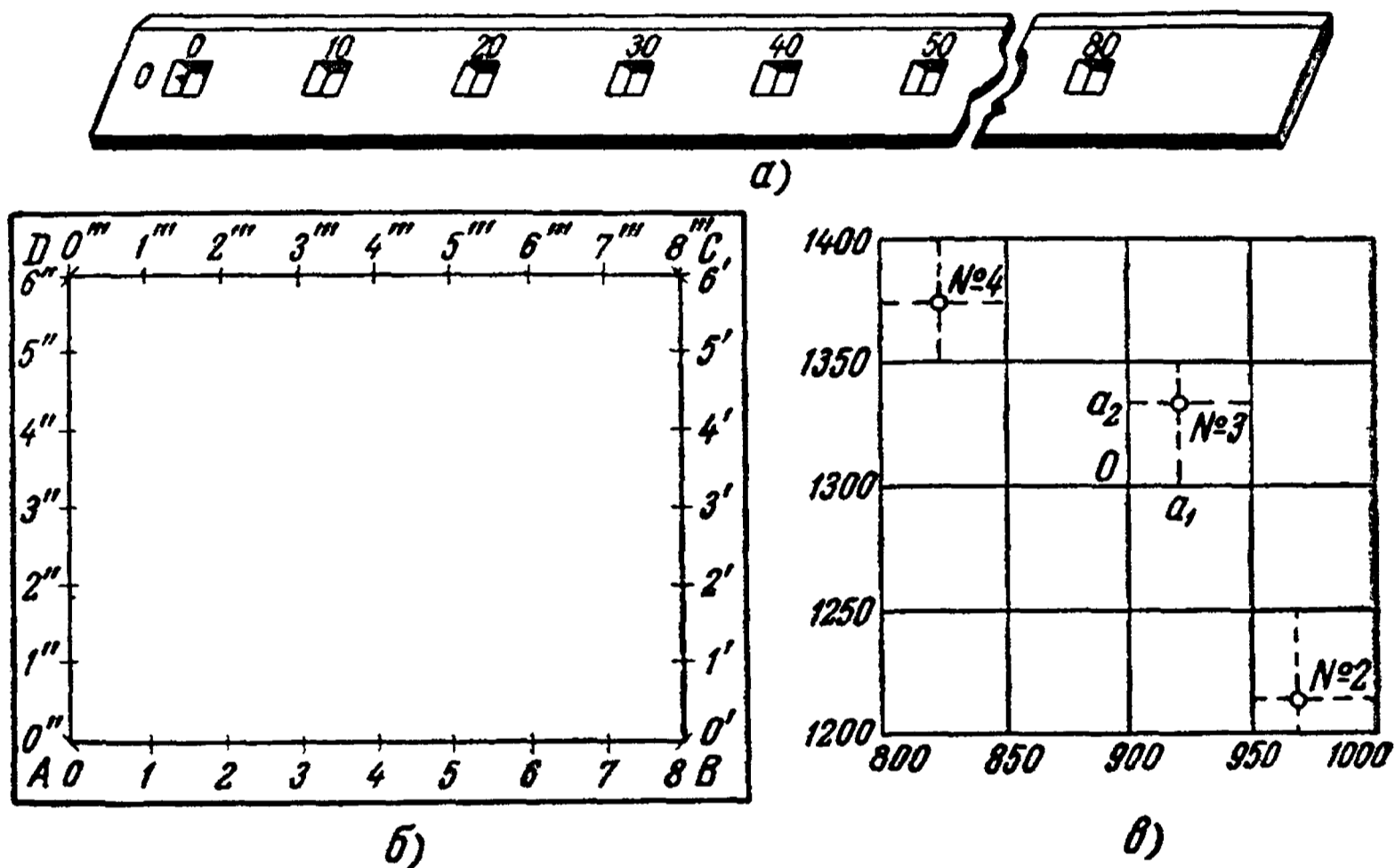


Рис. 34. Накладка по координатам:

а — линейка Дробышева, б — разбивка квадратов, в — накладка

Существует два способа построения сетки квадратов: 1) при помощи специальной линейки проф. Ф. В. Дробышева (рис. 34, а), 2) при помощи масштабной линейки.

Л и н е й к а Д р о б ы ш е в а металлическая, длиной 1 м (есть малые линейки длиной 707,11 мм), в которой сделаны вырезы со скошенными нижними гранями, очерченными соответственно по радиусам, длиной от 10 до 100 см. В нулевом вырезе на скошенном крае сделан нульштрих. При помощи этой линейки можно быстро и с большой точностью построить прямоугольный треугольник со сторонами 600, 800 и 1000 мм, т. е. так называемый «египетский» треугольник с соотношением сторон 3 : 4 : 5. Затем на базе полученной гипотенузы строят такой же треугольник и, получив прямоугольник

600 × 800 мм, разбивают координатную сетку с квадратами 100 × 100 мм.

Малой линейкой можно построить прямоугольник 500 × 500 мм с диагональю 707,11 мм.

Координатную сетку строят в следующем порядке (рис. 34, б). Линейку кладут параллельно одной из кромок бумаги (AB). Проводят по скошенному краю окошечек черточки 1, 2, ..., 8, а в первом отверстии отмечают нулевую точку. Далее прикладывают линейку к поперечному краю бумаги (BC) так, чтобы нульштрих был примерно на середине черточки 8. Прочерчивают во всех окошечках штрихи 1', 2', ... 6' во всю ширину скошенного края. Затем прикладывают линейку по диагонали AC так, чтобы нульштрих совпал с точкой A, и торцевым скосом подсекают штрих 6', проведенный ранее. По ребру линейки прочерчивают линии 00' и 0'6'.

Далее от точек A и C строят таким же путем стороны второго треугольника (0''6'' и 0'''8''') и засекают для контроля диагональю BD. Убедившись в совпадении засечек, строят сетку, соединяя 1—1'', 2—2'' и т. д., а затем 1''—1', 2''—2' и т. д.

При отсутствии специальных линеек координатную сетку можно построить с помощью масштаба и большой линейки. Для этого на листе чертежной бумаги по линейке проводят две диагонали, т. е. линии из угла в угол бумаги. Далее от точки пересечения этих диагоналей по каждой из них откладывают один и тот же произвольный размер. Соединив полученные четыре точки, образуют прямоугольник. Для контроля разбивают пополам стороны прямоугольника и соединяют полученные точки прямыми линиями. Пересечение этих линий должно совпасть с точкой пересечения первоначальных диагоналей. Далее на сторонах прямоугольника строят квадраты размером 100 × 100 мм.

Проверять построенные квадраты надо по их диагоналям обычным измерителем. Сетку квадратов вычерчивают в пределах вершин квадратов отрезками, равными 6 мм каждый. Значения координат вершин сетки квадратов назначают с таким расчетом, чтобы план размещался по середине листа бумаги.

§ 32. Накладка точек и контуров на нели

Для нанесения на план, например, точки № 3 по ее прямоугольным координатам определяют квадрат, в котором находится эта точка (рис. 34, в). Далее измерителем откладывают по обеим сторонам этого квадрата абсциссу точки № 3, т. е. величину Oa_2 , и соединяют отложенные точки пунктиром. Тем же порядком откладывают величину Oa_1 — ординаты точки № 3. Пересечение этих двух отрезков даст положение точки № 3.

После накладки каждой пары смежных точек контролируют правильность действий тем, что соединяют их прямой линией, и по масштабу получают ее длину; сравнивая эту длину с ее горизонтальным проложением, вписанным в ведомость, убеждаются в правильности накладки точек.

Закончив накладку вершин хода и вычерчивание линий, переходят к накладке контуров ситуации, пользуясь абрисами, составленными при съемках. Прежде всего накладывают детали местности, съемку которых производили с магистралей. Контур, снятые перпендикулярами, накладывают с помощью масштабной линейки и треугольника. Линейкой отмеряют расстояния по ходу линии, а треугольником восстанавливают перпендикуляр и откладывают его величину.

Точки, снятые полярным способом или способом угловых засечек, накладывают с помощью большого транспортира, который прикладывают к линии так, чтобы центр его совместился с точкой стоянки 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, полученные линейными засечками, получают на планах засечками циркулем.

§ 33. Измерение площадей. Планиметры

Площади, ограниченные прямыми линиями, измеряют геометрическим способом. Для этого площадь разбивают на ряд простейших геометрических фигур: треугольников, прямоугольников, трапеций и пр. Площади этих фигур подсчитывают по формулам геометрии, набирая необходимые для вычисления площадей данные непосредственно с плана.

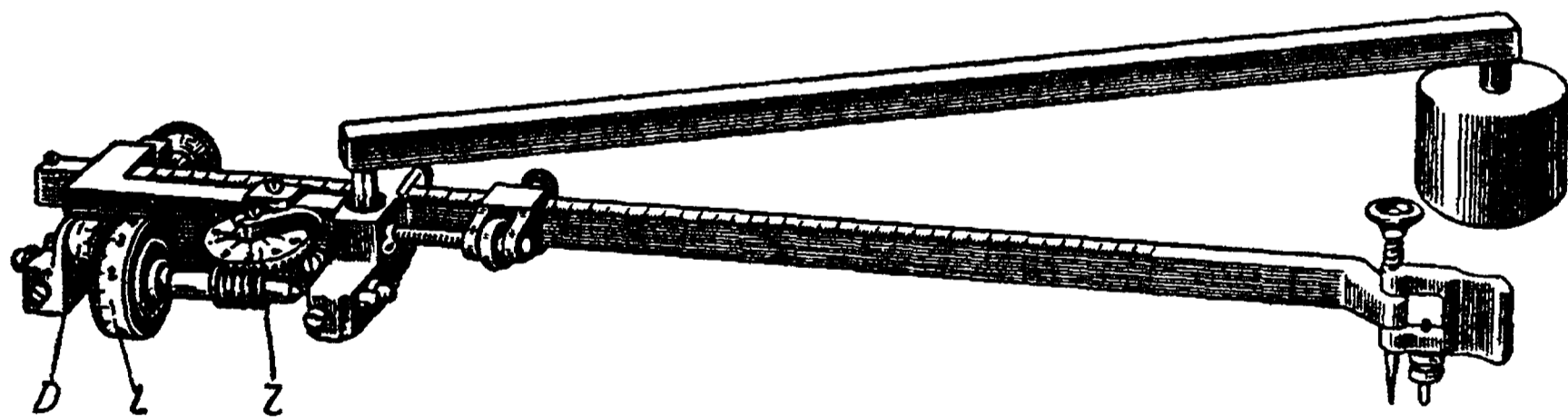


Рис. 35. Планиметр

Для механического определения площадей используют планиметры. Наиболее распространен полярный планиметр (рис. 35).

Он состоит из двух сопряженных рычагов: 1) полюсного рычага, на одном конце которого укреплен груз (полюс) с иглой для удержания в точке, а на другом — отросток с шариком для соединения со вторым рычагом; 2) обводного рычага, снабженного на одном конце шпилем (ведущим острием), а на другом — ка-

решетки счетного механизма. Отсчеты берут: по циферблату z — тысячи, по барабану L — сотни и десятки, а по нониусу D — единицы.

Площади контуров измеряют в такой последовательности: полюс устанавливают вне измеряемого контура. Намечают на контуре карандашом точку начала обводки и совмещают с ней обводный шпиль. После отсчета n_1 по циферблату, барабану и нониусу плавно обводят шпилем контур по ходу часовой стрелки. Дойдя до начальной точки, делают второй отсчет n_2 . Разность отсчетов дает площадь контура в делениях планиметра $s_1 = n_2 - n_1$. Для повторного (контрольного) определения обводят контур против хода часовой стрелки (n_3) и подсчитывают площадь $s_2 = n_2 - n_3$. Относительная разность двух результатов определения площади не должна превышать $\frac{1}{200}$. Пусть $s_1 = 1234$ и $s_2 = 1238$, тогда $s_{\text{ср}} = 1236$, а разность измерений $1238 - 1234 = 4$ деления. Относительная ошибка составит $\frac{4}{1236} \approx \frac{1}{310}$, т. е. $< \frac{1}{200}$.

Чтобы перейти к площади в квадратных метрах, надо знать цену одного деления планиметра в данном масштабе. Обычно завод-изготовитель дает таблицу цены деления для разных масштабов. Если таблица отсутствует, то на бумаге строят квадрат $100 \times 100 \text{ мм} = 10\,000 \text{ мм}^2$. Обведя дважды контур этого квадрата, путем несложных подсчетов определяют цену деления планиметра в м^2 для данного масштаба плана.

Если измеряемый контур велик, то полюс ставят внутри контура. В этих случаях ко второму отсчету надо прибавлять постоянное число для данного планиметра, которое обозначают через q . В паспорте каждого планиметра указывается величина q в делениях планиметра.

В случае утери паспорта можно найти значение q опытным путем. Для этого выбирают контур, который можно обвести шпилем планиметра дважды: при полюсе вне и внутри контура. В обоих случаях измеряют площади и определяют величину q , которая бывает весьма значительна (порядка около 15 000 делений планиметра).

Контрольные вопросы:

1. Что называют в геодезии основными работами?
2. Сущность теодолитной съемки и конечный результат их?
3. В чем состоит компарирование приборов для измерения линий?
4. Приемы, употребляемые для уточнения результатов измерений линий?
5. Основные оси теодолитов и их взаимная связь?
6. Способы центрирования теодолитов?
7. Измерение горизонтальных углов способом повторений?
8. Способы съемки ситуации?
9. Ведомость вычисления приращений и координат?

ГЛАВА 3

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 34. Общие сведения о нивелировании

Целью нивелирования является определение абсолютных отметок точек, т. е. их высот над уровнем Балтийского моря (нуль Кронштадтского футштока). Знание отметок точек местности позволяет выразить ее рельеф в горизонталях или в виде профиля, поэтому нивелирование часто называют также вертикальной съемкой.

Нивелирование необходимо для установления единой системы высот на территории страны, а также при любых инженерно-технических изысканиях дорог, тоннелей, каналов, газопроводов и пр., при работах по перенесению в натуру проектов гидротехнических и подземных сооружений, городов, поселков, при наблюдениях за оседанием земной поверхности под действием горных разработок, при определениях движений земной коры.

В случаях, когда сооружение занимает длинную, но узкую полосу земли (дорога, тоннель, канал и пр.), целью вертикальной съемки является составление профиля вдоль оси сооружения. Этот профиль необходим для проектирования, а также при строительстве сооружения.

Известны следующие виды нивелирования:

а. Геометрическое нивелирование, или нивелирование горизонтальным лучом, с помощью которого непосредственно определяют взаимное превышение h точек местности, а затем подсчитывают их абсолютные отметки H (рис. 36, а).

Геометрическое нивелирование — наиболее точный способ определения абсолютных отметок. Он является основным при строительстве инженерных сооружений.

б. Тригонометрическое (топографическое) нивелирование наклонным лучом, которое заключается в измерении угла наклона между точками местности с помощью вертикального круга теодолита. Расстояния между этими точками получают или с помощью дальномерного устройства теодолита, или на основе непосред-

ственных измерений. Превышения h подсчитывают по формулам тригонометрии, что и дало название способу (рис. 36, б). Тригонометрическое нивелирование выполняется значительно быстрее геометрического, однако точность его ниже.

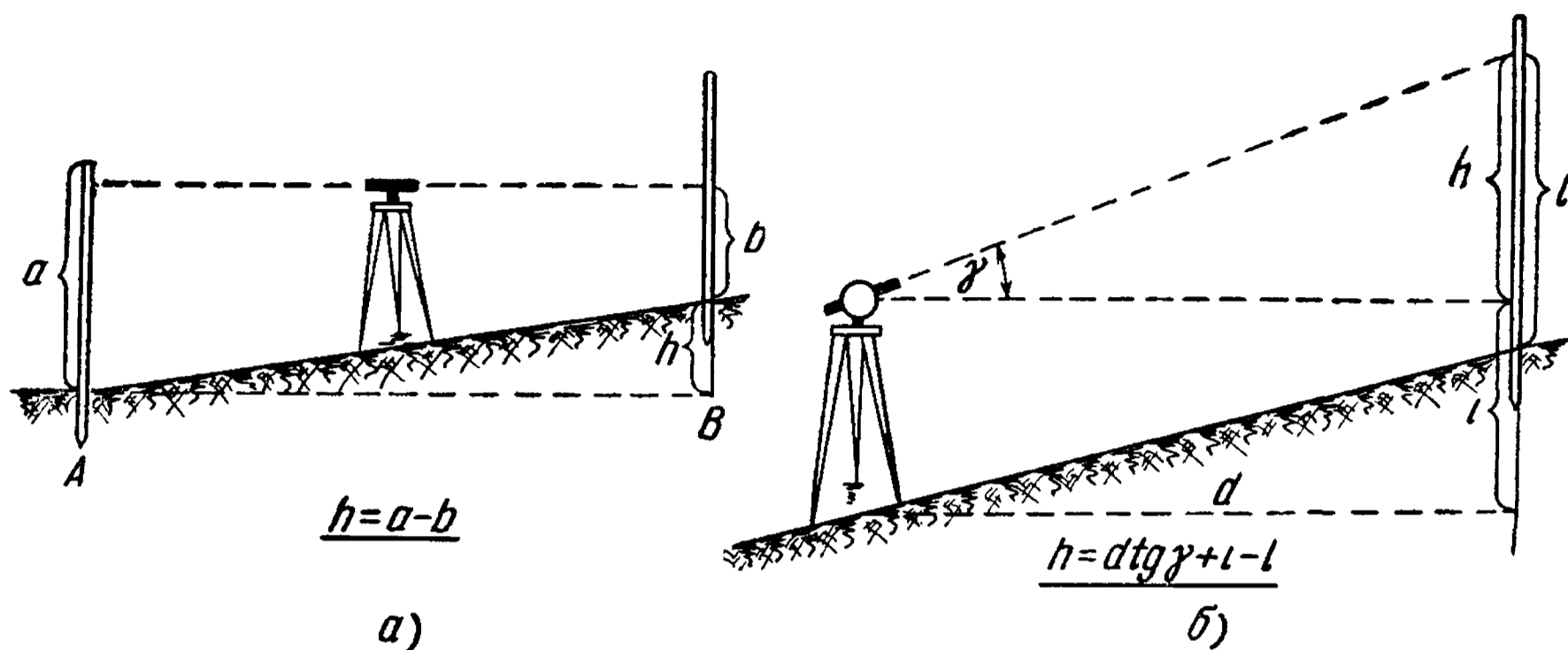


Рис. 36. Нивелирование:
а — горизонтальным, б — наклонным лучом

в. Физическое, или барометрическое, нивелирование, основанное на получении превышений между точками по разностям атмосферного давления, определяемого с помощью барометров. Известно, что давление атмосферного столба уменьшается на 1 мм при подъеме на 10 м. Барометрическое нивелирование применяется при рекогносцировках, где достаточно приближенного значения абсолютных отметок.

г. Механическое нивелирование, которое производится приборами, автоматически вычерчивающими профиль пути или отсчитывающими отметки отдельных точек. Механическое нивелирование превосходит все прочие способы по скорости производства работ, но значительно уступает им в точности. Этот вид нивелирования ограничивается практикой дорожных изысканий, исследованием профилей железных дорог и откаточных путей в шахтах.

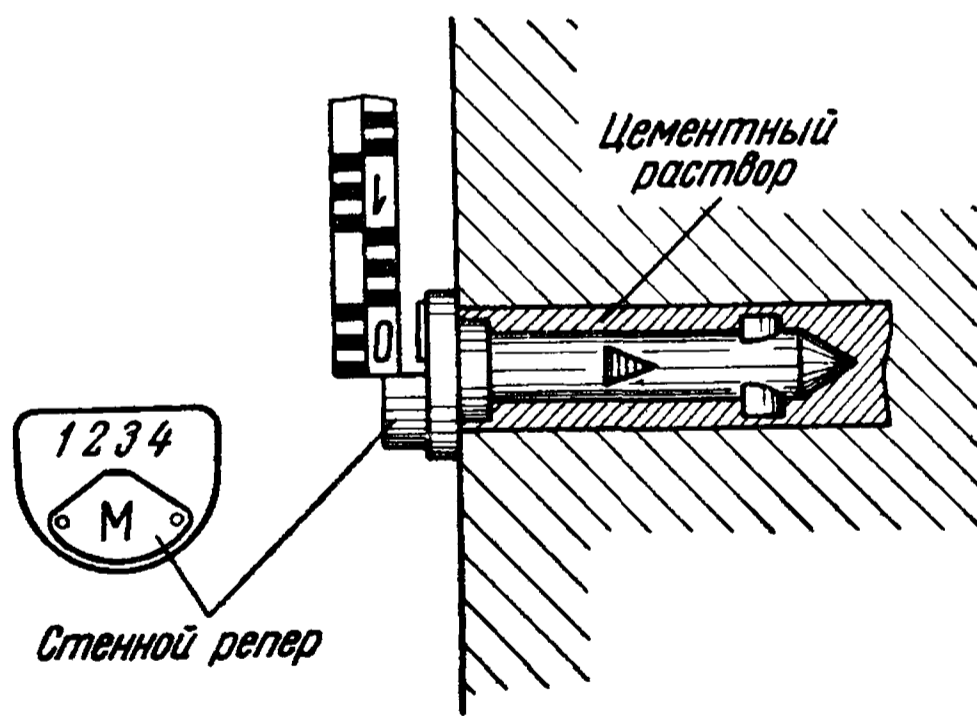


Рис. 37. Стенной репер

Высотные точки закрепляют постоянными знаками, называемыми реперами. В застроенных местах стенные реперы закладывают в цоколях фундаментальных зданий (рис. 37). В полевых

условиях закладываются грунтовые реперы в бетонных монолитах, как это принято для полигонометрических знаков (см. рис. 10).

§ 35. Типы нивелиров

Для геометрического нивелирования необходимо иметь инструмент с двумя основными частями: цилиндрическим уровнем и зрительной трубой, с помощью которых при нивелировании создается горизонтальная плоскость. Эти главные части могут быть взаимно соединены или отделены друг от друга. В зависимости от характера скрепления уровня и трубы с подставкой инструмента все нивелиры

можно разделить на три основные группы:

1. Глухие нивелиры, в которых уровень, зрительная труба и подставка взаимно скреплены и совместно вращаются относительно вертикальной оси инструмента.

2. Нивелиры с перекладной трубой и уровнем при трубе.

3. Нивелиры с перекладной трубой и уровнем при подставке. Нивелиры последних двух типов в настоящее время не производятся.

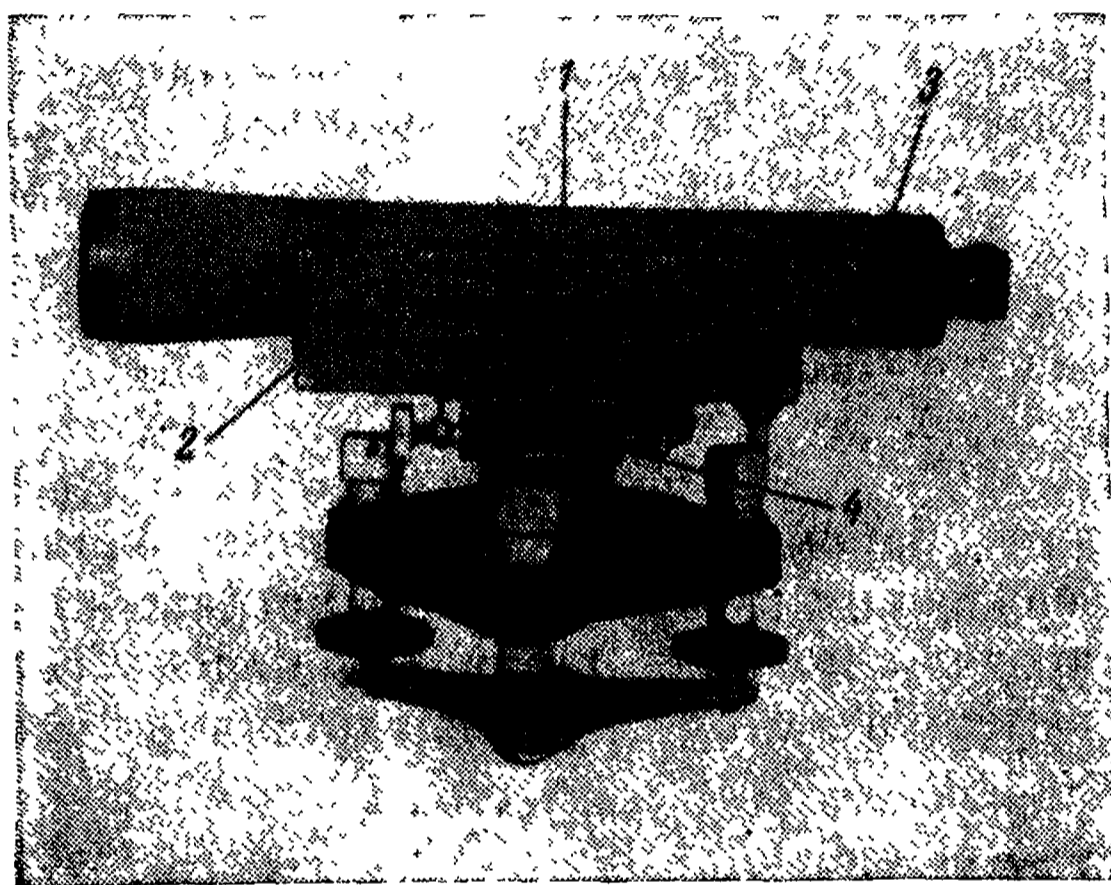
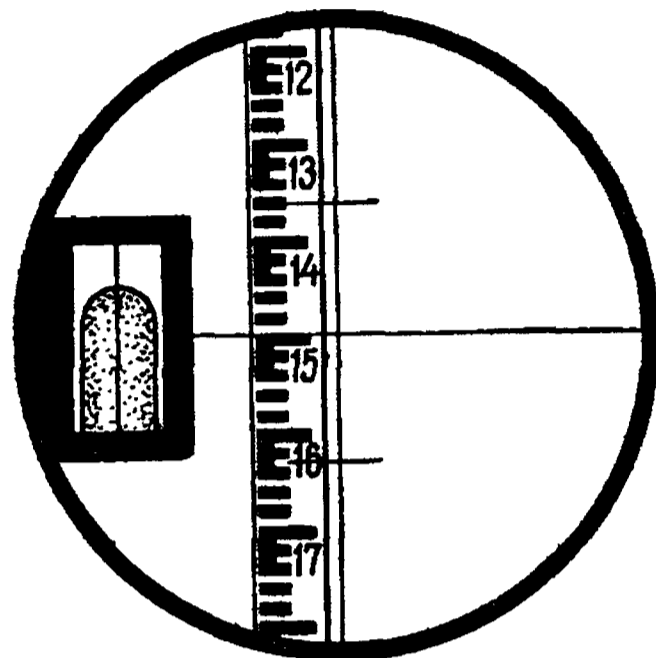
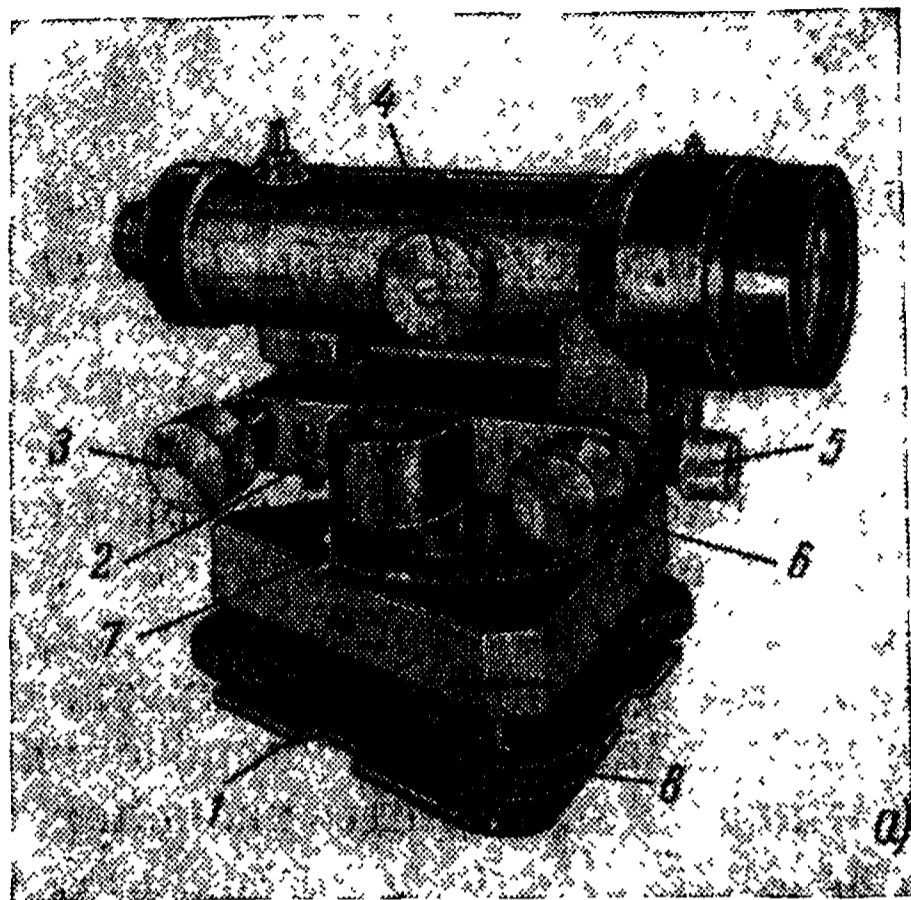


Рис. 38. Нивелир НГ

К каждому нивелиру предъявляется следующее основное условие: визирная ось трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня, т. е. визирная ось трубы должна быть горизонтальна, если пузырек уровня находится на середине ампулы. Практикой установлен допуск в одно деление уровня, на который может отклоняться пузырек уровня при вращении нивелира вокруг оси инструмента. Правила пользования нивелиром требуют при каждом наведении зрительной трубы на нивелирную рейку, перед отсчетом по трубе, подправлять уровень, т. е. приводить пузырек его на середину. Следовательно, нивелировщик в процессе работы обязан уделять особое внимание правильности положения пузырька уровня.

В новых конструкциях нивелиров предусматриваются устройства для облегчения наблюдений за положением пузырька цилиндрического уровня. Первоначально для этой цели было применено зеркальце, пользуясь которым нивелировщик мог видеть положение

пузырька, не отходя от окуляра трубы. В дальнейшем была применена оптическая система, позволившая наблюдать за положением уровня через специальный микроскоп, укрепленный рядом с окуляром зрительной трубы (рис. 38). Благодаря особому расположению призм наблюдатель видит в микроскоп одновременно оба конца пузырька уровня, как бы разрезанные вдоль продольной оси уровня. При совмещении их (контакте)



a)

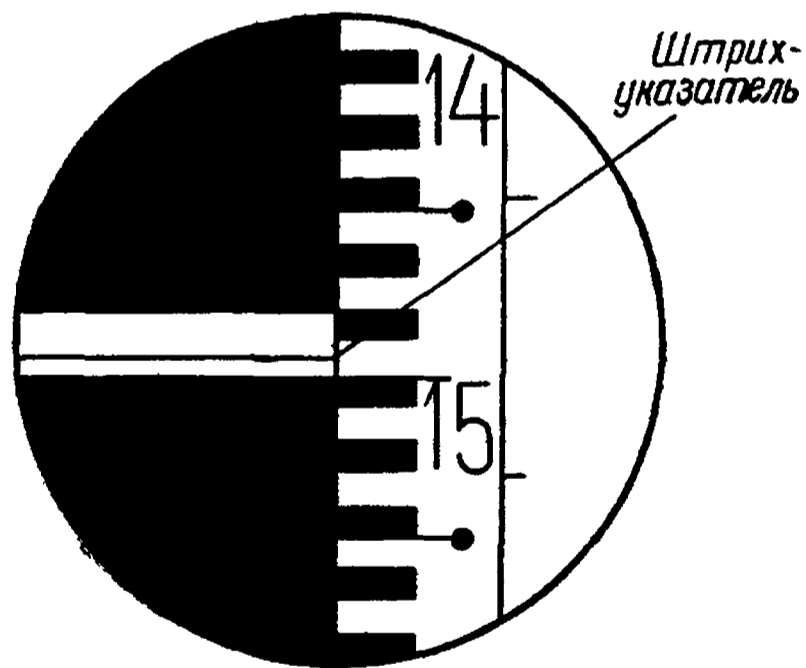
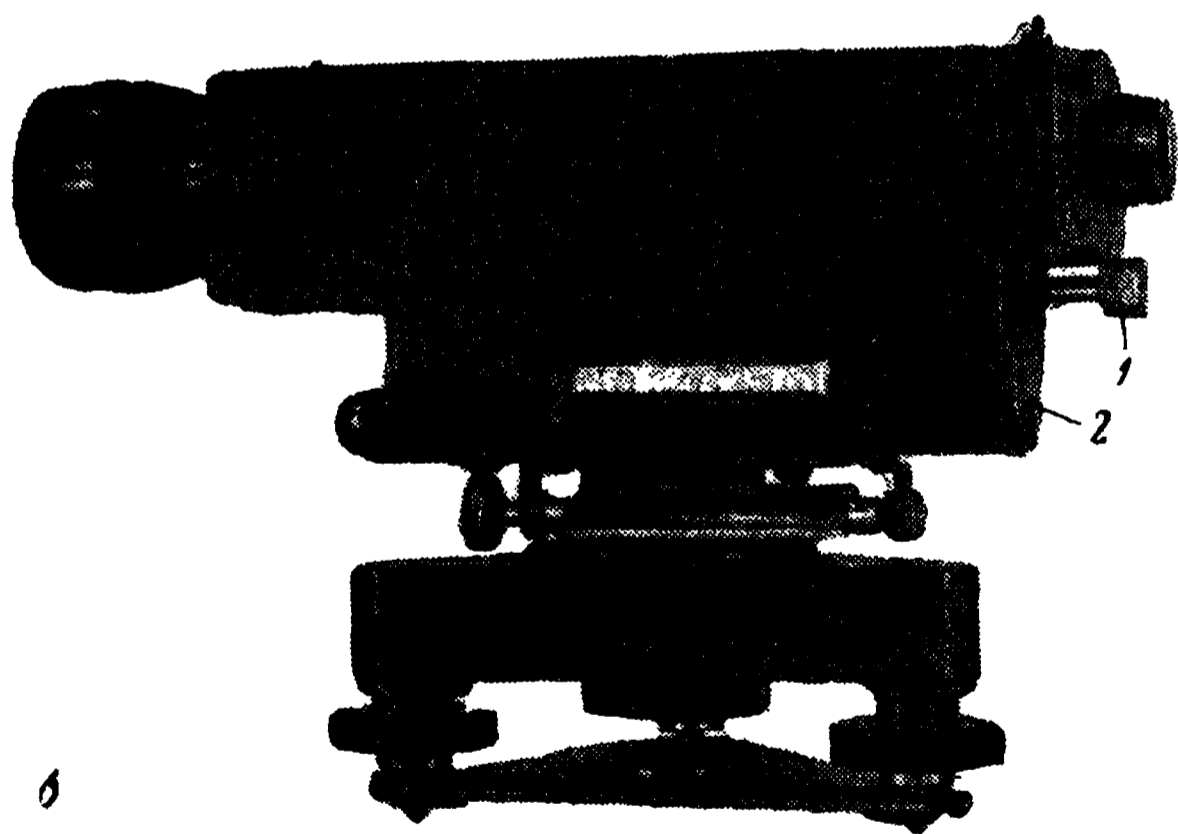


Рис. 39. Нивелиры НВ-1 и НС-3

ось уровня располагается горизонтально. Такой уровень называют **к о н т а к т н ы м**.

В дальнейших конструкциях нивелиров, например в нивелире НВ-1, изображение концов пузырька уровня было перенесено непосредственно в поле зрения зрительной трубы, что значительно улучшило наблюдение за уровнем (рис. 39, a).

Последующие разработки привели к появлению новой конструкции нивелира НС-3, в которой контакт концов пузырька уровня

передан в поле зрения зрительной трубы в качестве с а м о у с т а н а в л я ю щ е й с я л и н и и в и з и р о в а н и я (рис. 39, б).

В последние годы выпущены нивелиры новой оригинальной конструкции, в которых цилиндрический уровень заменен подвесной маятниковой системой, которая автоматически обеспечивает горизонтальность визирной линии зрительной трубы инструмента.

§ 36. Глухие нивелиры и их поверки

Широкое распространение получили глухие нивелиры типа НГ и НВ-1 с контактным уровнем (рис. 38). Элементы трубы 1 нивелира типа НГ и детали его контактного и цилиндрического уровня вместе с системой призм, дающих контактное изображение концов пузырька уровня, размещены в одном монолитном корпусе. Положение контакта рассматривается через микроскоп 3, смонтированный в коробку 2. Вращающееся зеркало 4 служит для подсвечивания уровня.

Ампула уровня имеет камеру, с помощью которой можно регулировать длину пузырька. Для удлинения пузырька нивелир следует держать объективом вверх, слегка встряхивая, а для укорочения — объективом вниз. Закрепительный и наводящий винты расположены на вертикальной оси вращения нивелира. На подставке нивелира укреплен круглый уровень, при помощи которого нивелир приводят предварительно в положение, близкое к горизонтальному, т. е. такое, при котором в поле зрения микроскопа появляются концы пузырька.

П о в е р к и и ю с т и р о в к а н и в е л и р а Н Г .

1. О с ь ц и л и н д р и ч е с к о г о у р о в н я д о л ж н а б ы т ь п е р п е н д и к у л я р н а к о с и в р а щ е н и я и н с т р у м е н т а .

Поверку этого условия производят так же, как и в теодолитах. Регулирование выполняют совместно исправительным винтом уровня и подъемными винтами подставки (см. поверки теодолитов).

2. О с ь к р у г л о г о у р о в н я д о л ж н а б ы т ь п а р а л л е л ь н а о с и в р а щ е н и я и н с т р у м е н т а .

Поверку и юстировку этого условия производят теми же приемами, что и для цилиндрических уровней.

3. В и з и р н а я о с ь т р у б ы д о л ж н а б ы т ь п а р а л л е л ь н а о с и ц и л и н д р и ч е с к о г о у р о в н я .

Это условие проверяют так называемым способом двойного нивелирования (рис. 40).

На местности с небольшим уклоном вбивают 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 рулеткой 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

$$h = a_1 - x - i_1.$$

Далее, меняя местами нивелир и рейку, берут отсчет a_2 по рейке и измеряют i_2 . С учетом погрешности x величина превышения h из второго нивелирования составит

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

Приравняв правые части полученных двух выражений, найдем

$$a_1 - x - i_1 = i_2 + x - a_2$$

или

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

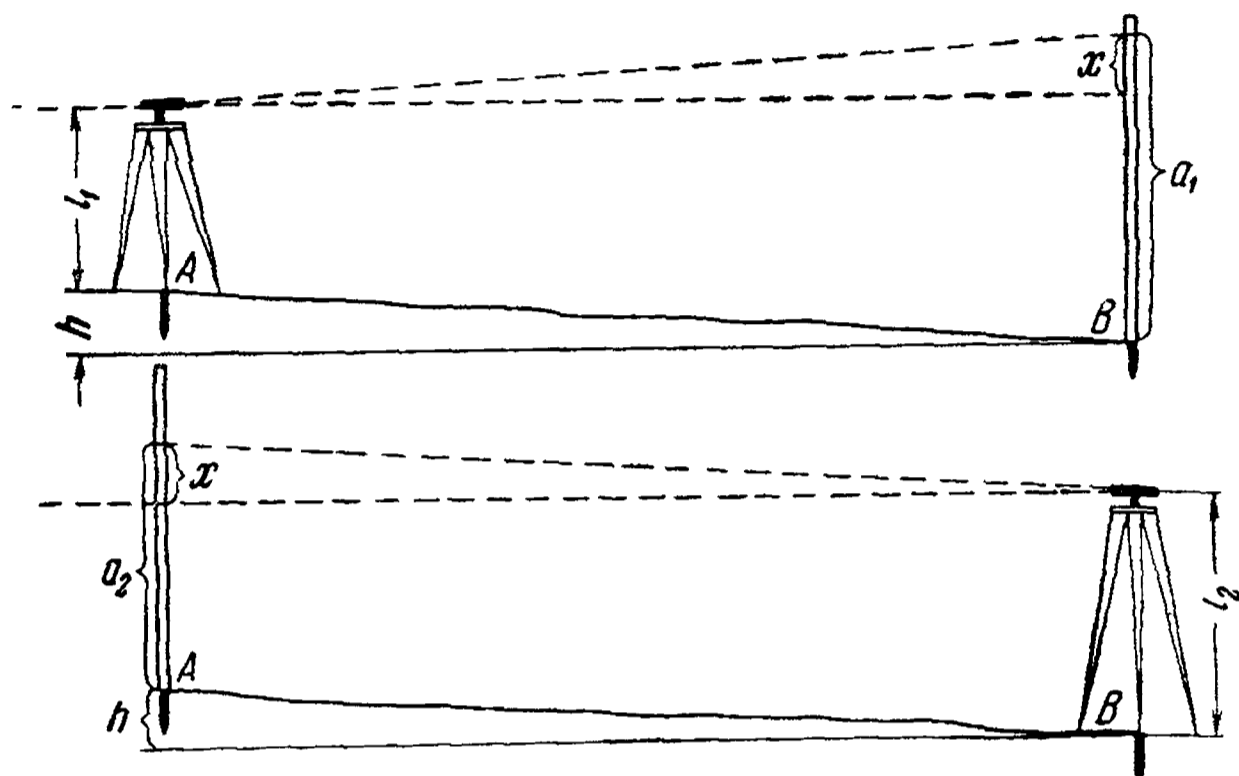


Рис. 40. Схема двойного нивелирования

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. В случае непараллельности визирной оси и оси уровня находят величину $x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}$ и вычитают ее (с соответствующим знаком) из значения a_2 .

На исправленный отсчет $(a_2 - x)$ устанавливают среднюю горизонтальную нить сетки, пользуясь для этой цели вертикальными исправительными винтами.

4. Одна из нитей сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения инструмента, а другая — параллельна ей.

Для проверки этого условия нивелир устанавливают в горизонтальное положение, а в некотором отдалении от него ставят рейку.

Визирную ось наводят на рейку и закрепляют зажимной винт, затем наводящим винтом перемещают трубу нивелира, одновременно следя за отсчетом по рейке. Если отсчет не изменяется, то нить установлена горизонтально. В противном случае ослабляют исправительные винты сетки трубы и поворачивают корпус сетки нитей на требуемый угол, после чего снова подтягивают эти винты.

Глухой нивелир НВ-1. На рис. 39, а изображен глухой нивелир НВ-1, предназначенный для технического нивелирования. Как уже указывалось ранее, изображение концов пузырька уровня перенесено с помощью оптической системы непосредственно в поле зрения основной трубы. Нивелир НВ-1 снабжен элевационным винтом 3, с помощью которого при каждом наведении на рейку точно устанавливают пузырек контактного уровня, а следовательно, и визирную ось в горизонтальное положение. Приближенно устанавливают нивелир при помощи круглого уровня 2, который имеет три исправительных винта 7. Фокусирование выполняют маховичком 4, закрепляют и наводят трубу на рейку соответственно винтами 5 и 6. Установка нивелира по горизонту выполняется тремя подъемными винтами 8 на подставке 1.

Определение превышений при помощи нивелира НВ-1 ведут в следующем порядке: устанавливают нивелир между рейками и приводят его в горизонтальное положение по круглому уровню, затем визуально по целикам на трубе наводят зрительную трубу на рейки. Перед каждым отсчетом по рейке, глядя в зрительную трубу, элевационным винтом добиваются контакта цилиндрического уровня, а наводящим уточняют визирование на рейку.

В связи с наличием элевационного винта отпадает необходимость в выверке цилиндрического уровня. Поэтому в нивелирах НВ-1 проверяют всего три условия:

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

Проверка этого условия описана для нивелиров НГ.

2. Ось цилиндрического уровня и геометрическая ось зрительной трубы должны находиться в параллельных плоскостях.

Для выполнения этой проверки устанавливают нивелир по круглому уровню. Затем элевационным винтом добиваются контакта концов пузырька уровня и делают отсчет по рейке. Действуя подъемными винтами, придают нивелиру некоторый боковой уклон, следя за тем, чтобы отсчет по рейке не менялся. Одновременно замечают положение концов пузырька, которое может сохранить контакт, а может и разойтись. Далее нивелир приводят в первоначальное положение, проверяют, сохранился ли отсчет на прежнем месте рейки, и 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 положение оси уровня исправляют боковыми винтами уровня.

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

Проверку этого условия выполняют способом двойного нивелирования, как это описано для нивелиров НГ. Однако непараллельность осей исправляют регулировкой цилиндрического уровня, а не сеткой нитей, которая в НВ-1 закреплена наглухо. По результатам двойного нивелирования найденную величину x намечают на рейке от отсчета второго нивелирования, как об этом уже говорилось. Затем элевационным винтом наводят среднюю горизонтальную нить сетки на намеченный отсчет, а исправительными винтами (верхним и нижним) уровня добиваются контакта концов пузырька уровня.

Глухой нивелир НС-3 с самоустанавливающейся горизонтальной [линией визирования].

Для автоматического исключения влияния случайных наклонов почвы на правильность положения визирной оси инструмента в 1946 г. инженер Г. Ф. Стодолкевич предложил оригинальную конструкцию нового нивелира, позволяющего нивелировать даже в неблагоприятных условиях. Сущность действия этого прибора (рис. 39, б) состоит в том, что при наклоне нивелира пузырек уровня, естественно, отойдет в ту или иную сторону, но оптическая система передаст в зрительную трубу изображение концов пузырька в виде штриха либо выше, либо ниже геометрического центра, но так, что линия визирования будет сохранять горизонтальное положение. При наклонах инструмента, больших $\pm 90''$, изображение штриха уходит из поля зрения трубы.

Нивелирование на станции выполняют в следующем порядке.

Нивелир устанавливают по круглому уровню. В поле зрения трубы появляется штрих-указатель. По штриху отсчитывают деления нивелирной рейки.

Проверки нивелира НС-3. 1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения инструмента.

Проверка этого условия описана в проверках нивелиров НГ.

2. Штрих-указатель должен представлять собой линию, а не полоску, которая образуется вследствие изменения длины пузырька.

Дефект устраняется вращением регулировочного винта 1. Вращение приводит к перемещению призмы оптической системы, а поэтому полоска превратится в линию.

3. Линия визирования должна быть параллельна оси цилиндрического уровня.

Это условие проверяется способом двойного нивелирования. Юстировку производят исправительными винтами цилиндрического уровня. Для доступа к ним следует откинуть крышку 2.

§ 37. Нивелирные рейки

В тоннелестроении обычно пользуются двумя видами нивелирных реек: цельными, длиной от 3 м и меньше, и раздвижными общей длиной 4 м.

Рейки изготавливают из деревянных брусков шириной около 8 см и толщиной около 2 см. Для придания жесткости и для большей сохранности делений к боковым граням реек прикрепляют поперечные планки так, как это показано на рис. 41. Обычно на рейки наносят сантиметровые деления. Для удобства отсчитывания деления

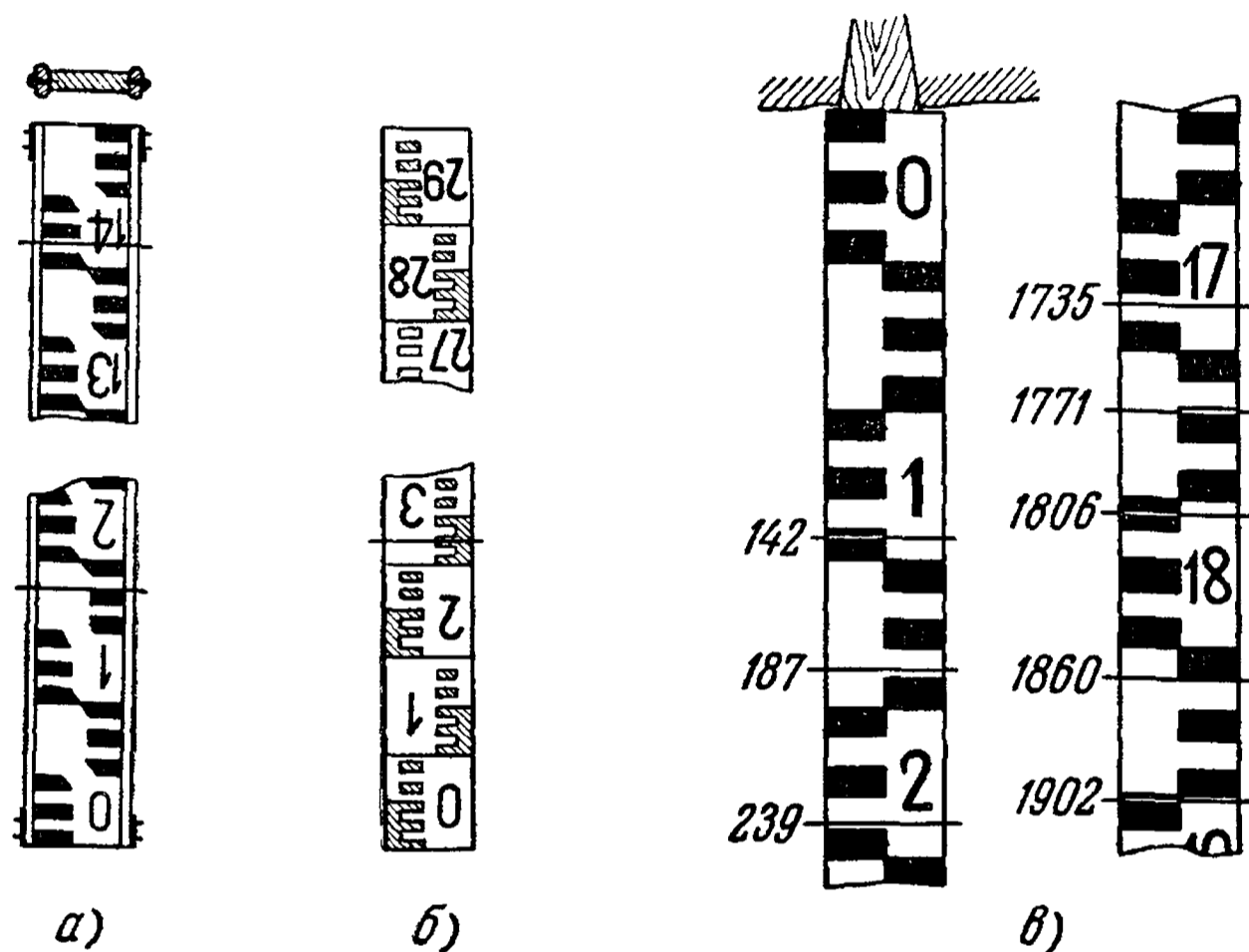


Рис. 41. Рейки для нивелирования

располагают группами по 5 или 10 делений в шахматном порядке. Каждые 10 делений подписывают соответствующим дециметром. Для возможности контроля отсчетов деления наносят на обеих сторонах рейки, при этом для основной стороны принят черный цвет, для обратной — красный. Счет делений односторонних и основной шкалы двусторонних реек ведут от нуля, приравнивая к нему линию пяты рейки. На красной стороне двусторонних реек пяту их приравнивают к какому-либо произвольному числу, причем, как правило, не целому числу метров, например 4682 мм.

Для контроля установки рейки по вертикали применяют круглый уровень или отвес. Если их нет, то боковой наклон рейки (влево или вправо) легко определяют с помощью вертикальной нити сетки, а продольный исключается в результате плавного наклона (качания) реечником рейки взад и вперед по указанию нивелировщика. Сам же нивелировщик, наблюдая за наклонами рейки в зрительную трубу, улавливает наименьший отсчет, который, как это легко сообразить, соответствует отсчету по вертикальной рейке.

Каждую вновь полученную или изготовленную рейку нужно прокомпарировать.

Полезно помнить правило: н у л ь (п я т у) р е й к и в с е г д а п р и к л а д ы в а ю т к н и в е л и р у е м о й т о ч к е (рис. 41).

Отсчеты по рейке производят и записывают в миллиметрах. При нивелировании в подземных сооружениях, где часто н у л ь р е й к и п р и к л а д ы в а ю т к в е р х н и м т о ч к а м, следует помнить, что счет делений идет от верхней части дециметров, которой соответствует и верхняя часть числа (цифры) дециметра.

§ 38. Способы геометрического нивелирования

При геометрическом нивелировании применяют два способа: 1) нивелирование из середины и 2) нивелирование вперед.

Н и в е л и р о в а н и е и з с е р е д и н ы. При нивелировании из середины инструмент устанавливают на равных расстояниях от двух точек, превышение которых определяется. Пусть требуется определить превышение h точки B над точкой A . Для этого между точками устанавливают нивелир, а на точках — рейки (см. рис. 36, *a*). Приведя нивелир в горизонтальное положение, наводят трубу на заднюю рейку A и делают по рейке отсчет a , затем наводят трубу на переднюю рейку B и берут отсчет b . Отсчеты a и b называют **взглядами назад и вперед**. Из приведенной схемы видно, что $h = a - b$, т. е. **превышение равно взгляду назад минус взгляд вперед**. Превышение получается положительным, если $a > b$, и отрицательным, если $a < b$.

При нивелировании из середины иногда для удобства выбора места установки нивелира относят его в ту или иную сторону от трассы, но всегда так, чтобы место стоянки было на равных расстояниях от нивелируемых точек.

Наиболее удобным для стоянки инструмента будет то место, где наилучшим образом обеспечиваются следующие условия: 1) в местах установки инструмента твердый грунт (или бетон); 2) при взглядах вперед и назад обеспечен удобный доступ к окуляру; 3) визирный луч проходит не ближе чем 0,3 м от постоянных предметов и поверхности Земли.

Н и в е л и р о в а н и е в п е р е д. Способ нивелирования вперед применяется в редких случаях. При таком способе определения превышения нивелир ставят в точку A так, чтобы окуляр его проецировался над точкой, и определяют над ней высоту i центра окуляра визирной оси. Затем берут отсчет b по рейке, установленной на точке B . Тогда

$$h = i - b,$$

т. е. **превышение равно высоте инструмента минус отсчет вперед**.

§ 39. Сложное нивелирование

В тех случаях, когда превышение между двумя точками нельзя определить с одной постановки инструмента, применяют сложное нивелирование, т. е. такое нивелирование, которое можно осуществить только с нескольких станций. Этот вид нивелирования применяется, например, при значительном удалении точек или при значительной разности их уровней.

Из рис. 42 видно, что превышение точки B над точкой A , определяемое сложным нивелированием, равно

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

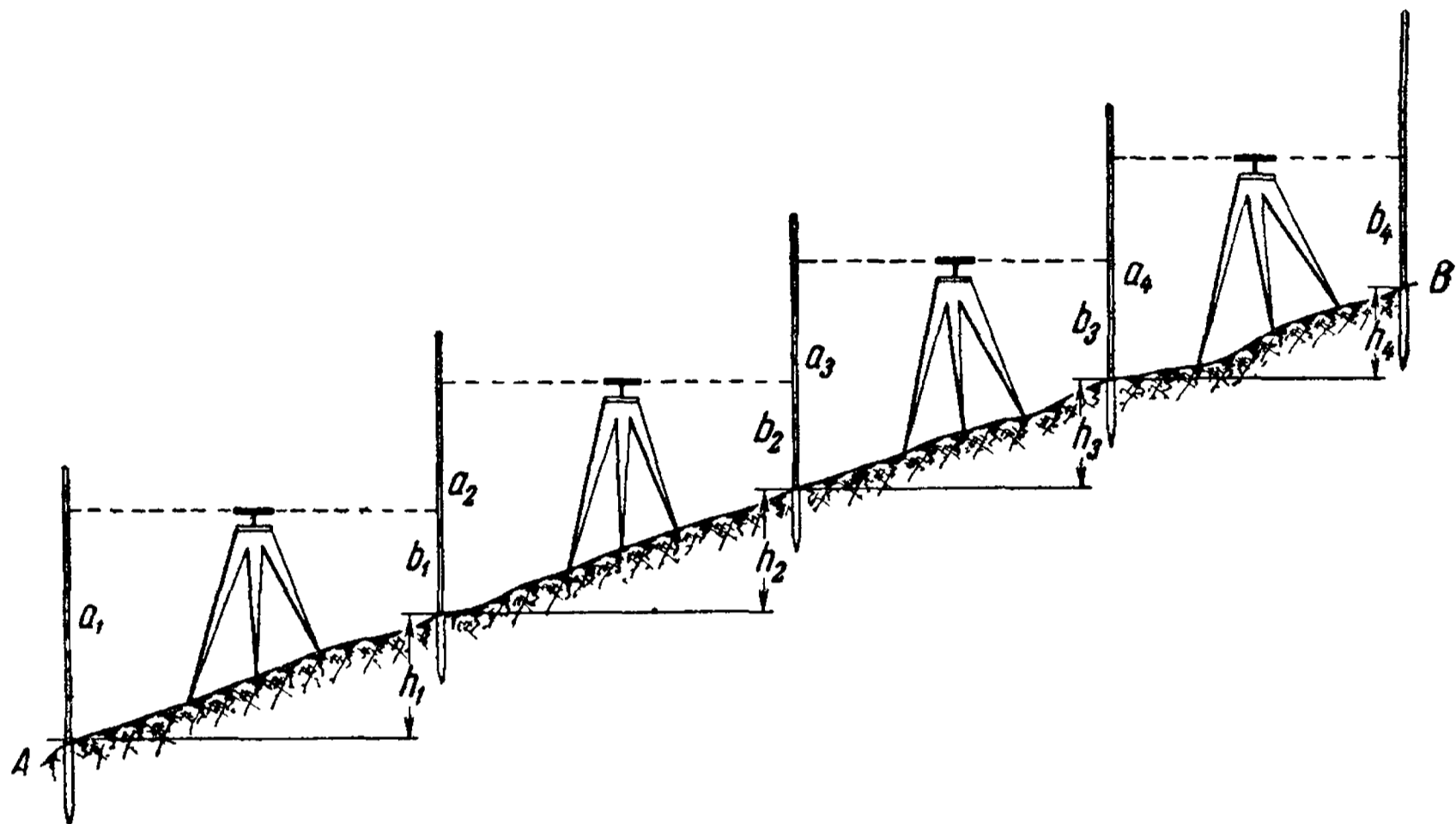


Рис. 42. Схема сложного нивелирования

или, в общем выражении,

$$h = h_1 + h_2 + \dots + h_n, \text{ где } h_1 = a_1 - b_1; h_2 = a_2 - b_2 \text{ и т. д.}$$

Подставляя значения превышений, найдем

$$h = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) - (b_1 + b_2 + \dots + b_n);$$

откуда

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

Отдельные превышения могут быть и положительными, и отрицательными, поэтому при суммировании необходимо учитывать их знаки.

Для определений высотной отметки точки B можно написать

$$H_B = H_A + h,$$

т. е. абсолютная отметка передней точки равняется абсолютной отметке задней точки плюс превышение.

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

$$H_{Г. и.} = H_A + a,$$

тогда отметка любой точки пронивелированной с данной станции,

$$H_i = H_{Г. и.} - b_i.$$

§ 40. Влияние кривизны Земли и рефракции. Сравнение двух способов геометрического нивелирования

Влияние кривизны Земли заключается в том, что горизонтальный луч визирной оси нивелира не параллелен уровенной поверхности. Величина отклонения луча от уровенной поверхности вычисляется по формуле

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

где d — длина визирного луча, а $R = 6370$ км (радиус Земли).

Влияние рефракции состоит в том, что слои атмосферы, окружающие поверхность Земли, имеют различную плотность и температуру. Визирный луч, проходя через толщу этих слоев, преломляется. Поэтому отсчет по рейке всегда больше истинного на величину r . Из многочисленных наблюдений определено, что влияние рефракции составляет 0,16 влияния кривизны Земли, т. е. $r = 0,16 q$.

При использовании способа нивелирования вперед в превышение входит совместная погрешность, равная

$$f = q - r = 0,42 \frac{d^2}{R}.$$

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

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

1) при равных расстояниях от нивелира до реек ошибки 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, увеличивается продвиг в работе, так как расстояние между задней и передней точками берется в два раза большее, чем при нивелировании вперед.

§ 41. Геометрическое нивелирование при изысканиях и проектировании инженерных сооружений

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

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

- 1) продольное нивелирование;
- 2) поперечное нивелирование;
- 3) нивелирование площадей при съемках участков.

При изысканиях дорог, тоннелей и каналов применяют сложное нивелирование для определения отметок точек местности вдоль трассы. В этих случаях по оси трассы прокладывают нивелирный ход и получают отметки продольного профиля трассы. Такое нивелирование называют **продольным**.

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

Плановым геодезическим обоснованием при этом нивелировании по трассе служит теодолитный ход, называемый **магистральным ходом**.

§ 42. Подготовка к геометрическому нивелированию по трассе линейного сооружения

Предварительно по материалам съемок прежних лет намечают ось трассы. Окончательный выбор и закрепление на местности магистрали производится в процессе рекогносцировки (ознакомления) применительно к местным условиям и в соответствии с задачами проектируемого сооружения. Рекогносцировка — весьма ответственный процесс, а поэтому проведение ее поручают наиболее квалифицированным работникам.

В процессе рекогносцировки провешивают прямые участки трассы и надежно закрепляют вершины углов поворотов. 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 знакам геодезической основы.

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

§ 43. 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 подписывают ПК0, на следующей — ПК1 и т. д. Нумерация пикетов продолжает нарастать до конца трассы. Номера пикетов соответствуют числу сотен метров от начала трассы. На кривых участках трассы длины пикетов откладывают по кривым.

Каждый пикетный участок ограничен двумя порядковыми числами, например: пикет (11—12), где 11 называют младшим значением, а 12 — 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 12 + 33,475. Это означает, что от начала трассы до точки — 12 целых пикетов плюс 33,475 м, т. е. всего $12 \times 100 \text{ м} + 33,475 = 1233,475 \text{ м}$. Такая система указаний положения точек на трассе облегчает расчеты при строительстве тоннелей, а также при их эксплуатации. При продольном нивелировании все точки (пикеты) должны быть занивелированы, вычислены их абсолютные отметки H и нанесены на продольный профиль.

Помимо целых пикетов, в магистральном ходе отмечают колышками характерные точки (пикеты) перегибов поверхности, пересечений 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 плюсовыми.

В городских условиях пикеты закрепляют металлическими гвоздями с широкими шляпками или отмечают их краской в виде креста на асфальте; плюсовые точки подписывают краской на асфальте или стенах домов, бортовом камне и пр.

В зависимости от характера рельефа местности на протяжении трассы разбивают ряд поперечников по линиям, перпендикулярным к магистрали. Поперечники разбивают в местах, где трасса проходит вдоль косогоров, по дорогам с насыпями и выемками и т. д. В местах спокойного рельефа поперечники закладывают 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 перегибов местности, чтобы в процессе нивелирования по трассе занивелировать их.

Смежные отрезки прямых участков трассы сопрягают круговыми и кривыми. В процессе разбивки пикетажа и нивелирования по трассе размечают только главные точки каждой кривой:

НК — начало кривой, КК — конец кривой, СК — середина кривой. Примеры на вычисление элементов кривых приведены в главах 5 и 6.

§ 44. Пикетажный журнал. Работа на нивелирной станции

Попутно с разбивкой пикетажа производят съемку ситуации в полосе трассы по обе стороны от ее оси. Съемке подлежат основные контуры и предметы местности. Съемку выполняют способом ординат или засечек. Все данные съемок по пикетам, зарисовки их расположения и ситуации заносят в пикетажный журнал, который изготавливают из миллиметровой бумаги в виде альбома продолговатой формы (рис. 43).

Вдоль правой стороны каждого листа проводят ось магистрали, а также наносят результаты съемки ситуации полосы. 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 пикеты и прочие данные съемки.

Нивелирование по трассе ведут по способу «из середины» по связующим точкам, т. е. по основным целым пикетам с одновременным нивелированием промежуточных плюсовых точек. В некоторых случаях, например на крутых склонах, нельзя получить превышение между двумя целыми пикетами с одной установки нивелира. Поэтому вводят дополнительные связующие точки, определять высотные отметки которых нет необходимости. Такие точки называют *и к с о в ы м и*. Пикетажный журнал ведут примерно в масштабе 1 : 2000. В местах со сложной ситуацией или сложным рельефом принято увеличивать против масштаба расстояние между целыми пикетами и, наоборот, в местах со спокойным рельефом и ситуацией эти расстояния принято уменьшать.

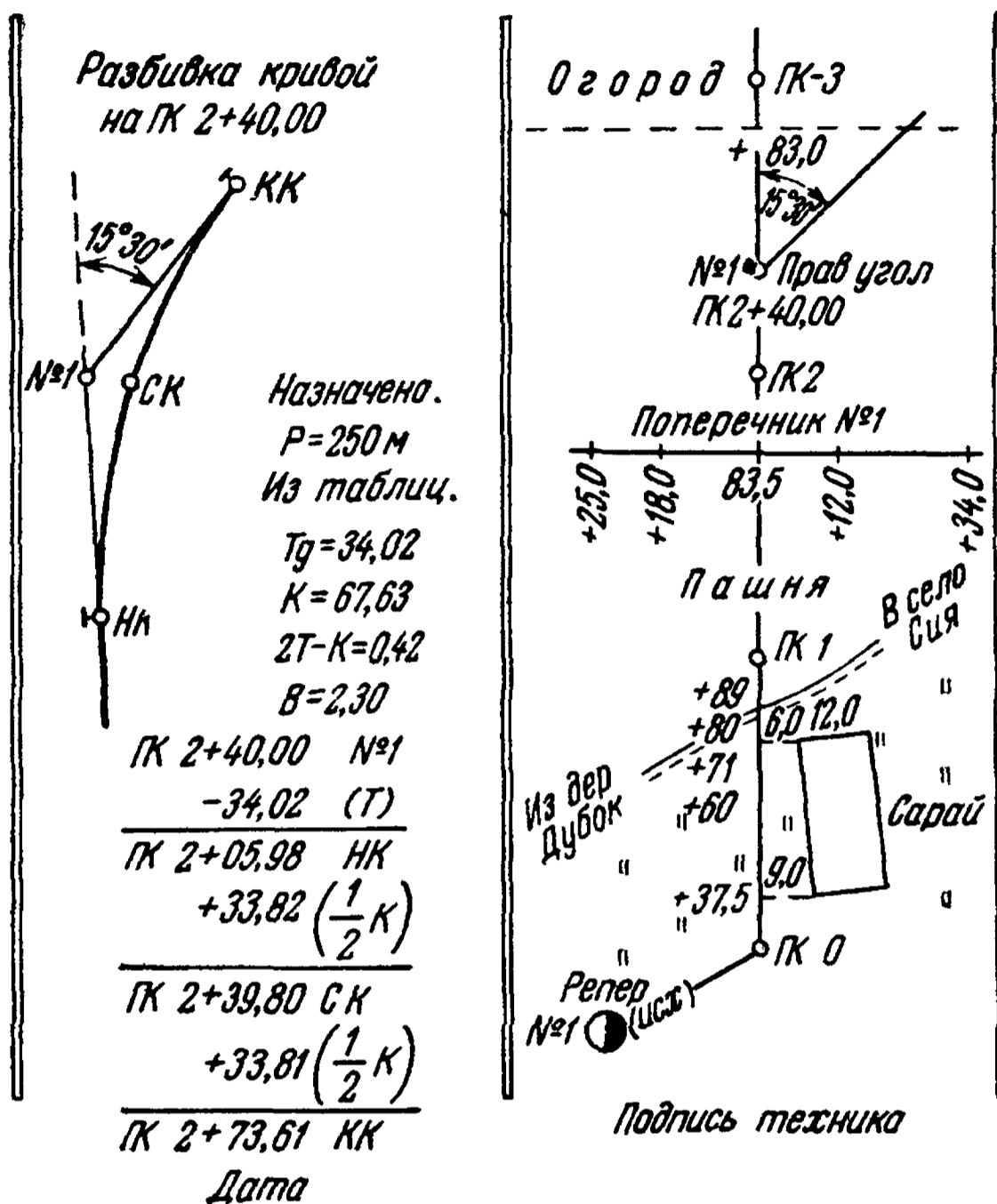
В пикетажном журнале отмечают и зарисовывают все данные ситуации и рельефа, а также указывают назначение всех точек, внесенных в журнал продольного и поперечного нивелирования. Ось магистрали наносят в пикетажном журнале вдоль длинной стороны листа. Углы поворотов трассы условно обозначают стрелками, над которыми подписывают величины углов.

При разбивке пикетажа измеряют углы наклона линий, подсчитывают по полученным углам наклона поправки за наклон и учитывают эти поправки при разбивке.

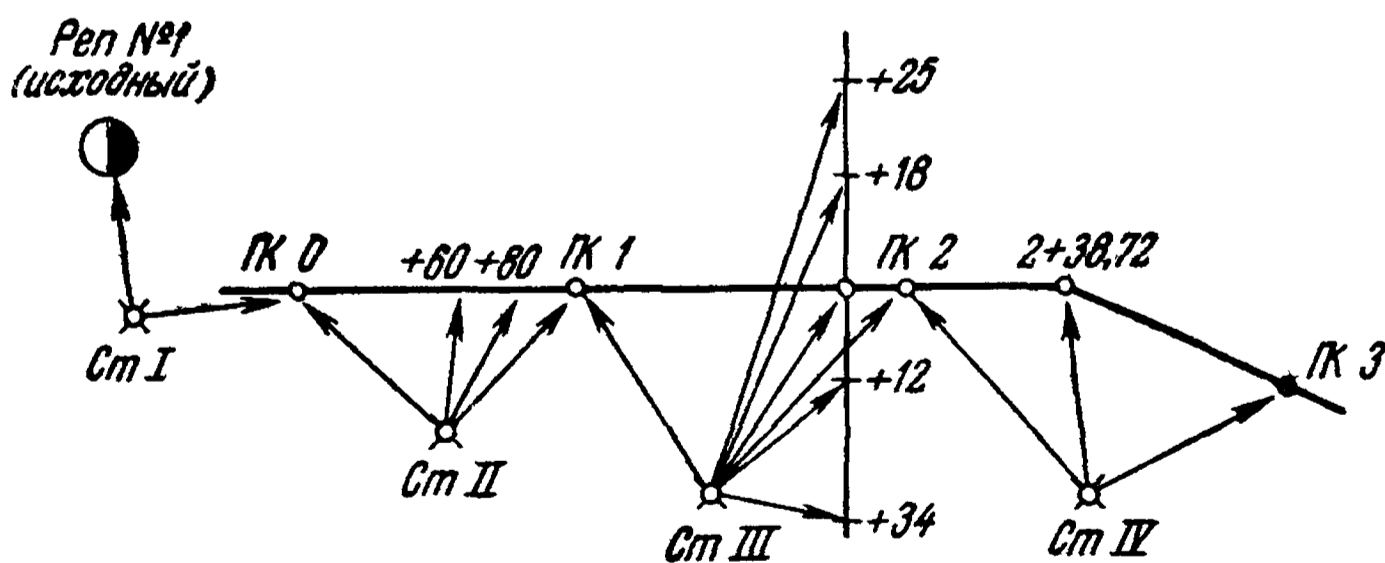
После разбивки пикетажа и плюсовых точек приступают к нивелированию. Работа на каждой станции заключается в том, что устанавливают инструмент и отсчитывают по рейкам сначала на заднюю связующую точку, а затем на переднюю. При наличии промежуточных точек и точек поперечников берут также отсчеты на каждую из них. Этим ограничивается работа на станции. При выполнении ее должен быть хорошо организован контроль. Необходимость последнего вызывается возможностью грубых ошибок как следствия про-

счетов по рейкам и систематических ошибок как следствия плохой юстировки самих нивелиров.

Существуют такие способы текущего контроля работы на станции:



а)



б)

Рис. 43.

а — образец записей в пикетажном журнале, б — схема нивелирования

1. Проверка правильности отсчетов по рейкам путем изменения высоты инструмента. Для этого после отсчетов по задней и передней связующим точкам (пикетам) повышают или пони-

жают штатив примерно на дециметр, 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 плюсовых точек, а также точек поперечников (рис. 44) ведут при втором горизонте инструмента.

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

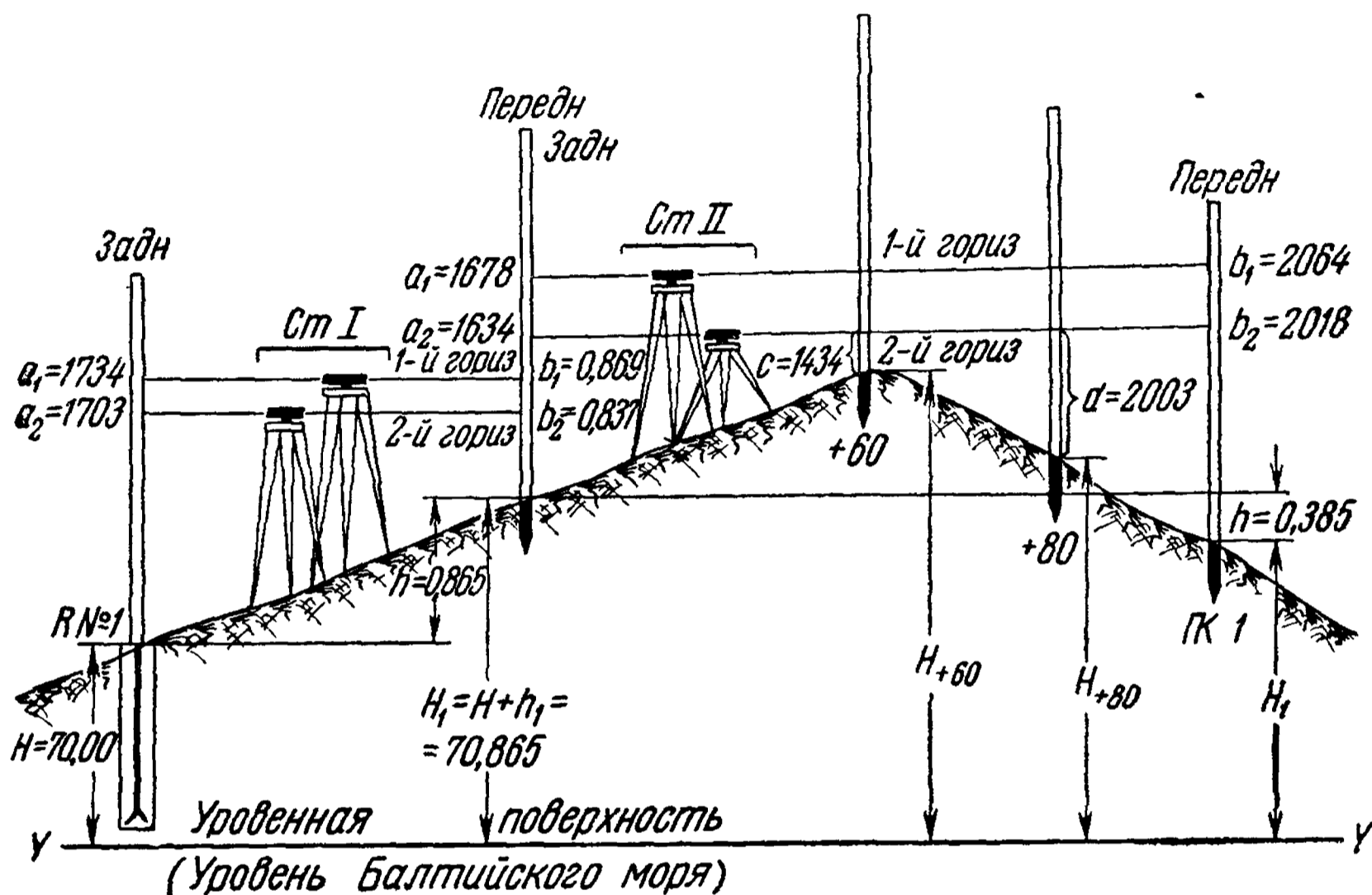


Рис. 44. Схема нивелирования двумя горизонтами

3. Одновременное нивелирование двумя инструментами обеспечивает наибольшую надежность (хотя этот способ является самым трудоемким).

Важной задачей при прокладке нивелирных ходов является привязка их к знакам государственной нивелирной сети. Нивелирные ходы для привязок к знакам государственной основы прокладывают по временным связующим точкам или по специальным нивелирным башмакам.

§ 45. Нивелирные журналы

Все виды нивелирных журналов сводятся к основным двум формам (табл. 6 и 7).

В журнале первой формы в графу 1 записывают наименование всех точек, которые нивелируют. Далее записывают отсчеты по задней и передней рейкам: 1734 (графа 2) и 869 (графа 3) и соответственно 1703 и 837 при втором горизонте. Здесь делают первый полевой

I. Журнал для нивелирования (рейки односторонние)

Нивелируемые точки (рис. 43, б)	Отсчеты по рейкам					Превышение h		Горизонт инструмента НГ. И.	Абсолютные отметки H	Примечания
	читанные			средние		+	-			
	задние a	передние b	промежуточные	задние	передние					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Реп. 1	1734 1703			1718					70,000	Вычисление отметок связующих точек: $70,000 = H_1$ $+ 865 = h$ $\hline 70,865 = H_{\text{ПК0}}$
ПК0	31	869 837		853		865				
ПК0	1678 1634			1656				72,499	70,865	Вычисление горизонта инструмента: $70,865 = H_{\text{ПК0}}$ $+ 1634 = a$ $\hline 72,499 = H_{\text{Г. И}}$
+60	44		1434			385			71,065	
+80 ПК 1		2064 2018	2003	2041					70,496 70,480	
		46								

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 835 и 1310, затем отсчеты по красной стороне 5517 и 5993. Полевой контроль производят путем подсчета превышений по обеим шкалам реек (475 и 476). После этого нивелируют все промежуточные точки и поперечники, пользуясь черной стороной рейки. В конце журнала второй формы приведен пример заполнения его, когда между ПК12 и ПК13 была вставлена икс-овая связующая точка.

II. Журнал для нивелирования (рейки двусторонние)

Нивелируемые точки	Отсчеты по рейкам			Превышения (h)				Горизонт инструмента НГ. И.	Абсолютные отметки Н	Примечания
	задние a	передние b	промежуточные	полученные		средние				
				+	-	+	-			
ПК-11	835				475				70,181	
+70	5517				476		476	71,016	69,816	
пр. +17			1200						69,862	
» +34	Поперечник № 1		1154						69,075	
лев. +18			1941						70,880	
» +25			136						69,285	
ПК 12		1310	1731						69,705	
		5993								
ПК-12	1649				1277				69,705	Вычисление отметок основных связующих точек $69,705 = H_{12}$ $+ 1276$
x	6330				1275		1276			
		372								
		5055								
x	1543				1087					$+ 1088$ $\frac{72,069 = H_{13}}$
ПК-13	6228				1090		1088		72,069	
		456								
		5138								

По каждой странице журнала проводят контроль. Для этого подсчитывают постраничные суммы средних превышений по связующим точкам и сличают их с разностями начальной и конечной отметок.

§ 46. Обработка результатов нивелирования. Геометрическая схема

После окончания нивелирования в камеральных условиях проверяют средние величины отсчетов и превышений, вычисление отметок и проводят контроль полевых вычислений. Невязку нивелирного хода подсчитывают по окончании хода и, во всяком случае, до переезда на новое место работы.

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

чество станций и длину хода. При тоннелестроении инструкцией установлен допуск невязок нивелирных ходов

$$f_h = \pm 2 \sqrt{n} \text{ мм,}$$

где n — количество станций в ходе, а если количество станций $n < 10$, то

$$f_h = \pm 3 \sqrt{n} \text{ мм.}$$

Невязку нивелирного хода делят на число n станций и вводят с обратным знаком в превышения между связующими точками.

§ 47. Составление продольного и поперечного профилей

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

Продольный профиль дороги

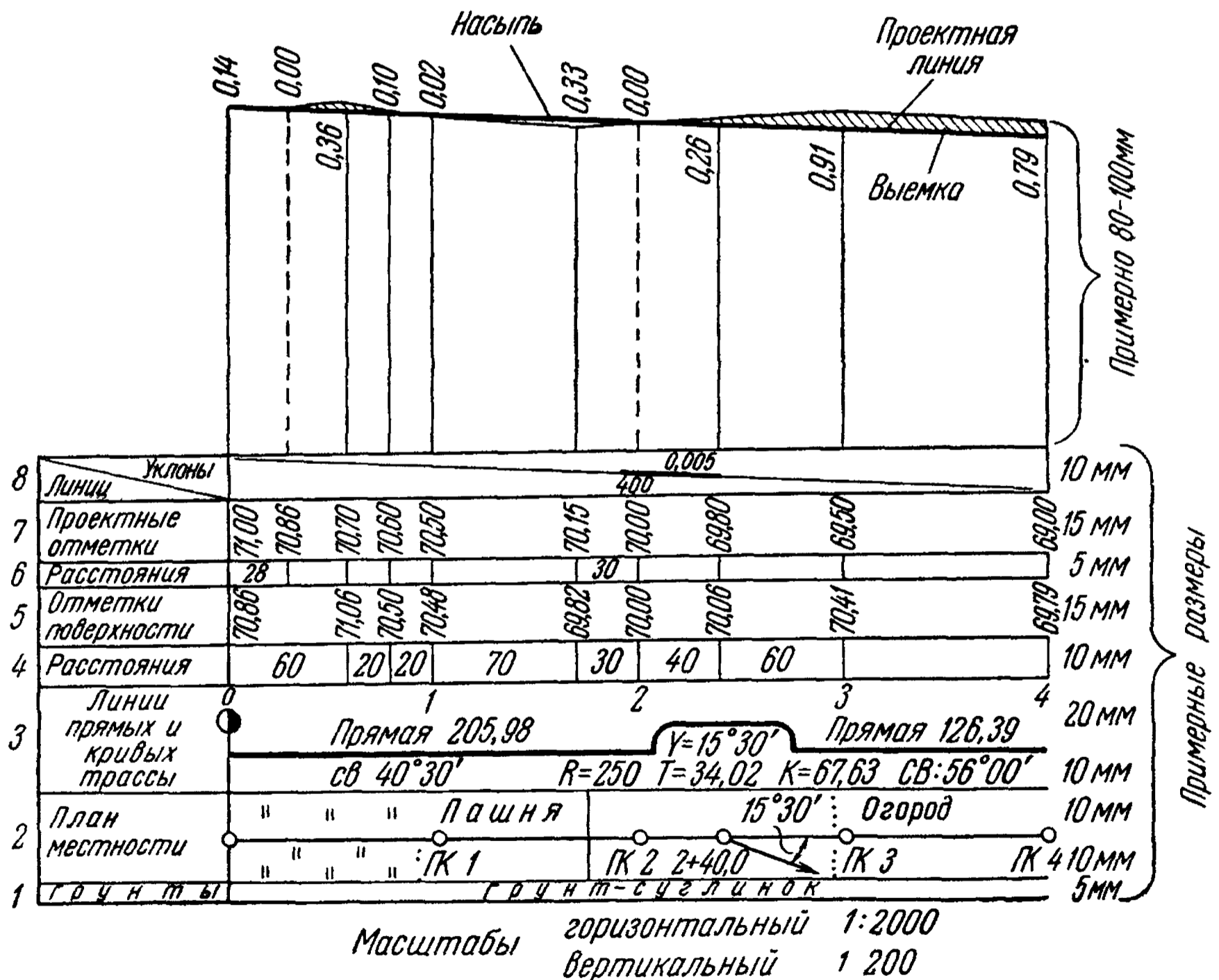


Рис. 45. Продольный профиль дороги

Для продольных профилей применяют разные масштабы по пикетажу и по вертикали. Обычное соотношение масштабов 1:10. В тоннельных работах приняты масштабы: горизонтальный — 1:2000 и вертикальный 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. 45). При построении профиля важно правильно выбрать отметку условного горизонта. Необходимо, чтобы в среднем линия поверхности располагалась выше этого горизонта на 80—100 мм, а абсолютная отметка его была кратной 10 м. Ниже линии условного горизонта вычерчивают ведомость профиля, которую заполняют

Профиль части трассы водостока
от к. №58 до к. №61

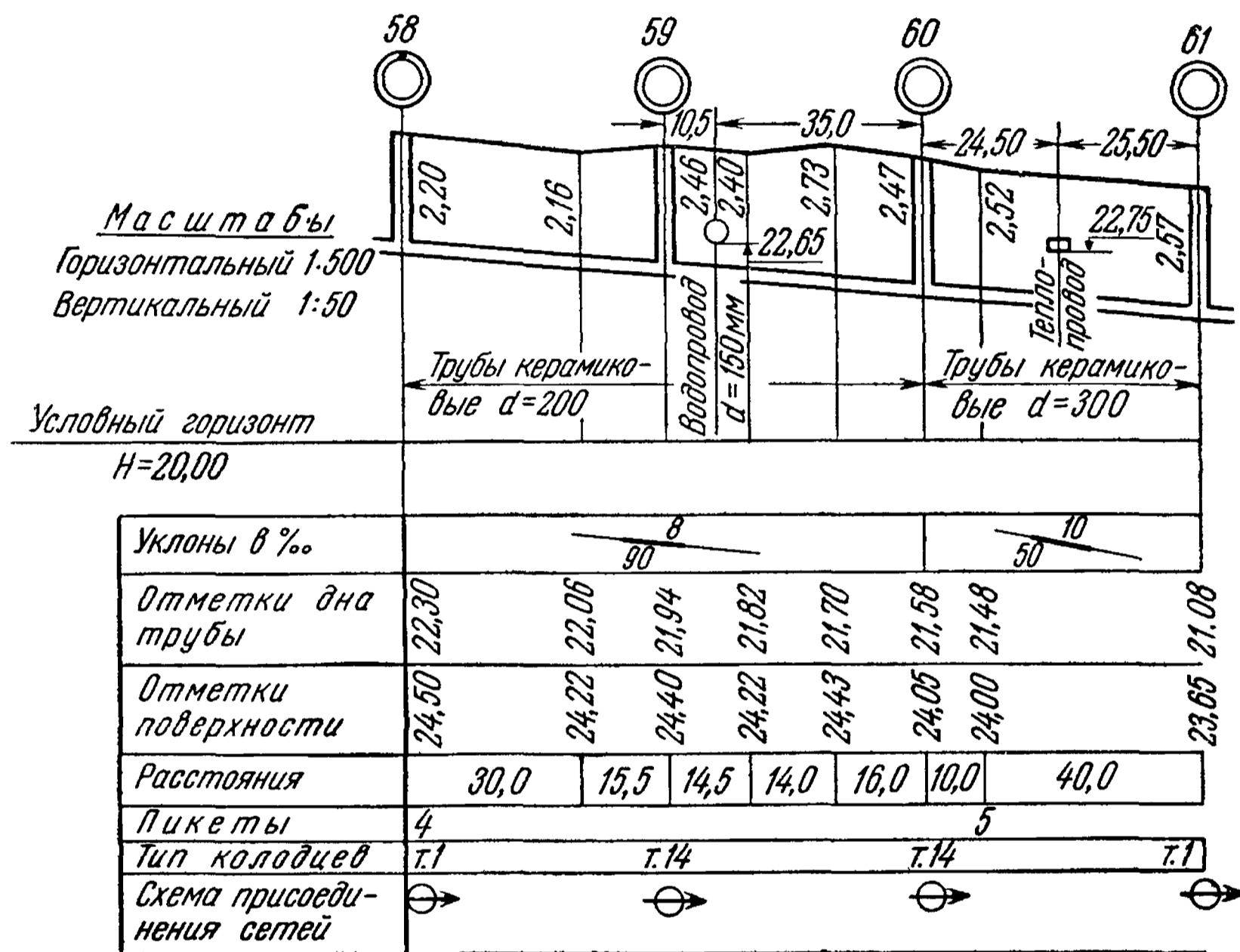


Рис. 46. Профиль водостока

данными нивелирования, пикетажных работ, съемки поверхности, а также проектными (красными) отметками.

П о п е р е ч н ы е профили часто составляют в одном масштабе по пикетажу и по вертикали. 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.

Образец профиля, составленного для сооружения водостока при обеспечении шахтной площадки, приведен на рис. 46. В условиях городов для таких профилей выбирают горизонтальный масштаб кварталных городских планов, т. е. 1 : 500, а вертикальный 1 : 50.

§ 48. Построение на профиле проектной линии. Уклоны. Красные 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

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

где $h = N_{\text{кон}} - N_{\text{нач}}$, а d — величина отрезка по горизонтали. Затем подсчитывают проектные отметки для каждого пикета и промежуточных точек по формуле

$$N_i = N_{\text{исх}} + i \cdot d.$$

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.

§ 49. Способы нивелирования площадей. Составление планов с горизонталями

Нивелирование площадей производят для изучения и изображения рельефа горизонталями на планах площадок, а также для подсчетов объемов земляных работ. Для такого нивелирования применяют следующие способы: 1) нивелирование по квадратам; 2) нивелирование по параллельным линиям и 3) нивелирование по магистралям с поперечниками.

Нивелирование по квадратам применяют на открытых участках местности со спокойным рельефом. До начала нивелирования на местности разбивают сеть прямоугольников или квадратов (20×20 м или 50×50 м) в зависимости от заданного сечения горизонталей. Вершины прямоугольников или квадратов закрепляют временными знаками и нумеруют по рядам буквами, а по столбцам — цифрами или наоборот. Каждый колышек подписывают в соответствии с принятой системой обозначения, например $a - 7$, или $d - 3$ и т. п.

Одновременно с разбивкой квадратов выявляют характерные точки рельефа (бугры, ямы и т. п.) и зарисовывают их на схеме разбивки квадратов. Нивелирование начинают с хода $ABCD$, для чего используют некоторые из закрепленных вершин (рис. 47). Ход увязывают и на базе его производят нивелирование всех закрепленных вершин и пикетов. Места стоянки нивелира отмечены на схеме. Взгляды на точки изображены пунктирными отрезками.

Отметки каждой вершины округляют до сантиметра и выписывают на схему квадратов. Интерполированием между вершинами, по диагоналям и на линиях, проведенных между вершинами и отдельными пикетами характерных точек рельефа, определяют точки с отметками для основных горизонталей. Через эти точки проводят плавной линией соответствующие горизонтали (рис. 47).

Нивелирование по параллельным линиям применяют на местности со спокойным рельефом, но занятой кустарником или мелкими строениями, не дающими возможности разбить

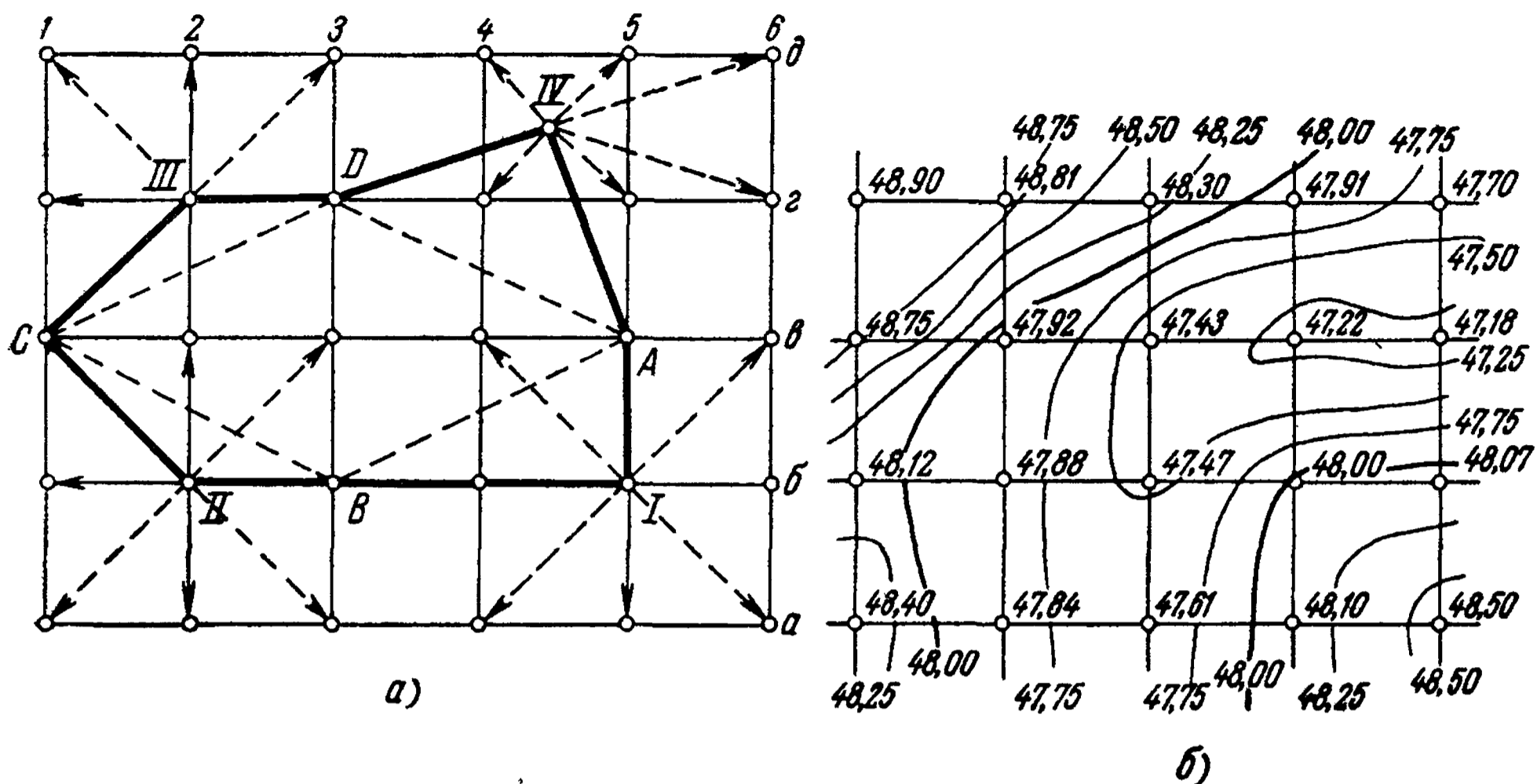


Рис. 47. Нивелирование по квадратам:

а — схема, б — рисовка горизонталей

сеть квадратов или прямоугольников. В таких случаях прокладывают магистральный нивелирный ход, а от него через равные промежутки — перпендикуляры, образующие сеть параллельных линий, являющихся основой как для съемки контуров, так и для нивели-

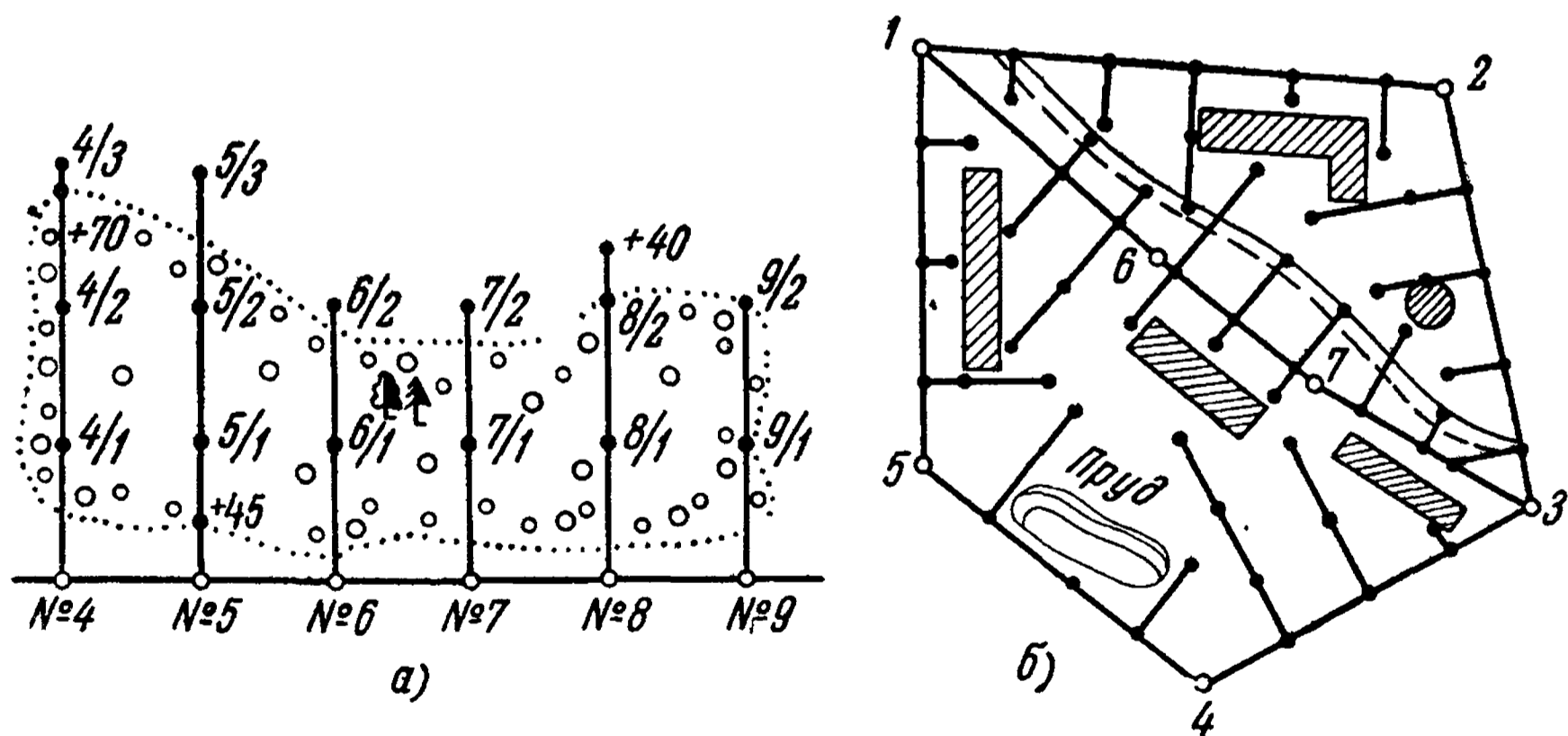


Рис. 48. Нивелирование по поперечникам:

а — в лесу, б — в застроенных местах

рования (рис. 48, а). Точки с отметками для основных горизонталей определяют так же, как и при нивелировании по квадратам.

Нивелирование по магистралям с поперечниками выполняют преимущественно на застроенных участках или на участках с резким разнообразным рельефом (рис. 48, б).

Из схемы видно, что нивелирование такой площади выполняют по магистралям 1-2-3-4-5-1 и 1-6-7-3 методом продольного нивелирования с рядом промежуточных точек и прокладкой поперечников.

§ 50. Определение уклона рек и съемка их живых сечений

При проектировании и строительстве инженерных сооружений в некоторых случаях возникает необходимость в изучении рек и производстве водных изысканий небольшого объема. Основой для таких работ является магистральный нивелирный ход, который прокладывают по долине реки вдоль одного из ее берегов. Магистраль в высотном отношении привязывают к знакам государственной основы.

Уклоны (падения) рек на территории нашей страны, за исключением горных, весьма невелики и колеблются в пределах от 1 до 9 мм на 100 м. Поэтому точность, предъявляемая к таким нивелирным ходам, высока и приравнена к точности ходов высотной основы. Уклон уровня воды в реке определяют от реперов и пикетов магистрального хода, как главной высотной основы. По берегу реки на протяжении 1—2 км забивают деревянные колья через 250—500 м так, чтобы верхние торцы кольев совпадали с уровнем воды. Колья забивают одновременно, по сигналу или по часам, так как уклон меняется в зависимости от времени дня, ветра, ливней и т. п. Нивелирование кольев выполняют от знаков магистрали. Величину уклона получают для каждой смежной пары кольев. Из всех полученных значений уклона реки берут среднее арифметическое.

Живые сечения реки, или поперечные профили, определяют по направлениям, перпендикулярным к берегам реки. Такие определения удобно выполнять в зимнее время. Для этой цели поперек реки через равные промежутки делают небольшие проруби, через которые промеряют глубину реки относительно уровня льда, абсолютную отметку которого находят из нивелирования. В летнее время для съемки живого сечения реки по поверхности воды натягивают канат с узлами, завязанными через равные промежутки. Промеры глубин производят с лодки.

Скорость течения воды в реке различна в разных местах живого сечения. В нормальном русле реки скорость воды уменьшается от середины к берегам и от поверхности ко дну. Из опыта установлено, что средняя скорость воды меньше наибольшей скорости в данном месте на 15—25%. Общий объем воды, который проходит через живое сечение реки в одну секунду времени, называют расходом воды в реке.

Контрольные вопросы:

1. Назначение нивелирования и способы, применяемые при этом?
2. Основные проверки глухих нивелиров?
3. Способ двойного нивелирования, применяемый при проверках нивелиров?
4. Что называют инженерно-техническим нивелированием?
5. В чем состоит нивелирование по трассе?
6. Способы текущего контроля при нивелировании?
7. В чем заключается составление продольного и поперечных профилей?
8. Виды нивелирования площадей?

ГЛАВА 4

ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА. ФОТОТЕОДОЛИТНАЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА

§ 51. Сущность тахеометрической съемки

В тех случаях, когда на плане необходимо изобразить рельеф, требуется дополнительно выполнить вертикальную съемку.

Такие съемки необходимы при дорожных и других изысканиях для выбора оптимального, т. е. наиболее выгодного, направления трассы. Для этого потребуется в короткое время, правда, с меньшей точностью, чем это требуется для целей строительства, изучить несколько вариантов направлений.

В таких случаях применяют метод одновременной съемки ситуации и рельефа, носящий название тахеометрической съемки (тахеометрия — скорое измерение). Тахеометрия применяется для съемки небольших участков местности со средней сложностью контуров и хорошо выраженным рельефом. Съемку контуров ведут исключительно полярным способом, измеряя направления при помощи горизонтального круга теодолита, а расстояния — с помощью нитяного дальномера, при этом съемку рельефа выполняют методом тригонометрического нивелирования наклонным лучом, измеряя угол наклона с помощью вертикального круга теодолита. Тахеометрическую съемку при дорожных изысканиях ведут так называемым маршрутным методом, когда примерно по середине снимаемой полосы (маршрута) прокладывают тахеометрический ход по ломаной линии со сторонами в среднем 150—200 м. Вершины хода (станции) располагают на более возвышенных местах, имеющих хорошую обзорность. На каждой станции выполняют следующие измерения: определяют направления, расстояния и углы наклона на смежные знаки хода; производят съемку подробностей по всей местности, окружающей точку стояния, заснимая контуры полярным способом, а высоты точек рельефа получая тригонометрическим нивелированием.

Опорной сетью при тахеометрических съемках являются пункты триангуляции, полигонометрии, а также высотных теодолитных

и тахеометрических ходов, прокладываемых для сгущения имеющейся опорной сети.

Вершины тахеометрических ходов закрепляют временными знаками. Характерные контурные и высотные точки, называемые съёмочными пикетами, в натуре не закрепляют. Станции нумеруют римскими цифрами, пикеты — арабскими. При этом нумерацию пикетов продолжают последовательно на нескольких станциях с тем, чтобы не допускать одинаковых номеров пикетов на смежных станциях.

§ 52. Теодолиты-тахеометры. Точность тахеометрических работ

Для тахеометрических работ применяют теодолиты типа ТТ, т. е. повторительные теодолиты, имеющие вертикальный круг, снабженный двумя верньерами и уровнем. Цена деления верньера $30''$. Проверки теодолитов этого типа описаны в главе 2.

Теодолиты-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 трубы на какой-либо предмет отсчет по северному концу магнитной стрелки будет указывать величину магнитного азимута этого направления, что может быть использовано для контроля угловых измерений.

При дальномерных определениях получают наклонное расстояние D . Для того чтобы вычислить горизонтальное проложение этой линии, применяют формулу

$$s = D - \Delta D,$$

где

$$\Delta D = D \cdot \sin^2 \gamma,$$

или

$$s = D \cdot \cos^2 \gamma.$$

Величину h практически вычисляют не по формуле

$$h = s \cdot \operatorname{tg} \gamma + i - l$$

(см. рис. 26, б), а по формуле

$$h = s \cdot \operatorname{tg} \gamma,$$

так как при измерении угла наклона визирную ось наводят на отсчет l , равный высоте инструмента i . Величину h можно вычислить и по наклонному расстоянию D , используя формулу

$$h = \frac{D}{2} \sin 2\gamma.$$

Для облегчения работы по вычислению горизонтальных проложений линий и превышений имеется несколько полевых таблиц, в которых вычислены величины s и h для разных значений D и γ

(таблицы Д. Н. Оглоблина, А. С. Филоненко и В. В. Тугулова; в последние годы изданы таблицы ГУГК, а также таблицы В. Н. Ганьшина и Л. С. Хренова; имеются также таблицы превышений, составленные по формуле $h = s \operatorname{tg} \gamma$, М. М. Савицкого, Ф. В. Дробышева, Г. Г. Егорова). В предисловиях к каждому таблицам подробно указано, как ими пользоваться.

С целью сокращения времени, затрачиваемого на вычисления превышений и горизонтальных проложений, изобретены тахеометры-автоматы, в которых устроены особые приспособления для непосредственного определения величин h и s , минуя измерения γ и D . К числу таких автоматов отечественного производства относятся: тахеометр-автомат ТА-2, тахеометр Г. Ю. Стодолкевича, автомат М. М. Губина, а также ряд тахеометров-автоматов зарубежного производства: Гаммера — Фенеля, Босхарда — Цейса, Дальта и др.

Для тахеометрической съемки можно применять обычные нивелирные рейки с сантиметровыми делениями. Однако при расстояниях от инструмента до наблюдаемой рейки, превышающих 100 м, деления рейки трудноразличимы. Поэтому для таких съемок изготовляют специальные рейки с двух- и пятисантиметровыми делениями, при этом последние имеют деления в виде равнобедренных треуголь-

ников.

Измерение линии нитяными дальномерами дает большой выигрыш во времени, но относительная ошибка измерения составляет от $1/300$ до $1/400$. Точность определения превышений методом тригонометрического нивелирования составляет ± 3 см на 100 м, т. е. значительно ниже точности геометрического нивелирования.

§ 53. Порядок работы на тахеометрической станции

Особое внимание при тахеометрической съемке следует уделять составлению к р о к и (абриса), т. е. зарисовкам контуров ситуации и рельефа

местности. На кроки наносят направления основных линий рельефа: вершин, водоразделов, подошв, бровок и пр., а также характерные точки контуров угодий. На зарисовках контуров составляют плановые и высотные пикеты, заранее намечая порядок съемки (рис. 49). Кроки составляют на отдельном листе для каждой станции с учетом возможности контроля их со смежной станцией.

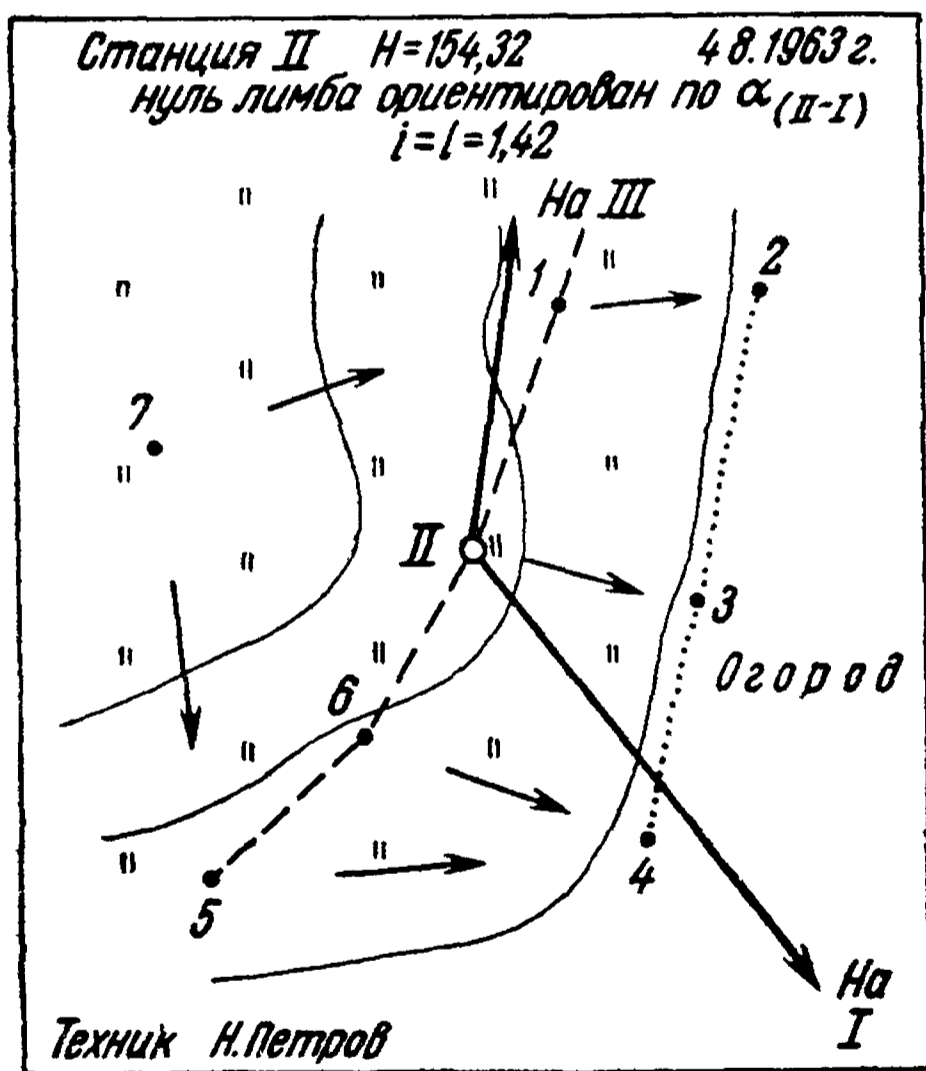


Рис. 49. Кроки при тахеометрии

После составления кроки на станции *II* центрируют теодолит, приводят лимб в горизонтальное положение, измеряют высоту инструмента *i*, а затем, отметив на рейках эту высоту, посылают их на точки *I* и *III*.

Закрепив алидаду при КЛ на отсчет, близкий к 90° , и поворачивая лимб, визируют на точку *III*, после чего производят отсчет по горизонтальному кругу и записывают его в журнал. По рейке определяют, пользуясь дальномером, расстояние *II—III* и записывают результат, наведя крест нитей трубы на отмеченную на рейке высоту, равную высоте инструмента *i*, записывают отсчет по вертикальному кругу. Те же действия производят по рейке, установленной на точке *I*.

Переведя трубу через зенит и совместив алидаду с нулевым делением при КП, вращают лимб и снова визируют на переднюю точку (*III*), т. е. повторяют все измерения на обе точки и записывают результаты. Затем контролируют сходимость измерений при обоих кругах и приступают к съемке подробностей. Для этого последовательно наводят трубу на намеченные в кроки точки — пикеты и записывают в порядке их номеров измеренные линии, направления и углы наклона. Числовые величины измерений записывают в тахеометрический журнал, имеющий следующую форму (табл. 8).

Таблица 8

Наблюдаемые точки	Отсчеты по рейкам		Отсчеты по лимбам		Вертикальный угол γ	Горизонтальное проложение $s = D \cos^2 \gamma$	Превышение $h = \frac{D}{2} \sin 2\gamma$	Абсолютные отметки <i>H</i>	Примечания
	читанные <i>D'</i>	исправленные за <i>c</i> <i>D</i>	горизонтальному	вертикальному					

Станция II

	$i = l = 1,42$		$H_{II} = 154,32$		$MO = +0^\circ 01'$		$c = 0,30$		
			КЛ						
I	166,20	166,50	336°50'	2°27'					
III	187,70	188,00	90°05'	3°38'					
			КП						
I	166,00	166,30	246°47'	357°32'	-2°27',5	166,10	-7,06	147,26	
III	187,90	188,20	0 00	356 21	-3 38,5	187,40	-11,90	142,42	
1	62,20	62,50	2 25	356 32	-3 29	62,30	- 3,79	150,53	Высотн. огород
2	77,60	77,90	79 53	355 27	-4 34	77,40	- 6,19	148,13	
3	112,90	113,20	131 29	355 35	-4 26	112,50	- 8,72	145,60	

§ 54. Обработка результатов измерений. Составление плана

Камеральную обработку результатов измерений проводят в два приема. Ежедневно вечером проверяют все записи в журнале за день, а также подсчитывают по таблицам горизонтальные проложения линий и превышения (по измеренным линиям и углам наклона) для всех точек заснятых контуров и высот. Эти данные сличают с зарисованными в кроки контурами и рельефом. При несоответствии зарисовок и измерений в начале следующего дня измерения повторяют.

Следующий этап обработки материалов выполняют сразу же после заключительной привязки хода к знакам опорной сети. По формуле

$$f_{\beta} = \pm 2' \sqrt{n}$$

проверяют допустимость угловой невязки и увязывают горизонтальные углы хода. По формуле

$$f_h = \frac{\pm 0,04 \cdot \sum s}{\sqrt{n}} \text{ см,}$$

где $\sum s$ — длина хода, а n — количество станций, устанавливают допустимость высотной невязки и разверстывают ее пропорционально длинам сторон. Вычисляют дирекционные углы, а затем приращения координат сторон хода и устанавливают допустимость относительной невязки хода по формуле $\frac{f_s}{\sum s} \leq \frac{1}{300}$. После этого увязывают приращения и вычисляют координаты вершин хода.

Получив координаты вершин тахеометрического хода, приступают к составлению плана. Для этого на соответствующем листе чертежной бумаги строят сетку координат (квадратов), рассчитывают значения координат вершин квадратов, надписывают их и накладывают вершины хода с надлежащим контролем (см. главу 2).

Нанесение речных точек — пикетов контуров и рельефа выполняют путем накладки результатов съемки ситуации и высотных точек полярным способом с последующим вычерчиванием горизонталей.

План оформляют условными обозначениями и надписями согласно правилам для планов данного масштаба.

§ 55. Понятие об аэрофотосъемке и наземной фототеодолитной съемке

Фотogramметрия, или измерительная фотография, это наука, изучающая вопросы определения размеров, формы и положения предметов на основании измерения их фотографических изображений.

В основе измерительной фотографии лежит физиологическая особенность человеческого зрения, заключа-

ющаяся в способности глаз по двум (паре) взаимно перекрывающимся плоским фотоснимкам создавать объемное изображение рассматриваемого предмета или местности, т. е. получать ст е р е о э ф ф е к т.

Фотограмметрия нашла широкое применение. Достаточно сказать, что 90% топографических съемок, которые в свое время производились с помощью углоначертательного прибора — мензулы, в настоящее время выполняются методом аэрофотосъемки и наземной фототеодолитной съемки.

Аэрофотосъемка — метод, при котором местность фотографируется при помощи аэрофотоаппарата, установленного на самолете.

Земную поверхность, подлежащую съемке, фотографируют параллельными маршрутами (рис. 50), причем каждый последующий по

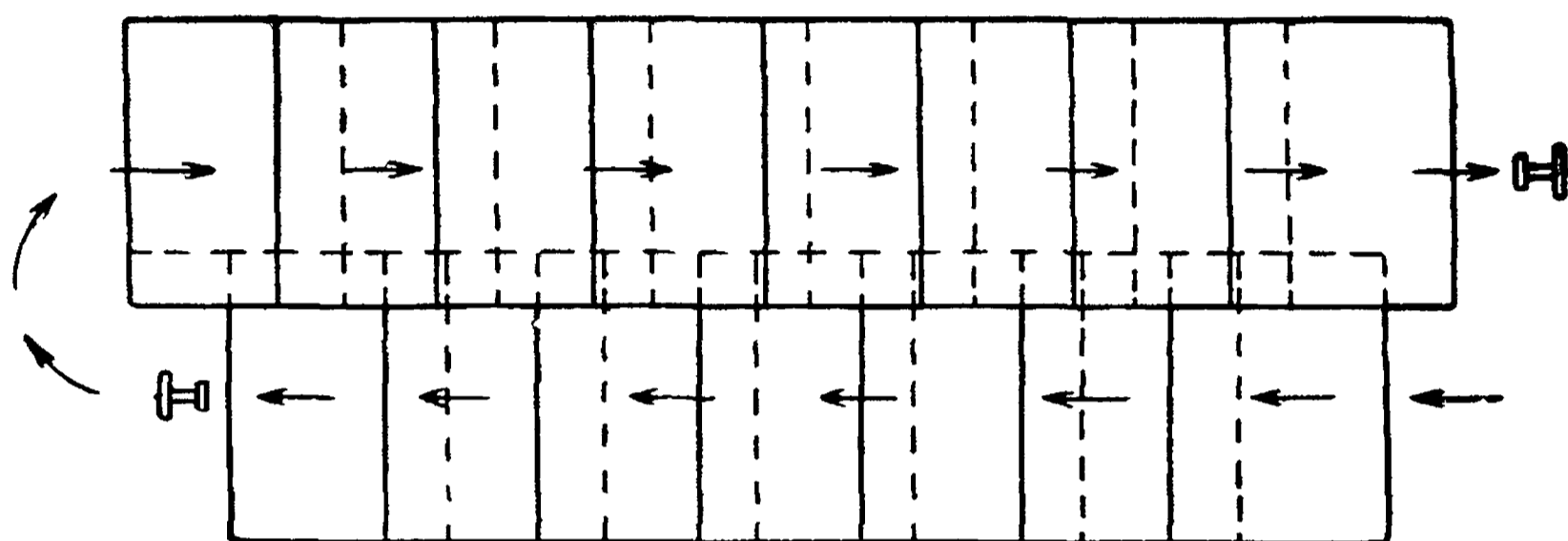


Рис. 50. Схема залетов при аэрофотосъемке

маршруту аэроснимок перекрывает предыдущий на величину продольного перекрытия в 60%, а каждый последующий маршрут перекрывает предыдущий на 40%, т. е. на величину поперечного перекрытия. Таким образом, вся снимаемая поверхность сплошь покрывается взаимно перекрывающимися аэроснимками, называемыми ст е р е о п а р а м и, по которым можно получать стереоэффект.

Следующим этапом работ является д е ш и ф р и р о в а н и е, т. е. опознавание контуров и предметов местности по их фотографическому изображению и соответственное оконтуривание на снимках элементов ситуации в принятых условных знаках. Дешифрирование выполняется комбинированным способом, т. е. камеральным, с выездом в необходимых случаях в натуру для опознавания неясности полевым путем.

Далее производят т р а н с ф о р м и р о в а н и е аэроснимков, заключающееся в приведении всех снимков на плоскость горизонтальной проекции к одному принятому масштабу. В результате трансформирования аэроснимков может быть составлен фотоплан местности.

Наиболее трудоемкая заключительная часть камеральных работ — рисовка на аэроснимках горизонталей рельефа местности. Рисовку производят по каждой паре перекрывающихся аэроснимков с помощью стереоприборов, при этом для рисовки используют полезную площадь каждой пары в пределах перекрытия.

В результате стереофотограмметрической обработки получают топографический план местности.

Наземной стереофотограмметрической съемкой называют метод съемки, при котором фотографирование производится с поверхности земли при помощи специального прибора, называемого фототеодолитом (сочетание фотокамеры и теодолита). В результате такой съемки, пользуясь фотоснимками, получают планы с горизонталями, причем рисовка рельефа производится в камеральных условиях на основе стереоизмерений.

Камеральные работы при наземной фототеодолитной съемке составляют более 75% общего объема работ. Организация полевых работ отличается простотой, а полевое снаряжение — портативностью.

Участок местности фотографируют с двух концов нескольких небольших (5—30 м) базисов, которые размещают так, чтобы местность, подлежащая фотографированию с данного базиса, хорошо просматривалась с обоих его концов. Концы базисов, а также контрольные точки в плановом и высотном отношении привязывают к пунктам геодезической основы.

На каждом конце базиса обычно делают три снимка, в результате чего получают три стереопары.

Построение плана весьма трудоемко, так как после накладки по координатам базисов и контрольных точек контуры ситуации и точки рельефа получают непосредственным измерением по фотоснимкам.

Для облегчения этой работы применяют особый чертежный прибор и высокоточные стереофотограмметрические приборы, при помощи которых плановое положение точек и их высоты находят путем несложных геометрических построений.

Фототеодолитную наземную съемку применяют преимущественно для сгущения планового и высотного геодезического обоснования в горных местах, а также при инженерных изысканиях в сильно пересеченной местности и в малодоступных местах, например при съемке мест расположения будущих порталов в ущельях, на обрывах и пр.

Контрольные вопросы:

1. Точность определения расстояний и превышений при тахеометрической съемке?
 2. Что такое стереоскопический эффект?
 3. В чем заключается смысл трансформирования аэроснимков?
 4. Как из фотоплана получают топографический план?
-

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ
И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

§ 56. Разбивка железнодорожных кривых

Схема кривой на трассе железнодорожного пути и обозначения элементов этой кривой приведены на рис. 51. На схеме указаны: кривая K , ее радиус R , начало $НК$ и конец $КК$ кривой, а также отрезки прямых T (так называемые тангенсы) от этих точек до вершины угла поворота B_n . Показана также середина кривой $СК$ и отрезок B биссектрисы от вершины до точки $СК$. Точки $НК$, $СК$ и $КК$ называют главными точками кривой. Основные элементы кривых участков трассы связаны следующей зависимостью:

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2},$$

$$D = 2T - K,$$

где D называют домером,

$$K = \frac{\beta''}{\rho''} R,$$

здесь $\rho'' = 206\,265''$, а β'' — центральный угол кривой.

При разбивке трассы железнодорожного пути в натуре вершины углов закрепляют деревянными колышками вровень с поверхностью, а на расстоянии 0,4 м по продолжению биссектрисы угла врывают в качестве сторожка деревянный двухметровый столб с перекладиной в нижней части. Вокруг знака делают кольцевую канавку радиусом 0,5 м и глубиной 0,10 м, укладывая дерн и землю на точку вершины и вокруг столба. Створы длинных прямых линий трассы закрепляют промежуточными столбами примерно через каждые 500 м так, чтобы была обеспечена прямая видимость в каждом отрезке створа. На колышках и створовых столбах гвоздями закрепляют центры вершин углов и ось створной линии. На затесах, сделанных

на вершущках столбов, надписывают назначение знака (вершина, ось, пикет), прочие данные, наименование организации и дату установки.

При разбивке главных точек кривых в случаях, когда середина кривой попадает на трудно устранимое препятствие (скала, болото и пр.), можно уменьшить или увеличить в допускаемых проектом пределах радиус кривой, чтобы переместить последнюю в лучшее, более удобное положение.

При производстве нивелирования по трассе сгущают сеть рабочих реперов с тем, чтобы на каждый репер приходилось не более 4 —

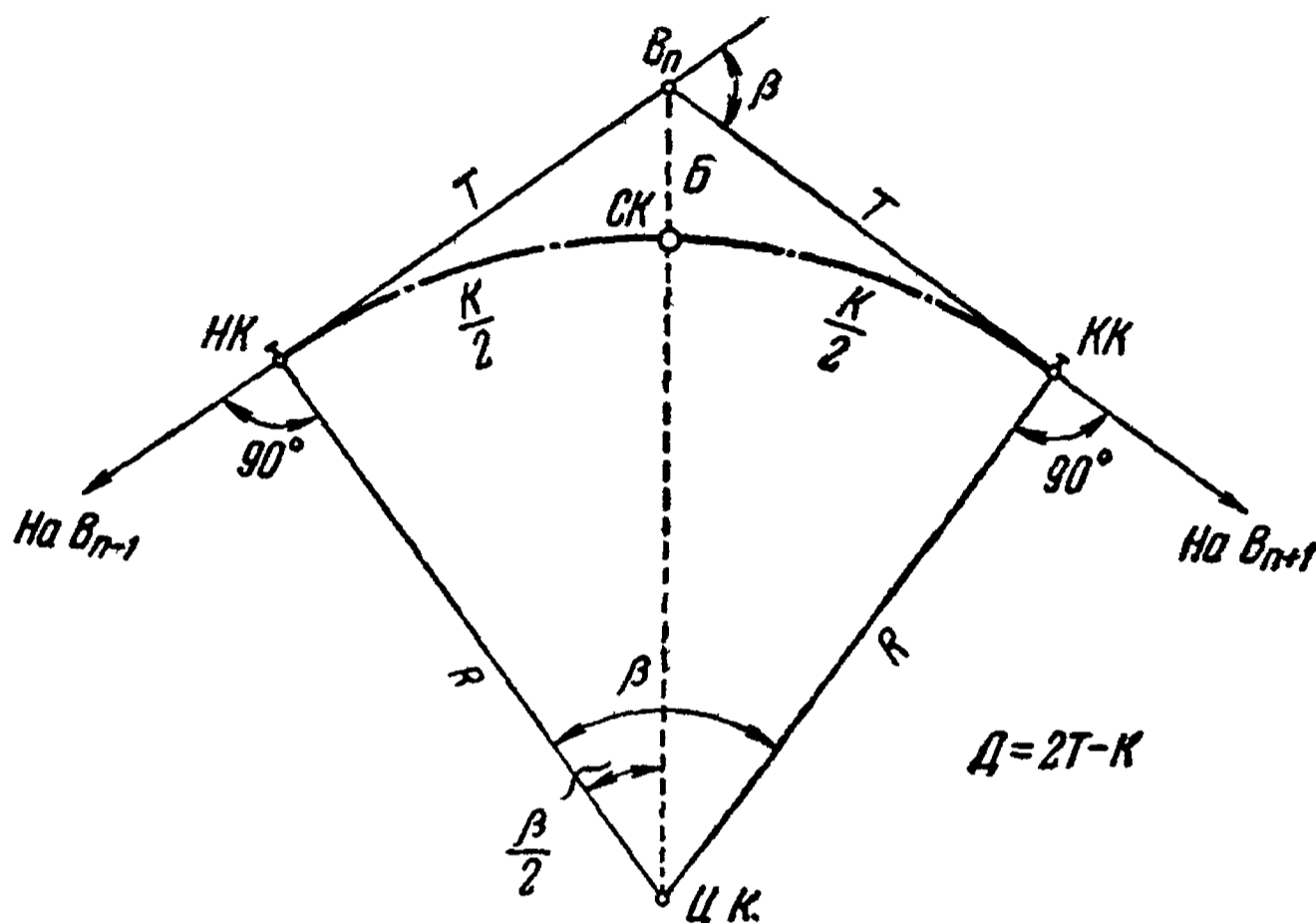


Рис. 51. Схема горизонтальной кривой железнодорожного пути

5 пикетов. В качестве рабочих реперов применяют деревянные столбы, выступы зданий, тумбы, сваи мостов, большие камни, не меняющие своего высотного положения. Все реперы должны быть расположены не ближе 20—25 м к оси трассы. Эти реперы включают в нивелирные ходы между точками высотной основы. Точность нивелирного хода характеризуется величиной, определяемой по формуле

$$f_h = \pm 20 \sqrt{L} \text{ мм,}$$

где L — количество километров.

Все данные для разбивок кривых выбирают из полевых таблиц, составленных Н. В. Федоровым (изд. 1945 г.), В. А. Важеевским (изд. 1932 г.), Главтранспроектom (изд. 1953 г.).

Как образец таблиц, приведены три строки из таблиц В. А. Важеевского (табл. 9).

Для разбивки в натуре главных точек кривой необходимо довести разбивку пикетов до вершины угла поворота. От этой вершины откладывают назад по створу прямой величину T и подсчитывают пи-

Радиус 1000				
Угол поворота	Тангенс T	Кривая K	Домер $D = 2T - K$	Биссектриса B
40°20'	367,267	703,949	30,587	65,310
22	367,598	704,531	30,665	65,424
24	367,928	705,113	30,743	65,538

кетное значение полученной точки $НК$, которое равно пикету вершины минус T . Для разбивки точки $КК$ откладывают от той же вершины по створу второй прямой ту же величину T . Учитывая, что на закруглениях пикетаж трассы считается по кривой, подсчитывают пикетное значение точки $КК$ с учетом величины D , для чего пикет вершины считают уменьшенным на величину D . Для контроля вторично получают пикет $КК$, который равен пикету $НК + K$.

Разбивку $СК$ производят откладыванием от вершины угла теодолитом направления биссектрисы. По этому направлению откладывают отрезок B . Пикет $СК$ равен пикету $НК + \frac{K}{2}$. Все три разбитые точки кривой закрепляют кольями со сторожками с соответствующими надписями на них. При точной разбивке последнюю закрепляют на кольях гвоздями.

При непосредственном сопряжении прямых отрезков трассы круговыми кривыми при движении транспорта в месте соединения мгновенно возникает центробежная сила, которая разрушительно действует на путь и подвижной состав. Поэтому принято осуществлять эти сопряжения при помощи переходных кривых, радиус которых меняется от бесконечности у прямой до конечной величины R у круговой кривой. Переменная величина радиуса переходной кривой ρ приводит к плавному нарастанию центробежной силы, возникающей при въезде транспорта на кривую, что особенно важно при современных высоких скоростях движения.

Длину переходной кривой подсчитывают по формуле

$$L = \frac{C}{R},$$

где C — параметр кривой. Для магистральных железных дорог C принимают равным от 45 000 до 150 000 в зависимости от принимаемой скорости движения поездов. Для второстепенных линий, где скорости небольшие, C принимают менее 45 000.

Для уравновешивания действия центробежной силы на подвижной состав применяют также возвышение наружного рельса по отношению к внутреннему на величину, равную

$$h = 12,5 \frac{v^2}{R},$$

где v — скорость на данном участке трассы. Разгон (отвод) возвышения рельса производят постепенно на протяжении переходной кривой, при этом нарастание уклона не должно превышать 0,001.

Переходные кривые размещают симметрично относительно начала и конца кривой, т. е. так, чтобы половина ее длины ($L/2$) располагалась в пределах отрезка прямой, а вторая половина — на участке круговой кривой, соответствующей центральному углу φ (см. рис. 52).

Пикетаж точек переходных кривых определяют таким подсчетом: Пикет $НПК_1 =$ пикету $НК$ минус $L/2$. Пикет $НПК_2 =$ пикету $КК$ ми-

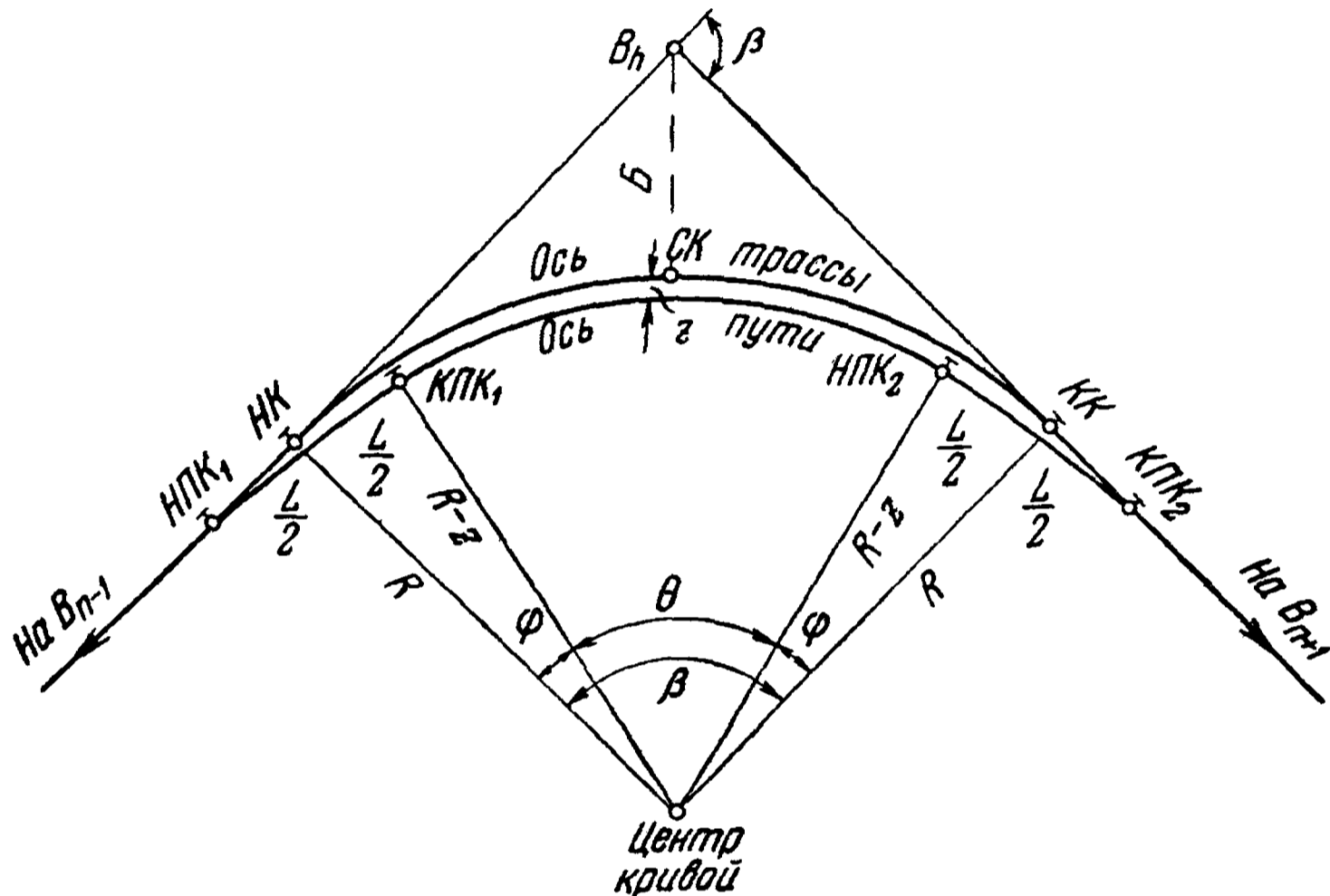


Рис. 52. Разбивка оси пути

нус $L/2$. Пикет $КПК_1 =$ пикету $НПК_1$ плюс L . Пикет $КПК_2 =$ пикету $НПК_2$ плюс 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 оси пути будет $R - z$.

Для разбивки главных точек переходной кривой также пользуются указанными выше полевыми таблицами. В них на каждое значение параметра C даны значения элементов переходной кривой для различных радиусов.

Ниже приведена выписка элементов переходных кривых из полевых таблиц (табл. 10).

После разбивки и закрепления главных точек кривых выполняют детальную разбивку переходной, а за ней круговой кривой. Обычно разбивку всего закругления производят от касатель-

Таблица 10

R	1000	800	600	500	Примечания
L	45,0	56,25	75,00	90,00	C = 45 000
t	22,5	28,13	37,52	45,05	
p	0,08	0,17	0,39	0,68	
ψ	2°35'	4°02'	7°10'	10°19'	

Здесь $t = \frac{L}{2}$; $p = z$; $\psi = \varphi$.

ных *T*. Для детальной разбивки следует пользоваться таблицами «детальной разбивки кривых от тангенсов» или, иначе, «выносом точек с касательной на кривую». Для этих разбивок имеются таблицы трех типов:

- таблица детальной разбивки круговых кривых;
- то же для переходных кривых;
- то же для совместной и непрерывной разбивки переходных и круговых кривых.

В таблицах Н. В. Федорова приведена таблица третьего типа для разных параметров (*C*) переходных кривых и для разных радиусов круговых кривых. Эти таблицы для совместной и непрерывной разбивки очень удобны при работе. Ниже приводится начало такой таблицы (табл. 11).

Таблица 11

K	R = 500		R = 600		R = 800		R = 1000		K
	K-x	y	K-x	y	K-x	y	K-x	y	
		<i>C</i> = 45 000							
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10
20	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	20
30	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	30
40	0,00	0,24	0,00	0,24	0,00	0,24	0,00	0,24	40
50	0,00	0,46	0,00	0,46	0,00	0,46	0,00	0,46	50
60	0,01	0,80	0,01	0,80	0,01	0,80	0,01	0,79	60
70	0,02	1,27	0,02	1,27	0,03	1,26	0,02	1,21	70

В таблицах обычно оттеняют жирным шрифтом места, где кончается разбивка переходной и начинается разбивка круговой кривой.

Детальную разбивку закругления начинают от *НПК*₁ и ведут по тангенсу к *СК*, последовательно откладывая десятиметровые отрезки. С конца каждого отрезка откладывают назад величину *K* — *x* и от полученной точки строят нормаль, по направлению которой откладывают величину *y*. Последнюю закрепляют колом, на котором надписывают назначение точки и пикет ее.

Пикетаж точек подсчитывают, прибавляя к пикету $НПК_1$ последовательно значения K . Для контроля измеряют расстояния между кольями, каждое из которых должно равняться 10 м. Для уточнения разбивки в вершущи колеи забивают гвозди. Разбивку выносом точек с касательной применяют в открытой, удобной для разбивок местности. В закрытой местности (лес, выемка), а также при укладке пути на насыпи пользоваться этим способом не рекомендуется. В этих условиях применяют другие способы: продолженных хорд, хорд по углам и др.

При разбивке круговой кривой **п р о д о л ж е н н ы м и х о р д а м и** (рис. 53, а) положение первой хорды определяют по орди-

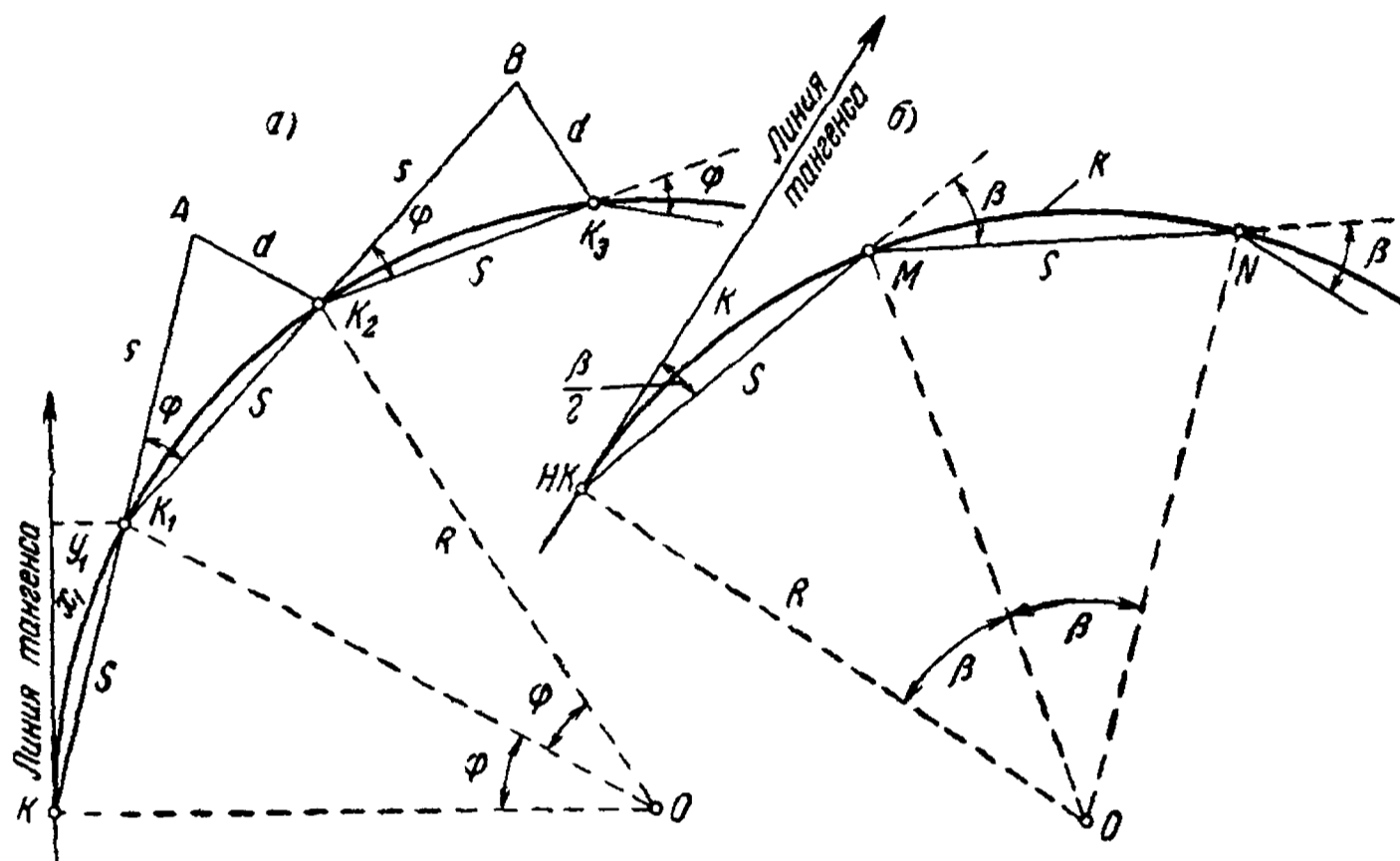


Рис. 53. Разбивка кривых:

а — способом продолженных хорд, б — способом хорд

натам от линии тангенса. Далее натягивают ленту от начала хорды через ее конец (10 м) до точки A . Затем, удерживая середину ленты в точке K_1 , откладывают от конца ленты величину d и закрепляют полученную точку K_2 . Далее перемещают ленту в створ точек K_1K_2 . Закрепив один ее конец в точке K_1 , а второй — в точке B , откладывают ту же величину, находят и закрепляют точку K_3 и т. д. Отрезок d называют **п р о м е ж у т о ч н ы м п е р е м е щ е н и е м**. Из рис. 53, а видно, что треугольники OK_1K_2 и AK_1K_2 равнобедренные. По условию подобия записываем

$$\frac{d}{s} = \frac{s}{R}$$

или

$$d = \frac{s^2}{R}.$$

Значение d можно выбрать из таблиц Н. В. Федорова, выписка из которых приведена ниже (табл. 12).

Т а б л и ц а 12

R	Хорда 10 м		Хорда 20 м	
	перемещения		перемещения	
	крайние	промежуточные	крайние	промежуточные
200	0,25	0,50	1,00	2,00
250	0,20	0,40	0,80	1,60
300	0,17	0,33	0,67	1,33

В таблицах Главтранспроекта приведены данные для разбивки кривых с п о с о б о м х о р д п о у г л а м (рис. 53, б). По заданной величине хорды определяют значение центрального угла β . В точке *НК* устанавливают теодолит и откладывают от линии тангенса угол, равный $\frac{\beta}{2}$. По полученному направлению откладывают величину хорды и закрепляют ее конечную точку, в которую переносят теодолит; откладывая от предыдущего направления хорды угол β , разбивают вторую хорду и т. д. Для детальной разбивки кривой от хорд пользуются указаниями § 70.

Следует учитывать, что в обоих описанных способах ошибки измерений накапливаются.

§ 57. Геодезические работы при строительстве железнодорожного пути

Перед началом земляных работ выносят все закрепленные на трассе точки за пределы зоны работ. Эти точки устанавливают в плоскостях, нормальных к трассе (на кривых — к тангенсам), и закрепляют гвоздями, забиваемыми в колышки, на уровне поверхности земли. Около каждого колышка вбивают кол с затесом, обращенным к трассе.

Для последующего выноса на трассу закрепленных точек на затесанной поверхности кольев надписывают необходимые данные, например: «Вын. ПК23 + 40,0; лев. 19,3 м», что означает: «вынесен ПК23 + 40 влево на 19,3 м». Выносные кольца устанавливают от оси на расстоянии, которое потребует не более одного промера лентой или рулеткой. Вынос каждой точки фиксируется в специальном журнале. Все выносные точки окапывают кольцевой канавкой. Те вершины углов, которые попадают в зону земляных работ, также закрепляют выносными точками. В связи с тем, что вершины углов особенно важны для восстановления трассы, их закрепляют створами пар столбов, как это показано на рис. 54.

Осн о в н ы е искусственных сооружений, к числу которых относятся водопропускные трубы под насыпями, а также мосты пролетом до 20 м, закрепляют двумя парами столбов; два столба вбивают

по створу оси трассы вне пределов будущих строительных работ, а двумя другими закрепляют поперечную ось сооружения. Для каждого столба по оси трассы и для поперечной оси определяют пикетаж непосредственным измерением от ближайшего пикета.

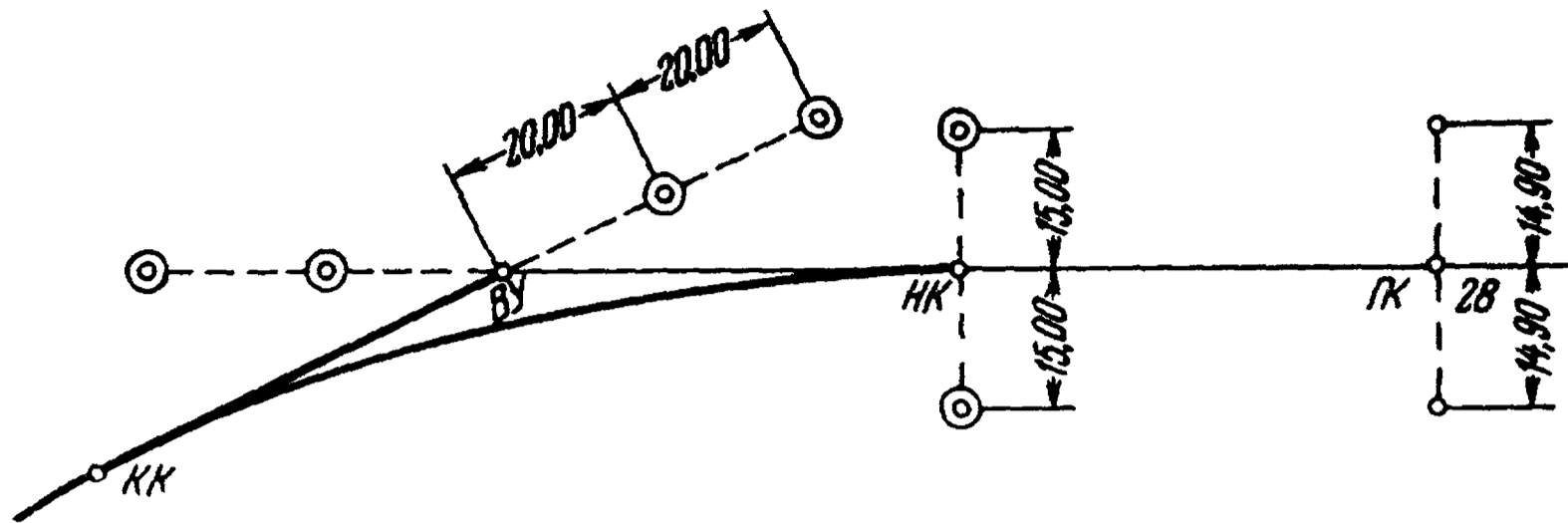


Рис. 54. Закрепление трассы выносными точками

У всех средних и больших мостов устанавливают по оси трассы по два столба на каждом берегу вне пределов будущих работ по сооружению мостовых переходов, в том числе один столб непосредственно на берегу, а второй — выше уровня затопления высокими паводковыми водами. Положение оси трассы фиксируют на верхушках столбов металлическими гвоздями. После детального

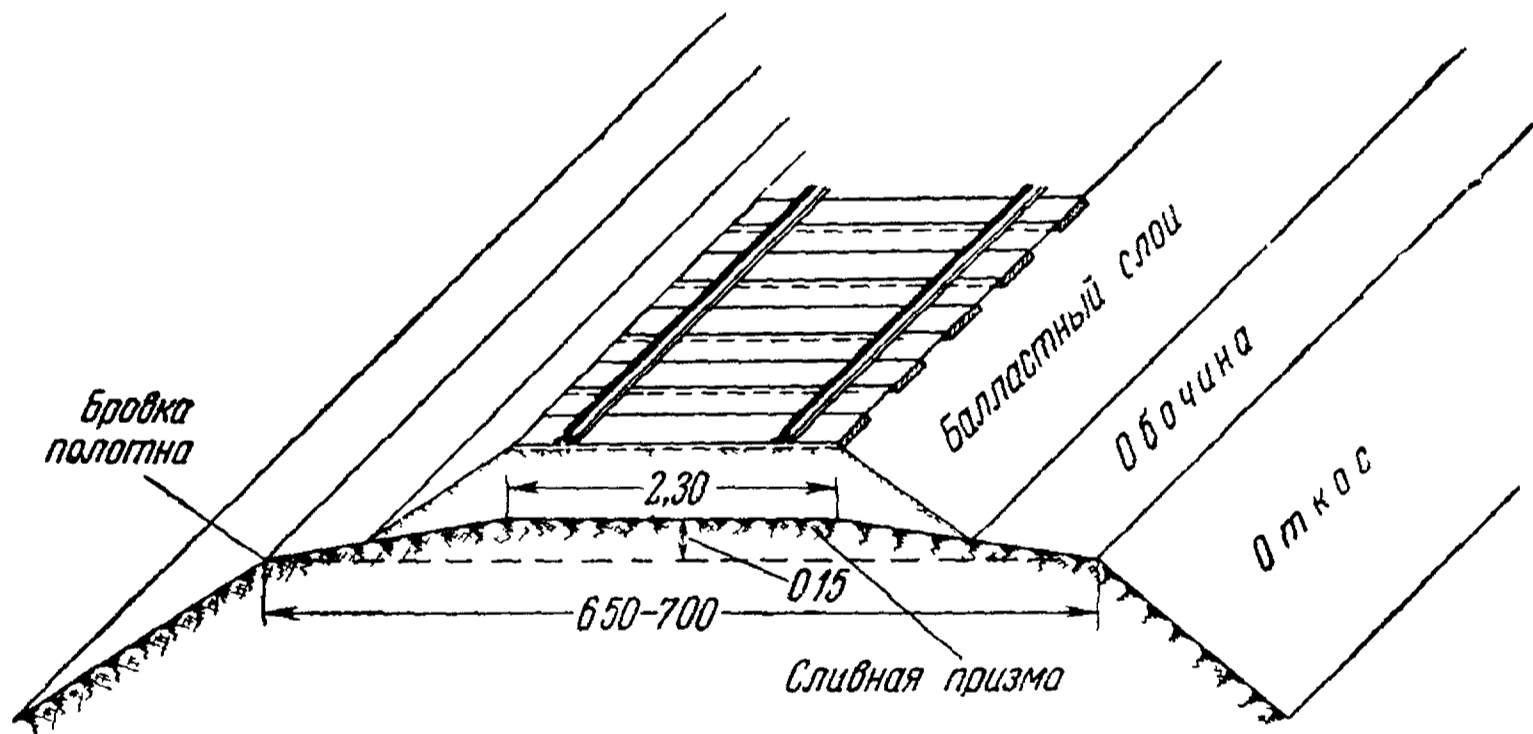


Рис. 55. Строение железнодорожной насыпи

ознакомления с проектом организации работ эти деревянные столбы заменяют бетонными тумбами, центры которых вводят в сеть знаков геодезической основы. Основным требованием для таких знаков является обзор с них всего сооружения.

Следующим этапом геодезических работ является подготовка всех данных для разбивок геометрических элементов земляного полотна (насыпей и выемок). Схема железнодорожного однопутного полотна приведена на рис. 55. Основной частью земляного полотна является верхнее строение пути — рельсы со шпалами, уложенными на балластный слой. Земляное основание под

балластный слой устраивают в виде призмы, имеющей в сечении форму трапеции с верхним основанием, равным 2,30 м, нижним 6,5—7,0 м и высотой 0,15 м. Такой уклон граней сливной призмы необходим для постоянного осушения балластного слоя. Боковые части сливной призмы, не занятые откосами балластного слоя, называют *о б о ч и н а м и*, переходящими в откос насыпи. Продольную боковую грань обочины, сопрягающуюся с откосом насыпи, называют *б р о в к о й* полотна. Вдоль основания (подошвы) насыпи, с обеих ее сторон, устраивают кюветы — водоотводные каналы средней глубины (0,6 м), продольный уклон дна которых должен соответствовать уклону пути, т. е. от ± 2 до $\pm 30\text{‰}$.

При механизированном способе земляных работ по устройству насыпи или выемки детальную разбивку всех точек поперечного сечения одновременно не делают. В первую очередь разбивают грани

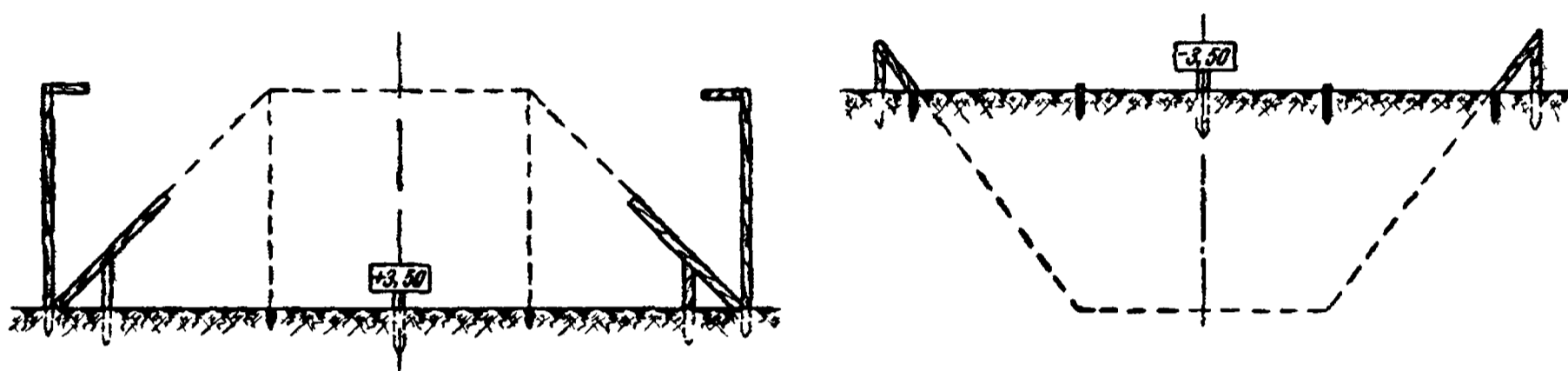


Рис. 56. Разбивка строительных поперечников

подошвы насыпи, а у выемок — полевые бровки. После примерно 3—4-метрового подъема насыпи или углубления выемки корректируют первичные работы, а также выполняют следующую стадию разбивок: установку откосников, высотных отметок и т. д., а затем третью и заключительную стадию разбивок (точек трассы).

Детальную разбивку земляного полотна, или, как говорят, разбивку *с т р о и т е л ь н ы х* *п о п е р е ч н и к о в* (рис. 56), производят на прямых участках через 20—40 м, а также на всех переломах продольного профиля по нормали к трассе, а на закруглениях — через 10—20 м (в зависимости от радиуса кривой) по радиальным направлениям. Основой разбивки в плане является теодолитный осевой створ по трассе с разбивкой пикетных осевых точек в местах намеченных поперечников. Высотная разбивка рассчитывается по проектной отметке бровки дорожного полотна (в законченном виде) и фактическим (черным) отметкам поверхности по оси трассы. Рабочие высотные отметки подсчитывают, как разность проектных отметок по бровке и фактических отметок по оси.

При разбивке строительного поперечника укладывают по оси трассы ленту. Рассчитывают расстояния в каждую сторону поперек насыпи:

$$B_{\text{H}} = \frac{b}{2} + m \cdot h,$$

где B — расстояние от оси, b — ширина полотна между бровками, m — коэффициент откоса, а h — рабочая отметка в данном месте. В тех случаях, когда сооружается выемка,

$$B_{\text{в}} = \frac{b}{2} + m \cdot h + b_{\text{к}},$$

где

$$b_{\text{к}} = b_{\text{дна}} + h_{\text{к}} (m_1 + m_2);$$

здесь $b_{\text{дна}}$ — ширина кювета по дну, $h_{\text{к}}$ — его глубина, а m_1 и m_2 — коэффициенты откосов стенок кювета.

Между кольями, ограничивающими подошву насыпи, пропахивают вдоль оси трассы борозды и в ряде случаев заливают их известью. Разбивку закрепляют в ы н о с н ы м и к о л ь я м и, так как при земляных работах часть кольев разбивки будет утрачена. Для текущих разбивок откосов применяют наклонные о т к о с н ы е ш а б л о н ы с уровнями. При горизонтальном положении уровня наклонная часть шаблона занимает проектное положение откоса. После некоторого подъема насыпи забивают два колышка и по шаблону укрепляют наклонное л е к а л о - н а п р а в л я ю щ у ю о т к о с а (см. рис. 56). Одновременно устраивают вертикальную стойку с поперечной планкой, устанавливаемой на проектном уровне насыпи. По мере подхода насыпи к проектному уровню вносят коррективы в высоту горизонтальной планки путем нивелирования.

Перед разработкой последнего слоя грунта в выемке в нижней части откоса забивают колья, нивелируют их, а затем после расчетов прорывают поперечные траншеи на проектном уровне, пользуясь при этом в качестве основы отметками кольев.

Для завершения работ по насыпи (выемке) на нее выносят о с ь т р а с с ы и восстанавливают пикетные точки и точки детальной разбивки кривых. Нивелированием добиваются, чтобы верхушки кольев сторожков находились на проектном уровне пути. После укладки пути и рихтовки его закрепляют ось пути металлическими штырями и устанавливают рабочие реперы для использования их в процессе эксплуатации.

§ 58. Геодезические работы при сооружении мостов

Как указывалось выше, геодезическим основанием для разбивки каждого малого искусственного сооружения являются его продольная и поперечная оси, закрепленные в натуре четырьмя деревянными столбами. От закрепленных таким путем осей производят все необходимые разбивки непосредственными промерами. Разбивки закрепляют деревянными колышками или выносят их на специально сооруженные обноски. Высотные разбивки производят с помощью нивелира от репера, закрепленного у места работ.

При строительстве средних и больших мостов требуется выполнить значительный объем т о ч н ы х г е о д е з и ч е с к и х и з-

мерений и сложных разбивок. Выполнение этих работ поручается геодезистам высокой квалификации.

В начальный период строительства моста основной задачей геодезических работ является измерение расстояния между исходными осевыми точками A и B с относительной ошибкой $\frac{1}{10\,000}$ и высотная связь реперов, расположенных на берегах (рис. 57). В зависимости от местных условий эти задачи могут быть выполнены либо непосредственно, либо специальными способами.

Непосредственным путем измерение длины и нивелирование можно осуществить зимой по льду, а в другое время

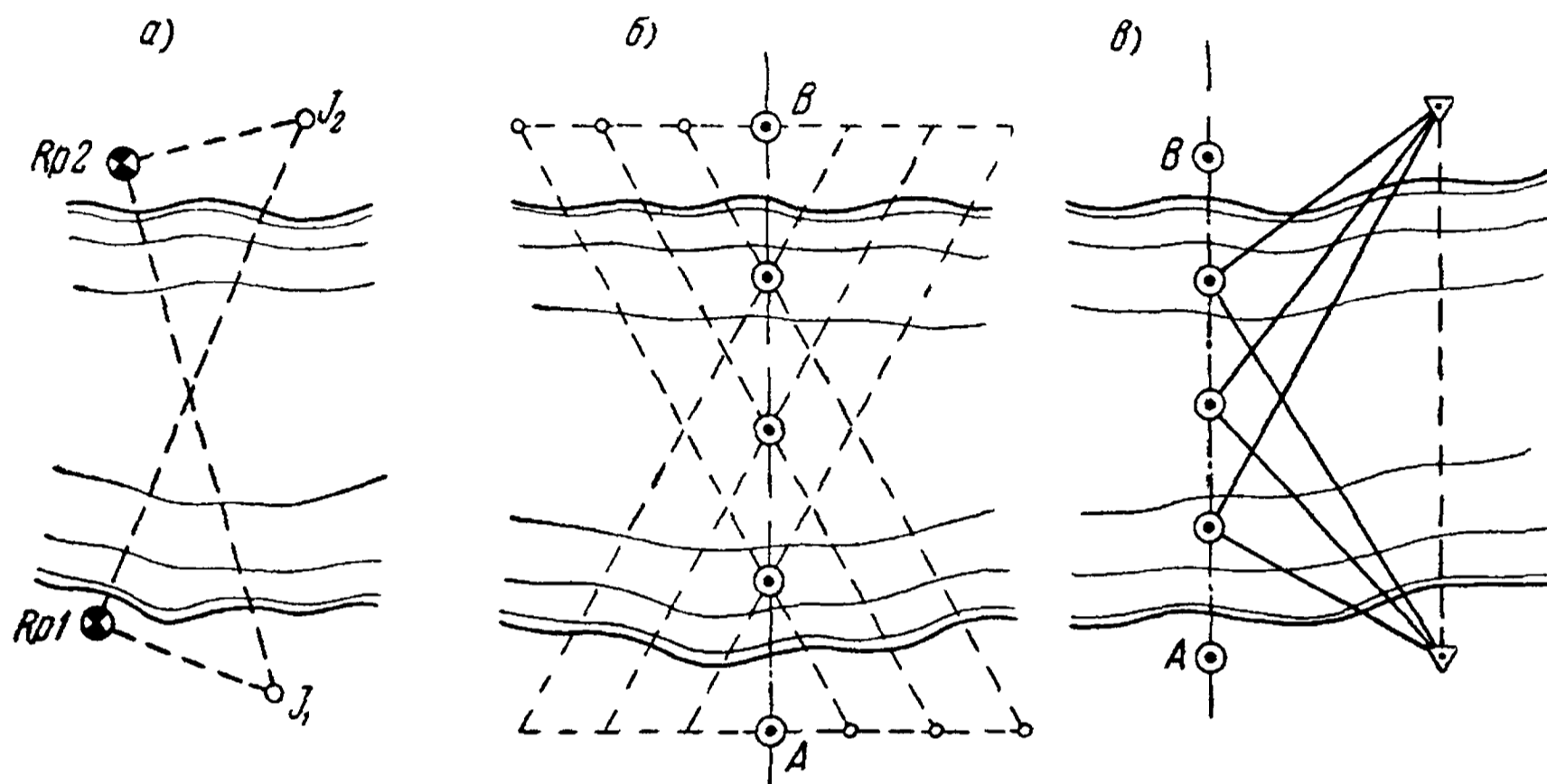


Рис. 57. Передача отметок и центров на опоры мостов

года по временным, специально для этой цели сооружаемым мосткам. На судоходных широких реках линию AB измеряют методом триангуляции, а связь реперов производят методом двойного нивелирования.

Знаки триангуляции закладывают в таких местах, из которых обеспечивается видимость на все опоры будущего сооружения и которые расположены в незатопляемом районе, а также вне зоны строительства и движения транспорта. Предпочитают, чтобы схема триангуляции представлялась в виде геодезического четырехугольника с одним базисом на каждом берегу. Создаваемая триангуляционная основа должна обеспечить определение расстояния AB и положения знаков, с которых будет выполнена разбивка центров опор. Для высотной связи берегов закладывают два репера и готовят два места стоянки нивелиров, причем соблюдают следующее условие (рис. 57, a):

$$I_1Rp1 = I_2Rp2, \quad \text{а} \quad I_1Rp2 = I_2Rp1.$$

Нивелирование выполняют одновременно на обоих берегах. При первом приеме получают каждым нивелиром отсчеты на ближние

реперы, а затем на дальние. Далее, не изменяя фокусировки, перевозят нивелиры на противоположные берега и берут отсчеты, начиная с дальних реперов, чтобы сохранить ранее установленную фокусировку. Нивелирование повторяют несколько раз.

Для разбивки опор стремятся использовать такие устройства, как временные мостки, сваи и пр., чтобы закрепить на них продольные (параллельно трассе) и поперечные оси.

На больших реках приходится применять сложные способы створных или угловых засечек (рис. 57, б, в). Для создания створов засечек на каждом берегу выставляют по расчетам сигналы на поперечных линиях, опирающихся на пункты *A* и *B*. Угловые засечки центров опор производят на основе геодезических вычислений теодолитами, установленными на двух триангуляционных прибрежных знаках. Для контроля применяют третий теодолит, установленный на одном из осевых знаков (*A* или *B*).

При сооружении опор кессонным способом положения их центров определяют угловыми засечками. Методика геодезического обслуживания этих работ подробно описана в главе 11 (опускная крепь). В процессе наращивания бетона опалубку проверяют с выставляемого засечками центра и по осям опоры, разбиваемым теодолитом, установленным на центре опоры и ориентированным по осевым точкам *A* или *B*.

Контрольное нивелирование опор выполняют нивелирным ходом, прокладываемым непосредственно по опорам, с допуском, равным

$$f_n = \pm 2 \sqrt{n} \text{ мм},$$

где *n* — количество станций. При нивелировании на каждой опоре получают отметки подферменной площадки и рабочих реперов на ней.

При монтаже и установке пролетных строений их плановые положения проверяют по осевым точкам, а высоту — нивелированием.

На заключительном этапе строительства в задачу геодезистов входит организация систематических наблюдений за деформацией опор: а) нивелирование осадочных реперов, закладываемых в тело опор; б) наблюдение теодолитного створа, закрепленного осевыми знаками на берегу и специальными марками на каждой из сооруженных опор; в) измерение расстояний между марками соседних опор.

§ 59. Понятие о геодезических работах на железнодорожных станциях и при ремонте железнодорожного пути

Железнодорожные станции характеризуются развитым путевым хозяйством и предназначены для скрещения и обгона поездов, формирования и расформирования составов и обслуживания пассажиров. Всякие соединения железнодорожных путей осуществляются при помощи стрелочных переводов (рис. 58), которые имеют острия *I*

Марка крестовины	Расстояние от центра перевода до математического центра крестовины, м	Марка крестовины	Расстояние от центра перевода до математического центра крестовины, м
1/15	22,85	1/9,51	14,54
1/12	18,16	1/9	13,76
1/11,8	17,96	1/8	12,24
1/11	16,80	1/6	9,24

с переводным механизмом 2, кривую 3 и крестовину 4. По углу α крестовины различают типы переводов, каждый из которых обозначается маркой $N = \operatorname{tg} \alpha$. Пересечение осей двух соединяющихся путей называют центром стрелочного перевода. В табл. 13 приведены данные основных типов переводов.

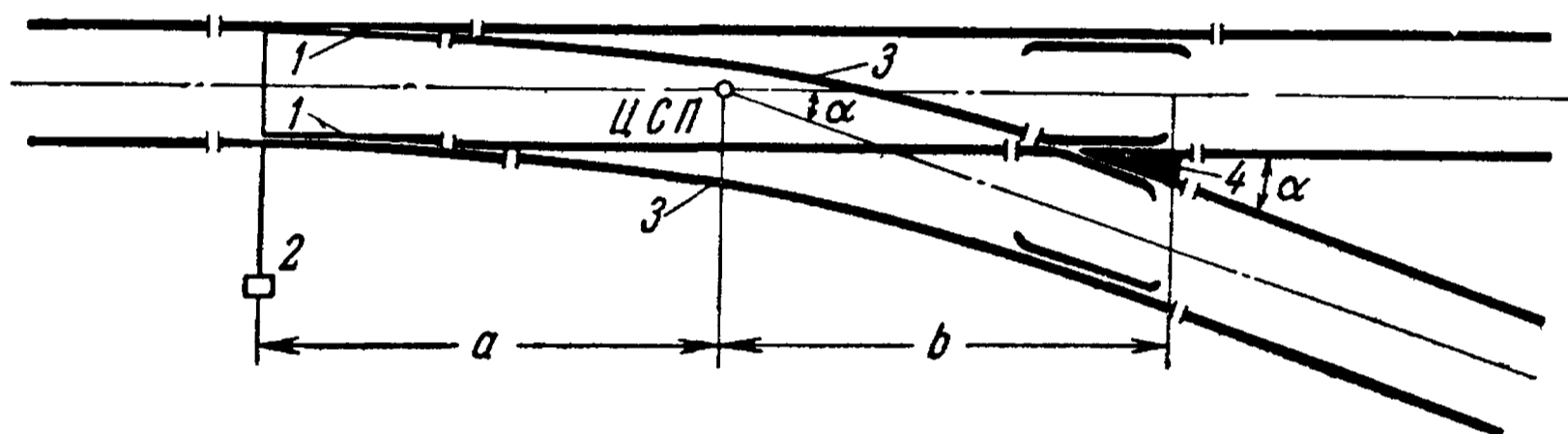


Рис. 58. Стрелочный перевод

Наибольшее распространение имеют стрелочные переводы: $M = 1/11$ ($\alpha = 5^{\circ}11'40''$) на пассажирских линиях, $M = 1/9$ ($\alpha = 6^{\circ}20'25''$) на грузовых. При разбивке стрелочных переводов на местности фиксируют положение его центра (Ц. С. П.).

На проектных планах станций за ось y принимают ось главного пути, а за ось x — поперечную ось пассажирского здания. На проектных чертежах дают координаты центров всех стрелочных переводов и важнейших точек зданий. Основным способом разбивок и съемок является способ параллельных осей и поперечников. Поэтому при работе на станциях надо в первую очередь восстановить ось главного пути, пикетаж на ней и поперечную ось пассажирского здания.

Текущее содержание пути, требующее геодезического обслуживания, сводится к определению величин деформации земляного полотна, наблюдению за профилем рельсов и определению положения пути в плане. Основой определения величин деформации полотна служат створы специальных знаков, закладываемых вне зоны деформаций. Величины просадки пути определяют нивелированием или с помощью строительных визирок.

Кривая рельсов в плане должна быть плавной и не иметь углов. Плавность оценивают величиной расхождения фактической и проект-

ной величин стрел изгиба по 20-метровым хордам. Проектные величины стрел изгиба круговой кривой вычисляют по приближенной формуле

$$f = \frac{d^2 \cdot 1000}{8R},$$

где d — длина хорды в метрах. Допуск расхождений вычисленных и фактических величин стрел изгиба принят равным $\pm 6-10$ мм для $R < 650$, а для $R > 650$ м — $\pm 4-6$ мм. Для измерения стрел изгиба на внутренней поверхности шейки наружного рельса через каждые 10 м наносят краской белые штрихи. К каждому двум (через один) штрихам прикладывают тонкий 20-метровый шнур, а от него у среднего штриха замеряют стрелу. Затем продвигают шнур по штрихам на 10 м, замеряют следующую стрелу и т. д. Все измеренные величины стрел записывают в специальную ведомость, в которой выводят их отклонения от нормальной величины. Обнаруженные отклонения в кривой исправляют по особому расчету. Проверка стрел на магистралях производится ежемесячно.

Контрольные вопросы:

1. Что называют главными точками круговых кривых?
 2. Метод двойного нивелирования при высотной связке реперов на двух берегах рек.
 3. Как разбивают опоры мостов способом угловых засечек?
 4. Проверки на кривых плавности рельсов по хордам.
 5. С какой целью вводят переходные кривые?
-

ГЛАВА 6

ВЫЧИСЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАССЫ ТОННЕЛЯ И ДАННЫХ ДЛЯ РАЗБИВКИ ЕЕ В НАТУРЕ

§ 60. Общие сведения о проектировании и расчетах трассы тоннеля

Трассы тоннелей проектируют на топографических планах. В городах для этой цели используют планшеты внутриквартальных съемок масштаба 1 : 500 на весь район, в котором намечено проложить линию (очередь) метрополитена.

Трасса метрополитена 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 сооружения метрополитена, непосредственно связанные с дневной поверхностью, как, например: порталы тоннелей, вестибюли станций, оси эскалаторных и станционных тоннелей, при этом количество станций и вестибюлей определяют в соответствии с ожидающимися пассажиропотоками, с обеспечением удобств для пассажиров и безопасности перехода их от остановок наземного городского транспорта к вестибюлям метрополитена.

Сооружение эскалаторных тоннелей и раскрытие больших трехсводчатых профилей станций метрополитена влечет за собой деформации зданий, расположенных над ними. Поэтому станции и эскалаторные тоннели предпочитают размещать под городскими проездами и площадями, вследствие чего направление осей станций весьма часто не совпадает с кратчайшим направлением данного отрезка трассы, и перегонные тоннели приходится сооружать по ломаной линии, в вершинах которой вписывают кривые.

Количество кривых трассы тоннелей мелкого заложения зависит от изломов улиц, под которыми прокладывают тоннели.

Наметив на общем (сводном) плане трассу метрополитена, проектировщики графически определяют координаты основных точек осей эскалаторов и станций, а также вершин ломаных линий осей

перегонных тоннелей. Этих данных достаточно для аналитического составления проекта плана трассы в системе прямоугольных координат.

§ 61. Геометрическая схема трассы

Проектная организация выпускает чертеж (геометрическую схему трассы), на котором приведены все геометрические данные, характеризующие проект трассы. На рис. 59 и 60 изображены части такой схемы на прямом и криволинейном участках трассы. На них приведены следующие данные:

1. Номера и координаты вершин ломаного хода трассы по обоим тоннелям (осям пути), например № 3 лев., № 3 прав.

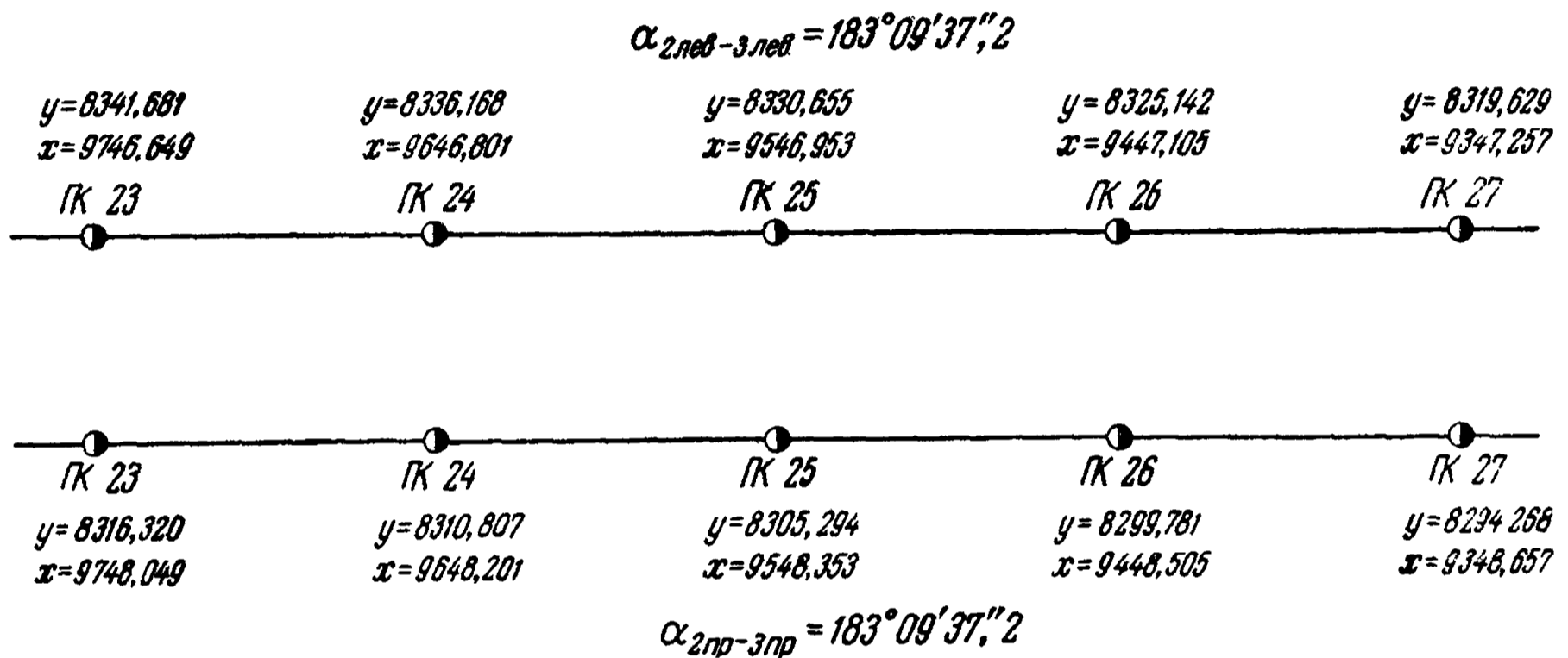


Рис. 59. Схема прямого участка трассы

2. Дирекционные углы отрезков между вершинами.

3. Элементы каждой кривой, вписанной в угол поворота трассы:

а) центральный угол, называемый «путейским» углом, которым контролируют разность дирекционных углов отрезков, составляющих угол поворота трассы, например

$$\begin{array}{r} \alpha (3 \text{ лев.} - 4 \text{ лев.}) = 207^{\circ}03'18'',6 \\ \alpha (2 \text{ лев.} - 3 \text{ лев.}) = 183^{\circ}09'37'',2 \\ \hline \beta = 23^{\circ}53'41'',4 \end{array}$$

б) величина радиуса R кривой, являющаяся функцией максимальной скорости движения поездов на данном участке. Из рис. 60 видно, что углы поворота и радиусы кривой при двух одноименных вершинах (№ 3 лев. и № 3 прав.) одинаковы;

в) значения тангенсов T и кривой K . На рис. 51 приведено геометрическое построение, поясняющее применение формул

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$$

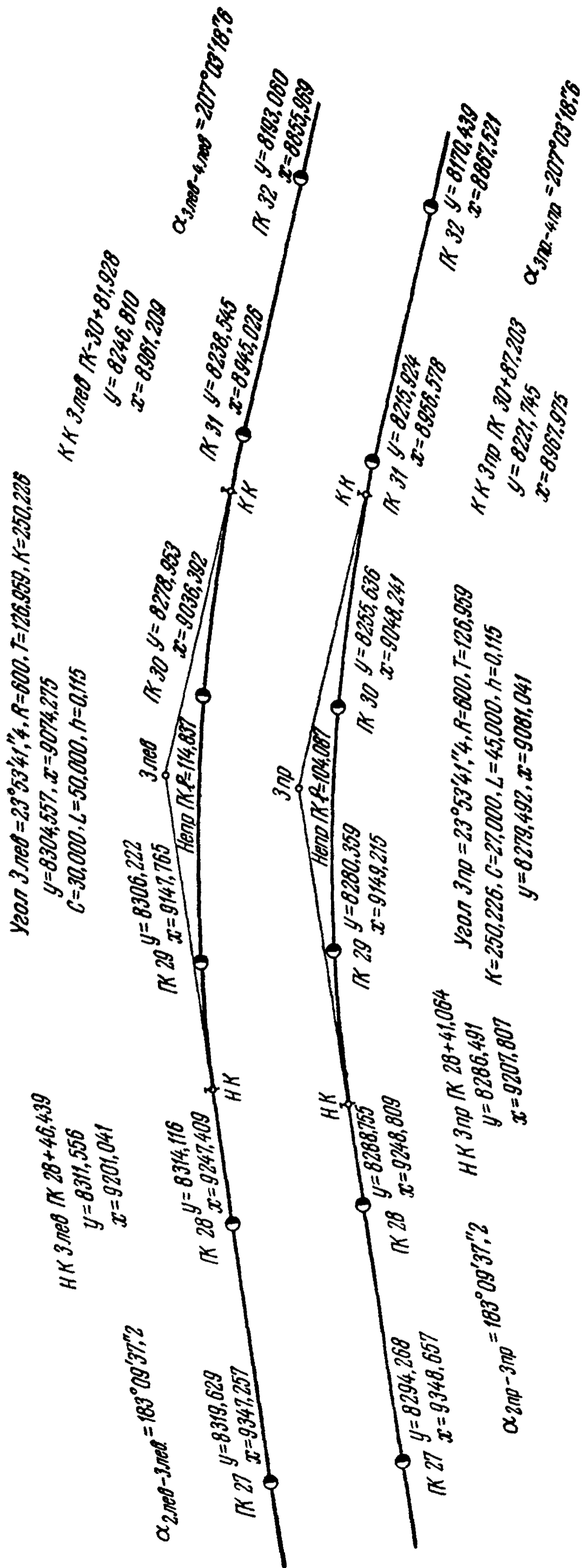


Рис. 60. Схема трассы на кривой

и

$$K = \frac{\beta''}{\rho''} R,$$

где $\rho'' = 206\,265''$;

г) элементы переходной кривой S , L и h ;

д) координаты вершин ломаного хода трассы, а также всех целых пикетов.

Значения дирекционных углов и расстояния между вершинами вычисляют, решая обратные геодезические задачи по координатам вершин, найденным графически по планам масштаба 1 : 500.

§ 62. Вычисление проектных координат целых пикетов на прямых и кривых отрезках трассы

Координаты целых пикетов на прямых отрезках вычисляют по следующим формулам прямой геодезической задачи:

$$x_{n+1} = x_n + \Delta x \quad \text{и} \quad y_{n+1} = y_n + \Delta y,$$

где $\Delta x = 100 \cdot \cos \alpha$ и $\Delta y = 100 \cdot \sin \alpha$, а α — дирекционный угол трассы.

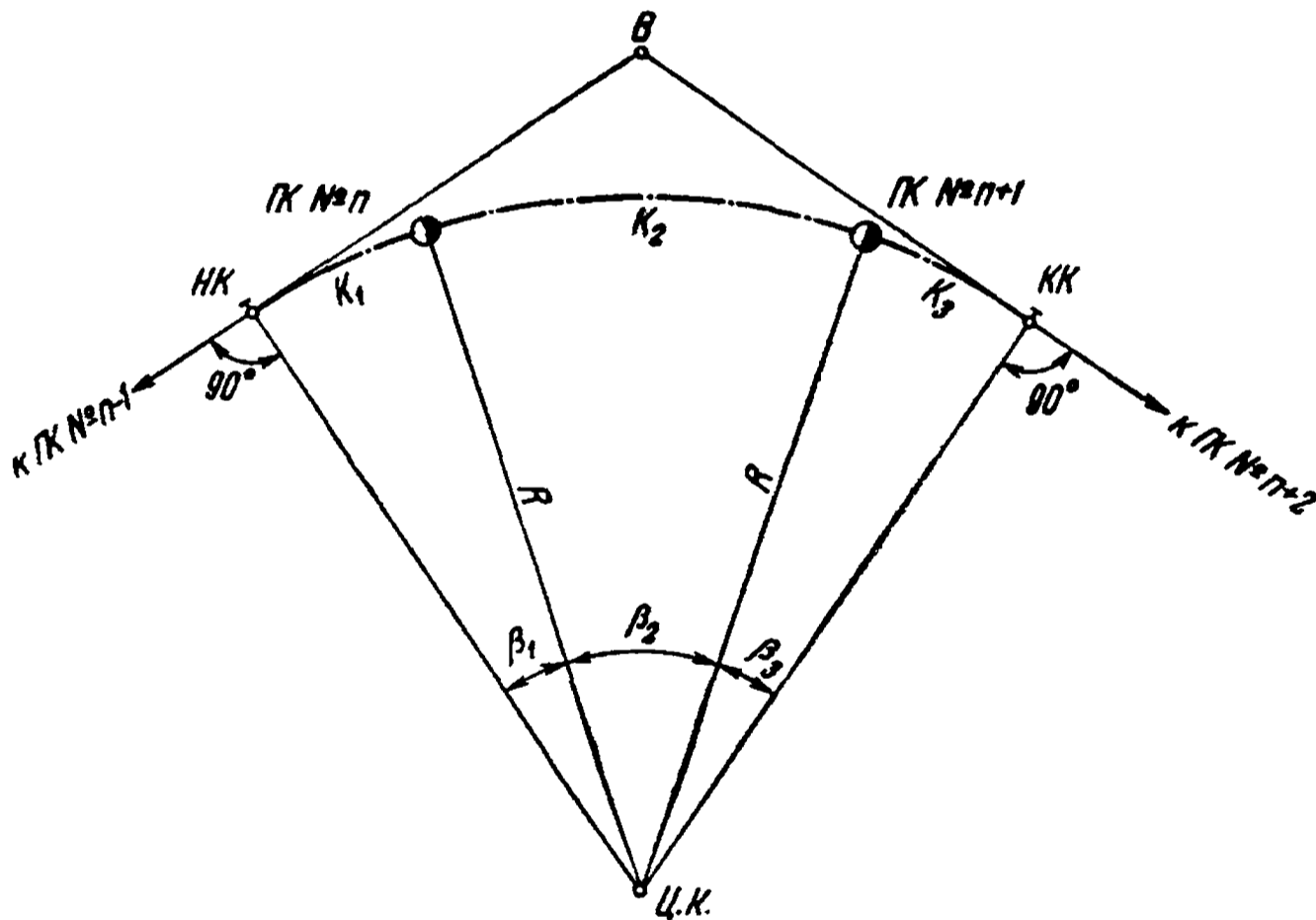


Рис. 61. Вычисление координат пикетов на кривой

На кривых участках трассы координаты целых пикетов вычисляют через центр кривой. Для этого из геометрической схемы трассы выбирают пикеты $НК$ и $КК$. По разности пикетов получают длину всей кривой K , затем вычисляют величины k_1 , k_2 и k_3 (рис. 61), где k_1 — дополнение до целого пикета к пикетному значению $НК$, k_3 подсчитывают по пикетному значению $КК$, а $k_2 = 100,0$, если на схеме не оговорено, что ПК ($\text{№ } n - \text{№ } n + 1$) — неправильный. Контролем произведенных расчетов будет служить равенство

$$K = k_1 + k_2 + k_3.$$

Далее по формуле $\beta'' = \frac{k}{R} \cdot \varrho''$ вычисляют центральные углы β_1 , β_2 и β_3 , контролируя результаты вычисления суммой $\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$, заданной в проекте. Эти же углы можно вычислить, пользуясь таблицей «Длина обвода круга для радиуса 1 м», имеющейся в таблицах логарифмов (Вега, Пржевальского и др.).

Приведем пример на вычисление значений k и β при вершине № 3 прав (см. рис. 60).

Для правого тоннеля величины k составят:

от ПК28 + 41,064 (НК) до ПК29	$k_1 = 58,936;$
от ПК29 до ПК30 (неправильный пикет)	$k_2 = 104,087;$
от ПК30 до ПК30 + 87,203 (КК)	$k_3 = 87,203$
	$K = 250,226 \text{ м}$

Пользуясь таблицей «обвода круга», подсчитывают путем подбора значения соответствующих углов β , предварительно перейдя от $R = 600,0$ к $R = 1 \text{ м}$.

$k_1 = 58,936 : 600 =$ $= 0,0982233$ $5^\circ 0,0872665 \text{ —}$ <hr/> $0,0109602 \text{ —}$ $37' 0,0107629 \text{ —}$ <hr/> $0,0001973 \text{ —}$ $41'' 1988$ <hr/> $\beta_1 = 5^\circ 37' 41''$	$k_2 = 104,087 : 600 =$ $= 0,1734783$ $9^\circ 0,1570796 \text{ —}$ <hr/> $0,0163987 \text{ —}$ $56' 0,0162897 \text{ —}$ <hr/> $0,0001090 \text{ —}$ $23'' 1115 \text{ —}$ <hr/> $\beta_2 = 9^\circ 56' 23''$	$k_3 = 87,203 : 600 =$ $= 0,1453383$ $8^\circ 0,1396263 \text{ —}$ <hr/> $0,0057120 \text{ —}$ $19' 0,0055269 \text{ —}$ <hr/> $0,0001851 \text{ —}$ $38'' 1842 \text{ —}$ <hr/> $\beta_3 = 8^\circ 19' 38''$
--	---	--

Контроль: $5^\circ 37' 41'' + 9^\circ 56' 23'' + 8^\circ 19' 38'' = 23^\circ 53' 42'' = \beta_{\text{факт.}}$

§ 63. Переходные кривые. Неправильные пикеты

Как указано в § 56, для создания плавного перехода прямого участка в круговую кривую и обратно применяют переходные кривые переменного радиуса ϱ , величина которого плавно изменяется от бесконечности (у прямой) до постоянной его величины, равной радиусу R круговой кривой.

Применение переходной кривой требует сдвига оси пути во внутрь круговой кривой на величину z (см. рис. 52), которая определяется по формуле

$$z = \frac{L^3}{24C},$$

где L и C — параметры переходной кривой. При $L = 50,0$ и $C = 30\,000$ величина $z = \frac{50^3}{24 \cdot 30\,000} = 0,174 \text{ м}$.

Величина радиуса переходной кривой в любой ее точке определяется по формуле

$$\varrho = \frac{C}{l},$$

где C — параметр переходной кривой, а l — расстояние от начала переходной кривой до точки, в которой определяется величина переменного радиуса.

Для предварительных расчетов считают, как это показано на рис. 52, что переходные кривые размещены симметрично относительно начала и конца кривой, т. е. точек $НК$ и $КК$. Для концов переходных кривых приняты следующие обозначения: начало — $НПК$ и конец — $КПК$. При точных расчетах расстояние между $НПК_1$ и $НК$ определяют по формуле

$$a = \frac{L}{2} + \frac{L^5}{60C^2}.$$

Это же значение принимают и для расстояния от $КК$ до $КПК_2$.

Ось кривой, изображенная на рис. 51, 52, 60 и 61, является теоретической и введена для удобства и простоты расчетов от нее при разбивках кривых постоянного радиуса. Эту ось называют *разбивочной*. Как было указано выше, железнодорожный путь в тоннелях укладывают в начале и конце кривой по переходным кривым, а в средней части кривой — по круговой кривой, смещенной от разбивочной оси на величину z .

После определения величин кривых k и соответствующих им центральных углов β приступают к вычислениям координат пикетов на кривой. В первую очередь получают координаты центра кривой (рис. 60 и 61). Вычисления проводят дважды: от точки $НК$ и для контроля — от точки $КК$. Приращения подсчитывают по величине R и дирекционным углам:

$\alpha_{НК-ЦК} = \alpha_{2-3} + 90^\circ = 273^\circ 09' 37",2$	$\sin \alpha = -0,998479$	$\cos \alpha = +0,055130;$
$\alpha_{КК-ЦК} = \alpha_{3-4} + 90^\circ = 297^\circ 03' 18",6$	$\sin \alpha = -0,890568$	$\cos \alpha = +0,454848$
$НК \quad y = 8286,491 \quad x = 9207,807$	$КК \quad y = 8221,745$	$x = 8967,975$
$\Delta y = -599,087 \quad \Delta x = +33,078$	$\Delta y = -534,341$	$\Delta x = +272,910$
<hr/>	<hr/>	<hr/>
$Ц. К. \quad y = 7687,404 \quad x = 9240,885$	$Ц. К. \quad y = 7687,404$	$x = 9240,885$

Вывод: средние координаты $Ц. К.$ по правому тоннелю: $y = 7687,404$
 $x = 9240,885$

Для вычисления координат $ПК29$ и $ПК30$ учитывают, что расстояние их от центра кривой равняется $R = 600,0$. Для вычисления дирекционных углов необходимо применить центральные углы β_1 , β_2 и β_3 . Тогда

		Контроль
$Ц. К. — НК \quad 93^\circ 09' 37''$	$Ц. К. — КК \quad 117^\circ 03' 19''$	$Ц. К. — ПК29 \quad 98^\circ 47' 18''$
$\beta_1 = 5 \quad 37 \quad 41 \quad +$	$\beta_3 = 8 \quad 19 \quad 38 \quad -$	$\beta_2 = 9 \quad 56 \quad 23 \quad +$
<hr/>	<hr/>	<hr/>
$Ц. К. — ПК29 \quad 98^\circ 47' 18''$	$Ц. К. — ПК30 \quad 108^\circ 43' 41''$	$Ц. К. — ПК30 \quad 108^\circ 43' 41''$

По вычисленным дирекционным углам и расстояниям $R = 600,0$ вычисляют приращения от Ц. К. до ПК29 и ПК30 правого тоннеля, а затем подсчитывают координаты:

ПК 29 _{пр} $y = 8280,359$	$x = 9149,214$	
$\Delta y = +592,955$	$\Delta x = -91,671$	
Ц. К. $y = 7687,404$	$x = 9240,885$	+
$\Delta y = +568,232$	$\Delta x = -192,646$	+
ПК 30 _{пр} $y = 8255,636$	$x = 9084,239$	

На прямых отрезках трассы одноименные пикеты размещают на одной нормали к оси пути (рис. 62). На кривых участках трассы, где внешний тоннель (путь) длиннее внутреннего, это условие разме-

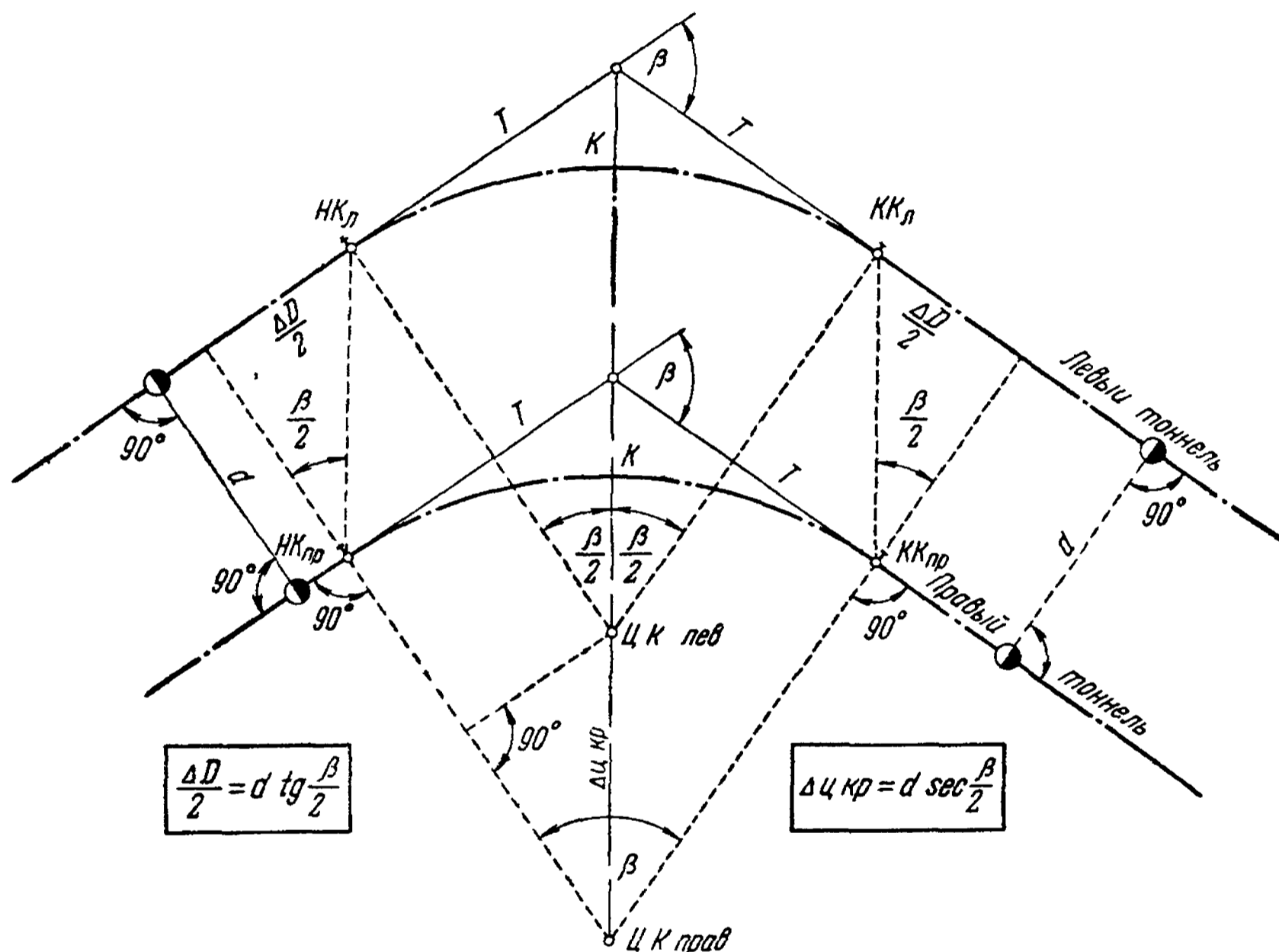


Рис. 62. Расчеты неправильных пикетов на кривых

щения пикетов нарушается. Для устранения подобного нарушения назначают в средней части кривой одного из тоннелей неправильный пикет. При этом по наружному тоннелю его длину принимают большей 100 м, например 110,750 м, а по внутреннему — меньшей 100 м, например 89,250 м. На рис. 62 указаны геометрические условия, вызывающие необходимость неправильных пикетов и способы вычисления их величин. Рассмотрим пример на вычисление величины ΔD , т. е. разности между длинами по оси междупутья и по осям путевых тоннелей. Пусть расстояние между осями двух тоннелей $d = 25,400$. Тогда можно написать:

$$\lg \frac{\Delta D}{2} = \lg d + \lg \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$$

или

$$\begin{aligned} \lg d &= \lg 25,400 = 1,4048337 \\ \lg \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} &= \lg \operatorname{tg} 11^{\circ}56'50'' = 9,3255106 \\ \hline \lg \frac{\Delta D}{2} &= 0,7303443 \end{aligned}$$

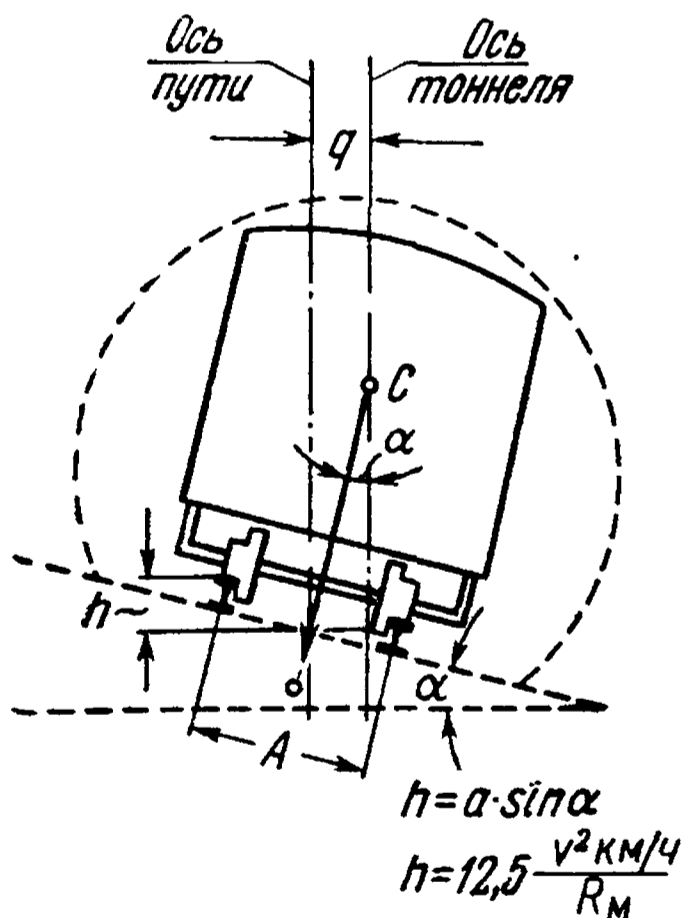
$$\frac{\Delta D}{2} = 5,375 \text{ и } \Delta D = 10,750.$$

Из схемы видно, что левый тоннель длиннее, а правый — короче фактического расстояния по междупутью на одинаковую величину, т. е. на 5,375 м, а расхождение в длинах двух тоннелей $\Delta D = 10,750$.

Для компенсации расхождения в пикетаже в 4,087 м, накопленного на предыдущих кривых, в правом тоннеле назначен неправильный пикет 29—30 = 104,087 м (см. рис. 60). С учетом величины $D = 10,750$ и необходимой (см. выше) поправки в 4,087 м неправильный пикет 29—30 по левому тоннелю назначен равным $100,0 + 4,087 + 10,750 = 114,837$ м.

§ 64. Ось тоннеля на кривой

При наклоне вагона вследствие применяемого на кривых возвышения наружного рельса, а также вследствие вписывания вагона в определенный габарит размеры внутреннего очертания обделки тоннеля на кривой должны быть увеличены против размеров того же тоннеля на прямых участках трассы. Для симметричного размещения подвижного состава в криволинейном тоннеле принято смещать ось тоннеля (рис. 63) относительно оси пути во внутрь кривой на величину, равную



где A — расстояние между осями рельсов (1,60), B — высота от головки рельса до горизонтальной оси тоннеля (в метрополитене — 1,85 и 1,70), h — возвышение рельса. Таким образом, при строительстве тоннелей на кривых приходится иметь дело со следующими тремя геометрическими осями (рис. 64):

$$q = h \frac{B}{A},$$

1) разбивочная ось, которая является исходной и составляет основу всех расчетов и разбивок в натуре;

Рис. 63. Схема смещения оси тоннеля относительно оси пути

- 2) ось пути, которая смещена от разбивочной оси на величину z ;

3) ось тоннеля, смещенная относительно оси пути на величину q (а от разбивочной оси — на величину $z + q$).

На переходной кривой величина q меняется от нуля до полного ее значения, при этом она изменяется пропорционально расстоянию

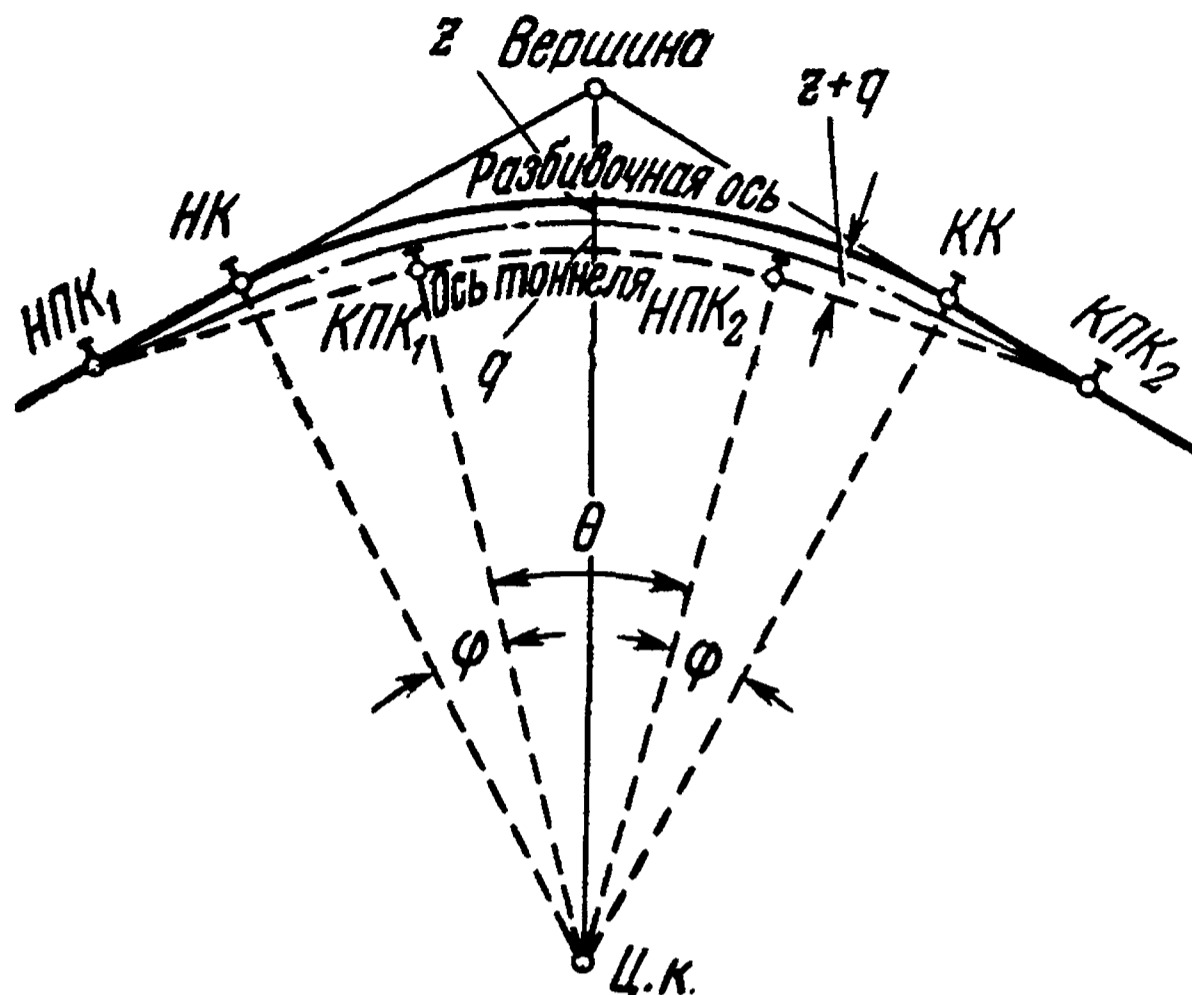


Рис. 64. Схема трех осей при сооружении тоннелей на кривых

от $НПК$ до точки, для которой определяют q . Таким образом, на круговых кривых строительные работы в тоннелях ведут по кривой, радиус которой равен $R - z - q$, а укладку пути — по кривой, радиус которой равен $R - z$.

§ 65. Вычисление проектных точек на переходных и круговых кривых

При расчетах геометрических элементов оси на кривых участках трассы выделяют участки переходных и круговых кривых. Углы, образованные радиусами $ЦК - НК$ и $ЦК - КПК_1$, а также $ЦК - НПК_2$ и $ЦК - КК$ (рис. 64) обозначают через φ и вычисляют по формуле

$$\varphi = \frac{L^2}{2C} \cdot q''.$$

Для нашего примера $\varphi = \frac{50^2}{2 \cdot 30\,000} \cdot 206\,265'' = 8594'',4 = 2^\circ 23' 14'',4$.

Перевод $8594'',4$ в $2^\circ 23' 14'',4$ производят по табличкам, помещенным в нижних частях страниц логарифмических таблиц (Вега или Брунса). Определив величину φ , вычисляют координаты $КПК_1$ (на оси пути). Для этого подсчитывают

$$\alpha_{ЦК-КПК_1} = 93^\circ 09' 37'',2 + 2^\circ 23' 14'',4 = 95^\circ 32' 51'',6.$$

По полученному α и расстоянию $R - z = 599,826$ вычисляют приращения координат, а затем и координаты $КПК_1$. Координаты $КПК_1$

можно для контроля вторично получить от $НПК_1$ через линию T , для которого $\alpha = 183^\circ 09' 37''{,}2$, а расстояние $x = L - \frac{L^5}{40C^2} = 50,0 - 0,009 = 49,991$. Вычислив по этим данным приращения координат, найдем координаты точки на линии тангенса, от которой получим α нормали, равный $\alpha_{2-3} + 90^\circ$, и длину нормали, равную $y = \frac{L^3}{6C}$. Для 3 лев. (рис. 58) $y = 0,694$ м. Вычисленные через тангенс и нормаль координаты $КПК_1$ должны быть равны их значениям, полученным через центр кривой по углу φ .

Чтобы получить координаты $КПК_1$ на оси тоннеля, следует при вычислении через центр кривой радиус принимать равным $R - z - q$, а во втором случае считать $y = \frac{L^3}{6C} + q$.

При детальной разбивке переходной кривой по оси пути от тангенса для любой промежуточной точки переходной кривой используют следующие формулы значений ординат x и y :

$$x_n = k_n - \frac{k_n^5}{40C^2};$$

$$y_n = \frac{k_n^3}{6C},$$

где k_n — длина кривой от $НПК_1$ до точки n . При разбивке оси тоннеля величина x_n остается та же, а к величине y прибавляется $q_n = q \frac{l_n}{L}$, где q — полное смещение оси тоннеля относительно оси пути.

Для удобства составляют таблицу для детальной разбивки переходной кривой с параметрами $R = 600$, $C = 30\,000$ и $q = 0,133$ от линии тангенса (табл. 14).

Т а б л и ц а 14

l_n	y_n	q_n	$y'_n = y_n + q_n$
м	мм	мм	мм
0	0	0	0
4	0	11	11
8	3	21	24
12	10	32	42
16	23	42	65
20	44	53	97
24	77	64	141
28	122	74	196
32	182	85	267
36	259	96	355
40	356	106	462
44	473	117	590
48	614	128	742
50	694	133	827

В данной таблице интервалы взяты через 4 м. Для практических разбивок рекомендуется вычислить данные с интервалами через 1 м.

Существует второй способ детальной разбивки переходных кривых — разбивка от стягивающей хорды (рис. 65). Промеры от этой хорды до переходной кривой в несколько раз короче, чем от тангенса, что увеличивает точность разбивки оси. Угол β между линией тангенса и стягивающей хордой определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{y+q}{x},$$

где $y = \frac{L^3}{6C}$, а $x = a + a_1 = L - \frac{L^5}{40C^2}$. Величина промера (перпендикуляра b_n) от стягивающей хорды до переходной кривой в любой точке хорды подсчитывается по формуле

$$b_n = l_n \cdot \operatorname{tg} \beta - y'_n,$$

где l_n — расстояние по хорде от НПК, а $y'_n = y_n + q_n$.

Ниже приведена табл. 15 для хорды переходной кривой с

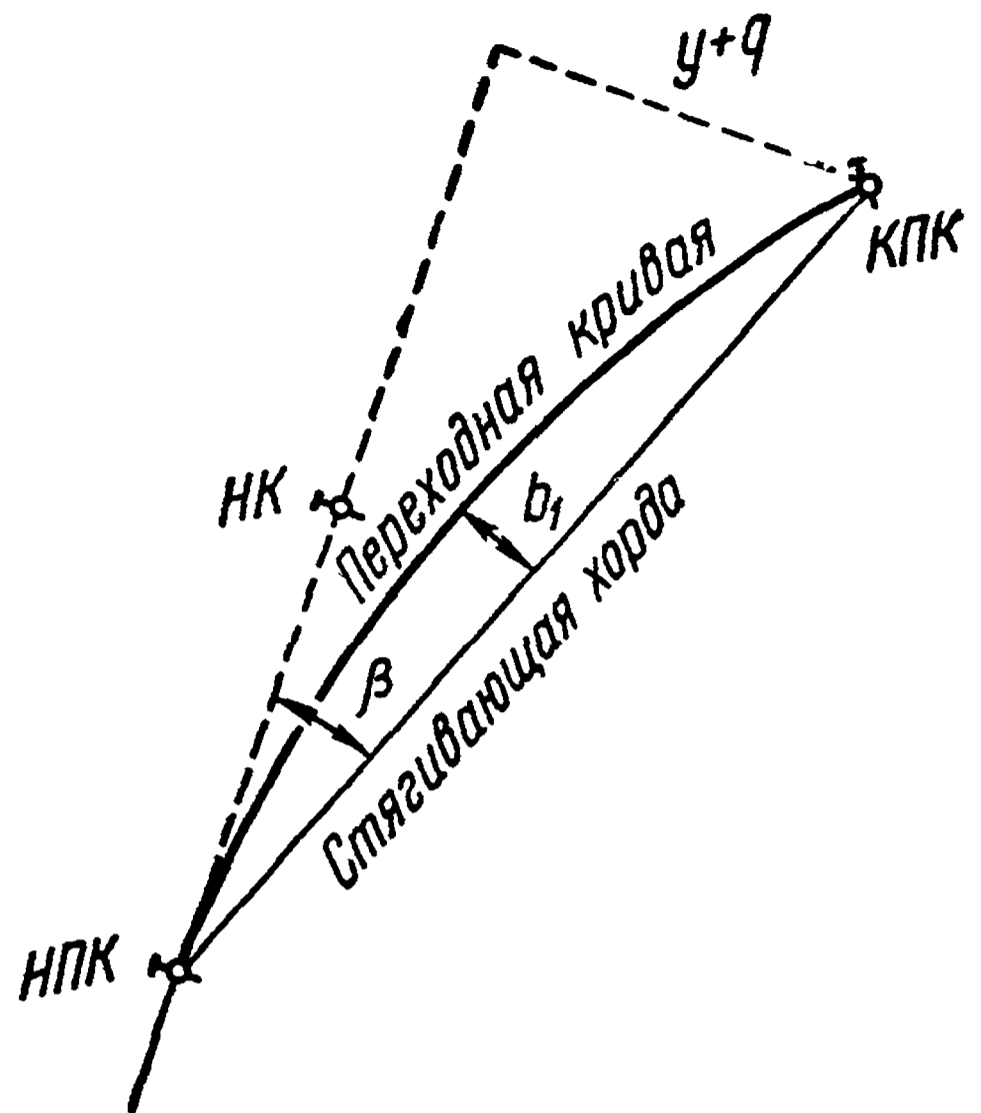


Рис. 65. Разбивка переходных кривых от стягивающих хорд

детальной разбивки от стягивающей хорды параметрами $R = 600$, $C = 30\,000$,

$q = 0,133$ и $\operatorname{tg} \beta = 0,016543$.

Таблица 15

l_n	$l_n \cdot \operatorname{tg} \beta$	y'_n	b_n
м	мм	мм	мм
0	0	0	0
4	66	11	55
8	132	24	108
12	198	42	156
16	264	65	199
20	331	97	234
24	397	141	256
28	463	196	267
32	529	267	262
36	595	355	240
40	662	462	200
44	727	590	137
48	794	742	52
50	827	827	0

Для практических разбивок необходимо составить таблицы с интервалом через 1 м.

На участках круговых кривых величина центрального угла равна $\theta = \beta - 2\varphi$. Координаты любой осевой точки на кривой вычисляют через центр кривой.

§ 66. Геометрические схемы станций и эскалаторных тоннелей. Схемы околоствольных выработок

Станции и наклонные ходы расположены на прямых отрезках трассы, а поэтому вычисление проектных координат осевых точек на любых пикетах несложно (рис. 66).

Необходимо обратить внимание на то, что ось пути на станциях смещена к наружным стенам боковых тоннелей и не совпадает с осью этих тоннелей. Поэтому рекомендуется в книге геодезических вычислений указать исходные координаты целых пикетов на оси перегонных тоннелей (на оси пути) и на оси станционных тоннелей отдельно.

На геометрической схеме трассы даются координаты целых пикетов по оси пути, а также координаты оси станции. Для разбивок необходимо вычислить координаты целых пикетов, начала и конца станции по оси боковых тоннелей, а также координаты точки пересечения поперечной оси станции с осью среднего тоннеля и точек пересечения оси эскалаторного тоннеля с линиями нижнего и верхнего перегибов. Для нижней точки перегиба берут отметку уровня чистого пола среднего зала над натяжными фермами, а для верхней точки — отметку уровня чистого пола вестибюля. Для удобства вычислений в схему выписывают натуральные значения $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$ для продольной оси станции в виде коэффициентов k_y и k_x .

Геометрическая схема продольного разреза эскалаторного тоннеля приведена на рис. 67.

Кроме геометрической схемы трассы тоннеля, проектная организация составляет геометрические схемы околоствольных выработок и сооружений со всеми геодезическими данными, необходимыми для разбивок в натуре. В состав околоствольных сооружений и выработок входят околоствольные дворы, подходные и обгонные штольни, вентиляционные сооружения, перекачки, кабельные коллекторы и камеры электроподстанций. В качестве примера приводится геометрическая схема околоствольных выработок (рис. 68) глубокого заложения.

Все геометрические данные схемы необходимо проконтролировать, чтобы убедиться в отсутствии каких-либо описок. Кроме того, контролируют координаты центра ствола, удаление его δ от оси ближайшего тоннеля и пикетное значение Δ нормали из центра ствола на ось того же тоннеля.

Контроль выполняется по формулам аналитической геометрии:

$$\delta = \Delta y \cdot \cos \alpha - \Delta x \cdot \sin \alpha$$

и

$$\Delta_{ПК} = \Delta y \cdot \sin \alpha + \Delta x \cos \alpha.$$

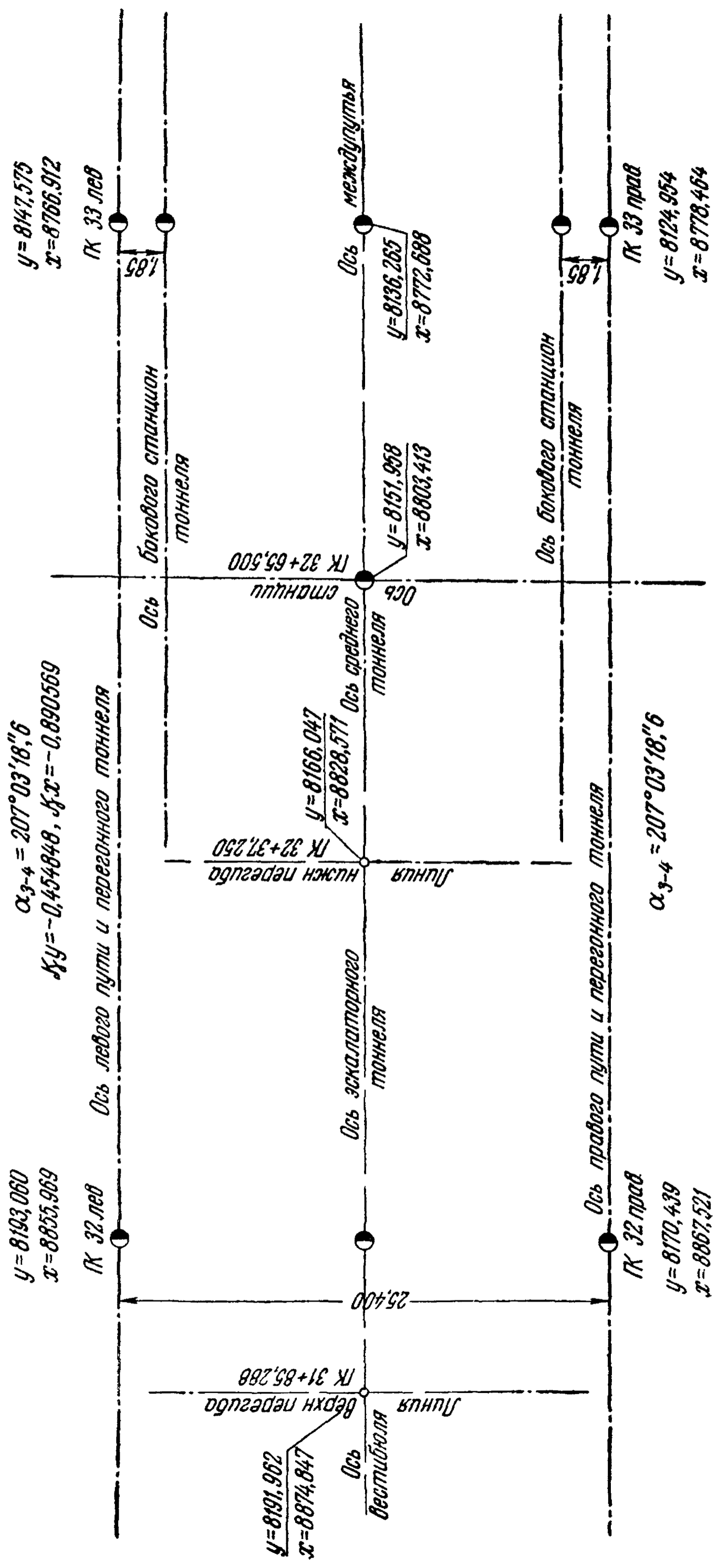


Рис. 66. Схема тоннелей станций метро

Здесь Δy и Δx — разности координат центра ствола и ПК22 лев., α — дирекционный угол оси левого тоннеля. При решении задачи следует особо уделить внимание знакам входящих величин: Δy и

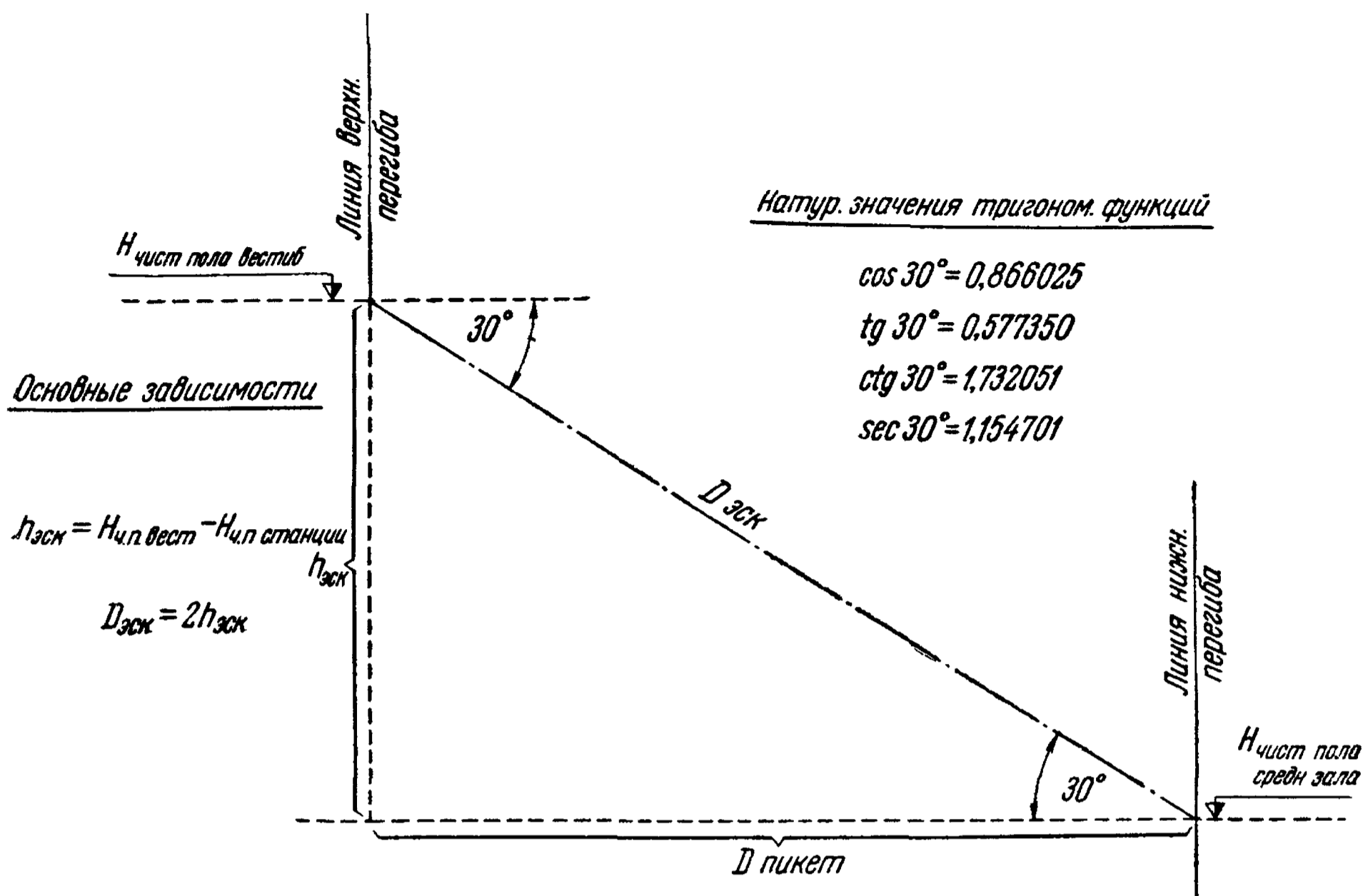


Рис. 67. Схема эскалаторных тоннелей

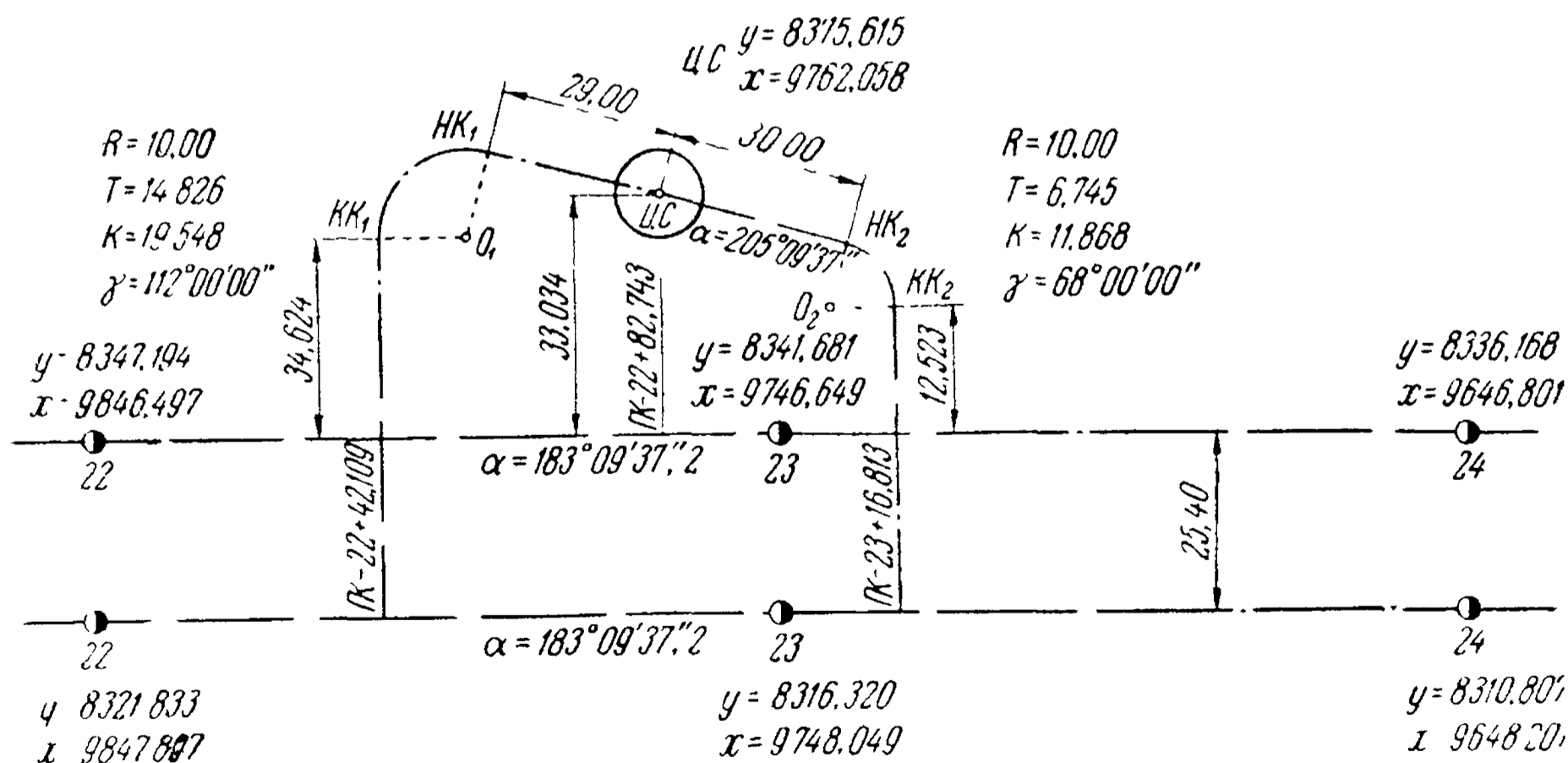


Рис. 68. Схема околоствольных выработок

Δx получают при вычитании координат ПК22 из координат центра ствола. $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$ имеют те же знаки, что и приращения Δy и Δx трассы. Подробно о вычислениях см. § 69.

§ 67. Профиль трассы. Вертикальные кривые. Расчет отметок промежуточных точек

Профиль трассы проектируют одновременно с составлением проекта трассы в плане. Геологический материал для профиля составляют по данным всех разведочных скважин, которые в прошлом были пробурены в районе трассы. В местах, где не окажется геологических материалов в нужном количестве, производят дополнительную разведку путем бурения новых скважин.

На основе собранного материала составляют продольный геологический разрез по всей трассе, включающий две основные части:

а) продольный геологический разрез по оси трассы, а также поперечные геологические разрезы в характерных местах;

б) план узкой полосы дневной поверхности с показанием на нем обоих тоннелей и всех разведочных скважин.

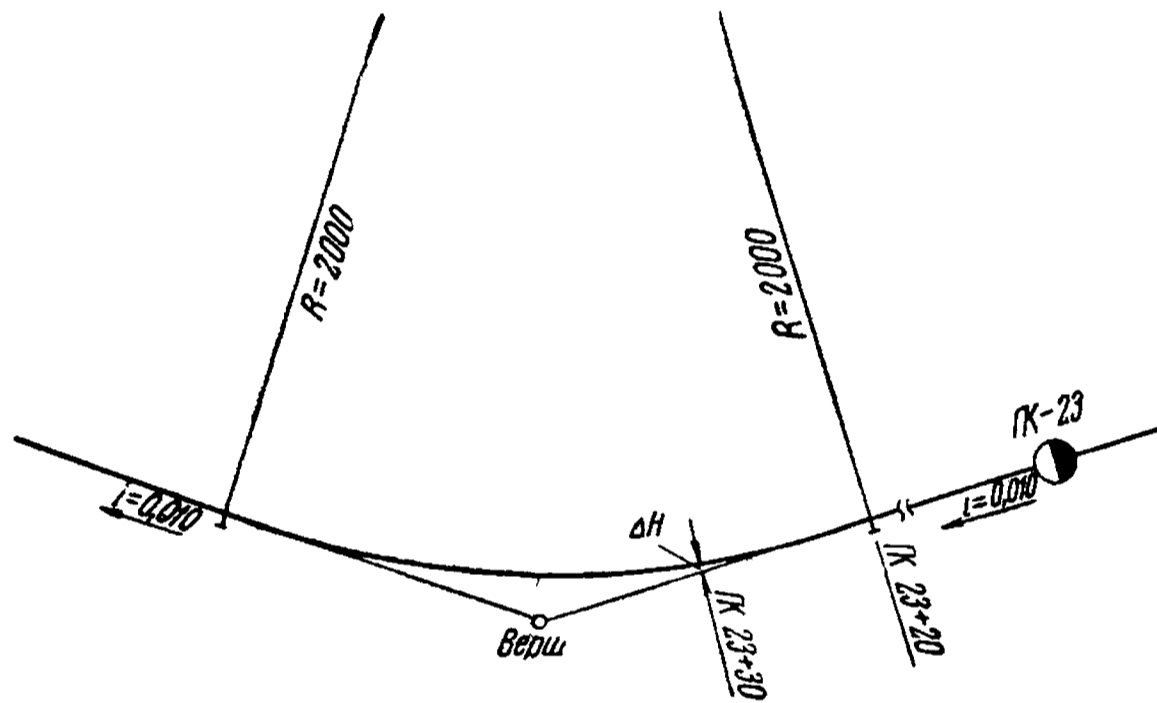


Рис. 69. Схема вертикальной кривой

На базе общего геологического разреза проектная организация составляет два продольных профиля по осям тоннелей.

Все подземные сооружения, в том числе и станции, сооружают на уклонах, что необходимо для приема в дренажи и передачи самотеком в основные перекачки грунтовых и технических вод. Станции обычно проектируют с уклоном $i = -0,003$ в сторону эскалаторов, в которых сооружены местные перекачки. Станции колонной конструкции сооружают горизонтально, а уклоны дренажей делают за счет толщины бетона лотка. Уклоны на перегонах обычно не превышают $\pm 0,040$. После утверждения предварительных наметок профиля рассчитывают проектные отметки характерных точек по каждому тоннелю. Отметки точек рассчитывают по уровню головки рельса, который, как правило, в перегонных тоннелях метрополитена ниже горизонтальной оси тоннеля на $1,700$ м, а на станциях — ниже платформы на $1,100$ м.

Сопряжение прямых участков профиля с разными уклонами (рис. 69) выполняется круговыми кривыми большого радиуса

($R > 1500$ м). Расчет элементов вертикальных кривых выполняется по формулам:

$$T = \frac{R}{2} \cdot (i_1 - i_2); \quad K = R \frac{\gamma'}{\rho'}; \quad \Delta H = \frac{l_n^2}{2R},$$

где l_n — расстояние от начала вертикальной кривой; R — радиус вертикальной кривой; i_1, i_2 — уклоны сопрягаемых прямых; γ' — центральный угол; $\rho' = 3437,7$.

Решим пример на вычисление отметок $H_{грм}$ на кривой.

Условия задачи: на ПК23 + 20,0 — начало вертикальной кривой, $R = 2000$ м для сопряжения прямых с уклонами $i_1 = -0,010$ и $i_2 = +0,010$. Требуется подсчитать для ПК23 + 30,0 отметку головки рельса, если на ПК23 + 00 $H_{грм} = 89,100$.

1. Для решения задачи находим величину

$$T = \frac{R}{2} (i_1 - i_2) = \frac{2000 \text{ м}}{2} [(-0,010) - (+0,010)] = 1000 \cdot 0,020 = 20 \text{ м}$$

и убеждаемся в том, что определяемая точка размещена в пределах первого тангенса.

2. По уклону прямой подсчитываем величину превышения головки рельса целого пикета ПК23 + 00 над тем же рельсом у ПК23 + 30

$$h = i \cdot l_{пк} = -0,010 \times 30 = -0,300 \text{ м.}$$

Но так как рельсы в этом месте укладывают не по прямой, а по вертикальной кривой, то выполним следующие расчеты.

3. Определяем поправку за уклонение касательной от кривой

$$\Delta H = \frac{l_n^2}{2R} = \frac{10^2}{2 \cdot 2000} = +0,025 \text{ м.}$$

4. Наконец, вычислим для ПК 23 + 30,0 отметку головки рельса, равную

$$H_{23+30} = H_{23+0} - h + \Delta H = 89,100 - 0,300 + 0,025 = 88,825.$$

§ 68. Инженерные разбивки проекта сооружения

В предыдущих параграфах разобраны способы вычисления координат любой точки проектной оси сооружения. Здесь рассмотрим методы перенесения в натуру одной или нескольких точек той или иной проектной оси сооружения.

Непременным условием для осуществления в натуре разбивки проекта сооружения является наличие на территории будущего сооружения пунктов геодезической основы. Используя геодезические данные этих пунктов и характерных проектных точек, т. е. координаты и дирекционные углы, рассчитывают необходимые данные для разбивки. Вычислением обратной задачи на координаты получают

дирекционный угол и расстояние от имеющегося знака до разбиваемой проектной точки, затем выносят последнюю в натуру с помощью теодолита и мерной ленты или рулетки.

Существенное значение имеет содержание и последовательность этапов расчета данных для разбивки. Величины приращений координат и знаки их определяют по соответствующим формулам решения обратной задачи (см. § 16).

Составляют схему разбивки в натуре проектной точки (например, центра ствола). На рис. 70 изображена подобная схема. На ней показаны исходные направления на пункты *B* и *C* полигонометрии, а также проектируемое для разбивки направление на центр ствола.

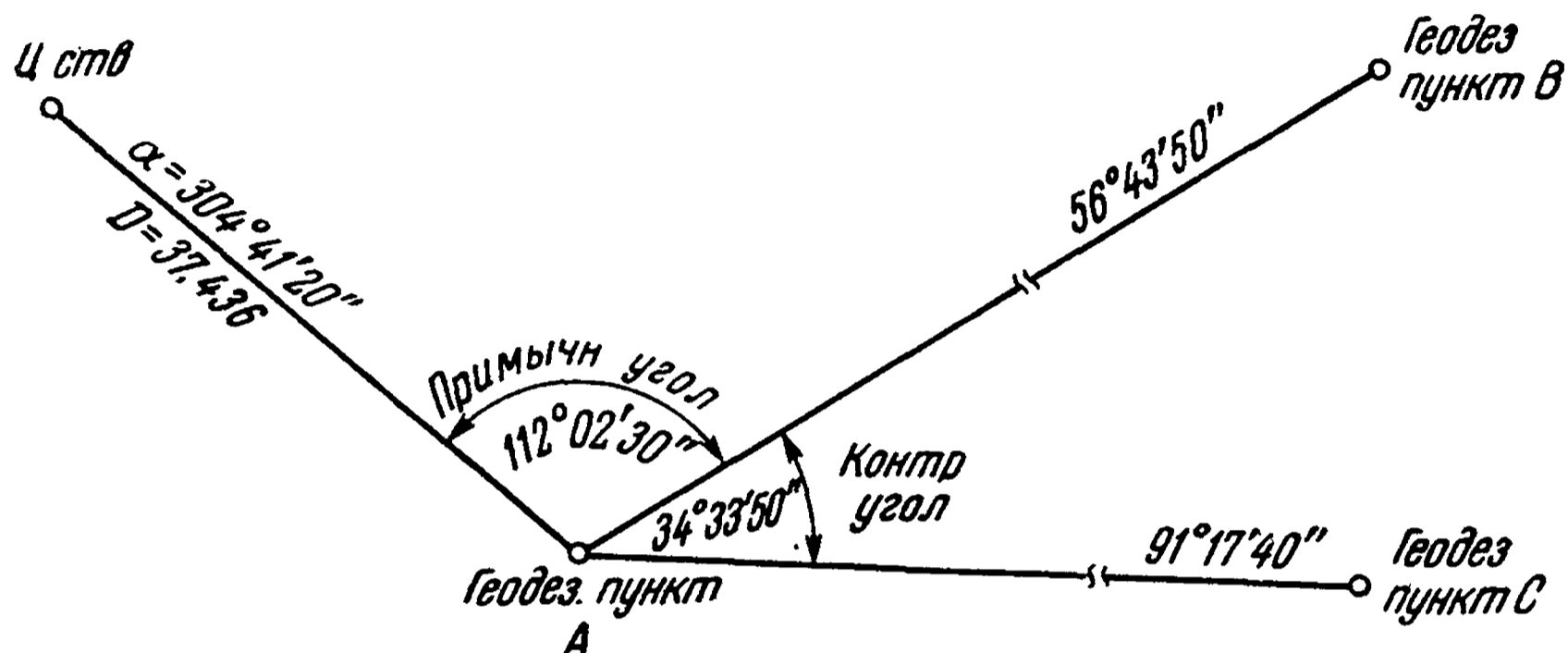


Рис. 70. Разбивка в натуре проектного центра ствола

Над прочерченными линиями подписывают значения их дирекционных углов, полученные из каталога полигонометрии и из вычислений обратной задачи, а также примычный угол между направлениями на центр ствола и на пункт *B* и контрольный угол между направлениями на пункты *B* и *C*. Последний необходим для контроля правильности опознания пунктов *A*, *B* и *C*.

Для собственно разбивки на пункте *A* устанавливают теодолит, ориентируют лимб по пункту *B* и откладывают примычный угол. Одновременно по полученному створу отмеряют вычисленное расстояние и закрепляют точку центра ствола колышком.

После окончания разбивки необходимо для ее контроля измерить одним приемом углы при пункте *A*, а также линию от *A* до заданной точки. Сходимость полученных результатов с данными схемы явится подтверждением правильности опознания пунктов и самой разбивки.

В том случае, если на местность требуется вынести какой-либо отрезок проектной оси на прямом участке трассы, порядок вычислений и разбивки остается тот же, но для дополнительного контроля рекомендуется задавать ось не двумя, а тремя точками, как это показано на рис. 71. В этом случае объем вычислений и разбивок увеличится, так как необходимо решить не две, а три обратные задачи. Однако разбивка трех точек вместо достаточных для этого

случая двух обеспечивает надежный контроль: если три точки окажутся в створе, то это наглядно подтвердит правильность выполненных расчетов и измерений при разбивке.

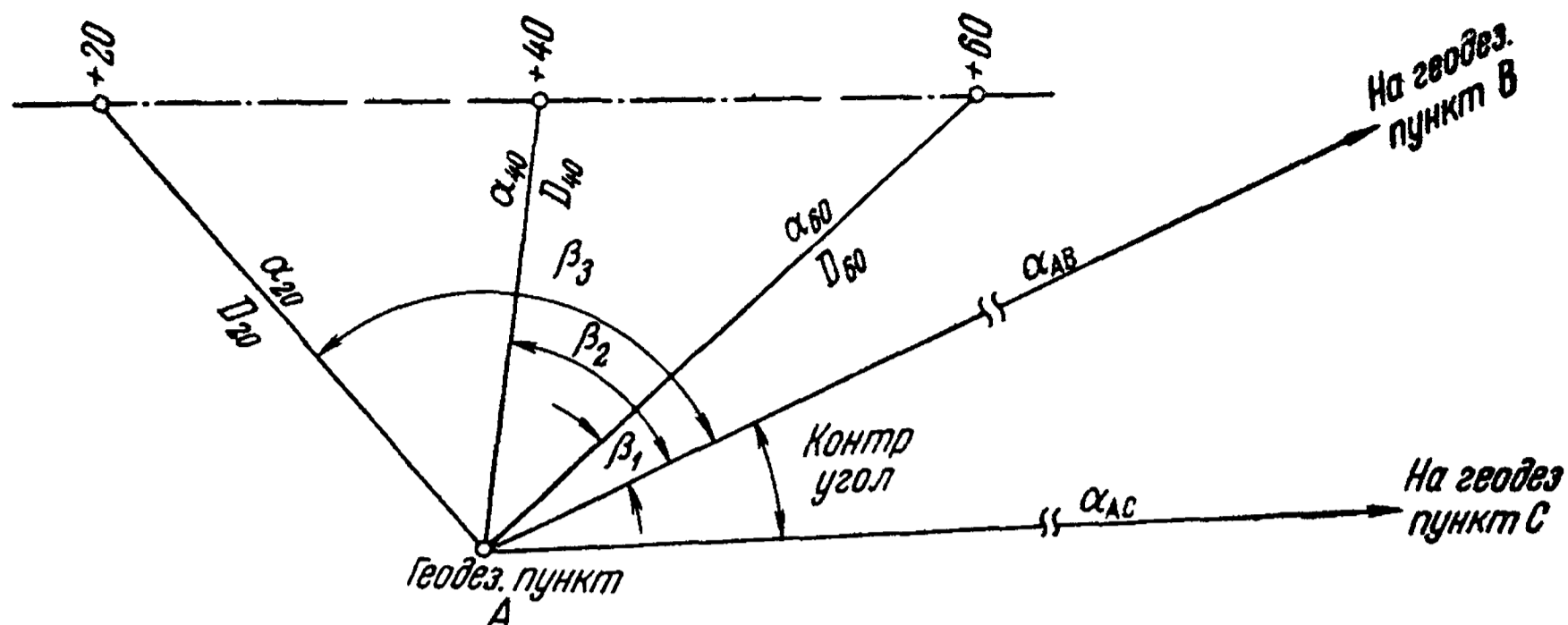


Рис. 71. Разбивка оси трассы

§ 69. Вычисление пикетажа и удаления (смещения) полигонометрического знака от проектной оси

Для знаков полигонометрии, расположенных непосредственно у стволов шахт и наклонных ходов, а также для всех знаков подземной полигонометрии принято, кроме общих координат, вычислять и вносить в каталог величину удаления δ знаков от оси сооружения (оси подходной штольни, оси тоннеля, оси пути), а также величину Δ , т. е. расстояние от целого пикета (на трассе) до центра знака, с целью определения точного значения пикетажа геодезического знака.

В практике применяют два способа вычисления величин δ и Δ :

1. Способ, в котором величины и знаки δ и Δ определяют из формул аналитической геометрии (см. § 66), причем α — дирекционный угол трассы, а Δx и Δy — разности соответствующих координат полигонометрического знака и проектной точки.

2. Способ, в котором для вычисления δ и Δ необходимо решить обратную геодезическую задачу и прямоугольный треугольник.

Первый способ, который назовем аналитическим, для вычисления δ и Δ требует значительно меньшей затраты рабочего времени, чем второй — геометрический способ.

Рассмотрим на конкретном примере порядок вычисления величин δ и Δ (рис. 72). Пусть требуется вычислить положение полигонометрического знака (п. з.) относительно оси подходной штольни и центра ствола.

Напишем

$$\begin{array}{r} y_{\text{п. з.}} = 8373,270 \\ y_{\text{п. ств.}} = 8375,615 \\ \hline \Delta y = -2,345 \end{array} \quad \begin{array}{r} x_{\text{п. з.}} = 9756,642 \\ x_{\text{п. ств.}} = 9762,058 \\ \hline \Delta x = -5,416 \end{array} .$$

Дирекционный угол оси подходной штольни равен $\alpha = 205^\circ 09' 40''$, т. е. ось направлена в третью четверть и, следовательно, $\sin \alpha = -0,425165$ и $\cos \alpha = -0,905116$.

Вычисляем по формулам аналитической геометрии:

$$\delta = \Delta y \cdot \cos \alpha - \Delta x \cdot \sin \alpha = [(-2,345) \cdot (-0,905116)] - [(-5,416) \cdot (-0,425165)] = 2,123 - 2,303 = -0,180,$$

т. е. п. з. расположен слева (знак минус) от оси на 180 мм.

$$\Delta = \Delta y \cdot \sin \alpha + \Delta x \cdot \cos \alpha = [(-2,345) \cdot (-0,425165)] + [(-5,416) \cdot (-0,905116)] = 0,997 + 4,903 = +5,900,$$

т. е. п. з. удален по ходу штольни на 5,900 м от центра ствола.

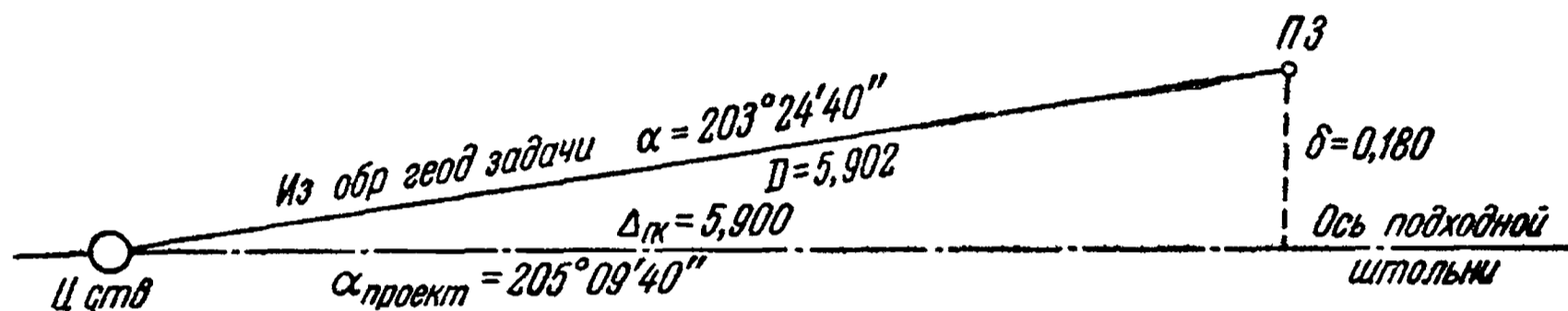


Рис. 72. Вычисление смещений маркшейдерских знаков относительно проектной оси

Решим вторично тот же пример по второму — геометрическому — способу.

Вычисляем по формулам для решения обратной задачи:

$$\begin{array}{l} \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{-2,345}{-5,416} \quad \begin{array}{l} \lg 2,345 = 0.370\ 1428 \\ \lg 5,416 = 0.733\ 6787 \\ \hline \lg \operatorname{tg} r = 9.636\ 4641 \\ r = 23^\circ\ 24'\ 40'' \end{array} \end{array}$$

$$\alpha_{\text{ц. ств. — п. з.}} = 180 + 23^\circ 24' 40'' = 203^\circ 24' 40''$$

$$D = \frac{\Delta y}{\sin r} = \frac{\Delta x}{\cos r}; \quad \begin{array}{l} \lg 2,345 = 0.370\ 1428 \\ \lg \sin 23^\circ 24' 40'' = 9.599\ 1468 \\ \hline \lg D_1 = 0.770\ 9960 \\ D_1 = 5,902 \end{array} \quad \begin{array}{l} \lg 5,416 = 0.733\ 6787 \\ \lg \cos 23^\circ 24' 40'' = 9.962\ 6901 \\ \hline \lg D_2 = 0.770\ 9886 \\ D_2 = 5,902 \end{array}$$

Находим $\beta = \alpha_{\text{подх}} - \alpha_{\text{обр. зд.}} = 1^\circ 45' 00''$. Из построения на рис. 72 видно, что п. з. находится левее оси подходной штольни. Подсчитываем искомые величины δ и Δ :

$$\begin{array}{l} \delta = -0,180 \\ \lg \delta = 9.255\ 8399 \\ \hline \lg \sin 1^\circ 45' 00'' = 8.484\ 8479 \\ \lg 5,902 = 0.770\ 9920 \quad \begin{array}{l} \uparrow \\ + \\ \downarrow \end{array} \\ \lg \cos 1^\circ 45' 00'' = 9.999\ 7974 \quad \begin{array}{l} \uparrow \\ + \\ \downarrow \end{array} \\ \hline \lg \Delta = 0.770\ 7894 \\ \Delta = +5,900 \end{array}$$

Кроме полигонометрических знаков, большое распространение в тоннельных работах имеют осевые знаки, фиксируемые отвесами. Эти отвесы закрепляют в два приема: сначала их устанавливают на оси по створу глазомерно. Затем инструментально привязывают каждый отвес к ближайшему знаку полигонометрии и вычисляют координаты этих отвесов, а также величины δ и Δ каждого отвеса аналитическим или геометрическим способами. В соответствии с полученными величинами δ смещают отвесы на ось так, чтобы удаление их равнялось нулю.

Координаты осевых отвесов, а также их удаление δ и пикетаж Δ вычисляют в том же порядке, что и для полигонометрических знаков.

§ 70. Способы разбивки проектной оси от знаков полигонометрии

Разбивка проектной оси сооружения от полигонометрических знаков на прямых участках трассы выполняется одним из следующих способов:

а) откладыванием от полигонометрических знаков величин их удаления δ от проектной оси;

б) заданием с полигонометрических знаков линий, параллельных проектной оси;

в) выносом с полигонометрических знаков осевых отвесов полярным способом.

Для задания оси первыми двумя способами пользуются величинами δ полигонометрических знаков. Для разбивки оси полярным способом следует предварительно произвести необходимые вычисления.

Разбивку проектной оси в пределах переходной кривой производят либо от стягивающей хорды, либо от линии тангенса, как об этом сказано в § 65.

В пределах круговой кривой принято заменять последнюю ломаной линией, составленной из сторон вписанных или описанных многоугольников. Удобно также пользоваться ломаной линией, составленной из секущих s , как это показано на рис. 73.

Длины секущих подбирают с таким условием, чтобы отклонение их от проектной кривой не превышало некоторой величины, которой можно пренебречь ввиду ее малости. Длины секущих рассчитывают по формуле

$$s = 4,0 \sqrt{R \cdot b_{\max}},$$

где $b_{\max} = \pm 0,020$.

Стремясь не усложнять расчета, добиваются того, чтобы все секущие были равны между собой и укладывались на кривом участке целое число раз. Крайние секущие ломаной линии составляют 0,85 нормальной их длины, так как одна из вершин таких секущих лежит непосредственно на оси кривой.

Величины секущих подбирают в два приема: сначала вычисляют предварительные значения s' и n' по расчету на мак-

симально допускаемое отклонение от кривой, а затем рассчитывают величину n , т. е. количество секущих, так, чтобы оно было целым числом и по этому числу определяют окончательную величину каждой s .

Ниже приведен пример на такое вычисление. Исходные данные приняты из схемы рис. 60.

Вычисление ведут в следующем порядке:

1. Находят предварительную длину секущей по формуле

$$s' = 4\sqrt{b \cdot R} = 4\sqrt{0,020 \cdot 600} = 14,0 \text{ м.}$$

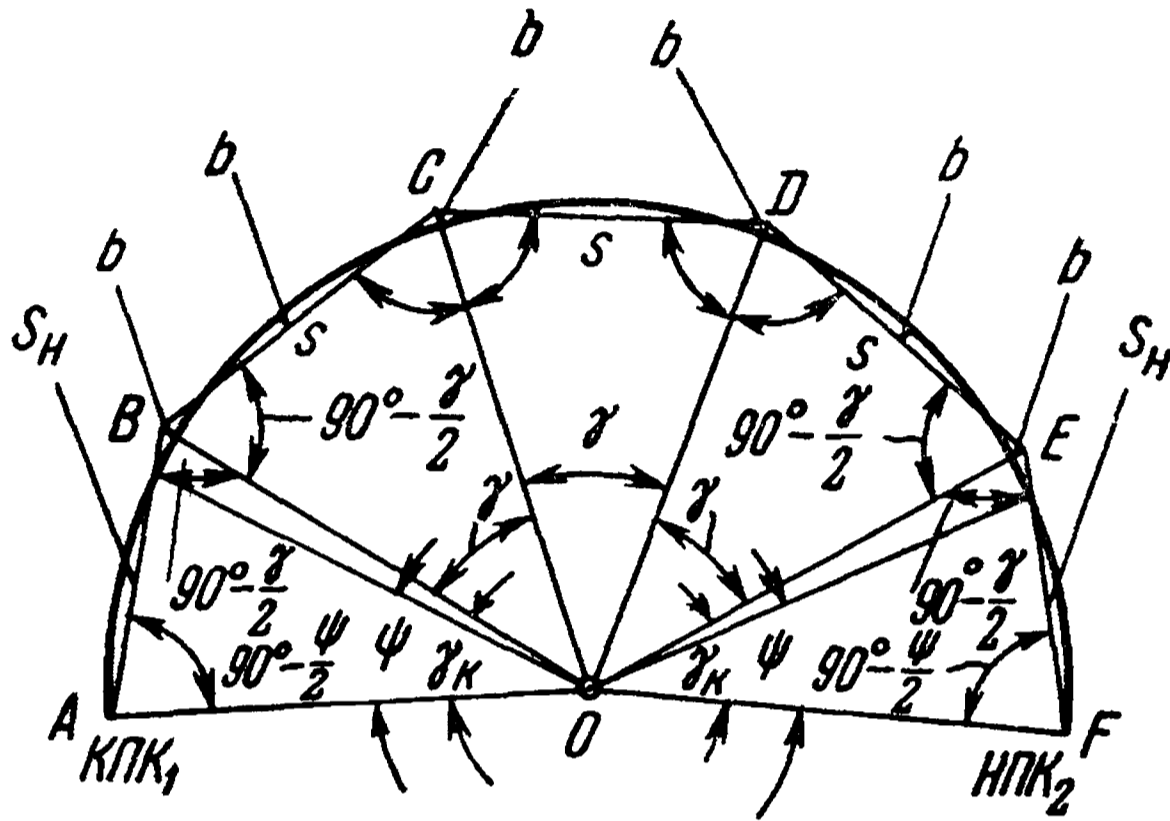


Рис. 73. Разбивка круговой кривой по секущим

2. Затем вычисляют

$$n' = \frac{K}{s'} - 2 \times 0,85 = \frac{200,124}{14,0} - 1,70 = 12,6,$$

откуда принимают $n = 13$. Кроме этого, две секущие (крайние) будут неполными. Здесь K — по оси тоннеля.

3. Далее определяют точную длину дуги k , соответствующую принятому числу секущих

$$k_s = \frac{K}{n + 1,7}$$

или

$$k_s = \frac{200,124}{13 + 1,7} = 13,614 \text{ м.}$$

4. Вычисляют полную длину секущей

$$s = k_s + \frac{s'^3}{48R^2}$$

или в нашем случае

$$s = 13,614 + \frac{14^3}{48 \times 600^2} = 13,614 + 0,00016 = 13,614.$$

Тогда $s_{\text{неп}} = 0,85 s$ или $s_{\text{н}} = 0,85 \cdot 13,614 = 11,572$. Следует запомнить, что $s > k$.

5. После этого, учитывая рис. 64 вычисляют центральный угол γ , соответствующий полученному значению s , т. е.

$$\gamma = \frac{\theta}{n+1,7} \text{ или } \gamma = \frac{19^\circ 07' 12''.6}{14,7} = \frac{68\,832''.6}{14,7} = 4682'',5 = 1^\circ 18' 02'',5.$$

Тогда

$$\gamma_{\text{н}} = 4682'',5 \cdot 0,85 = 3980'',1 = 1^\circ 06' 20'',1.$$

6. Наконец, вычисляют угол $\psi = 4682'',5 \cdot 0,7 = 3277'',8 = 0^\circ 54' 37'',8$ (рис. 73).

Координаты вершин секущих вычисляют от исходных координат центра кривой (рис. 60) через KPK_1 , принимая при этом за исходный $\alpha_{\text{ц.кр}} - KPK_1 = 95^\circ 32' 51'',6$ (§ 65); далее ход идет по вершинам B, C и т. д. до HPK_2 , а затем завершается в центре кривой.

Все данные (угловые и линейные) вписывают в координатную ведомость. Затем вычисляют приращения, сумма которых должна быть равна нулю или отличаться от него в пределах 2—3 мм, как следствие округлений при выборке из таблиц и при умножении.

После увязки приращений вычисляют координаты вершин, которыми и пользуются при разбивке секущих в натуре.

В некоторых случаях на круговых кривых пользуются не секущими, а хордами, длины которых подсчитывают по формуле

$$X = 2,8 \sqrt{R \cdot b_{\text{max}}}.$$

В некоторых случаях предпочитают пользоваться удлиненными хордами. Этим приемом достигается уменьшение объемов вычислительных и разбивочных работ в натуре. Однако в таком случае приходится вводить на каждом метре удлиненной хорды поправки за счет уклонения кривой оси от хорды, т. е. вводить величину стрелы изгиба.

Рассмотрим конкретный пример разбивки круговой кривой по удлиненным хордам применительно к кривой у вершины 3 лев. (рис. 60).

1. Определяем величину K по разности пикетов KPK_1 и HPK_2

$$\begin{array}{r} \text{ПК } 28 + 71,439 \\ \text{ПК } 30 + 56,828 \\ \hline 185,389 \\ \text{непр. ПК} + 14,837 \\ \hline K = 200,226 \text{ при } R = 600 \end{array}$$

2. Вводим поправку в K для оси тоннеля по формуле

$$\Delta K = \frac{z+q}{R} \cdot K = \frac{0,174+0,133}{600} \cdot 200,2 = 0,102 \text{ м,}$$

$$K_{\text{ось тон.}} = 200,226 - 0,102 = 200,124 \text{ по } R = 599,693.$$

3. Решаем, на какое число хорд следует разбивать кривую. Пусть $n = 5$, тогда каждой хорде будет соответствовать дуга

$$k_x = \frac{200,124}{5} = 40,023 \text{ м.}$$

4. Хорда короче дуги на величину

$$k_x - l_x = \frac{l^3}{24R^2},$$

а для данного примера

$$k_x - l_x = \frac{40^3}{24 \cdot 600^2} = 0,007 \text{ м.}$$

5. Подсчитываем длину хорды $40,023 - 0,007 = 40,017 \text{ м.}$

6. Вычисляем центральный угол, соответствующий одной хорде

$$\gamma_x = \frac{\theta}{5} = 3^\circ 49' 26''.$$

7. По окончании вычислений составляют геометрическую схему разбивки, а по ней — ведомость вычисления координат вершин всех хорд от KPK_1 до HPK_2 , начиная с центра кривой и заканчивая им же.

Для введения поправок за стрелу изгиба, т. е. за отклонение хорд от кривой оси, предварительно рассчитывают величины стрел через каждые 1—2 м хорды. Как образец предварительно рассчитанных отклонений для хорды длиной $l = 40,017$ и для радиуса $R - z - q = 600,0 - 0,174 - 0,133 = 599,693 \text{ м}$ приводится табл. 16.

Таблица 16

От начала хорды l	От середины хорды l_i	$b_i = \frac{l^2}{8R} - \frac{l_i^2}{2R}$	От начала хорды l	От середины хорды l_i	$b_i = \frac{l^2}{8R} - \frac{l_i^2}{2R}$
м	м	мм	м	м	мм
0	20	0	22	2	330
2	18	63	24	4	320
4	16	119	26	6	303
6	14	169	28	8	279
8	12	213	30	10	249
10	10	249	32	12	213
12	8	279	34	14	169
14	6	303	36	16	119
16	4	320	38	18	63
18	2	330	40	20	0
20	0	333			

Проектная организация выпускает для каждой кривой, имеющейся на трассе, ведомости координат вершин секущих, которые

кладутся в основу маркшейдерских разбивок. В схемах трассы помещают таблицы для величин z и q , рассчитанные через каждый метр кривых.

Контрольные вопросы:

1. Какие данные вносят на проектные геометрические схемы трассы по прямым и кривым участкам?
 2. Как рассчитывают данные для переходных кривых разных параметров?
 3. Чем вызвана необходимость назначения на кривых неправильных пикетов?
 4. Какие три оси необходимо разбивать на кривых?
 5. Как сопрягают тоннели, имеющие разные уклоны?
 6. Какие виды полигонометрии применяют при строительстве тоннелей?
 7. Три способа разбивки проектной оси в тоннелях?
 8. Как заменяют ось на кривых системой хорд и секущих?
-

ГЛАВА 7

РАЗБИВКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ШАХТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 71. Съёмка, составление плана и планировка шахтной площадки

Работы, связанные со строительством тоннелей, начинают с отвода шахтных площадок и постройки на них подсобных и основных сооружений. До начала строительных работ на площадке выполняют геодезические работы, в результате которых получают планы, дающие возможность правильно разместить на них сооружения.

Планы площадок составляют в масштабе 1 : 500, позволяющем обеспечить с достаточной точностью получение данных для перенесения в натуру запроектированных инженерных сооружений. В случае необходимости решения специальных задач как на всей территории площадки, так и на отдельных ее частях план составляют в масштабе 1 : 200.

На шахтной площадке к основным поверхностным сооружениям относятся: машинное здание с подъемной машиной, копер над стволом шахты, эстакады, примыкающие к копру и служащие для приемки из шахты породы в бункера и для подачи в шахту тюбингов, блоков и других строительных материалов. Разбивка перечисленных сооружений производится от осей ствола, заданных и определенных по данным основной или подходной полигонометрии.

К подсобным сооружениям относятся: компрессорные здания, механические мастерские, душевые комбинаты, трансформаторные, конторские и другие помещения. Разбивку этих сооружений производят с меньшей точностью, допуская для этой цели применение данных, полученных графическим путем на плане масштаба 1 : 500 или 1 : 200. Границы отвода шахтной площадки наносят на план. Перенос в натуру этих границ в условиях застроенной территории производят от существующих зданий или от других объектов на местности при помощи рулетки согласно размерам, полученным графически на плане. Если же граница отвода площадки привязана к красным линиям, предварительно выносят эти линии в натуру.

Перенесение в натуру проекта вертикальной планировки площадки начинают с разбивки основных магистральных линий,

которыми могут служить оси водостоков, проездов, водоразделов. В плановом отношении точки поворота указанных линий в натуре получают промерами рулеткой от углов зданий или от характерных точек ситуации, пользуясь расстояниями, определяемыми графически на плане. По оси, соответствующей магистральной линии, разбивают проектный профиль с закреплением в натуре всех точек его деревянными колышками. Колышки забивают с таким расчетом, чтобы верхний срез их был на проектной отметке профиля. Установив по высоте все точки излома профиля, закрепляют через 10—20 м промежуточные колья, для чего можно использовать визирки. При разбивке точек по высоте используют нивелир и рейки.

Если магистральных линий окажется недостаточно для перенесения вертикальной планировки в натуру, то выбирают дополнительные направления, по которым описанным способом устанавливают и закрепляют высотные колья.

На незастроенных территориях и площадках перенос вертикальной планировки в натуру осуществляют путем разбивки сетки квадратов со сторонами 10 или 20 м, забивая в каждой из его вершин колья на уровне проектной отметки (§ 49).

§ 72. Способы разбивки зданий

Перенесение проекта поверхностных сооружений в натуру осуществляют преимущественно методами линейных засечек, перпендикуляров и створов, получая необходимые данные с проектного чертежа. При этом каждый угол сооружения определяют в натуре тремя промерами рулеткой от углов зданий или от точек существующей ситуации. Ответственные, сложные и геометрически связанные с трассой поверхностные инженерные сооружения разбивают в натуре от точек геодезической основы инструментально. Наиболее распространенными способами инструментальных разбивок являются:

п о л я р н ы й и с п о с о б у г л о в ы х з а с е ч е к. Способ угловых засечек применяют там, где невозможно измерить непосредственно полярные расстояния.

После разбивки в натуре и закрепления точек сооружений проверяют основные размеры их по фасаду и диагоналям.

При перенесении в натуру крупных зданий и их фундаментов, связанных с большим объемом земляных работ, разбивают продольную и поперечную оси, от которых теодолитом и стальной рулеткой определяют все необходимые точки контура по размерам проектного чертежа. Точки контура здания закрепляют на деревянном ограждении, называемом о б н о с к о й. Для высотных разбивок выносят линии горизонтов, отметки которых равны целым числам. Эти линии закрепляют также на обносках и окрашивают масляной краской. Отметки горизонтов подписывают.

Погрешности в разбивке контура здания не должны превышать ± 3 см, а по высоте ± 1 см.

Перенесение в натуру проектов водостоков, канализации, водопровода и др. выполняют по материалам графических привязок их

колодцев. Трубы в колодцах укладывают в профиле при помощи нивелира и реек, пользуясь отметками и уклонами проектных чертежей, а между колодцами — по визиркам или по натянутым струнам. После укладки труб подземных коммуникаций производят съемку их в плане и по высоте и составляют исполнительный чертеж подземных коммуникаций на шахтной площадке.

§ 73. Разбивка на поверхности центра ствола

При строительстве метрополитенов стволы шахт располагают, как правило, в стороне от тоннелей на расстоянии 30 м и более.

Разбивку центра ствола производят линейными засечками от углов существующих зданий или от других точек ситуации. Далее, полученный центр включают в прокладываемый между пунктами

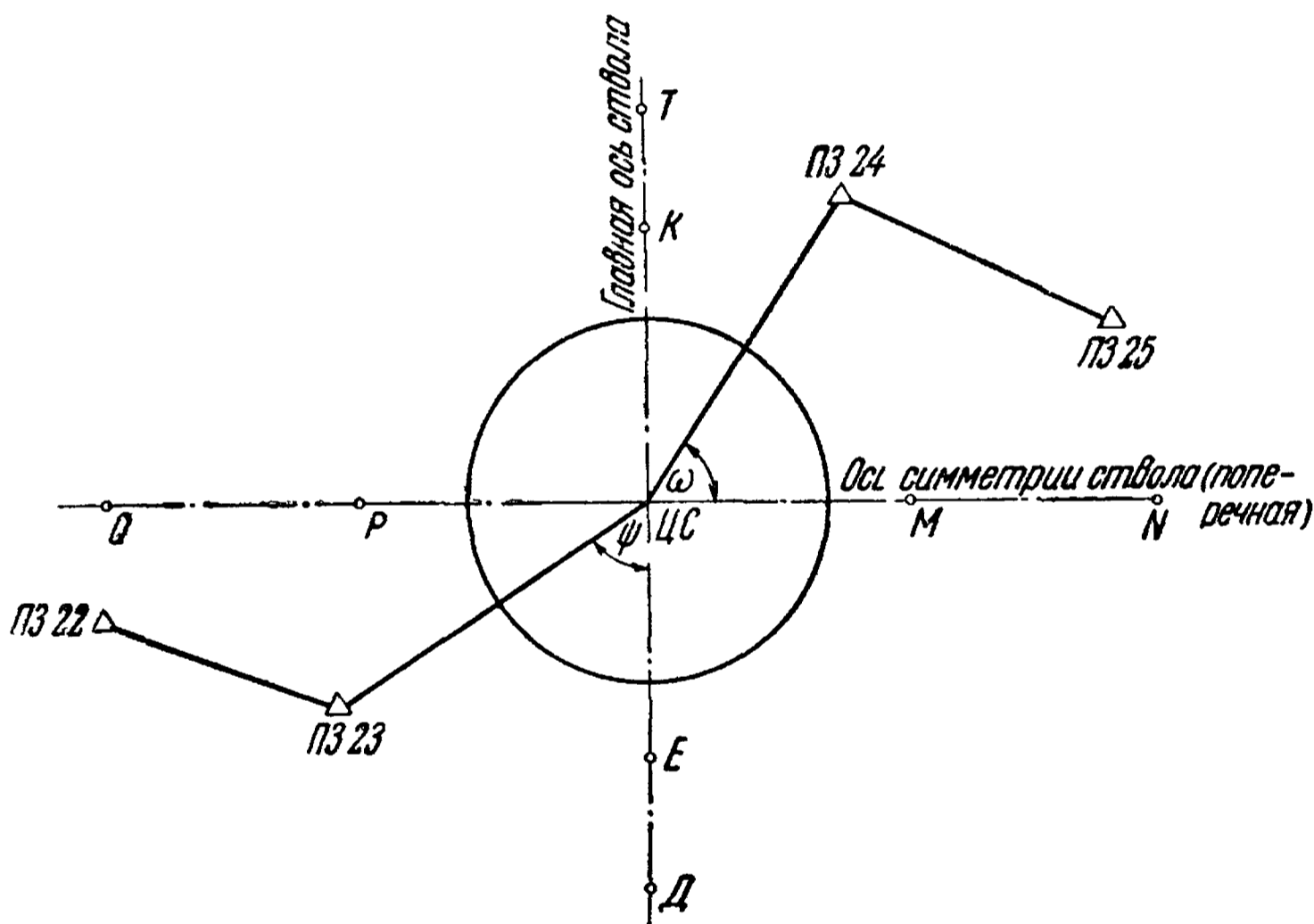


Рис. 74. Разбивка осей ствола от знаков полигонометрии

подходной полигонометрии теодолитный ход и определяют его координаты (рис. 74). 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.

§ 74. Разбивка осей ствола от знаков полигонометрии

При разбивке рассматривают две основные оси ствола (см. рис. 74): 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 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, Д, К, Т, Q, P, M* и *N*. Эти расстояния предварительно подбирают на плане шахтной площадки с расчетом удобства их закрепления и дальнейшего пользования. Произведенную разбивку необходимо проконтролировать.

После закрепления точек осей ствола бетонными тумбами размером $40 \times 40 \times 100$ см производят 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.

§ 75. 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 смещены относительно центра ствола в двух плоскостях (рис. 75), а именно:

- а) на величину m от главной 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 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 отделки 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

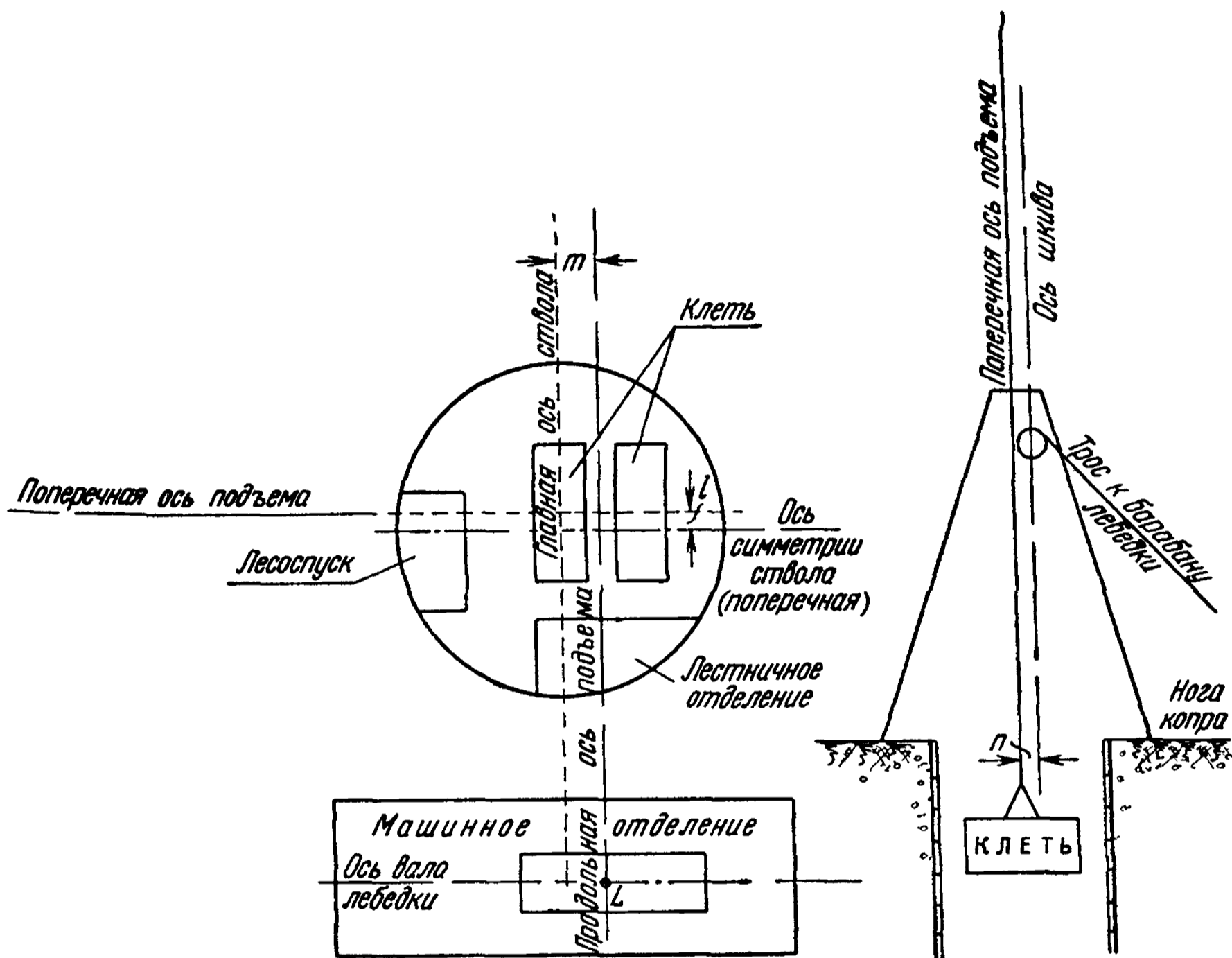


Рис. 75. Расположение осей ствола и подъема

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 подшивную площадку и закрепляют их насечками на металлических балках. Шкивы монтируют так, чтобы центр подъема каждой клетки

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.

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют способы разбивки в натуре центра ствола и в чем они заключаются?
 2. Какие оси разбиваются при монтаже копра?
 3. Способы разбивки зданий на шахтной площадке?
-

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ, АВТОМОБИЛЬНЫХ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТОННЕЛЕЙ

§ 76. Геодезические работы при изыскании и проектировании тоннелей

Тоннели транспортного назначения (железнодорожные и автомобильные), а также гидротехнические получают все большее распространение. Прокладывают новые крупные железнодорожные (Сибирь, Дальний Восток) и автомобильные (Киргизия, Узбекистан) магистрали, сооружают крупные гидростанции на Енисее и других восточных реках, решают вопросы обводнения целых районов на Украине, Северном Кавказе, в наших юго-восточных республиках. Составляют проекты переброски части стока северных рек в южные реки и моря. Намечено осуществить орошение миллионов гектаров сельскохозяйственных земель. В связи с решением этих задач возрастает и количество работ по прокладке горных и подводных тоннелей.

Сооружение тоннелей входит составной частью в общедорожные проекты или в комплексы гидротехнических сооружений. Поэтому место расположения тоннелей намечают при изысканиях и трассировании дорог или в процессе составления комплексных гидротехнических проектов. Составление проектов прокладки дорожных трасс или размещения сооружений на стадии проектного задания выполняют на топографических картах масштаба от 1 : 25 000 до 1 : 10 000. Однако, как известно, выбор мест расположения тоннелей зависит не только от топографии местности, но и от результатов геологических и гидрогеологических разведочных работ в районе намечаемой трассы, а также связан с размещением подъездных путей, стройплощадок, карьеров, свалок грунта и пр. Для составления проектного задания на сооружение тоннелей необходимо иметь на полосу поверхности шириной 400—1000 м вдоль предполагаемой трассы топографические планы в масштабе 1 : 5000, а в местах намечаемых порталов — 1 : 2000.

После составления и утверждения проектного задания проектировщики приступают к техническому проектированию, а также к разработке и выпуску чертежей рабочего проекта. В этой стадии проектирования необходимо иметь планы местности в масштабе 1 : 2000 на полосу в 200—400 м вдоль утвержденной трассы тоннелей, а в местах сооружения порталов — топографические планы в масштабе от 1 : 1000 до 1 : 500 с сечением рельефа через 1,0, 0,5 и 0,25 м.

Для перенесения в натуру проектов тоннельных сооружений создают сети плановой и высотной геодезической основы и в том числе тоннельную триангуляцию, основную полигонометрию и нивелирную сеть III разряда (см. главу 2).

§ 77. Вычисление элементов трассы и способы вынесения их в натуру

При проектировании тоннелей учитывают в плане и профиле подходы наземных участков магистралей к тоннелям через порталные участки. Расположение их зависит от ситуации и рельефа, но в большей мере определяется геологическими и гидрогеологическими условиями. В этих условиях решающим для проекта является устойчивость пород, надежность кровли и горное давление. По совокупности перечисленных условий тоннели окончательно размещают в плане и профиле.

Расчет геометрических элементов трассы тоннелей: дирекционных углов прямых, координат вершин и целых пикетов, элементов кривых участков — приводится на геометрической схеме. Об этом и о порядке проверки таких данных подробно сказано в главе 6.

Вынесение в натуру проекта сооружения на дневную поверхность усложняется тем, что иногда знаки основной полигонометрии располагают на значительном удалении от оси трассы, за исключением припортальных участков. В таких случаях по основным проектным точкам трассы прокладывают теодолитный ход, начало и конец которого привязывают к опорной сети. Ход начинают от порталов построением первого проектного створа оси. По этому створу отмеряют расстояние до первой вершины, откладывают проектный угол трассы и провешивают вторую линию и т. д. Чтобы избежать накопления ошибок, разбивку трассы на поверхности ведут от обоих порталов к середине.

§ 78. Размеры и формы поперечных сечений тоннелей

Железнодорожные тоннели отличаются от тоннелей других назначений своей вытянутостью по вертикали. Гидротехнические тоннели обычно имеют круглое сечение. Автодорожные тоннели проектируют разных размеров в зависимости от намечаемой пропускной способности их.

Размеры и форма постоянной обделки тоннеля зависят от его назначения, а также от геологических и гидрогеологических усло-

вий среды, в которой сооружается тоннель. На рис. 76 приведено сечение двухпутного железнодорожного тоннеля, сооружаемого в условиях значительного вертикального и бокового давления.

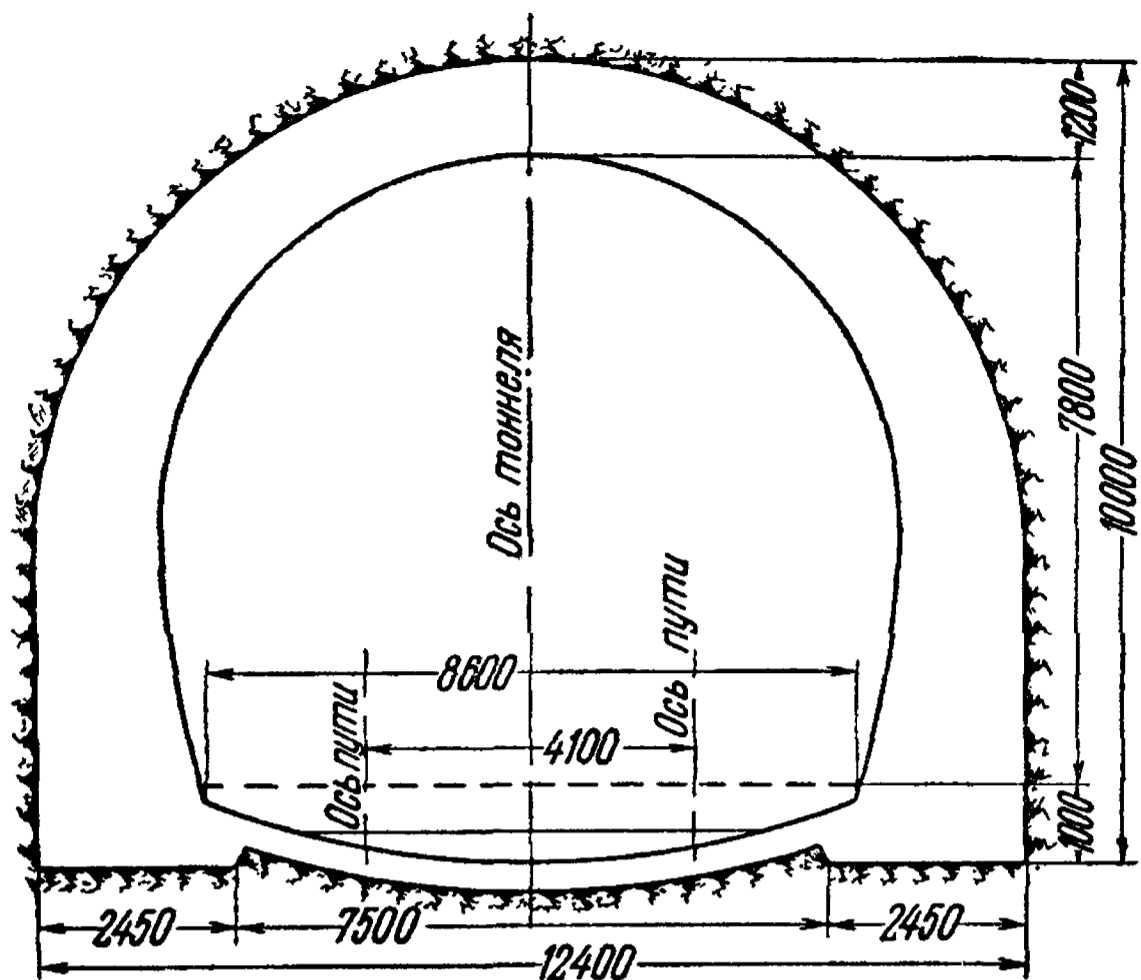


Рис. 76. Поперечное сечение двухпутного железнодорожного тоннеля

На рис. 77 показаны сечения и формы обделки тоннелей: сооруженного со сборной железобетонной обделкой горнопроходческим щитом в глинах, создающих большое горное давление (а), и соору-

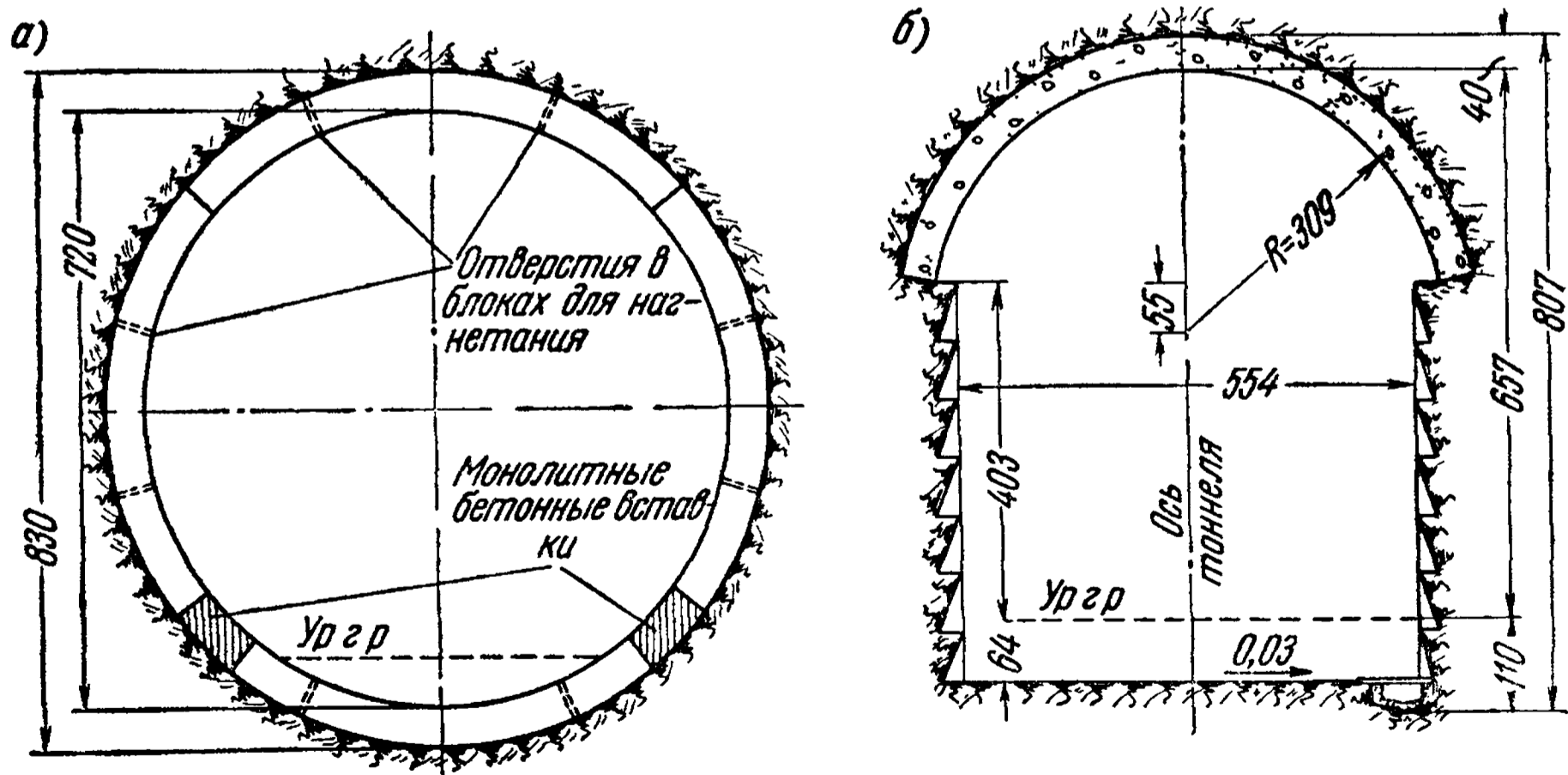


Рис. 77. Сборная железобетонная и облегченная обделки железнодорожных тоннелей

женного в очень крепких грунтах, при которых появляется возможность сооружать постоянную обделку тоннеля только в сводовой части (б).

§ 79. Маркшейдерские разбивки при различных способах проходки тоннелей

В соответствии с принятым способом проходки тоннеля применяют те или иные методы маркшейдерских разбивок. В главах 11—15 приведены способы разбивок при сооружении тоннелей с монолитной обделкой, со сборной обделкой, при щитовой проходке и при сооружении станций метро.

При сооружении гидротехнических тоннелей круглого сечения также применяют способы маркшейдерских разбивок, изложенные в перечисленных выше главах учебника.

Характерной особенностью железнодорожных и автомобильных тоннелей является значительность площадей их поперечных сечений, которые в однопутных тоннелях составляют до 50 м^2 , в двухпутных — до 90 м^2 . В некоторых тоннелях для автострад эти сечения могут быть еще большими.

Практика маркшейдерских работ при сооружении тоннелей большого профиля (станционные тоннели сечением 75 м^2) выявила, что пользоваться в этих случаях осевыми маркшейдерскими знаками, закладываемыми в своде, неудобно. Этот прием оправдал себя только при щитовой проходке, однако ухудшение условий техники безопасности при работе на полках вынудили перенести разбивки в нижний горизонт, где расположены и знаки подземной полигонометрии. В этом случае пользуются методом с м е щ е н н ы х о с е й. Когда же смещенная ось не обеспечивает удобства разбивок, переходят к пользованию п р о д о л ь н о й о с ь ю, закрепляемой в уровне центра тоннеля на поперечных прогонах, а также применяют (при сборной обделке) вынесение ц е н т р а т о н н е л я н а л о б з а б о я и переход от промеров по радиусам к промерам п о о б р а з у ю щ и м колец тоннеля (§ 130).

При тоннельных работах необходимо организовать систематические наблюдения за деформацией обделки тоннелей, а также за сохранностью знаков геодезической основы и знаков, закрепляющих маркшейдерские разбивки в натуре. Глинистые породы в штольневых выработках обладают свойством выпучивания, что приводит к смещению знаков, заложенных в подошве выработки (штольни). При отсутствии в подошве прочных устойчивых грунтов следует перейти к закреплению знаков в кровле выработок, если она располагается в более надежных (устойчивых) грунтах.

Контрольные вопросы:

1. Какие основные работы выполняют для нужд проектирования и строительства тоннелей разного назначения?
 2. Как выполняют непосредственную связь геодезических знаков противоположных припортальных участков?
 3. Зависимость формы тоннелей и их обделки от гидротехнических условий?
 4. Специфика маркшейдерских разбивок в тоннелях большого сечения?
-

МАРКШЕЙДЕРИЯ

ГЛАВА 9

ОРИЕНТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ОСНОВЫ

§ 80. 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, море и в воздухе.

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

* Слово ориентирование происходит от немецкого слова «Orient», означающего «восток».

(гирскопические теодолиты, буссоли, магнитные деклинометры и др.).

Физические способы ориентирования в настоящее время в тоннелестроении не применяются главным образом из-за недостаточной их точности. В недалеком будущем, несомненно, физические способы ориентирования будут усовершенствованы и, как более простые и экономные, заменят геометрические. В дальнейшем изложении речь будет идти в основном о ныне применяемых геометрических способах ориентирования через вертикальные шахты.

§ 81. 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 ориенти-

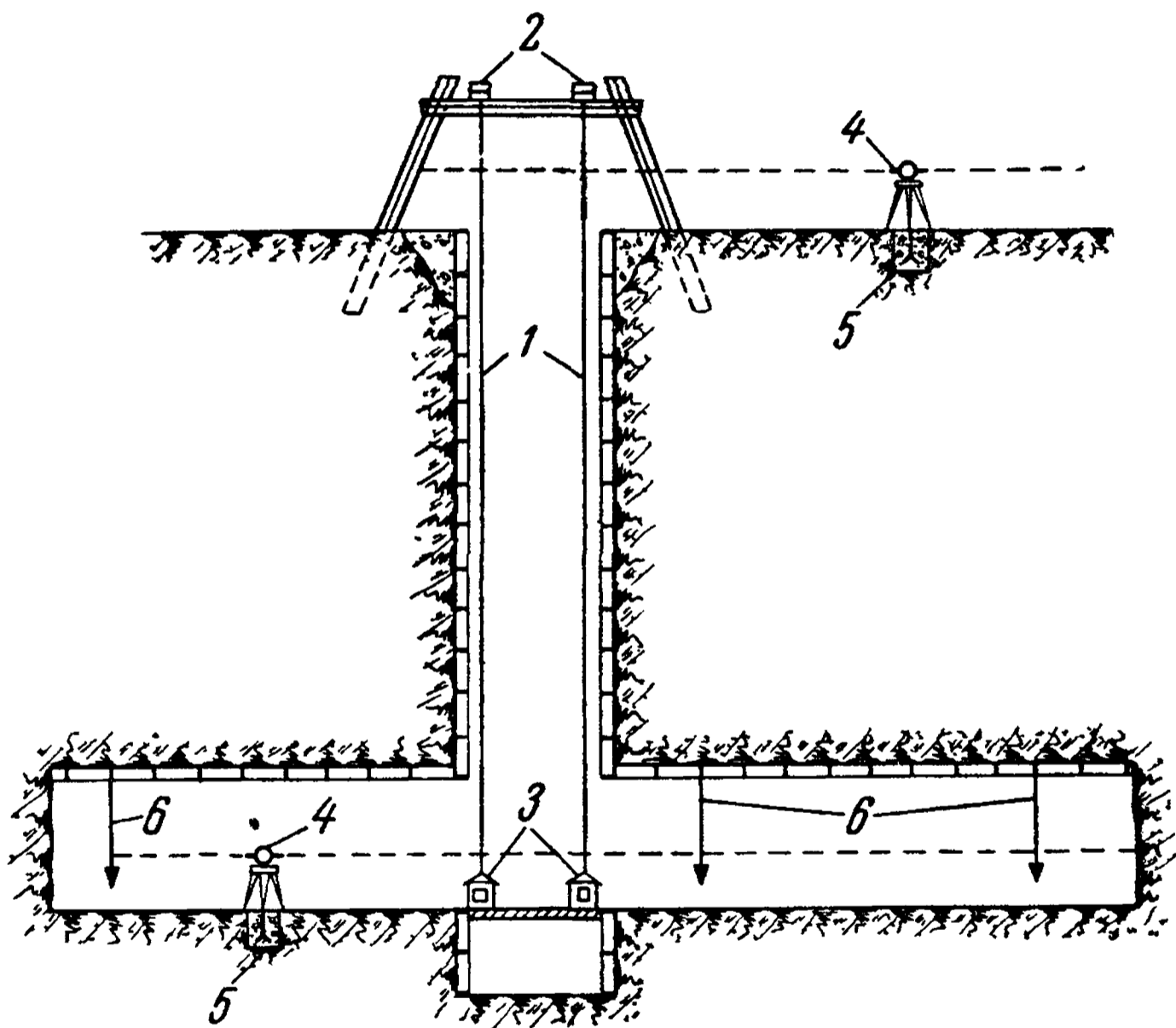


Рис. 78. Ориентирование створом двух отвесов

1 — отвесы, 2 — лебедки, 3 — баки с маслом, 4 — теодолиты, 5 — полигонометрические знаки, 6 — створные отвесы

руемый горизонт осуществляется через стволы шахт, скважины большего диаметра, фурнели и другие вертикальные выработки. Проектирование разделяется на многогрузовое и одногрузовое.

Многогрузовое проектирование применяют при ориентировании горных выработок через глубокие шахты. При этом проектировании положение закрепленных отвесов на поверхности не изменяется, а меняется лишь вес грузов. По шкалам наблюдают положение

отвеса в шахте при минимальном, среднем и максимальном грузах на отвесах. Имея три положения отвеса при различных его нагрузках, фиксируют на шкалах отсчеты, соответствующие вертикальному положению отвесов; применяя существующую теорию и практику

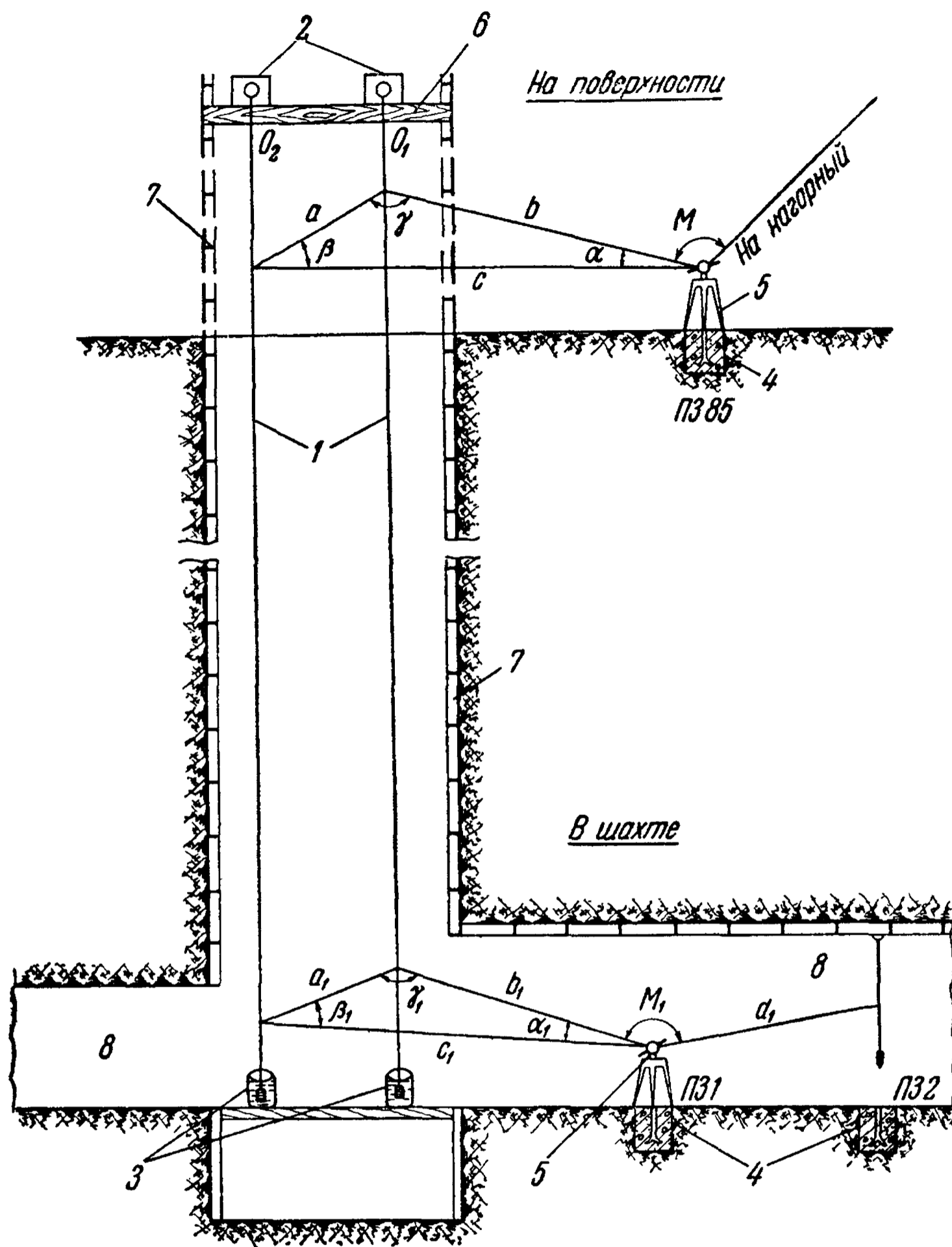


Рис. 79. Ориентирование шахты способом соединительных треугольников

1 — отвесы с грузами, 2 — лебедки и центрировочные пластинки, 3 — баки с маслом, 4 — полигонометрические знаки, 5 — теодолиты, 6 — настил на брусках для крепления пластинок и лебедок, 7 — ствол шахты и копер из тубингов, 8 — околоствольный двор

многогрузового проектирования, находят положения каждого отвеса, которые и используют для передачи дирекционного угла.

При строительстве тоннелей применяют одногрузовое проектирование, при котором вес груза в процессе всего ориентирования не меняется. Вес 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 бóльшим.

При способе створа двух отвесов (рис. 78) последние выставляют на поверхности теодолитом по заранее заданному направлению с известным дирекционным углом, с погрешностью, не превышающей $\pm 30''$. 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. 79) 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. 18, 19). Отвесы и инструменты располагают таким образом, чтобы форма соединительных треугольников отвечала следующим требованиям:

а) измеряемые углы между отвесами (α и α_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 b/a и 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).

§ 82. 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 намотанную 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-четырекратную 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. Конструкция шахтного отвеса, применяемого при ориентировании, состоит из штанги с основанием, на которое надевают специальные чугунные шайбы весом 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.

Как было сказано выше, вес груза и диаметр проволоки, служащей для подвески грузов, устанавливают в зависимости от глубины шахты.

Ниже приведена табл. 17, где даны эти величины при различных условиях проектирования отвесов (таблица составлена для стальной углеродистой пружинной проволоки, изготовляемой согласно ГОСТ 5047—49).

Т а б л и ц а 17

Глубина ствола, м	Вес груза отвеса, кг	Диаметр проволоки, мм	Предельная прочность проволоки при растяжении, кг	Примерное удлинение проволоки при подвешивании груза, м
20	15	0,3	25	0,1
40	25	0,5	43	0,2
60	40	0,6	60	0,5
80	50	0,6	60	0,6
100	60	0,7	80	0,7
120	70	0,8	100	0,8
140	70	0,8	100	0,8
160	80	0,9	126	0,9
180	90	1,0	153	1,0
200	100	1,2	225	1,2

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, 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.

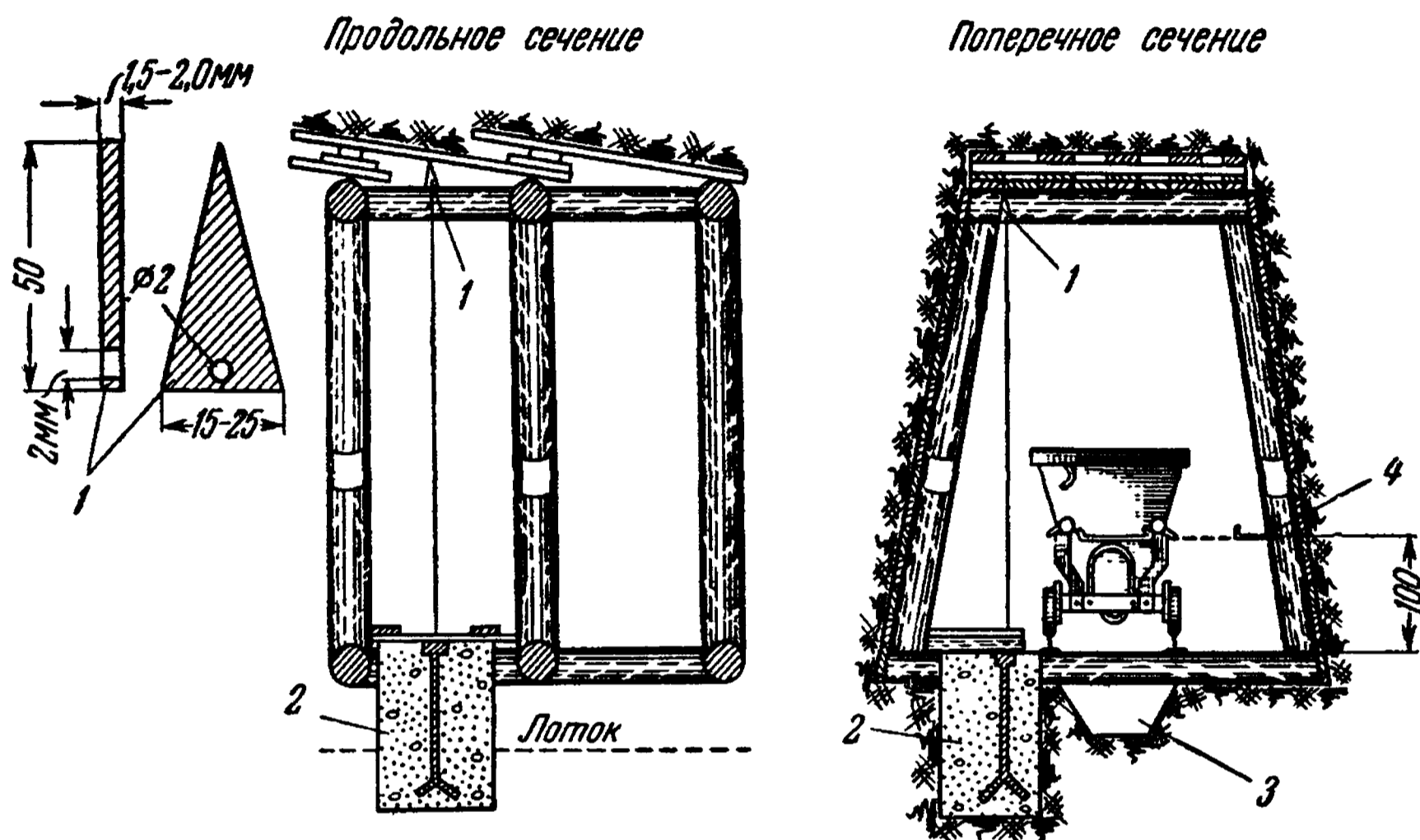


Рис. 80. Закрепление знака подземной полигонометрии в штольне
 1 — маркшейдерский гвоздь, 2 — бетонный полигонометрический знак,
 3 — дренажная канавка (лоток), 4 — высотный костыль

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 тубингов тоннельной обделки. Если околоствольные выработки не имеют тоннельных обделок, то знаки закрепляют в грунте подошвы штольни или околоствольного двора (рис. 80). 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.

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.).

§ 83. 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 каждом 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 действия капежа путем устройства конусообразных колпаков 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 ее на всем протяжении, а также пропуском «почты», изготовляемой в виде небольших колец из проволоки.

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 способе примыкания к ним рекомендуется обращать особое внимание на точность центрировки инструментов как на

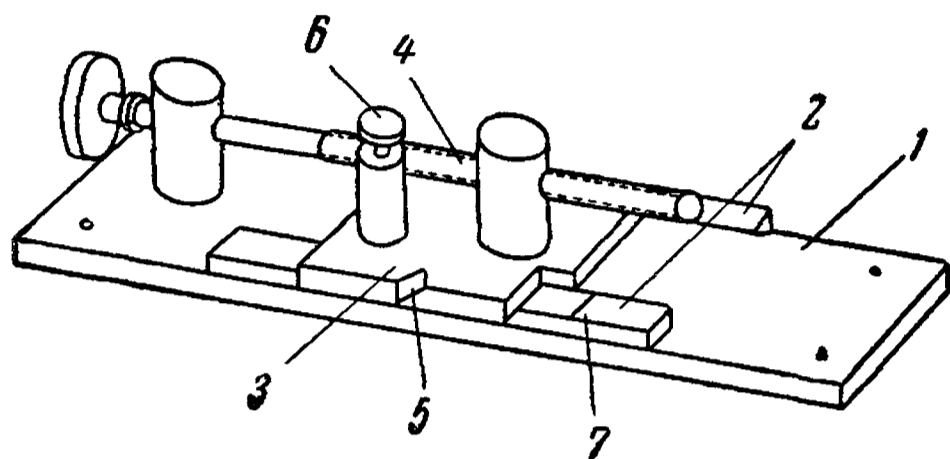


Рис. 81. Пластинка для механического смещения отвесов

1 — основание, 2 — салазки, 3 — ползунок, 4 — винт, 5 — прорезь, 6 — стопор, 7 — штрих

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 ошибка в положении оптического центрира исключается, а случайная ошибка центрирования уменьшается в $\sqrt{3}$.

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. 81), 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

$$\varepsilon'' = \frac{a}{s} \varrho'',$$

где a — смещение отвеса на пластинке; s — расстояние от теодолита до отвеса; $\varrho'' = 206265''$.

Расхождения между измеренными и вычисленными углами ε не должны превышать:

а) для наблюдений на поверхности $12''$ при расстояниях s 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 (см. главу 10).

Перед вычислением ориентировки проверяют все полевые журналы, после чего решают соединительные треугольники, вычисляют дирекционные углы и координаты. Вычисления производятся двумя работниками.

Углы в соединительных треугольниках вычисляются по формулам синусов:

$$\sin \beta = \frac{b \cdot \sin \alpha}{a},$$

$$\sin \gamma = \frac{c \cdot \sin \alpha}{a}.$$

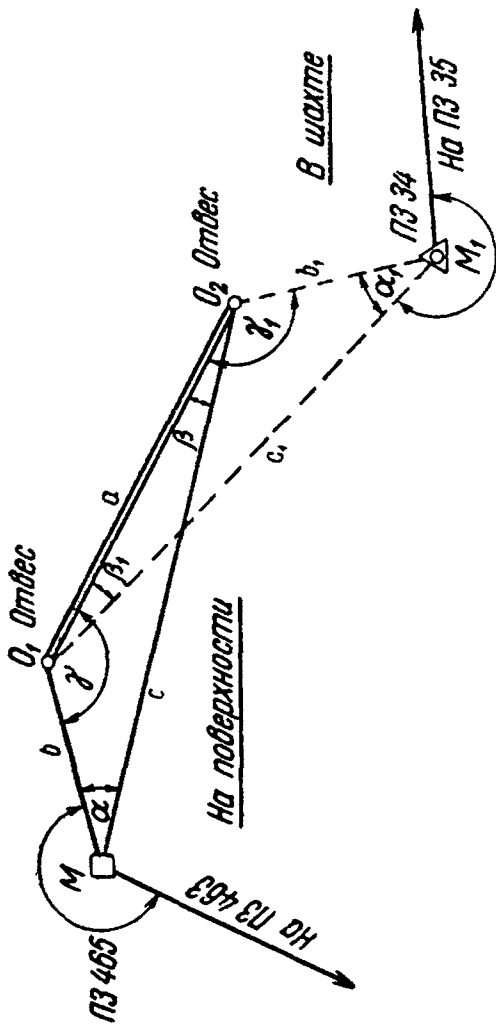
Пример вычисления ориентирования шахты, произведенного способом соединительных треугольников с помощью металлических пластинок (при трех положениях), приведен в табл. 18 и 19.

Точность ориентирования подземного стана полигонометрии по способу соединительных треугольников определяется его средней квадратической ошибкой, вычисляемой по формуле

$$m_0^2 = m_\alpha^2 + m_{0\beta}^2 + m_{0s}^2 + m_{0п}^2,$$

где m_α — ошибка дирекционного угла исходной стороны; $m_{0\beta}$ — ошибка, обусловленная погрешностями измеренных направлений в фигурах примыкания к отвесам и исходным сторонам; m_{0s} —

Ориентировка шахты



$$\sin \beta = \frac{b \cdot \sin \alpha}{a};$$

$$\sin \gamma = \frac{c \cdot \sin \alpha}{a};$$

Обозначение действий	I положение	II положение	III положение	Обозначение действий	I положение	II положение	III положение
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_1	183° 29' 58"	183° 37' 02"	183° 23' 00"

Измеренные данные

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	$\sin \alpha$	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	0,000088	$\sin \beta_1$	0,004471	0,006465	0,002360
$b : a$	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	$c_1 : a_1$	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"	$\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1$	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"
$M - 180^\circ$	23° 14' 54"	22° 55' 44"	23° 34' 43"	$\beta_1 - 180$	—179° 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"
$180^\circ - \gamma_1$	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"

Передача координат с поверхности в шахту

№ точек	Дирекционные углы	sin α cos α	Длина линий	Приращения координат		Координаты	
				Δy	Δx	y	x
I положение							
465						3596,384	8167,291
O1	14° 08' 43"	$\frac{0,244381}{0,969679}$	2,658	+0,650	+2,577		
O2	14° 29' 07"	$\frac{0,250131}{0,968211}$	4,701	+1,176	+4,552		
34	15° 11' 50"	$\frac{0,262142}{0,965029}$	2,642	$\frac{+0,692}{+2,518}$	$\frac{+2,550}{+9,679}$	3598,902	8176,970
II положение							
465						3596,384	8167,291
O1	13° 49' 33"	$\frac{0,238971}{0,971026}$	2,659	+0,635	+2,582		
O2	14° 29' 21"	$\frac{0,250197}{0,968197}$	4,700	+1,176	+4,550		
34	15° 31' 05"	$\frac{0,267543}{0,963547}$	2,643	$\frac{+0,707}{+2,518}$	$\frac{+2,547}{+9,679}$	3598,902	8176,970
III положение							
465						3596,384	8167,291
O1	14° 28' 32"	$\frac{0,249967}{0,968255}$	2,658	+0,664	+2,574		
O2	14° 29' 22"	$\frac{0,250201}{0,968194}$	4,701	+1,176	+4,551		
34	14° 51' 55"	$\frac{0,256548}{0,966532}$	2,642	$\frac{+0,678}{+2,518}$	$\frac{+2,554}{+9,679}$	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.

ошибка, обусловленная погрешностями линейных измерений в фигурах примыкания; $m_{o.п}$ — ошибка проектирования направления двумя отвесами. Для ориентирования шахт при строительстве метрополитенов можно принять (на основании опыта) $m_a = \pm 5''$; $m_{o\beta} = \pm 16''$; $m_{o.п} = \pm 8''$.

В соединительных треугольниках, у которых α и α_1 не превышают 3° , при $a = 4,5$ м; $b/a = 1,5$ м и $m_b = m_a = m_c = \pm 0,8$ мм будем иметь $m_{o_s} = \pm 5''$.

Следовательно, средняя квадратическая ошибка m_o определения дирекционного угла подземного стана из ориентирования при одном положении отвесов равна

$$m_o^2 = 5''^2 + 16''^2 + 5''^2 + 8''^2,$$

или

$$m_o = \pm 19''.$$

Если произвести наблюдение одной пары отвесов при трех различных положениях их, применяя пластинки для ориентирования, то влияние каждого источника ошибок, за исключением ошибки исходного дирекционного угла m_a и систематической части ошибки проектирования $m_{o.п}$, уменьшится в $\sqrt{3}$ раза. Влияние m_a и $m_{o.п}$ на точность передачи дирекционного угла остается постоянным для всех трех положений. Для ошибки проектирования случайная часть может быть принята равной $\pm 5''$, а систематическая $\pm 6''$.

Следовательно, формула общей ошибки ориентирования из трех положений пар отвесов примет вид

$$M_o = \pm \sqrt{m_{a_{исх}}^2 + \frac{m_{o\beta}^2 + m_{o_s}^2 + m_{o_{псл}}^2}{3} + m_{o_{псист}}^2}$$

Подставляя в эту формулу цифровые значения, получим

$$M_o = \pm \sqrt{(5'')^2 + \frac{(16'')^2 + (5'')^2 + (5'')^2}{3} + (6'')^2} = \pm 13''.$$

При сооружении железнодорожных тоннелей и тоннелей метрополитенов обычно, согласно технической инструкции, выполняют три ориентировки, поэтому ошибку 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 первоначально направления 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 и может быть определено согласно данным табл. 20.

Т а б л и ц а 20

Длина односторонней проходки глухим забоем, м	Число ориентирований	
	при сбойке передовыми штольнями	при сбойке готовыми тоннелями
200	1	2
500	2	3
1000	3	4
1500	4	5
2000	5	6

§ 84. 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.

Начиная с 1950 г. в различных районах и при различных условиях было выполнено большое количество ориентировок маркшейдерским гироскопическим прибором, конструкция которого разработана Всесоюзным научно-исследовательским маркшейдерским институтом на базе гироскопа, применяемого в морском деле. Средняя погрешность ориентирования получилась равной около $\pm 1' 20''$.

Основное достоинство гироскопического способа ориентирования в том, что он не требует опускания отвесов, а следовательно, отсутствует необходимость занимать шахтный ствол. Точность ориентирования при этом способе не зависит от глубины горной выработки и от удаленности стороны ориентируемого подземного стана поли-

гонометрии от шахтного ствола. Следует заметить, что точность ориентирования гироскопом пока еще не удовлетворяет тоннелестроителей, но последние достижения в этой области дают уверенность, что в будущем гироскопические приборы найдут широкое применение в тоннелестроении.

Ориентирование с использованием оптического способа проектирования направлений производится приборами, дающими вертикальный луч визирования подобно оптическому центрированию в геодезических инструментах. Проектирование вертикальной плоскости производится с помощью оптического клина. Существенная погрешность из-за отклонений визирных лучей в стволе шахты под влиянием влажности, температуры и ряда других факторов делает этот способ недостаточно точным для целей тоннелестроения.

§ 85. Ориентирование через две шахты

Наличие двух шахт, сообщающихся 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 влияние погрешностей проектирования. Маркшейдерское оборудование для ориентирования и подготовительные работы на поверхности те же, что и при ориентировании через одну шахту. Практически ориентирование осуществляется следующим образом (рис. 82).

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

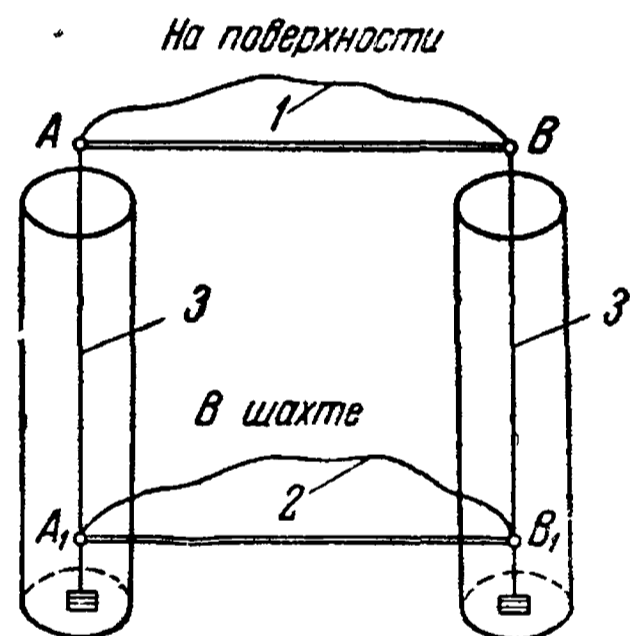


Рис. 82. Ориентирование через две вертикальные шахты

1 — полигонометрический ход, проложенный на поверхности, 2 — полигонометрический ход, проложенный в шахте, 3 — шахтные отвесы

и в шахте. Теоретически вычисленные расстояния должны быть равны между собой, так как точки одни и те же. Неравенство расстояний является следствием погрешностей наземной и подземной полигонометрии.

Затем вычисляют угол поворота $\Delta\alpha$ первого стана подземного теодолитного хода при отвесе A_1 по формуле

$$\Delta\alpha = (AB) - (A_1B_1).$$

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.

$$\begin{aligned}\sum \Delta x_{\text{подзем}} &= x_B - x_A, \\ \sum \Delta y_{\text{подзем}} &= y_B - y_A.\end{aligned}$$

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.

§ 86. 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 при помощи стальной рулетки, опущенной в ствол шахты или скважины. Рулетку подвешивают с грузом, вес которого равен весу, при котором производилось ее компарирование.

Расположение инструментов и реек при передаче отметки в шахту показано на рис. 83. Отсчеты по рулетке производят при помощи горизонтальной нити 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 ± 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 температура при измерении на поверхности и в шахте, t_1° — температура компарирования рулетки;

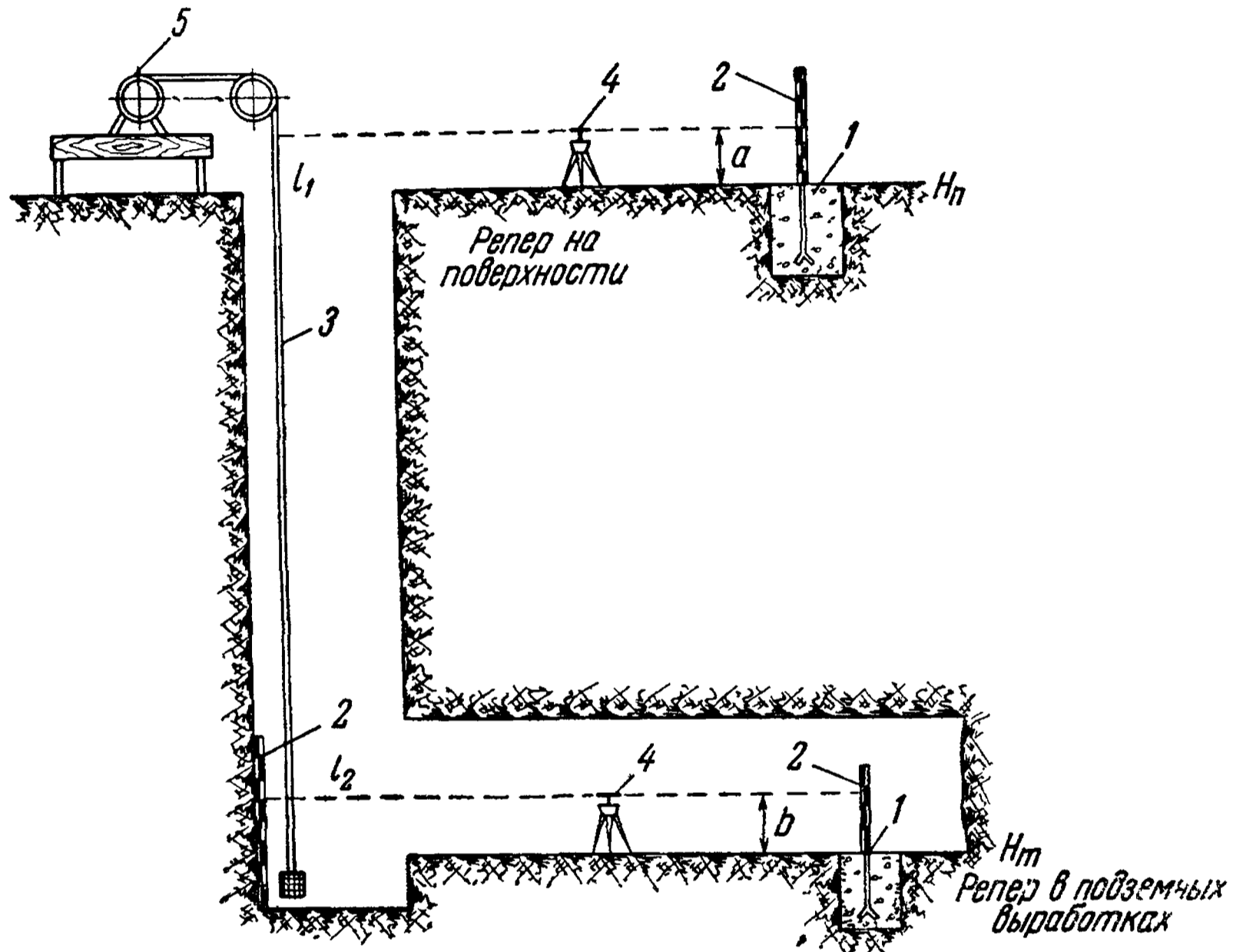


Рис. 83. Передача отметки в подземные выработки

1 — реперы, 2 — нивелирные рейки, 3 — рулетка с грузом, 4 — нивелиры, 5 — лебедка

б) поправку за компарирование рулетки;

в) поправку за удлинение мерного прибора от собственного веса (для глубоких стволов, начиная со 100 м), определяемую по формуле

$$\Delta l = \frac{Ql}{EF},$$

где Q — половина собственного веса 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 удельный вес стали $\gamma = 8 \text{ г/см}^3$, для рулетки длиной 200 м получим вес $p = 0,045 \times 20\,000 \times 8 = 7,2 \text{ кг}$. Таким образом, $Q = 3,6 \text{ кг}$, откуда при $E = 2 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$

$$\Delta l = \frac{3,6 \times 10\,000}{0,045 \times 2\,000\,000} = 4 \text{ мм.}$$

Окончательное значение отметки репера в шахте глубиной до 100 м определяют по формуле

$$H_m = H_n + a - [(l_1 - l_2) + \Delta t^\circ + \Delta k] - b,$$

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 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

$$H_m = H_n + a - [(l_1 - l_2) + \Delta t + \Delta k] - b.$$

§ 87. Передача координат и высотных отметок через шлюзовую камеру в кессон

Для проходки тоннеля под сжатым воздухом в готовом участке тоннеля строят железобетонную перемычку со шлюзовыми камерами. За шлюзовую камеру в сторону забоя нагнетают сжатый воздух, который оттесняет грунтовые воды и тем самым обеспечивает необходимые для проходки условия. Доступ людей и подачу материалов в зону сжатого воздуха осуществляют только через двери

шлюзовой камеры. Одна из каждой пары дверей камеры всегда закрыта.

Для передачи дирекционного угла и координат в зону сжатого воздуха в шлюзовой камере (рис. 84) закрепляют знак A так, чтобы с него имелась видимость на полигонометрические знаки в обеих зонах ($ПЗ 12$ и $ПЗ 13$). Измерив угол β_1 на $ПЗ 12$ и линию $ПЗ 12-A$, устанавливают инструмент в шлюзовой камере над или под знаком A и при открытой в зону нормального давления двери 1 визируют на $ПЗ 12$ и записывают отсчет по горизонтальному кругу. Затем трубу переводят через зенит, снова наводят визирную ось на $ПЗ 12$, записывают отсчет и выводят среднее значение.

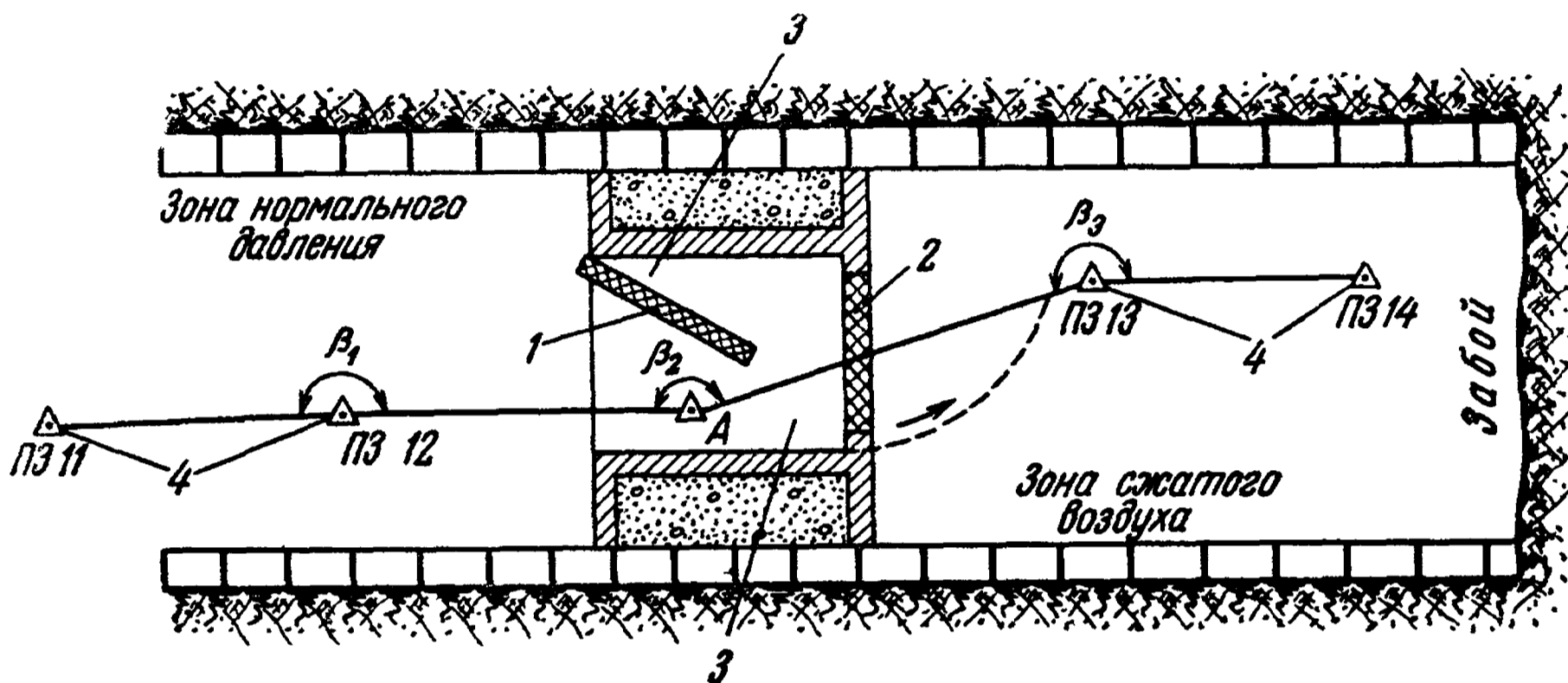


Рис. 84. Передача координат и отметок через шлюзовую камеру

1 — первая дверь шлюзовой камеры, 2 — вторая дверь шлюзовой камеры, 3 — шлюзовая камера, 4 — полигонометрические знаки

Журнал и теодолит оставляют в шлюзовой камере, закрывают дверь 1 и начинают нагнетать сжатый воздух в шлюзовую камеру. Как только давление в камере сравняется с давлением в забое, открывают вторую дверь 2 шлюзовой камеры. Маркшейдер, находящийся в кессоне, входит в камеру и наводит визирную ось теодолита на $ПЗ 13$, координаты и отметку которого требуется определить. Затем он отсчитывает по горизонтальному кругу и после перевода трубы через зенит снова наводит визирную ось теодолита на $ПЗ 13$, берет отсчет и вычисляет значение угла β_2 . Второй прием он начинает с визирования на знак в зоне сжатого воздуха. При измерении угла на точке A шлюзование приходится повторять несколько раз.

Угол β_3 при $ПЗ 13$ измеряют в период, когда вторая дверь 2 шлюзовой камеры открыта. Камеральную обработку полученного полевого материала производят обычным способом.

Для передачи высотной отметки через шлюзовую камеру нивелир сначала устанавливают в зоне нормального давления и при открытой двери передают отметку с $ПЗ 12$ на точку A в шлюзовой камере обычным нивелированием. Затем нивелир и журнал оставляют в камере, закрывают первую дверь и производят шлюзование.

После того как давление в камере сравнивается с давлением в кессоне, открывают вторую дверь. Нивелир устанавливают в зоне сжатого воздуха и путем обычного нивелирования передают отметку с точки А в шлюзовой камере на *ПЗ 13* в зоне сжатого воздуха. Работу повторяют несколько раз. Камеральная обработка полевого материала обычная.

§ 88. Техника безопасности при производстве ориентирования

При спуске отвесов соблюдают следующие меры безопасности:

а) приступая к ориентированию, маркшейдер должен объявить через технический надзор шахты о начале и конце работы и категорически запретить пребывание в стволе и в околоствольных выработках лицам, не участвующим в ориентировании;

б) для спуска отвесов нагружают проволоку небольшим грузом (2—3 кг);

в) перед спуском отвесов руководитель ориентирования обязан удалить людей из ствола шахты;

г) спуск отвесов производится со скоростью не более 1—2 м/сек с остановками перед пропуском его через каждый полбк;

д) руководитель обязан лично просмотреть всю проволоку и пропустить ее при спуске отвеса «через руку»;

е) перед опусканием отвесов необходимо заранее согласовать сигнализацию по подъему.

Контрольные вопросы:

1. Какие требования предъявляются к закладке наземных и подземных приствольных маркшейдерских знаков?
 2. Какое оборудование применяется при ориентировании подземной маркшейдерской основы?
 3. Какие существуют способы ориентирования и в чем они заключаются?
 4. Для чего применяются пластинки для ориентирования?
 5. Сущность геометрического способа ориентирования?
 6. В чем заключаются физические способы ориентирования?
 7. Как производится передача отметки в подземные выработки с дневной поверхности?
-

ГЛАВА 10

ПОДЗЕМНАЯ МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ОСНОВА

§ 89. Подземная полигонометрия и ее назначение

Для перенесения в натуру проекта подземных сооружений и для съемки последних создают подземную плановую и высотную маркшейдерскую основу. Плановую маркшейдерскую основу создают методом подземной полигонометрии, которую развивают либо от приствольных пунктов, определенных из ориентировки через вертикальную шахту, либо от припортальных пунктов, найденных из непосредственного примыкания их к пунктам наземной геодезической основы, через порталы, штольни и наклонные выработки.

Подземная полигонометрия развивается по мере продвижения забоев. В зависимости от конфигурации трассы сооружений, ее протяженности и подземных условий длины сторон подземной полигонометрии принимают равными 25, 50, 100, 200, 500 м и более. Чем бóльшую протяженность имеет трасса, 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. В связи с этим, для получения контроля и повышения точности подземную полигонометрию строят (прокладывают) по схемам, отвечающим предъявленным требованиям, например в виде цепи вытянутых треугольников. Создание такой полигонометрии дает возможность удлинить ее стороны, служащие для передачи дирекционных углов и тем самым повысить точность определения координат полигонометрических пунктов.

§ 90. Расположение и закрепление полигонометрических знаков

В зависимости от способов производства тоннельных работ подземные полигонометрические знаки закладывают либо в грунтах, пройденных выработкой, либо в постоянном креплении тоннельных

выработок, т. е. в тоннельных обделках. Грунтовые знаки закладывают в подошве — лотке горного тоннеля, разрабатываемого на полный профиль, а также в штольневых выработках.

Для закладки полигонометрического знака в неустойчивых и мягких породах роют яму размером в сечении $0,30 \times 0,30$ и глубиной $1,0$ м; в твердых грунтах глубина ее может быть уменьшена до $0,5—0,6$ м. В яму вставляют металлический штырь или отрезок рельса так, чтобы верхний его срез был на уровне лотка, и заливают его бетоном. В металлическом штыре или рельсе просверливают отверстие диаметром $1,5—2$ мм на глубину $3—4$ мм. Для лучшей сохранности центра это отверстие чеканят медной проволокой.

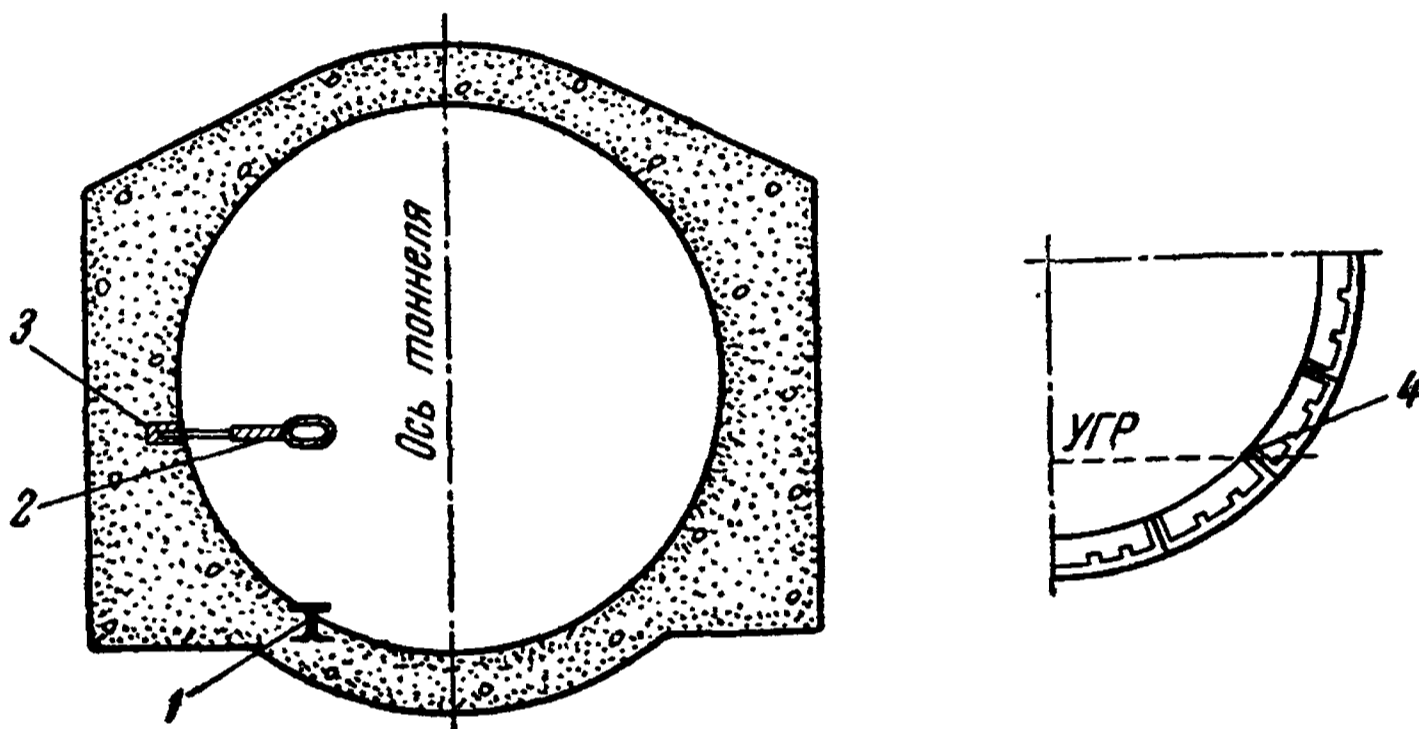


Рис. 85. Закрепление полигонометрического знака в бетонном тоннеле и на тубинге

1 — металлический стержень, 2 — маркшейдерская консоль, 3 — деревянная пробка; 4 — центр полигонометрического знака

Центры знаков, заложенных в лотке, выносят при помощи отвеса в верхние элементы крепления выработок и закрепляют маркшейдерскими гвоздями с заплатами (см. рис. 80). В скальных породах полигонометрические знаки иногда закладывают в кровле выработок. Знак, закладываемый в кровле, представляет собой металлический стержень или болт длиной $15—20$ см, в одном из концов которого просверливают два отверстия: одно диаметром $1,0—1,5$ мм и глубиной $5—7$ мм вдоль штыря и второе, перпендикулярное к первому, диаметром $2—2,5$ мм. Этот знак бетонируют в пробуренном для него отверстии.

В бетонных и блочных тоннелях полигонометрическими знаками служат штыри или болты длиной $10—15$ см, которые бетонируют в обделке. В тубинговых тоннелях центром полигонометрического знака является отверстие диаметром $1,5—2$ мм, просверленное на площадке, запиленной в ребре жесткости тубинга, и зачеканенное медной проволокой (рис. 85). Около каждого заложенного полигонометрического знака прикрепляют опознавательную табличку с его номером.

§ 91. Особенности геодезических работ в подземных условиях

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. Рулетку натягивают при помощи блочного штатива и гири весом 10 кг; второй ее конец удерживается с помощью рулеткодержателя. Натяжение проволоки производят с помощью двух блочных штативов и двух гирь весом 10 кг. Каждый пролет измеряют при трех сдвигах мерного прибора.

Температуру в процессе измерения линии, как правило, определяют на первом и последнем пролетах. Это объясняется тем, что колебания температуры в горных выработках весьма незначительны.

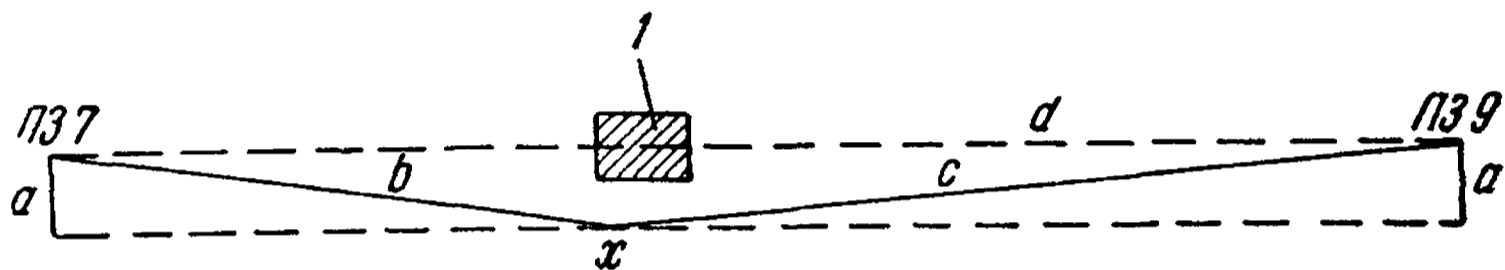


Рис. 86. Определение длины стороны с изломом линии

1 — препятствие, d — расстояние между полигонометрическими знаками, b и c — линии, измеряемые в натуре: если $a < 0,5$ м, то они откладываются примерно перпендикулярно

$$d = b + c - \left(\frac{a^2}{2b} + \frac{a^2}{2c} \right)$$

Каждую линию измеряют в прямом и обратном направлениях. При наличии препятствий и помех для непосредственного измерения линий применяют косвенное определение их (рис. 86).

В подземной полигонометрии углы измеряют, как правило, оптическими теодолитами. Для тоннелей незначительной протяженности (до 300 м) могут быть использованы обычные теодолиты тридцатисекундной точности.

Оптическими теодолитами углы измеряют способом круговых приемов. Измерения производят четырьмя круговыми приемами. В транспортных тоннелях большой длины (от 2 до 10 км) при измерении углов в полигонометрии со сторонами 400 м и более делают 6—8 круговых приемов. При сторонах более 200 м применяют также большие оптические теодолиты. Теодолиты устанавливают, как правило, на специальных консолях и реже на штативах. Центрируют теодолит либо оптическим отвесом, либо нитяным отвесом сверху. Для этой цели предварительно центр полигонометрического знака выносят на верхние элементы крепления. Перед центрированием нитяным отвесом трубу теодолита приводят в горизонтальное положение. Рекомендуется принимать все меры для ослабления влияния ошибки центрирования инструмента на точность измерения углов.

Одной из таких мер является измерение углов при двух положениях оптического центра теодолита. При измерении двумя приемами подставку теодолита между первым и вторым приемами переставляют на 180° , при четырех приемах теодолит повторно центрируют между вторым и третьим приемами, также переставляя его на 180° .

К этим мерам также можно отнести измерение углов при двух независимых центрировках инструмента под центром знака и измерение углов при одновременной установке двух или трех инструментов на двух или трех смежных пунктах или с применением самоцентрирующих установок по трехштативной системе. Применение внецентренного способа измерения углов также может уменьшить ошибки центрирования инструмента.

При измерении углов подземной полигонометрии визируют на нити отвесов или визирные марки. Если имеется видимость на центры знаков, то визирование производится непосредственно на них (на шпильки или иглы, установленные в их центрах). Для обеспечения в подземных условиях лучшей видимости объектов при визировании их подсвечивают карманными электрофонарями.

Все результаты угловых измерений вносят в общепринятые формы журналов угловых измерений.

Допустимая угловая невязка в замкнутом полигоне не должна превышать величины, определяемой формулой

$$f_{\beta} = \pm 2m_{\beta} \sqrt{n} = \pm 8'' \sqrt{n},$$

а для хода между двумя шахтами

$$f_{\beta} = \pm (15'' + 8'' \sqrt{n}),$$

где m_{β} — средняя квадратическая ошибка измерения угла, n — число измеренных углов в ходе или полигоне.

При наличии в подземном полигонометрическом ходе короткой линии, а иногда и нескольких применяют одновременно соответственно два или три теодолита, которые устанавливают на концах этих линий. Чаще всего это бывает в приствольных подходных выработках (рис. 87). Подходные штольни, соединяющие ствол с трассой, проектируются, как правило, с кривыми малых радиусов (порядка 10 м), что влечет за собой появление коротких линий подземной полигонометрии. При таких коротких линиях ошибки центрирования инструмента и отвесов над знаками очень сильно снижают точность измеряемого угла.

Сущность метода измерения углов с применением двух теодолитов заключается в следующем. Пусть требуется измерить углы B и C , каждый из которых образован одной короткой и одной длинной сторонами. Для этого на знаках B и C устанавливают одновременно два теодолита и производят взаимное визирование на центрировочные штифты инструментов при горизонтальном положении визирных труб. Объектами визирования в точках A и D являются вынесенные вверх отвесы или иглы, установленные в центрах полигонометриче-

ских знаков. Для исключения погрешности от несовпадения штифта с вертикальной осью вращения теодолита трубу инструмента, на который производят в данный момент наблюдение, необходимо после второго приема повернуть на 180° . Значение угла, полученное как среднее из четырех приемов, будет свободно от ошибки несовпадения центрировочного штифта с вертикальной осью вращения инструмента. При этом наблюдения будут отнесены непосредственно к вер-

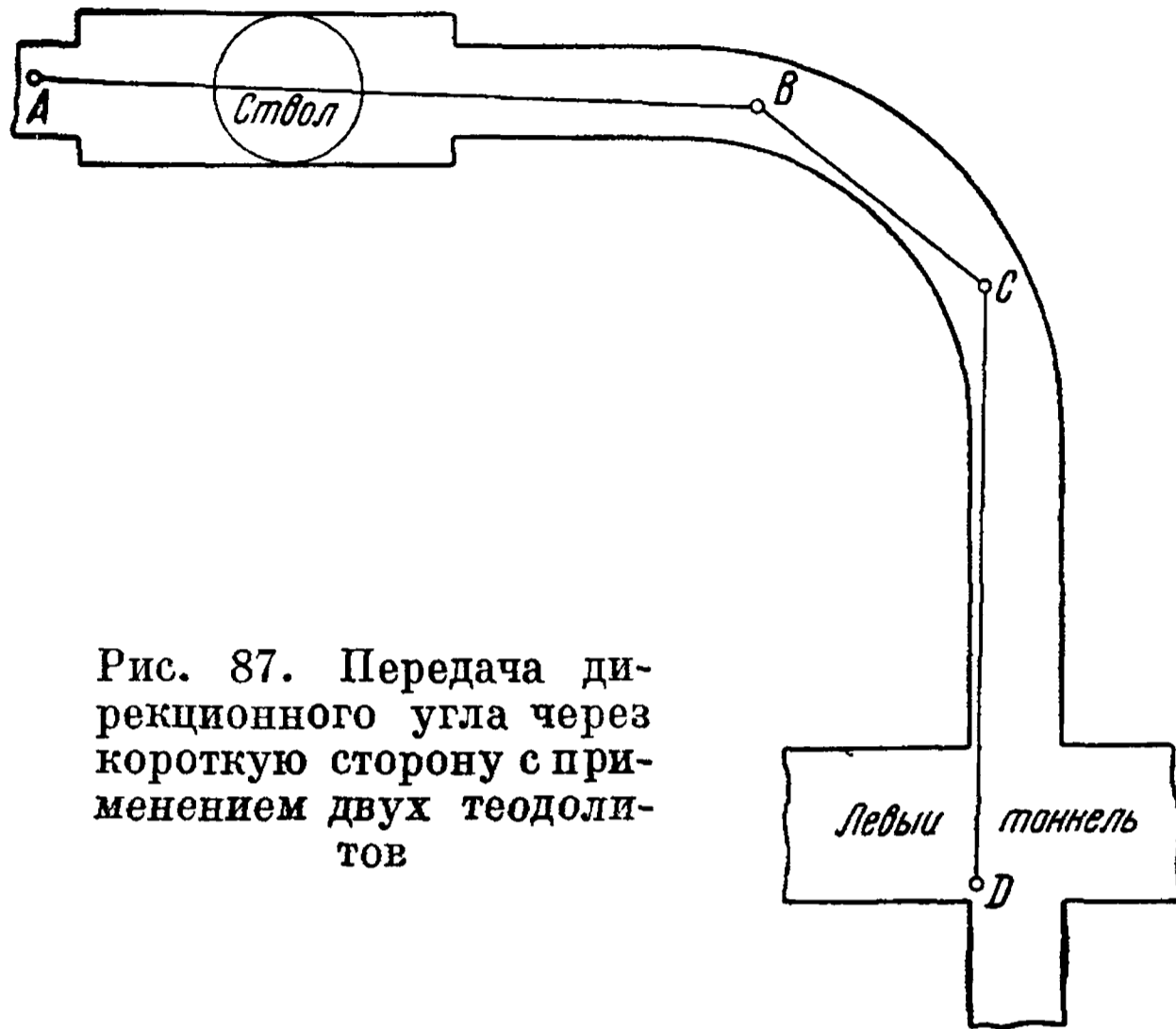


Рис. 87. Передача дирекционного угла через короткую сторону с применением двух теодолитов

тикальной оси вращения инструмента. Этот способ может применяться и при наличии двух смежных коротких сторон. В этом случае одновременно устанавливают три теодолита. Изложенный метод широко применяется в практике тоннелестроения и дает хорошие результаты. Средняя квадратическая ошибка измеренного угла находится в пределах $10''$ при длинах сторон порядка 10 м ; при обычном же способе она достигает $30''$ и не обеспечивает точности, требуемой инструкцией при строительстве подземных сооружений.

§ 92. 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. 88, 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 ϑ_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

$$AB^2 = AJ^2 + l^2 - 2AJl \cos \vartheta_1.$$

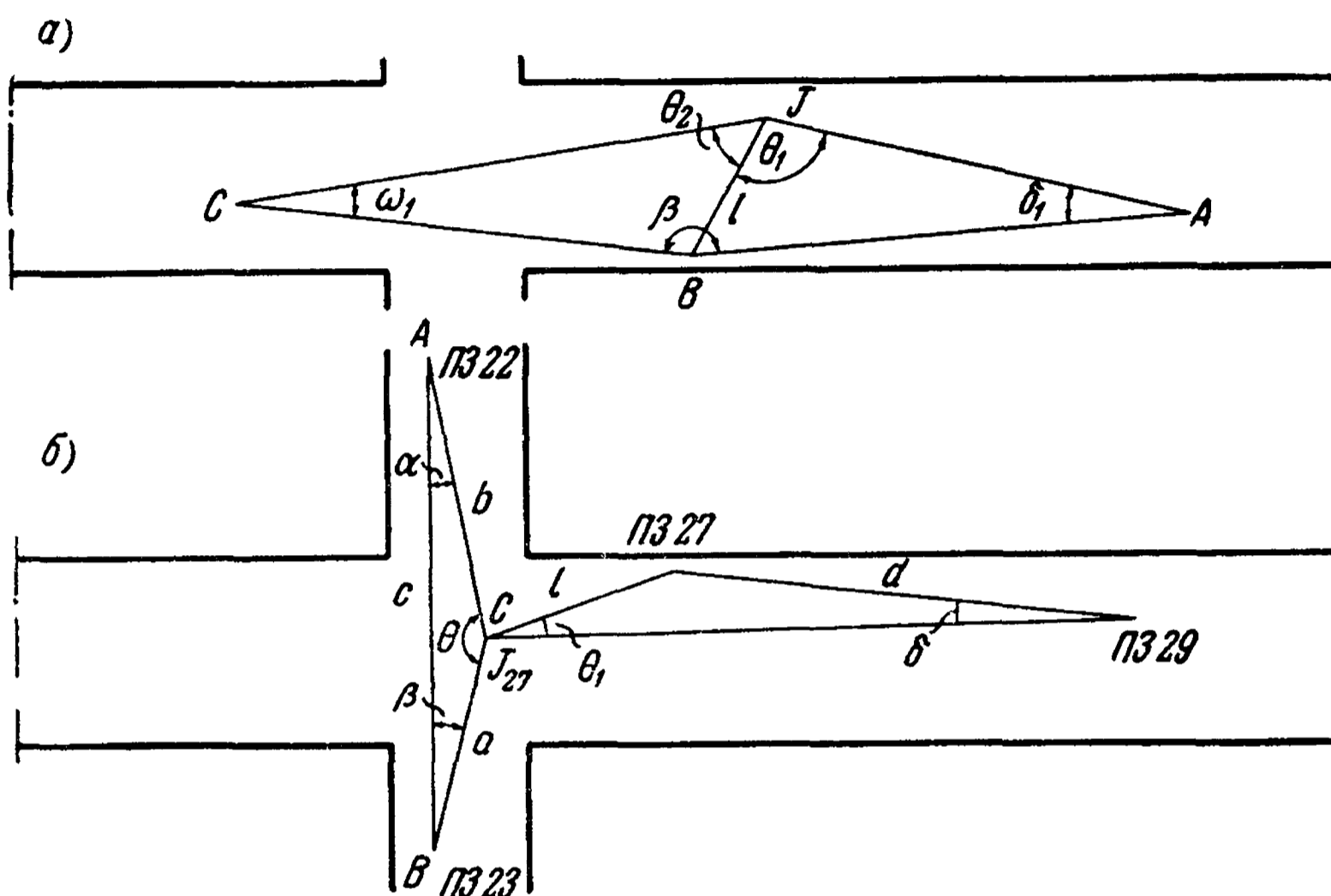


Рис. 88. Внецентренное измерение углов в тоннеле и на кресте горных выработок

Из четырехугольника $ABCSJ$ можно написать

$$\beta = 360^\circ - \vartheta_2 - \vartheta_1 - \delta_1 - \omega_1,$$

$$\beta = 360^\circ - J - \delta_1 - \omega_1.$$

Величины углов δ_1 и ω_1 определяют по формуле синусов из треугольников ABJ и BJS

$$\sin \delta_1 = \frac{l}{AB} \sin \vartheta_1;$$

$$\sin \omega_1 = \frac{l}{BC} \sin \vartheta_2.$$

Если при определении угла β углы ϑ_1 и ϑ_2 близки соответственно к 0 и 180° , то ошибка измерения линейного элемента центрировки окажет малое влияние на ошибку определения угла β . В этом случае ошибка угла β будет зависеть главным образом от инструменталь-

ных ошибок и ошибки измерения угла ϑ , а средняя квадратическая ошибка этого угла β определится по формуле

$$m_{\beta}^2 = m_J^2 + \frac{2l^2}{d^2} m_{\vartheta}^2,$$

где d — длина стороны подземной полигонометрии.

Второй член формулы представляет влияние ошибки за внецентренное измерение угла; обозначив ее через m'_{β} , получим

$$m_{\beta}'^2 = \frac{2l^2}{d^2} m_{\vartheta}^2.$$

При визировании на центр знака B можно считать $m_{\vartheta} = \pm 10''$. Положим $l = 5$ м, $d = 25$ м, тогда

$$m_{\beta}'^2 = \frac{2 \cdot 5^2 \cdot 10^2}{25^2} = \frac{2 \cdot 5^2 \cdot 10^2}{25^2} = \frac{200}{25} = 8'';$$

$$m_{\beta}' = \pm \sqrt{8} = \pm 2'',7.$$

Сравним эту величину с влиянием ошибки центрирования инструмента при обычном способе измерения углов. Влияние этой ошибки выражается формулой.

$$m_J'' = \frac{m_l \varrho''}{\sqrt{2} ab} c.$$

В нашем случае $\angle AJC = 180^\circ$ и при $a = b$, $c = 2a$ формула примет вид

$$m_J'' = \frac{m_l \varrho'' \sqrt{2}}{a}.$$

При $m_l'' = 0,001$ м и $a = 25$ м будем иметь $m_J'' = 12''$, т. е. ошибку, в четыре раза большую аналогичной ошибки 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_{ϑ} принята равной $\pm 10''$, произведены для случая визирования непосредственно на центр знака B . Если такой возможности нет, то величина m_{ϑ} 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 уничтожаются 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. 88, 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 ϑ , измеренному при точке J_{27} , и сторонам a и b вычисляют длину стороны c по формуле

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \vartheta$$

и сравнивают ее длину с ранее измеренным значением стороны *ПЗ 22—ПЗ 23*. Далее вычисляются углы α , β и δ по формулам

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \sin \vartheta; \quad \sin \beta = \frac{b}{c} \sin \vartheta, \quad \left[\sin \delta = \frac{l}{d} \sin \vartheta_1; \right.$$

при этом сумма углов α , β и ϑ должна равняться 180° , что служит контролем правильности вычислений. При помощи вычисленных 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. 89 знаки J_8 , J_9 , J_{10});

2) при коротких сторонах хода, когда имеется возможность визировать на шпильки, установленные в центрах знаков (на рис. 89 знаки J_8 , J_9);

3) при смещении инструмента в сторону от стены тоннеля, чем ослабляется действие боковой рефракции (на рис. 89 знак J_{48});

4) при связке полигонометрических ходов в тоннеле и штольне (на рис. 89 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 ϑ к 0° или 180° , в частности за счет полного исключения влияния ошибки центрирования теодолита.

Для обеспечения требуемой точности измерения углов внецентренным способом необходимо руководствоваться следующим:

1. При длинах линий больше 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 не 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.

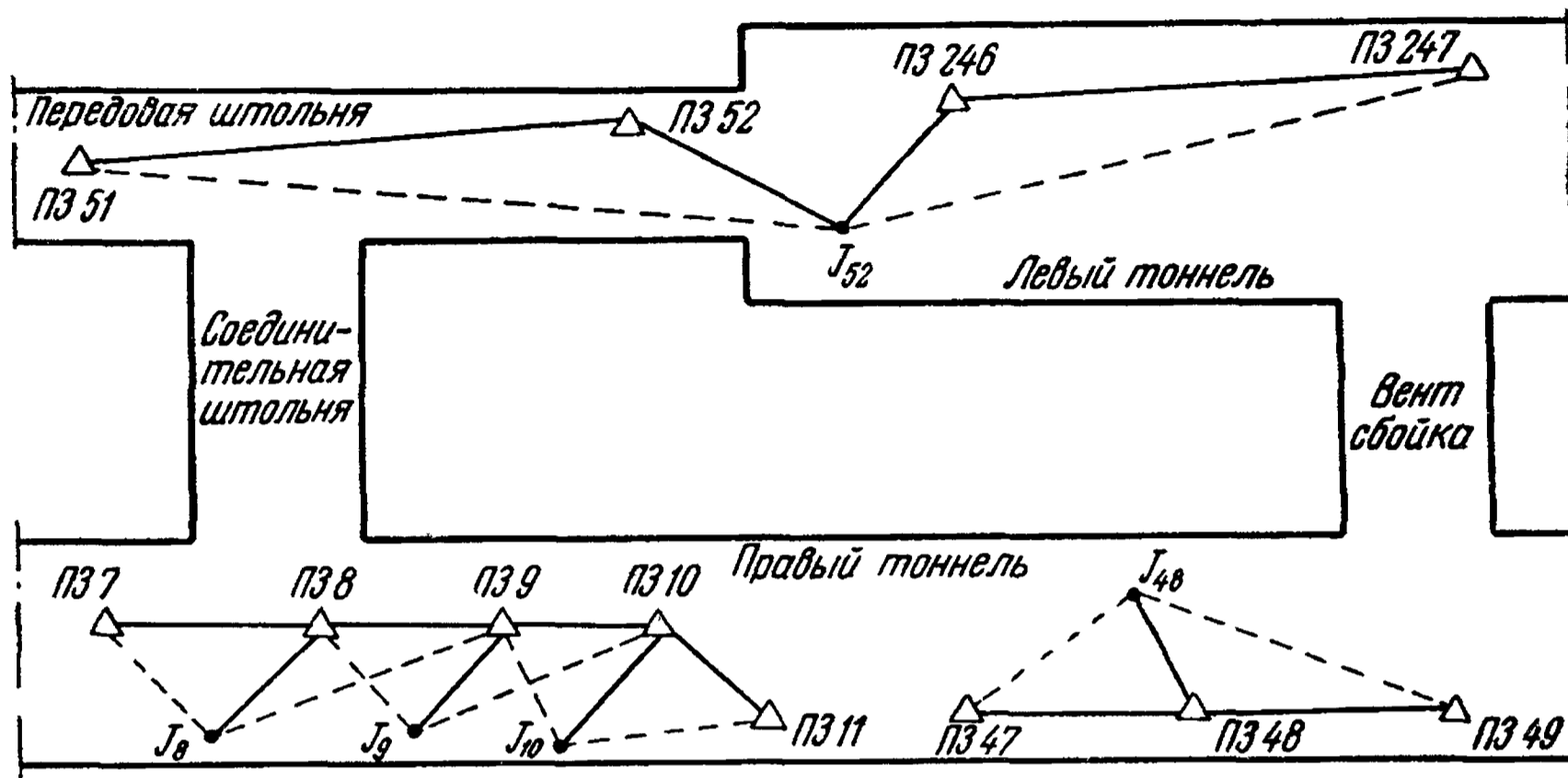


Рис. 89. Внецентренное измерение углов (в различных случаях)

6. Линейный элемент центрировки нужно измерять стальной компарированной рулеткой со средней ошибкой 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.

§ 93. Высотная основа в подземных выработках

Исходными данными для подземного нивелирования служат отметки репера, которые получены в результате передачи на них высот 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, проверяют стальной компарированной рулеткой; при этом случайные ошибки 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 отсчетами 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

$$H_K = H_A + З + П,$$

где H_K — отметка репера, заложенного в кровле-своде; H_A — отметка репера, заложенного в лотке; $З$ — отсчет по рейке, установленной на лотковом репере; $П$ — отсчет по рейке, установленной нулевым концом к реперу в кровле-своде.

Т а б л и ц а 21

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

Если рейку ставят нулем вверх, то ее положение отмечают в нивелирном журнале.

При нивелировании высоко расположенных 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, полкбв 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. 21.

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 выпучивание 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. Превышения анализи-

Таблица 22

№ реперов или знаков	Дата нивелирования							
	XI 1963 г.		V 1964 г.		VII 1964 г.		IX 1964 г.	
	отметка		отметка		отметка		отметка	
	полученная	принятая	полученная	принятая	полученная	принятая	полученная	принятая
Рр. 2 ПЗ 3217	265,452	265,452	265,446	265,450	265,446	265,448	265,444	265,446
	265,684	265,684	265,681	265,683	265,679	265,681	265,677	265,679
	Местоположение реперов или знаков							
	Приствольный Левый тоннель, кольцо 65							

руют 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 движение 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.

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. 22). Одновременно с заполнением каталога отметок подземных реперов в каталог координат пунктов подземной полигонометрии заносят отметки полигонометрических знаков (табл. 23).

Т а б л и ц а 23

№ ПЗ	Координаты		Дирекционные углы	Длины линий	Отметки	На ПЗ
	x	y				
421	75892,123	89342,586	138° 14' 35"	45,263	42,163	423

§ 94. 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. 90) 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 $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$ до оси, по нормали к ней. Определенные от трех и более полигонометрических знаков 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. 90). Вычисляют угол β как разность

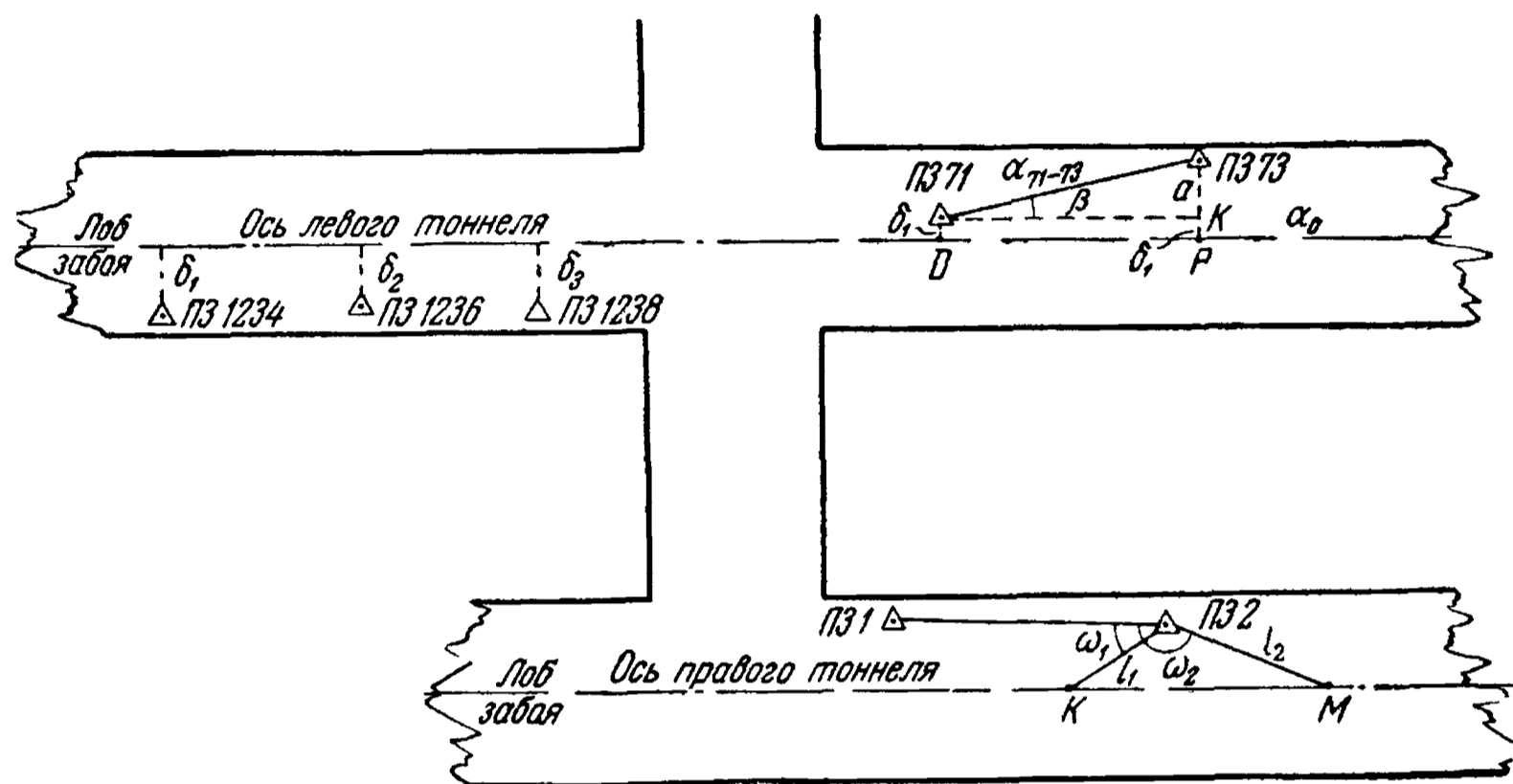


Рис. 90. Разбивка продольной оси тоннеля на прямых участках трассы

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 $71-K$ 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 $73-K=a$ с его значением, вычисленным по формуле

$$a = d \sin (\alpha_0 - \alpha_{71-73}) = d \sin \beta,$$

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. 90), визируют на точку K , 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* (см. рис. 90). 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 $l_1 = \text{ПЗ 2—К}$, 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*, $l_1 = \text{К—ПЗ 2}$ и $l_2 = \text{М—ПЗ 2}$. Они не должны отличаться от вычисленных более чем на 5 мм.

При разбивке оси тоннеля на переходной кривой от линии тангенса (рис. 91), закрепленной в натуре осевыми маркшейдерскими гвоздями, откладывают от точки *НПК* вдоль линии тангенса расстояния $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ и восставляют в полученных точках перпендикуляры $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$. Расстояния x выбирают в зависимости от требуемой точности разбивки переходной кривой и ее параметра *С*. Длины перпендикуляров y_k вычисляют по формуле

$$y_k = y'_k + q'_k,$$

где $y'_k = \frac{x_k^3}{6C}$; $q'_k = q \frac{x_k}{L}$.

У конца переходной кривой может оказаться невозможным продолжить линию тангенса в тоннеле; тогда переходят на смещенную линию тангенса и от нее откладывают величину $y_k - a$ (см. рис. 91).

На переходной кривой ось тоннеля разбивают также от хорды, стягивающей точки *НПК* и *КПК* (см. рис. 91).

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 и при разбивке оси тоннеля от линии тангенса. Длина перпендикуляра h_k от стягивающей хорды до текущей точки переходной кривой определяется формулой

$$h_k = S_k \operatorname{tg} \beta - y_k.$$

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. 92). 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 $КПК - Б$. По этому направлению от $КПК$ отмеряют предварительно вычисленное расстояние, равное длине первой хорды и закрепляют точку $Б$. Для задания направления следующей хорды центрируют теодолит над точкой $Б$ и, откладывая угол $180^\circ - \omega_1$ от направления на первую хорду, получают направление хорды $БС$, на котором, отложив от точки $Б$ 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

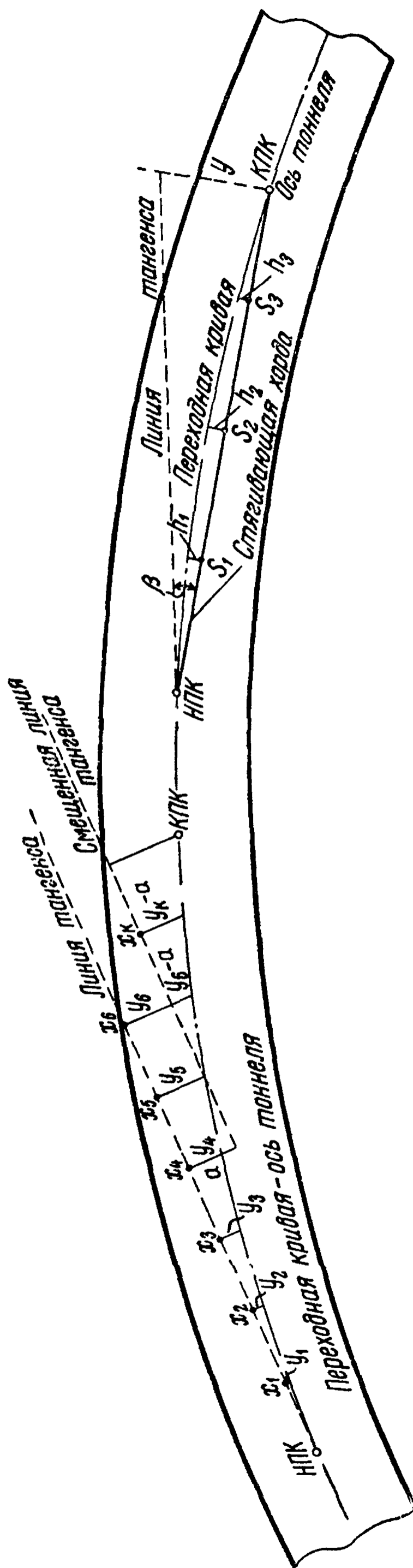


Рис. 91. Разбивка оси тоннеля на переходной кривой от линии тангенса и стягивающей хорды

КП и КЛ измеряют углы $180^\circ - \omega$ в точках пересечения хорд. Разбивка повторяется другим лицом и желательно другим методом.

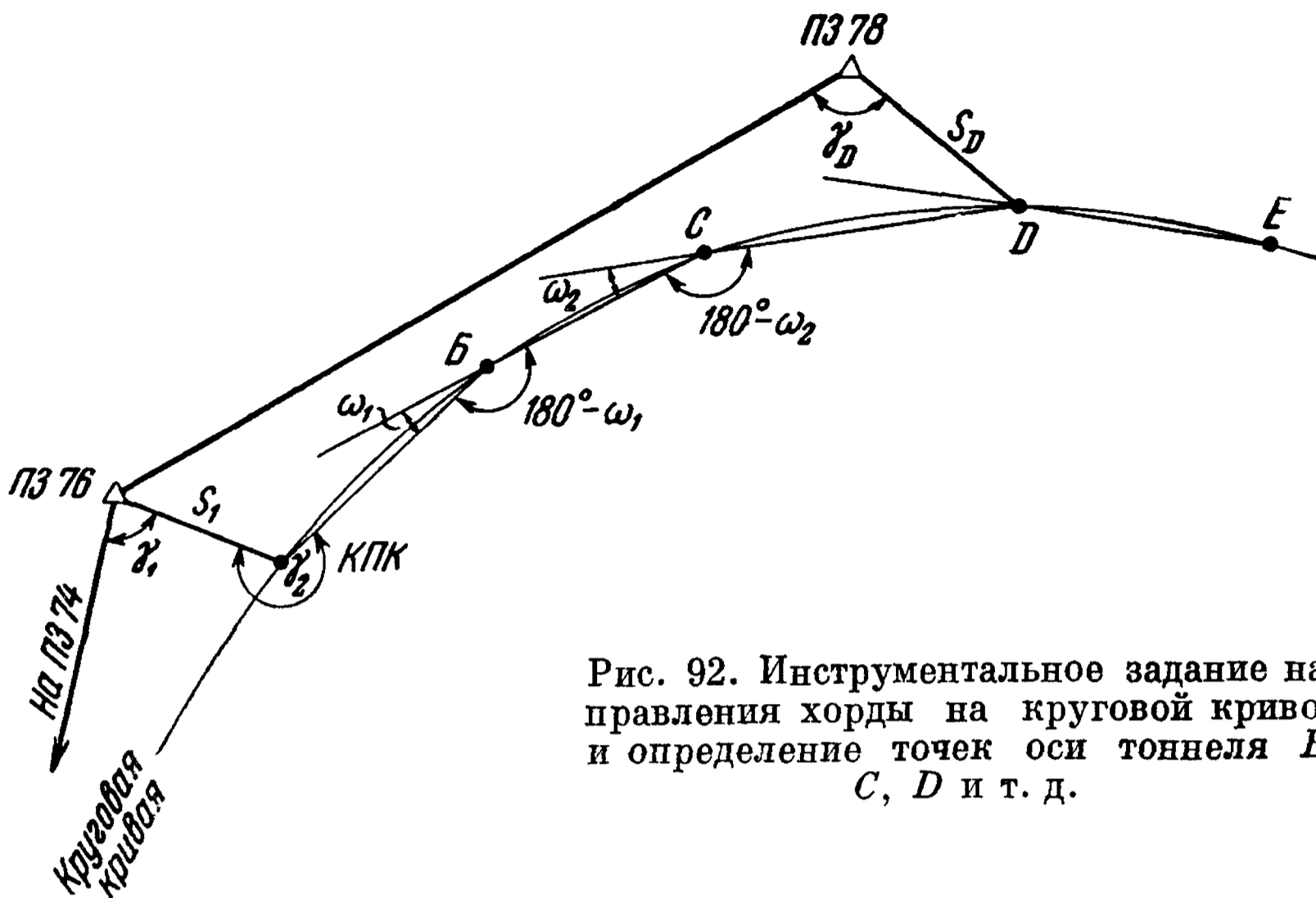


Рис. 92. Инструментальное задание направления хорды на круговой кривой и определение точек оси тоннеля B , C , D и т. д.

От каждого вновь заложеного полигонометрического знака по разбивочным элементам S_D и γ_D уточняют полярным способом положение ближайшей закрепленной точки пересечения хорд.

Контрольные вопросы:

1. Что такое подземная полигонометрия и для чего она прокладывается?
2. Какие требования предъявляются к схеме подземной полигонометрии и к ее знакам?
3. Как повысить точность передачи дирекционного угла при наличии коротких сторон в тоннеле?
4. Что такое внецентренный способ измерения угла и когда он применяется в тоннелях?
5. Как создается высотная основа в подземных выработках?
6. Как производится разбивка оси тоннеля на прямых и кривых участках трассы?

ГЛАВА 11

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАЗБИВКИ ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ, ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК И ШТОЛЕН

§ 95. Методы наблюдения за вертикальностью ствола в процессе его сооружения

Ш а х т н ы м с т в о л о м называют вертикальную выработку, имеющую выход на поверхность земли и предназначенную для обслуживания подземных работ. Оси ствола на поверхности разбивают теодолитом и закрепляют металлическими штырями, заложеными в бетон (рис. 93). 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 в о р о т - н и к о м ф о р ш а х т ы.

Внутренний диаметр форшахты делают больше внешнего диаметра кольца тубинговой или блочной обделки ствола на 20—30 см. При сооружении форшахты от закрепленных на поверхности 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 обресе по направлениям осей ствола закрепляют специальные скобы, на которых запилами фиксируют оси ствола. На скобы от ближайшего репера передают высотные отметки. Скобы устанавливают и на внутренней поверхности форшахты. 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 выполняют через интервалы в 2 м. Данные съемки необходимы для составления исполнительных чертежей. Их 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.

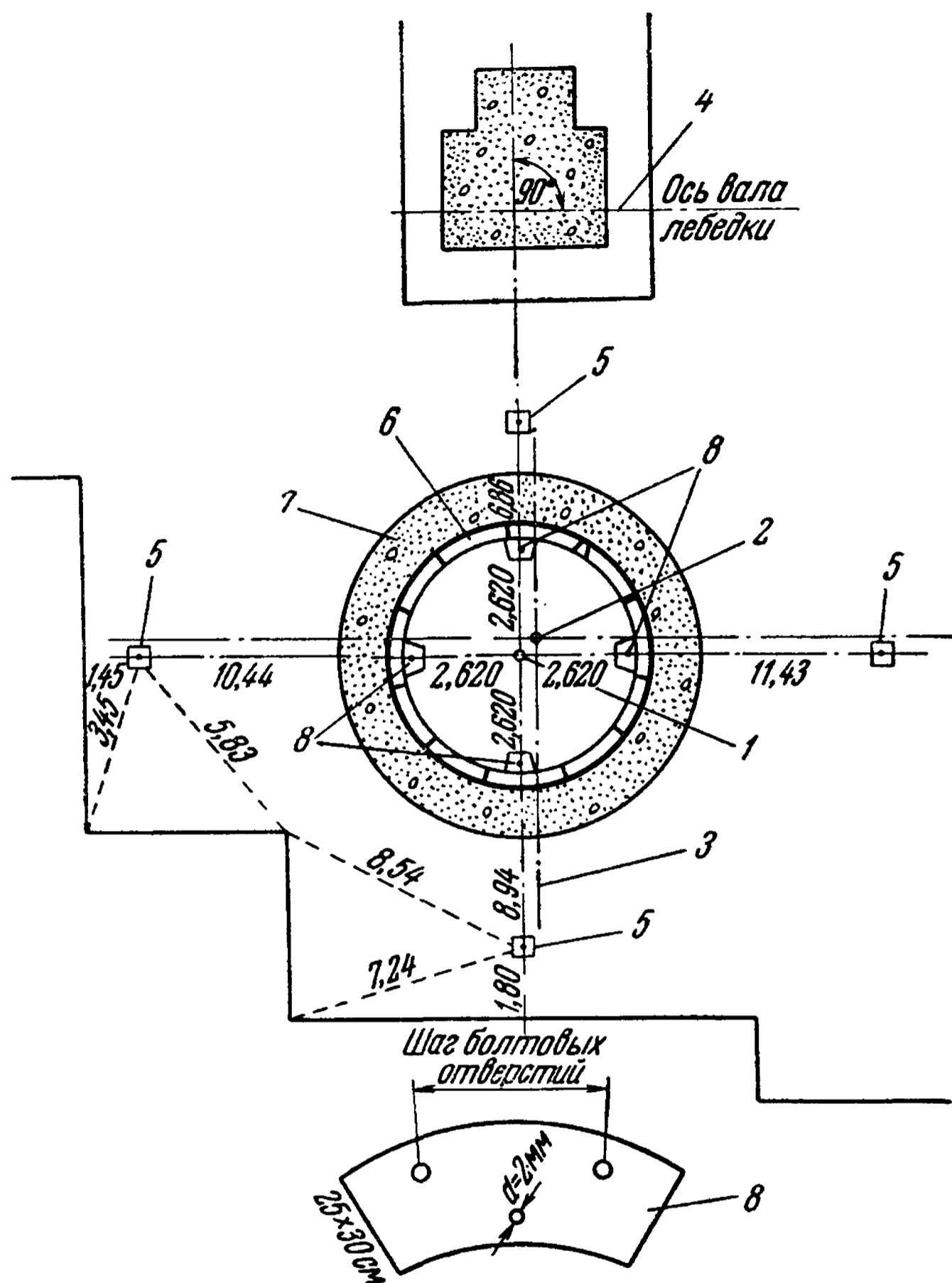


Рис. 93. Схема закрепления осей ствола шахты

1 — центр ствола, 2 — центр подъема, 3 — ось подъема, 4 — ось вала лебедки, подъема, 5 — штыри, заложённые в бетоне, 6 — тубинги ствола, 7 — бетон формашты, 8 — металлические пластины с отверстиями для отвесов

А. Способ опускной крепи. Первые кольца при сооружении ствола способом опускной крепи укладывают от центра ствола. Расположение замков колец относительно осей ствола указывается в проектных чертежах. Сборку первого кольца опускной крепи вместе с ножевой частью ведут в забое формашты 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 формашты и отмечают гвоздем в торце кола, забитого в грунт.

Путем радиальных промеров 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 тубингов проверяют нивелиром или сообщающимися сосудами. Сосуды представляют собой резиновый шланг диаметром 10 мм и длиной от 5 до 10 м. В концы 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 мало удобно. 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 тубингов при помощи сообщающихся сосудов. Для этого нивелируют верхнюю плоскость уложенных колец в восьми точках, расположенных на указанных четырех диаметрах, и результаты (рис. 94) 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 большим 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.

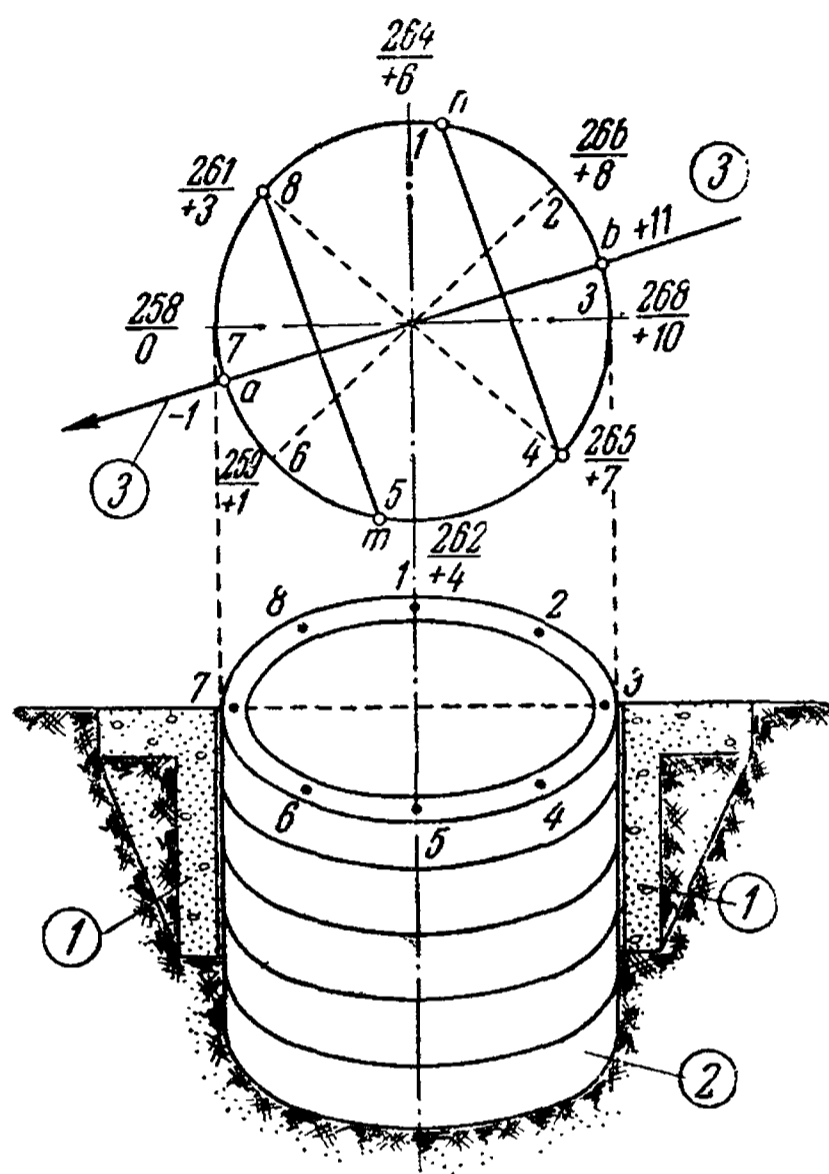


Рис. 94. Определение наклона опускаемого цилиндра

1 — бетон формашты, 2 — кольца ствола шахты, 3 — направление 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

$$\delta = k \frac{l}{d},$$

где k — крен верхней плоскости кольца, l — высота опускной крепи, d — диаметр кольца.

В нашем примере $k = 12$ мм, $d = 6$ м, $l = 18$ 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 в 1 м смещение центра нижнего кольца крепи подсчитывают путем умножения отсчета, взятого со столика, на высоту цилиндра, выраженную в метрах.

Крен ствола определяют и так: при сборке первых колец по внутреннему контуру крепи монтируют трубу небольшого диаметра. В четырех точках, совпадающих с направлением осей ствола, в трубу вваривают специальные патрубки, в которые вставляют стеклянные трубки с делениями. Трубу наполняют водой. При вертикальном положении ствола на трубках устанавливают шкалы делений. При дальнейшей проходке величину крена цилиндра опускной крепи можно обнаружить по отсчетам на шкалах. 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 уже 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 поверх-

ностью 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;

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. 93). 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.

§ 96. Съёмка поперечных сечений ствола, определение рабочего сечения. Разбивка для армирования

Съёмку ствола производят после окончания его проходки до проектной отметки. По результатам съёмки поперечных сечений ствола через каждые 3—5 м по высоте определяют полезное рабочее сечение ствола и составляют вертикальные разрезы ствола по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

Рабочее сечение ствола определяют графически по совмещённому плану всех поперечных сечений, составленных в масштабе 1 : 20. Для наглядности каждое сечение вычерчивают различным цветом.

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 клеток шахтного подъема с учетом полученного фактического центра ствола. Верхние расстрелы устанавливаются строго по проектным данным клетьевого подъема при помощи струн, натягиваемых параллельно закрепленным осям ствола. Последующие расстрелы устанавливаются 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.

§ 97. Передача через ствол оси и высотной отметки для рассечек околоствольных выработок

До начала работ в околоствольных выработках необходимо тщательно изучить утвержденный проект организации работ, конструкции и геометрические схемы.

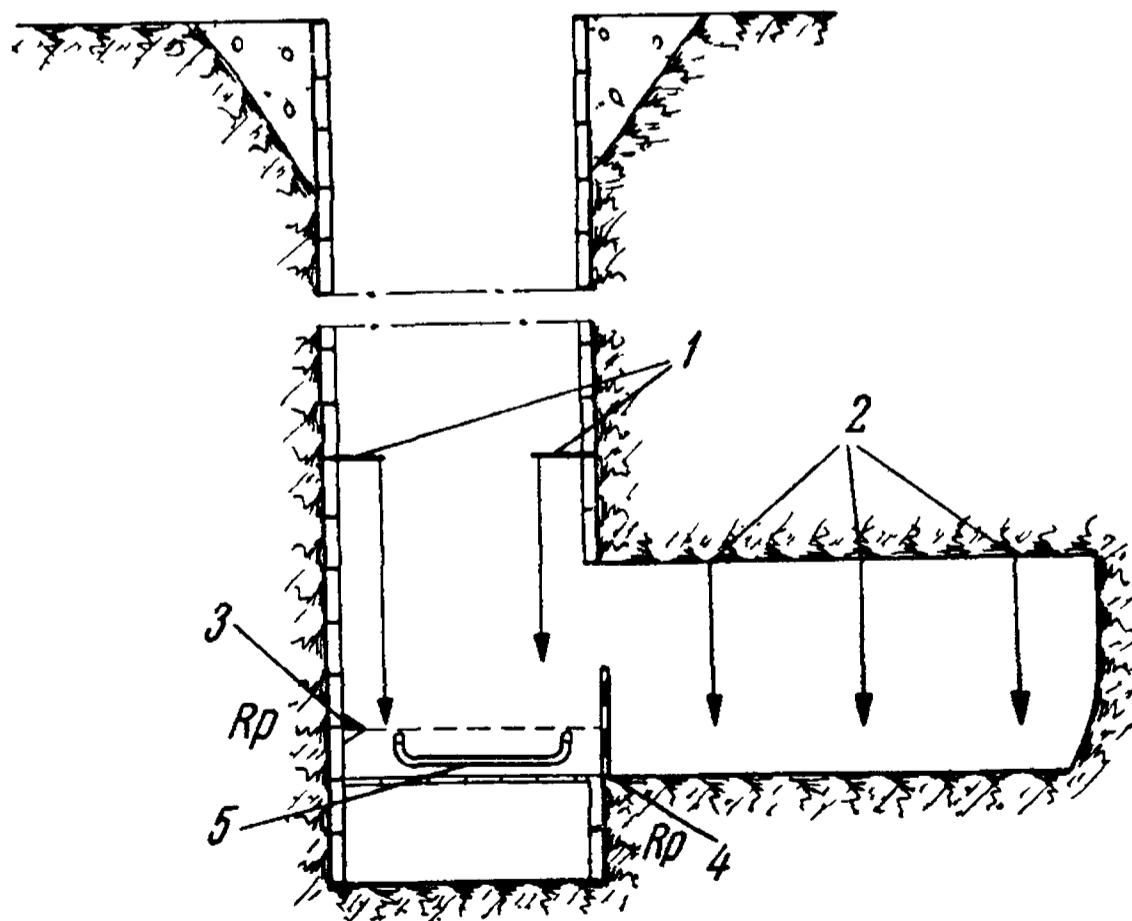


Рис. 95. Задание направления из ствола в штольню и передача отметки

Направление рассечки в плане задается отвесами, подвешенными в стволе на последнем нижнем ярусе скоб (рис. 95). Створ осевых отвесов 1, подвешенных в стволе, визуальнo продолжают в штольню

или в околовольный 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 околовольные выработки (репер 4) при помощи сообщающихся сосудов 5 с репера 3, расположенного в нижнем ярусе ствола. Отметки на реперы передают непосредственно с поверхности, используя стальную рулетку. Реперами в штольне служат металлические костыли, забиваемые на высоте 1 м от проектного положения лежанов штольневых рам.

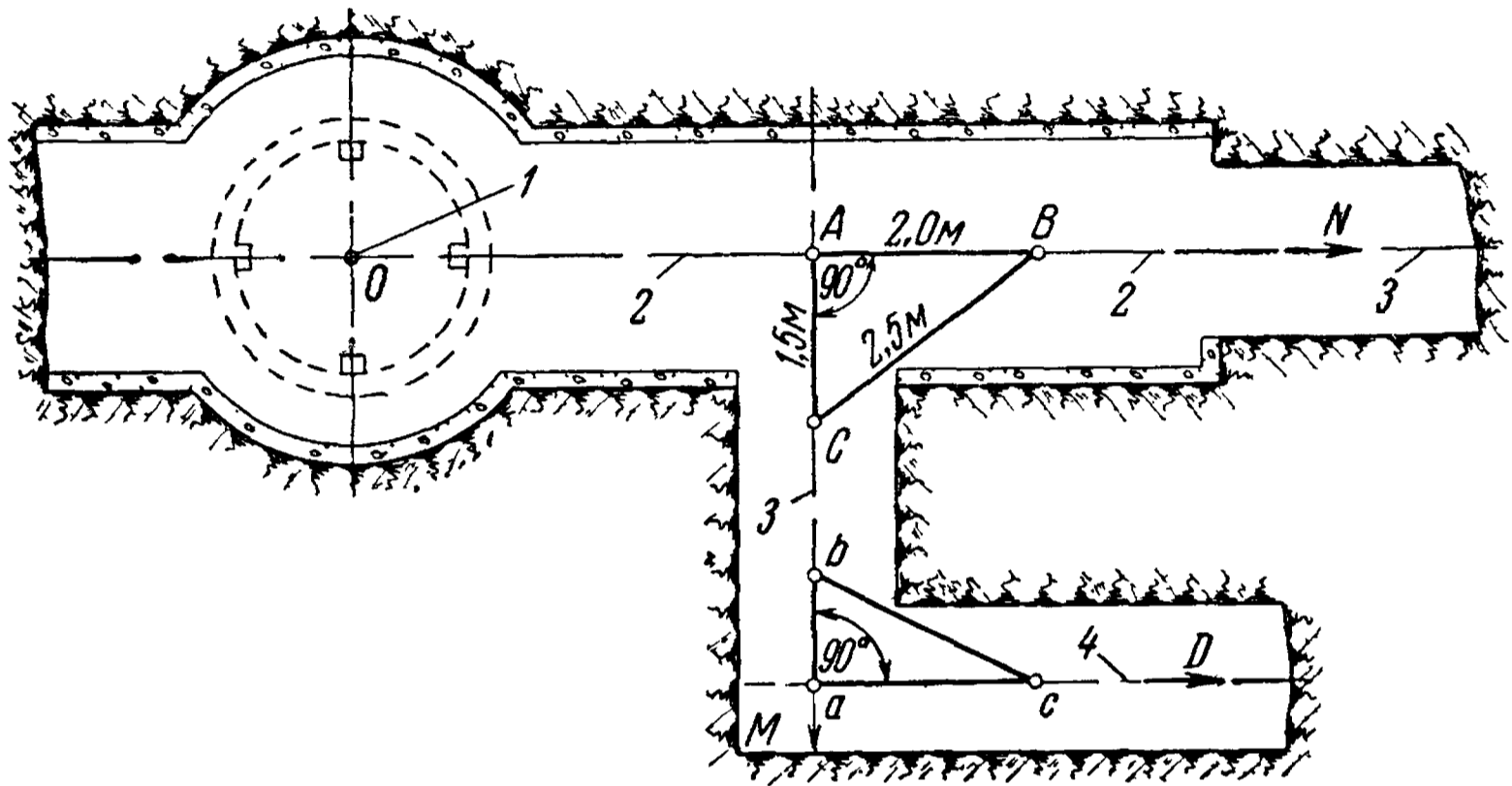


Рис. 96. Разбивка околовольных выработок

1 — центр ствола, 2 — ось околовольного двора, 3 — ось поперечной штольни, 4 — ось насосной камеры

Околовольные сооружения, не связанные с трассой, разбивают в натуре упрощенными методами. Разбивку оси выработки, расположенной под прямым углом к рудничному двору (рис. 96), производят путем построения прямоугольного треугольника ABC на оси рудничного двора. Для этого от центра ствола O откладывают проектное расстояние OA , указанное в проектной чертеже. Полученную в натуре точку A закрепляют маркшейдерским гвоздем. В точке A по направлению N откладывают при помощи стальной рулетки 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 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 большие 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 с помощью нивелира или сообщающихся сосудов. Отметки закрепляют костылями, вбитыми в стойки.

§ 98. Разбивки при проходке штолен

При проходке штолен всех назначений выполняют следующие работы:

а) ведут наблюдение за правильностью установки каждой рамы в плане, по высоте, по нормали и пикетажу, а также за разноской стоек;

б) ведут съемку установленных рам и съемку разработанного профиля грунта;

в) определяют объем выполненных земляных работ;

г) ведут наблюдения за деформацией подземной маркшейдерской основы и за деформацией крепления штольни.

Первоначальное направление задают, как было сказано в § 97, с осевых отвесов ствола. При дальнейшем продвижении забоя створ линии отвесов, закрепляющий направление прямого участка, продолжают путем подвешивания 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.

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, причем стрелы изгиба можно не учитывать, если они не превышают 2 см для бетонных работ и 5 см — для земляных работ в горных выработках.

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. 97, 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. Разрешается также пользоваться смещенной осью в тех случаях, когда закрепление и пользование осью затруднено. Продольную ось и высотные костыли закрепляют не реже чем через 5 м.

Как только подходная штольня (см. рис. 97) пройдет точку N — место пересечения оси тоннеля с осью подходной штольни, откладывают проектное расстояние от конца круговой кривой KK . Инстру-

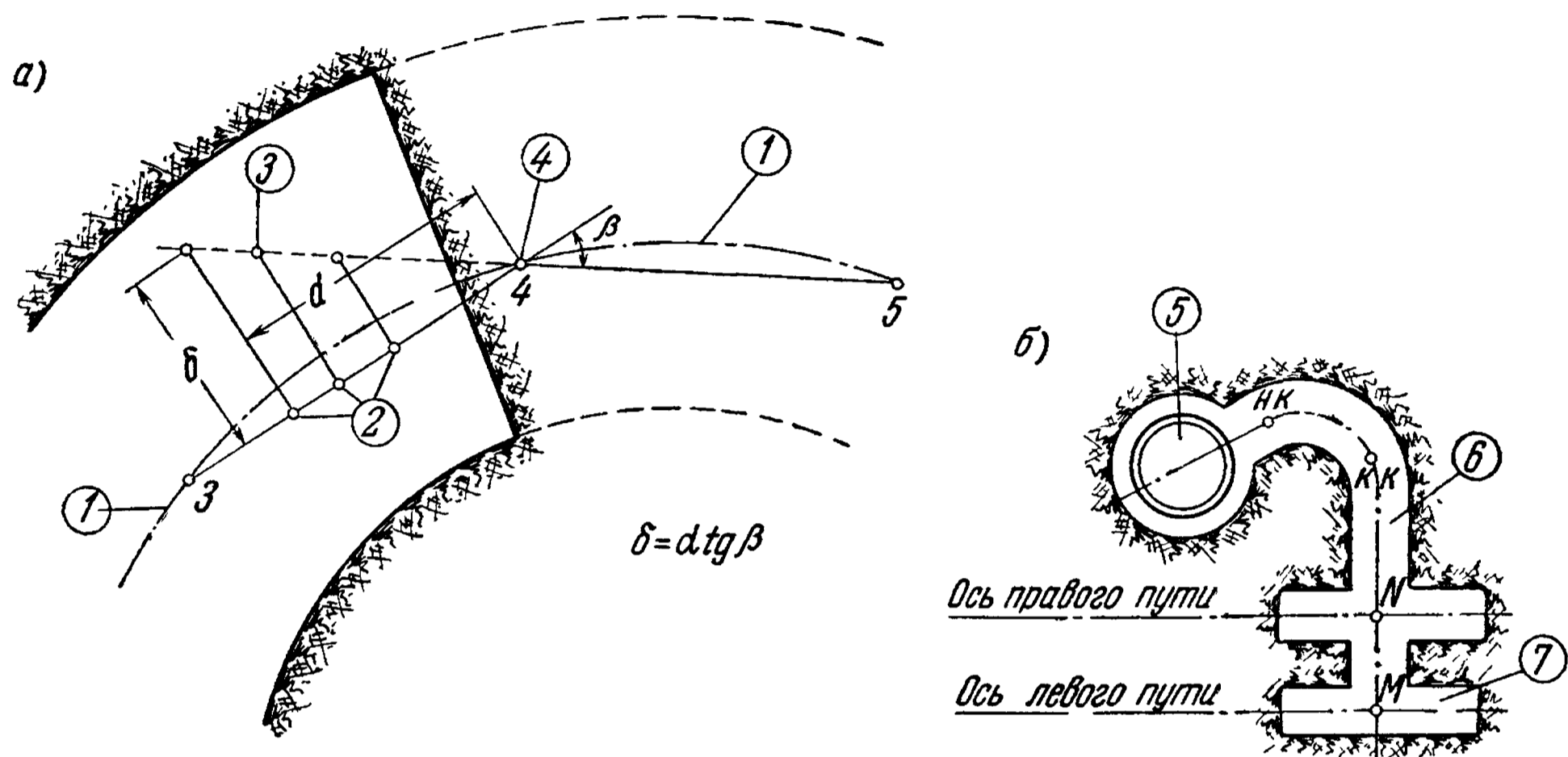


Рис. 97. Задание направления очередной хорды в забое

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

ментально уточняют точку N на оси тоннеля и закрепляют осевым маркшейдерским гвоздем. Так же проверяют точку M пересечения второго, левого тоннеля с осью подходной штольни и закрепляют осевым гвоздем.

Впоследствии положение точек N и M 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 M . По заданным направлениям осуществляют проходку передовых штолен по трассе. При удалении забоев на 10—12 м это направление уточняют инструментальным путем.

Контрольные вопросы:

1. Как производятся наблюдения за вертикальностью ствола в процессе его сооружения?
2. Как закрепляются продольная и поперечная оси ствола на шахтной обделке?
3. Как производится передача осей и отметок из ствола в околоствольные выработки?
4. Что такое рабочее сечение ствола и как оно определяется?
5. Как осуществляется разбивка оси штольни при ее повороте?

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАЗБИВКИ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ ГОРНЫМ СПОСОБОМ С МОНОЛИТНОЙ ОБДЕЛКОЙ

§ 99. Общие сведения

При горном способе работ разработку породы в пределах сечения тоннелей ведут с устройством временного крепления, под защитой которого в дальнейшем возводят постоянную обделку из бетона или каменной кладки.

Целью маркшейдерских разбивок является обеспечение геометрически правильной (без переборов) разработки породы по внешнему

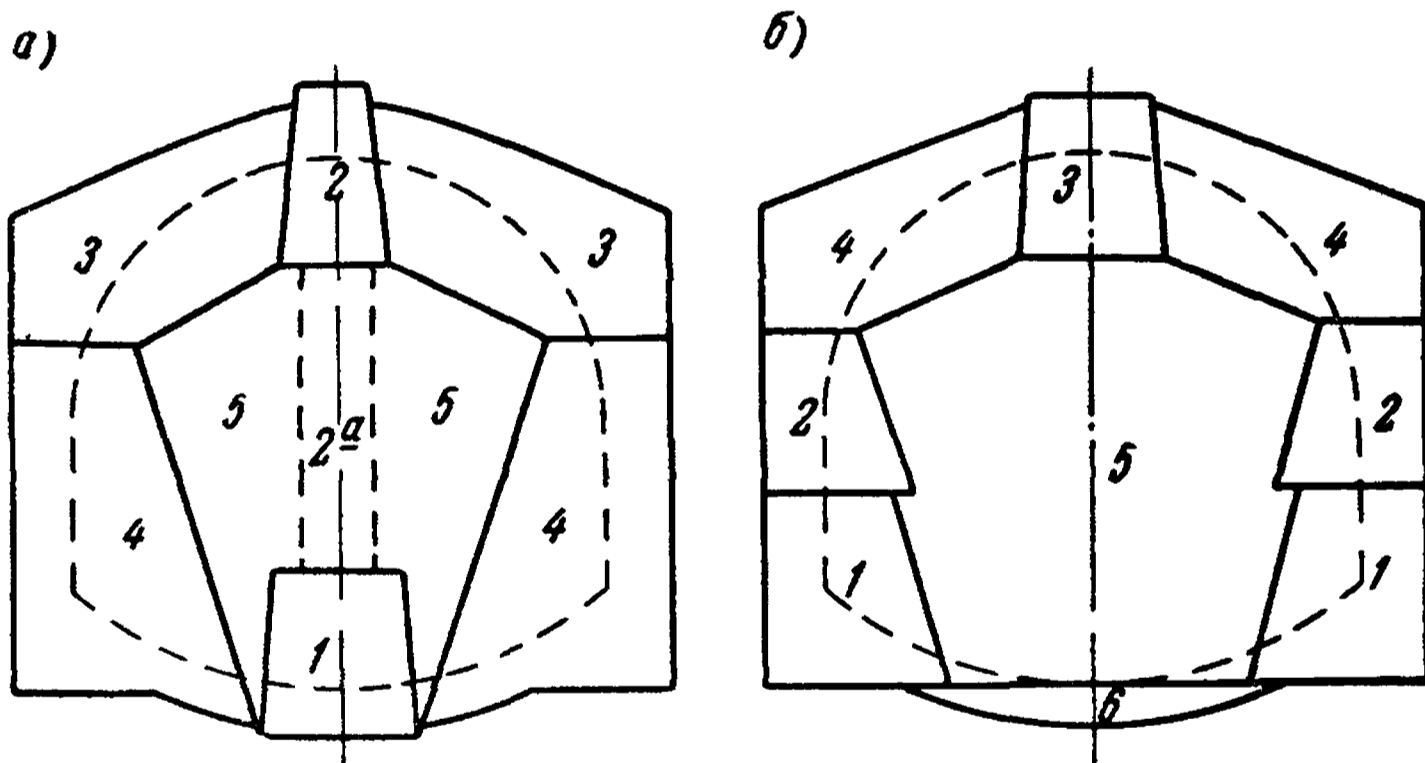


Рис. 98. Две схемы сооружения тоннелей по частям

контур сооруженияемого 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. 98 приведены два способа сооружения тоннелей по частям, имеющие наибольшее распространение: способ опертого свода (а) и способ опорного ядра (б). На схемах цифрами показана последовательность разработки отдельных частей сечения тоннелей.

Применяется также способ сооружения тоннелей с раскрытием на полный профиль (см. § 106).

Маркшейдерские разбивки для разработки грунта частей сечений тоннелей можно объединить в несколько групп. К первой относятся горизонтальные штольневые выработки, о методах разбивок в которых рассказано в главе 11. 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.

§ 100. 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. 99, а) на габарит вагонеток, в которых будет подаваться бетон. Иногда ширину штольни рассчитывают только на подошву стены (рис. 99, б).

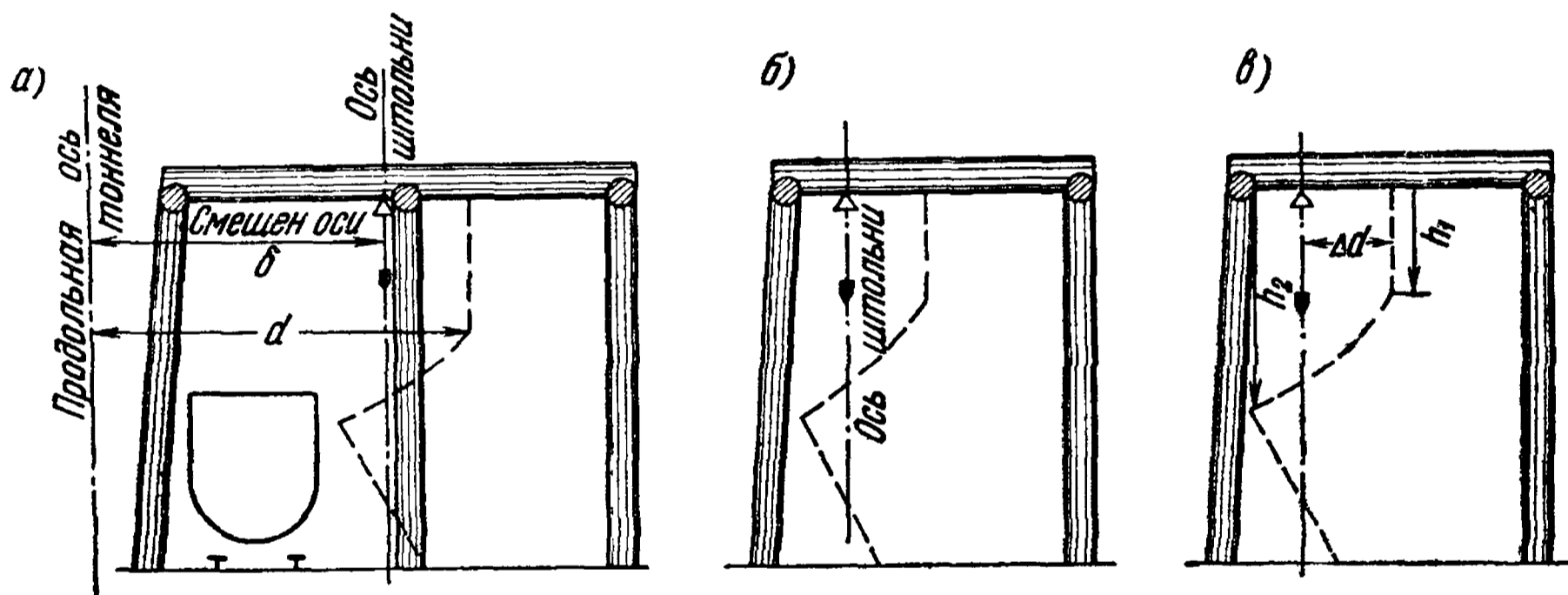


Рис. 99. Боковые штольни для сооружения стен тоннелей

Осевые и высотные разбивки выполняют через подходные штольни. При одной подходной штольне ограничиваются разбивкой оси в и с я ч и м 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 с м е щ а ю т на такую величину, чтобы осевые отвесы ее не попали в монолит стены. От смещенной оси контролируют положение лекал (рис. 99, 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.

§ 101. Передача оси и высотных отметок в верхний горизонт через фурнель

В верхних штольнях знаки маркшейдерской основы закладывают в редких случаях, так как проектную ось и высотные отметки передают из нижней штольни через вертикальные выработки — ф у р н е л и (рис. 100, а и б). При проходке фурнели в стенке ее закрепляют высотный костыль, у которого указывают высоту проходки до проектной отметки верха разработки.

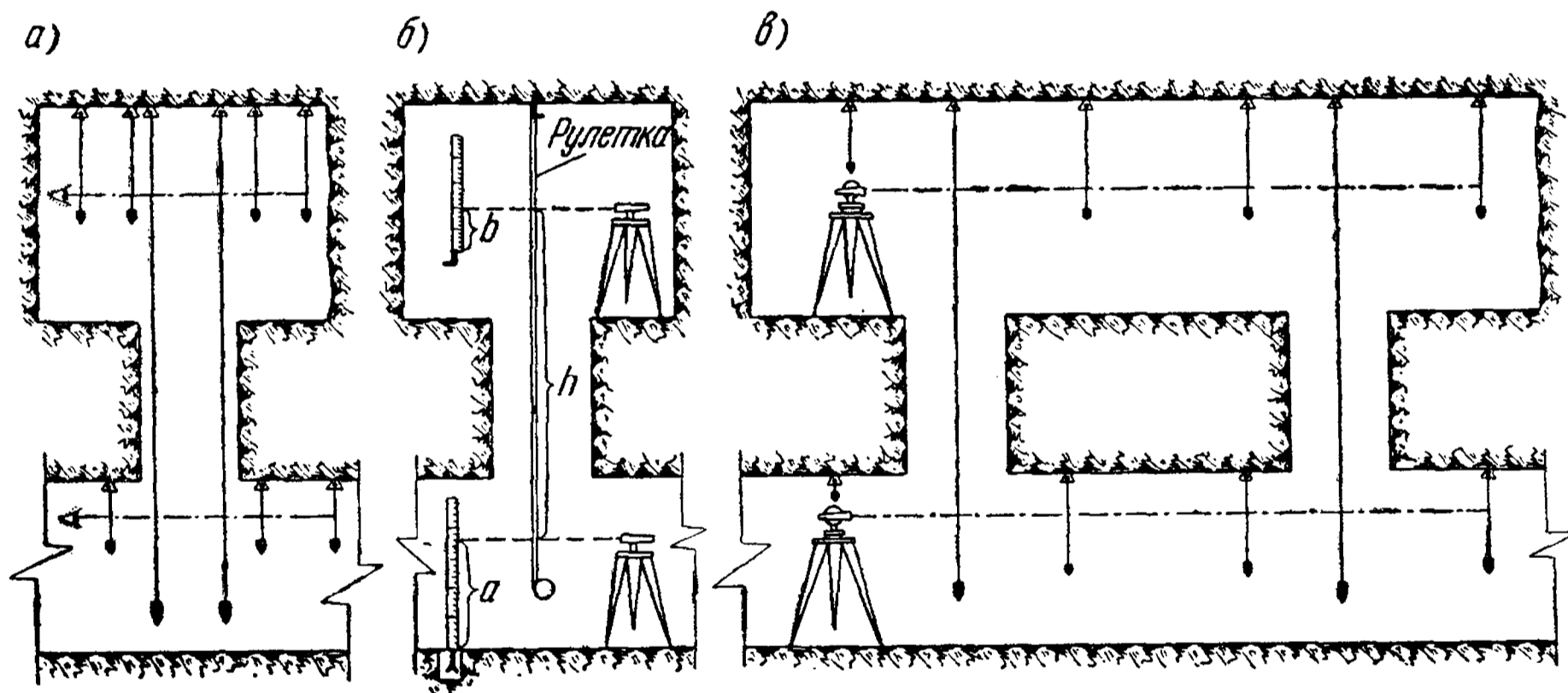


Рис. 100. Передача оси и отметок через фурнель в верхний горизонт

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 расположение самой фурнели относительно нижней штольни. Для удобства отгрузки породы верхних забоев проходят через каждые 5 м специальные породные фурнели из 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. 100, в).

§ 102. 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;

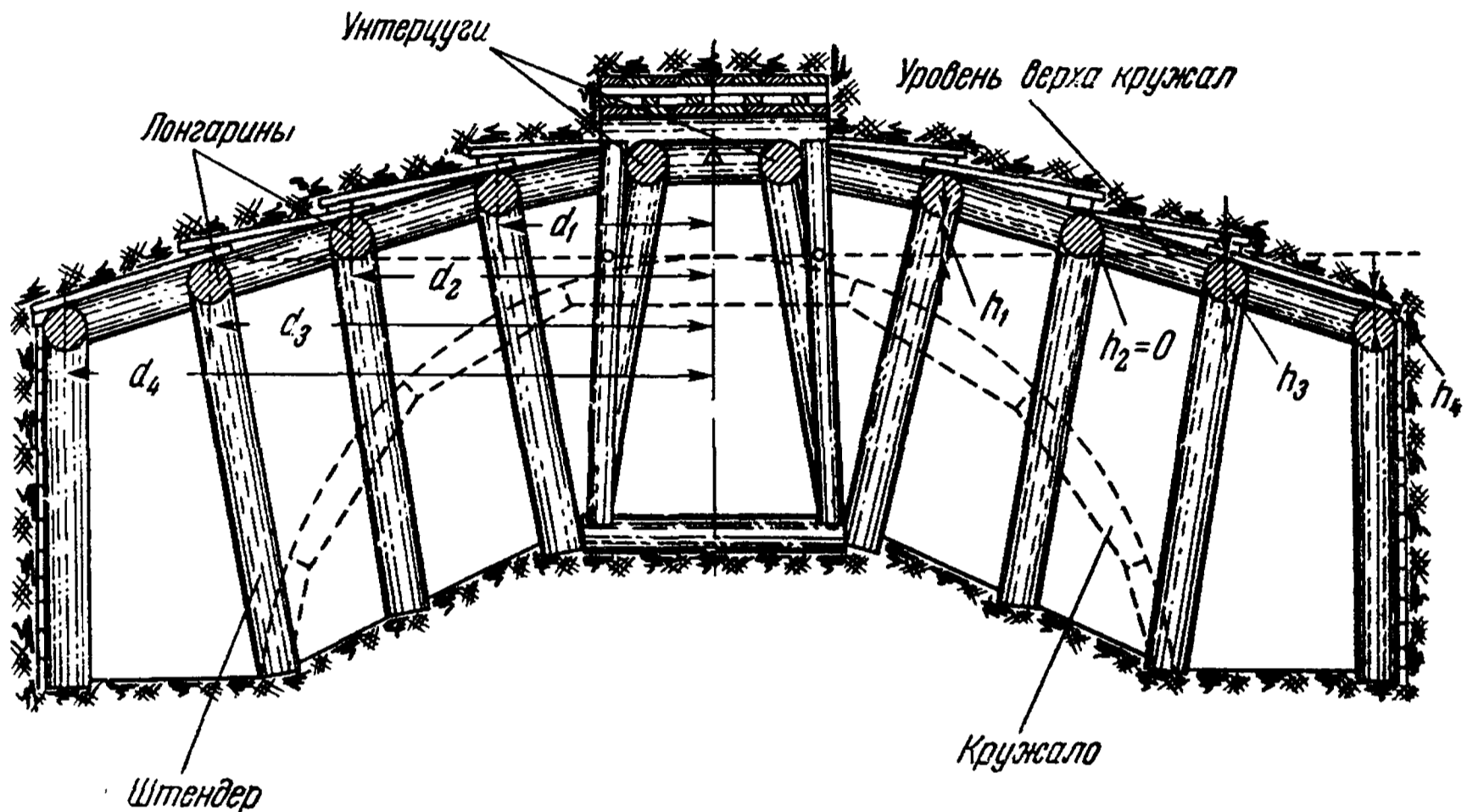


Рис. 101. Разбивка для разработки калотт

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. 101).

Схему разработки грунта 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 унтерцугов закрепляют маркшейдерскими гвоздями уровень верха кружал (низ свода).

При разработке грунта и установке очередной лонгарины (см. рис. 101) 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.

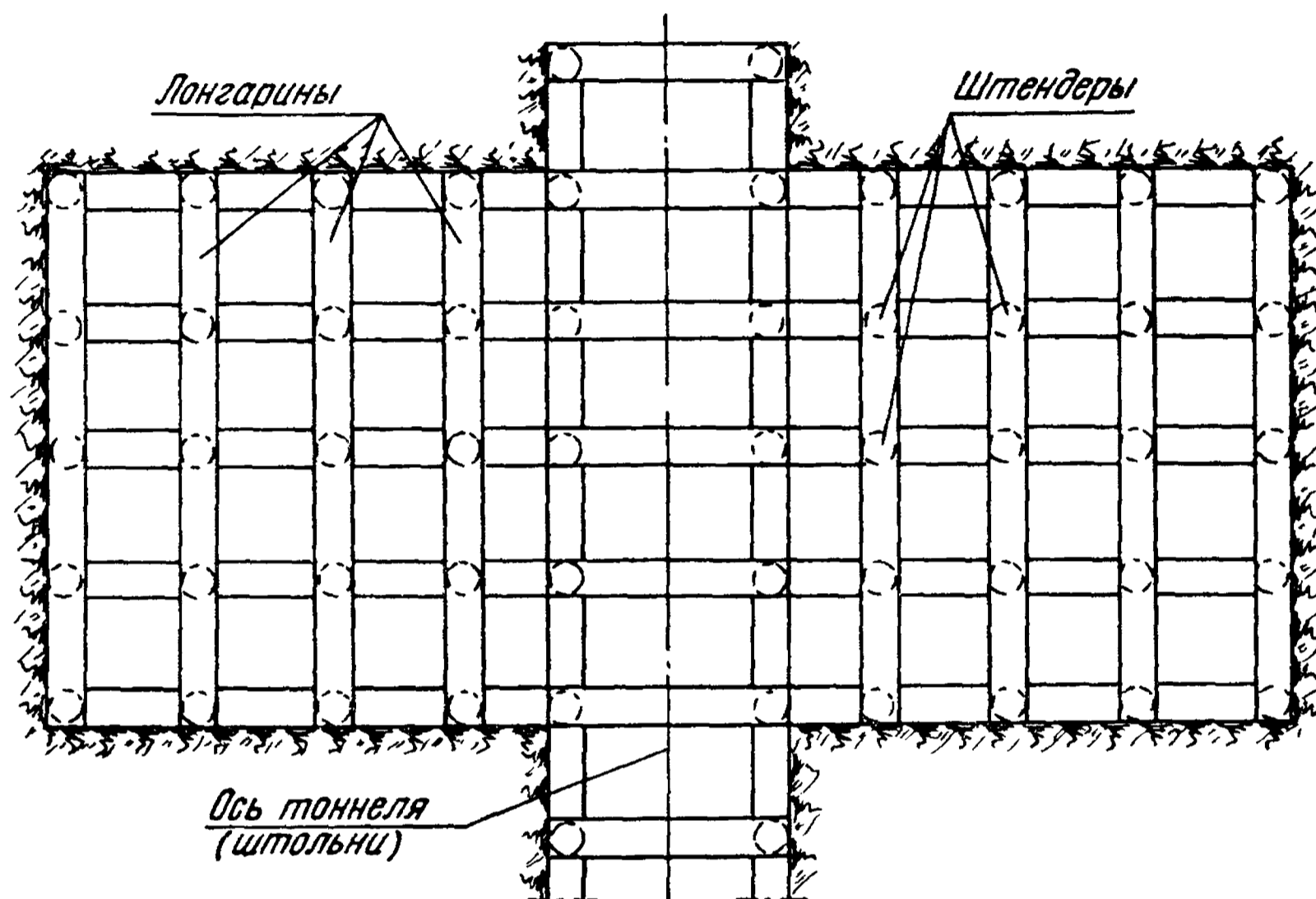


Рис. 102. План разработки калотты

Величины h и d взаимно связаны. Если сложившиеся обстоятельства заставят установить лонгарину с изменением d , то следует 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 устанавливаются в плоскостях, нормальных к оси тоннеля (рис. 102). Для этого по концам 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. 103) 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 обреза (концов) кружал, которые в дальнейшем сносят к подошве пяты, закрепляя

их на штендерах (рис. 103). Указанную разбивку (сноску) следует выполнять только с помощью отвесов, так как в условиях крепления

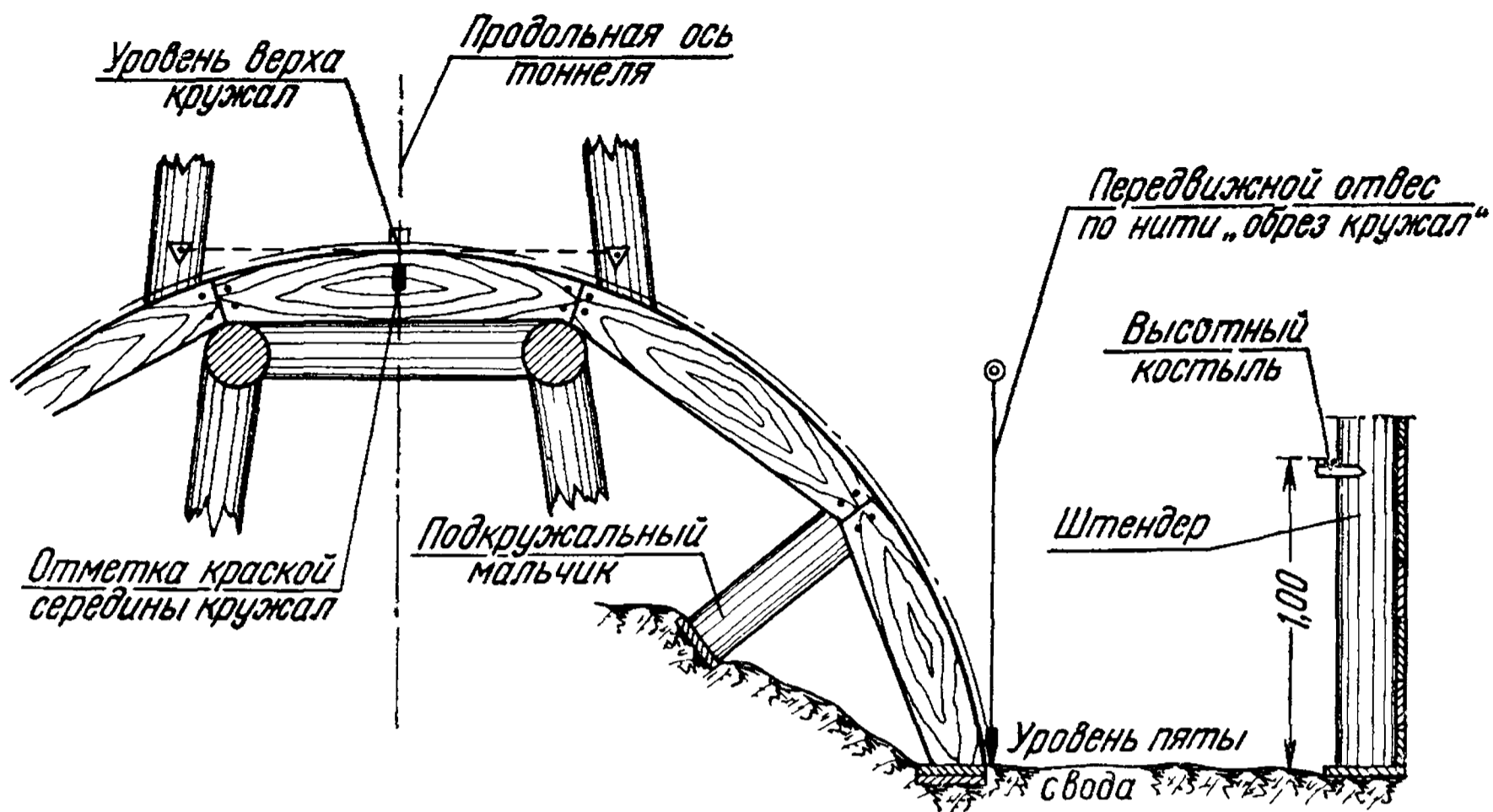


Рис. 103. Монтаж, установка и закрепление кружал свода

лонгаринами, находящимися в разных уровнях, и наклонными штендерами глазомерное определение вертикали может привести к ошибкам.

§ 103. 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. 104).

В тоннелях с круговым очертанием свода и вертикальными стенами проверяют также стрелу прогиба кружал. Для тоннелей с так называемым эллиптическим очертанием проверку ведут для каждой круговой кривой отдельно.

Каждое кружало после его приемки маркируют, а затем разбирают на такие звенья, габариты которых позволят транспортировать их в клетки, по подходным выработкам, фурнели и калотте, стесненным креплением.

Количество кружал в калотте соответствует количеству рядов штендеров, поддерживающих лонгарины (см. рис. 102). 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

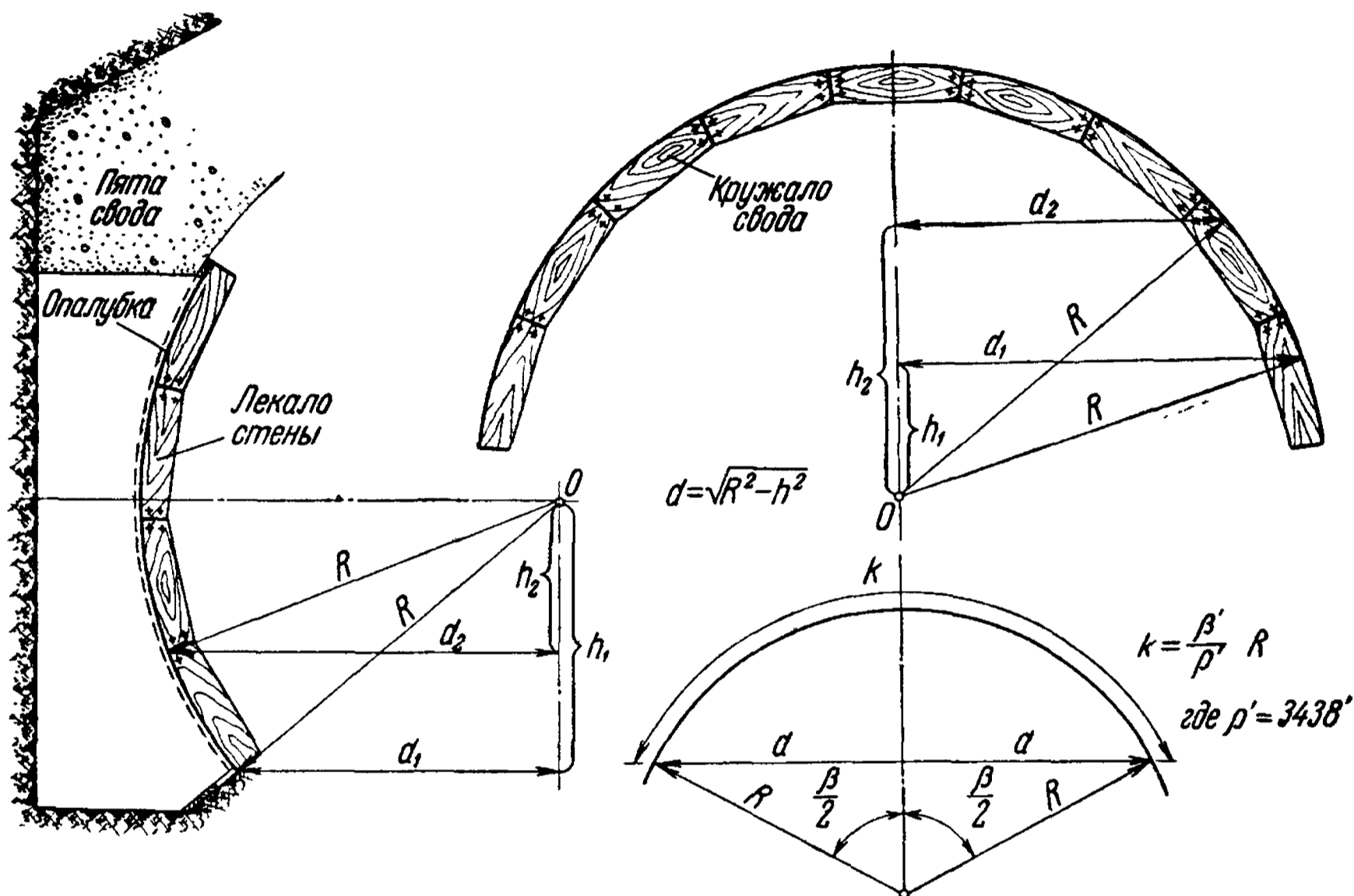


Рис. 104. Способы расчета кривых поверхностей свода и стен

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 обреза, 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. 103), 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. 104, 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 съежек профилей тоннеля. После съежки 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 счи-

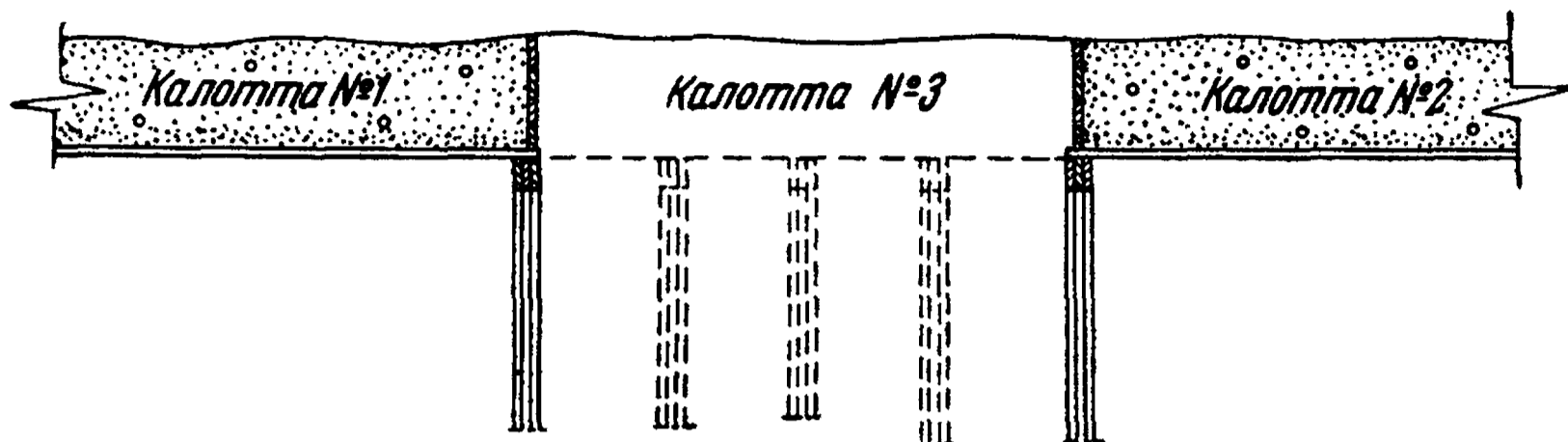


Рис. 105. Стыкование бетона сводов тоннелей

тают 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. 105).

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.

§ 104. Разбивки для лекал при бетонировании стен и лотка

До начала раскрытия боковых штросс должен быть составлен и утвержден график очередности их разработки. На рис. 106 показаны положение забетонированных сводов 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. 104). Крепление нижнего носка лекал обрывают 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.

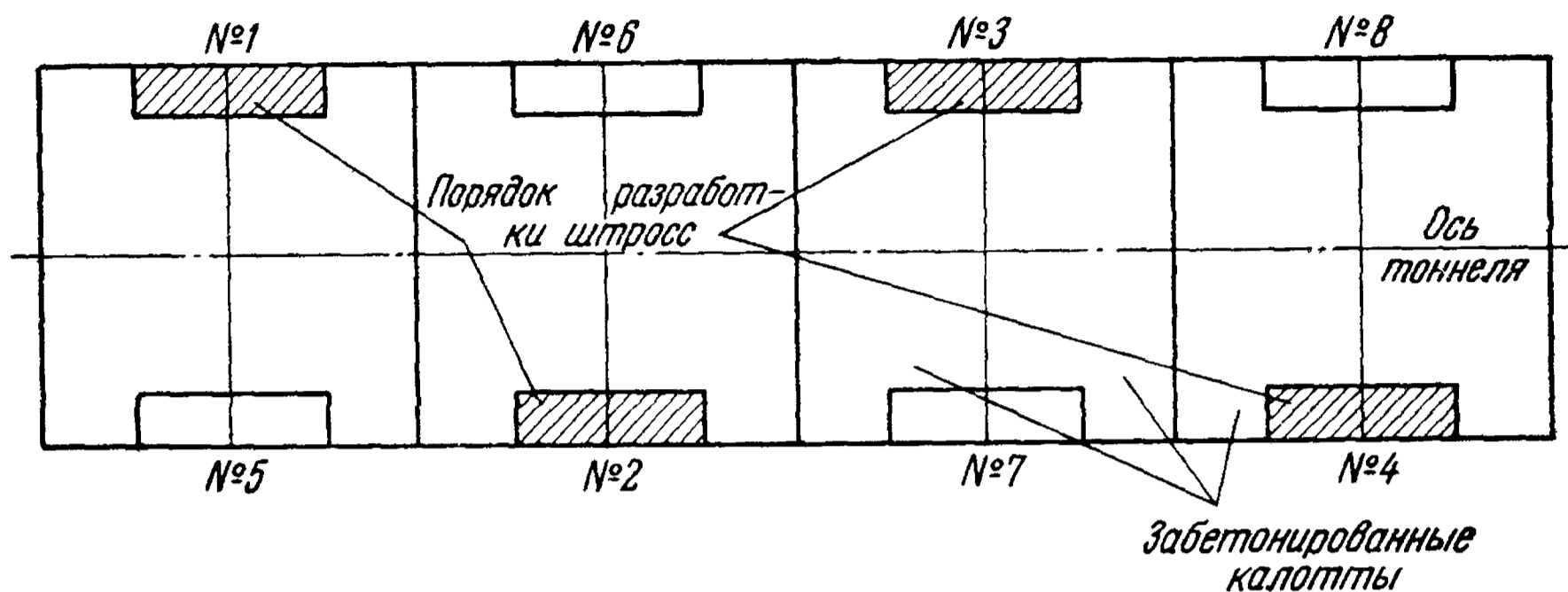


Рис. 106. Очередность разработки и бетонирования стен

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 противоположных 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.

§ 105. 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 уничтожаются знаки подземной полигонометрии, а новые знаки будут заложены только после сооружения железобетонной рубашки в тоннелях.

До начала работ в лотке тоннеля по оклейке гидроизоляции, укладке арматуры и бетонированию 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 10), 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.

§ 106. 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 в е р н о й к р е п и (рис. 107, 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 (см. § 102). По окончании разработки грунта выносят центры тоннеля и натягивают между ними проволоку, которой пользуются для установки кружал и лекал.

2. Разработка с к р е п л е н и е м п р о г о н а м и и б о к о - в ы м и ф е р м а м и (рис. 107, б) применяется в устойчивых грунтах

на коротких участках тоннелей, например при расчехках 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. 107, 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 про-

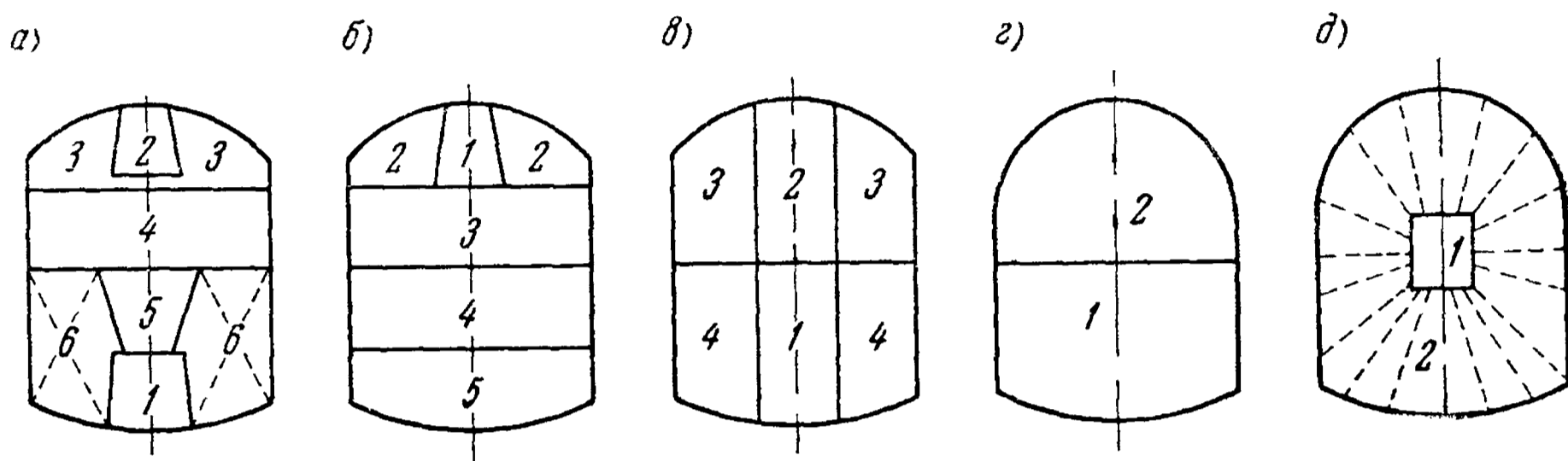


Рис. 107. Варианты разработок сечений тоннелей на полный профиль

филя 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. 107, 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. 107, 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.

§ 107. 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 (m^2), а затем умножением на длину (разность пикетов в метрах) вычисляют объем (m^3). Для криволинейных контуров составляют не менее трех сечений на коротком участке тоннеля (калотта, 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.

Контрольные вопросы:

1. Как передают ось и отметки в верхний горизонт?
 2. Какие необходимы разбивки для разработки калотт и бетонирования свода?
 3. В чем заключается контроль элементов крепления и опалубки под бетон?
 4. Как выносятся и закрепляется продольная ось тоннелей кругового очертания?
-

**МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ
ГОРНЫМ СПОСОБОМ СО СБОРНОЙ ОБДЕЛКОЙ**

**§ 108. 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

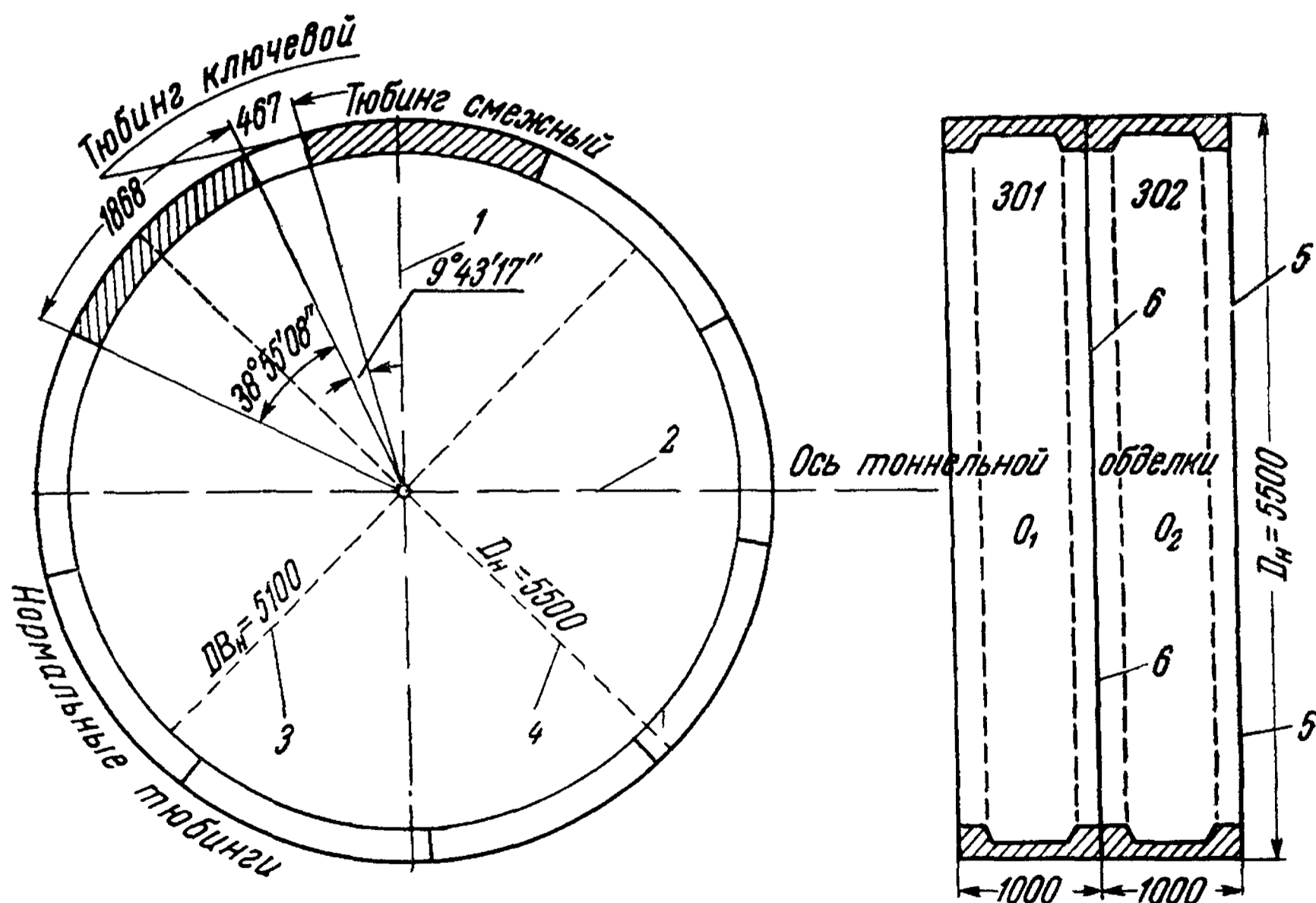


Рис. 108. Геометрические элементы тюбингового кольца

1 — вертикальный, 2 — горизонтальный диаметры кольца, 3 — правый, 4 — левый диагональные диаметры кольца, 5 — передняя, 6 — задняя плоскости кольца

шириной 0,75—1,00 м, которые в свою очередь состоят из отдельных сегментов или блоков. Как кольца, так и сегменты соединяют друг с другом болтами. Кольцо перегонного тоннеля метрополитена

имеет 10 тубингов *, 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. 108).

На рис. 109 показана типовая чугунная обделка с внутренним диаметром 5,10 м и наружным 5,49 м, применявшаяся на строитель-

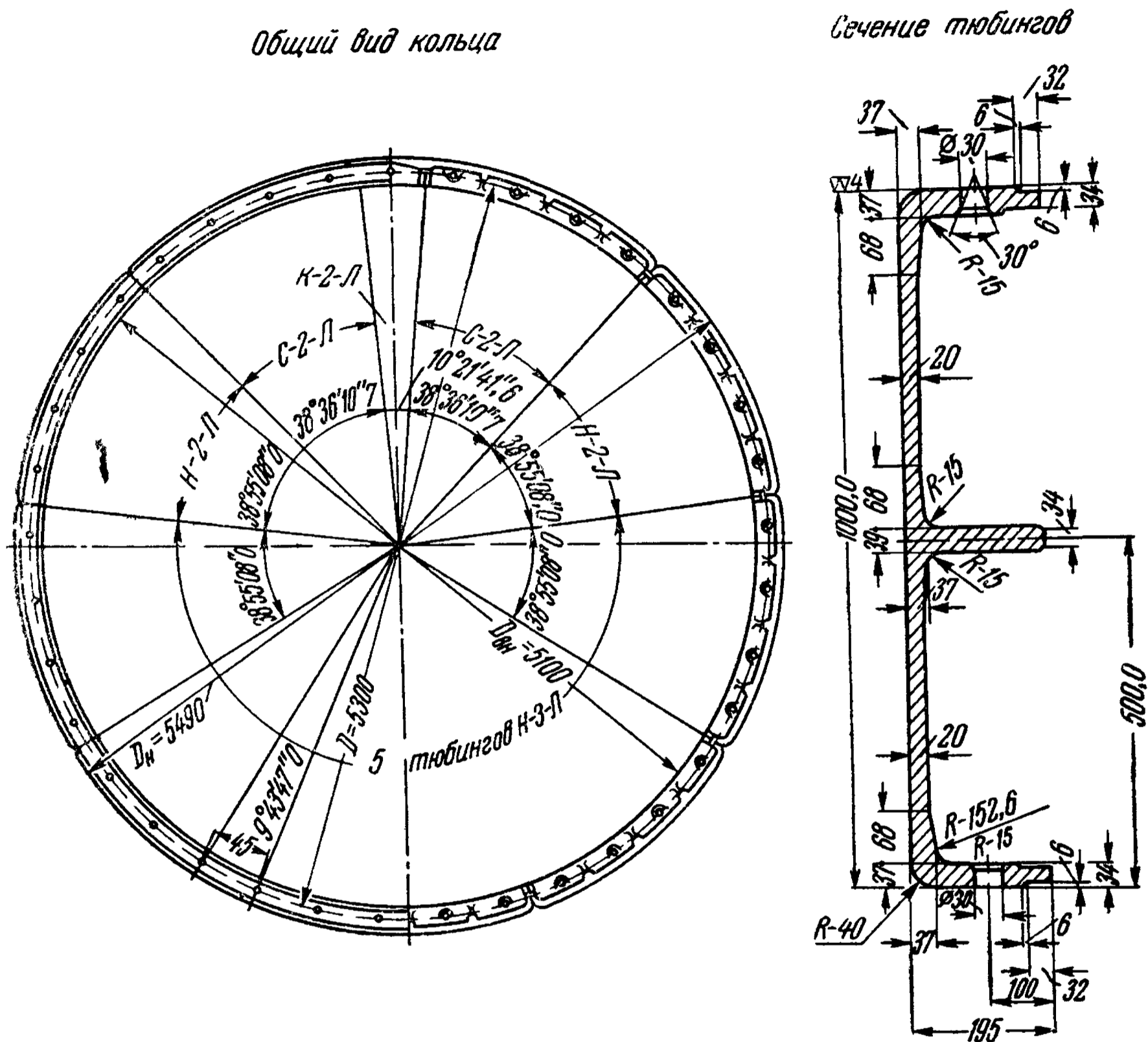


Рис. 109. Чугунная тубинговая обделка перегонного тоннеля

стве Ленинградского метрополитена. Ширина кольца обделки 100 см, высота ребра 20 см. Кольцо состоит из 10 тубингов 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 тубингов (тринадцати нормальных, двух смежных и одного ключевого). Тубинги скреплены между собой болтами. В последнее время запроектированы и нашли широкое применение сборные железобетонные тоннельные обделки без креплений болтами.

* Тубинг — чугунный или железобетонный сегмент тоннельной обделки.

§ 109. 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. 110) 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

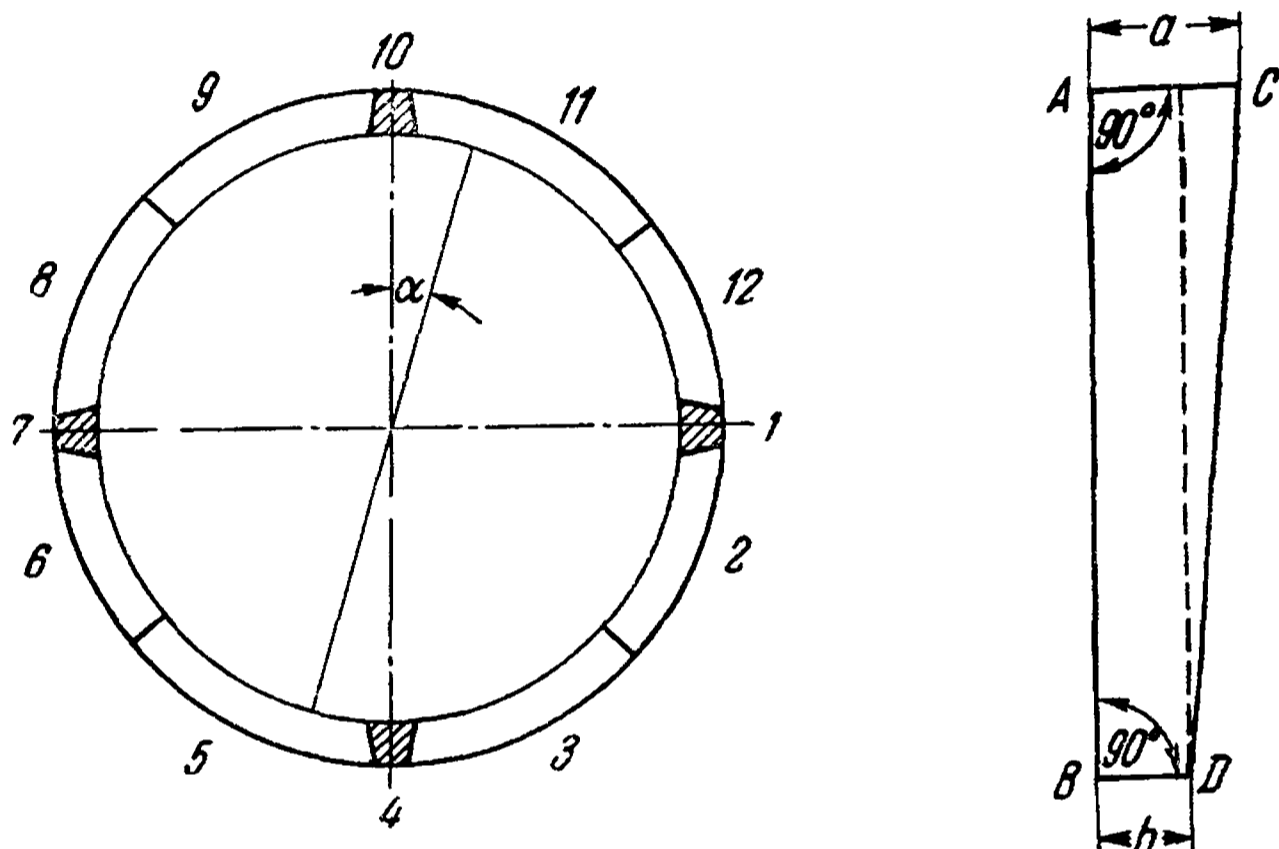


Рис. 110. Схема клиновидного (конического) кольца

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. При повороте такого кольца на угол α вертикальное и горизонтальное опережение станут другими и определятся по формулам:

$$p = t \cos \alpha;$$

$$q = t \sin \alpha.$$

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 L 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.

§ 110. 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. 111), 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 большим. От направления 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 полук для установки инструмента в точке C , инструмент и светящийся сигнал смещают в точки B' и A'' , расположенные в створе следующей хорды CD . Смещения $b = BB'$ и $a = A'A''$ определяют по формулам:

$$b = K \sin \alpha_1;$$

$$a = b + L \sin \alpha_1,$$

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. 111 показана разбивка направления хорды DE с ПЗ 48. Установив инструмент над ПЗ 48, откладывают угол β , определяемый как разность дирек-

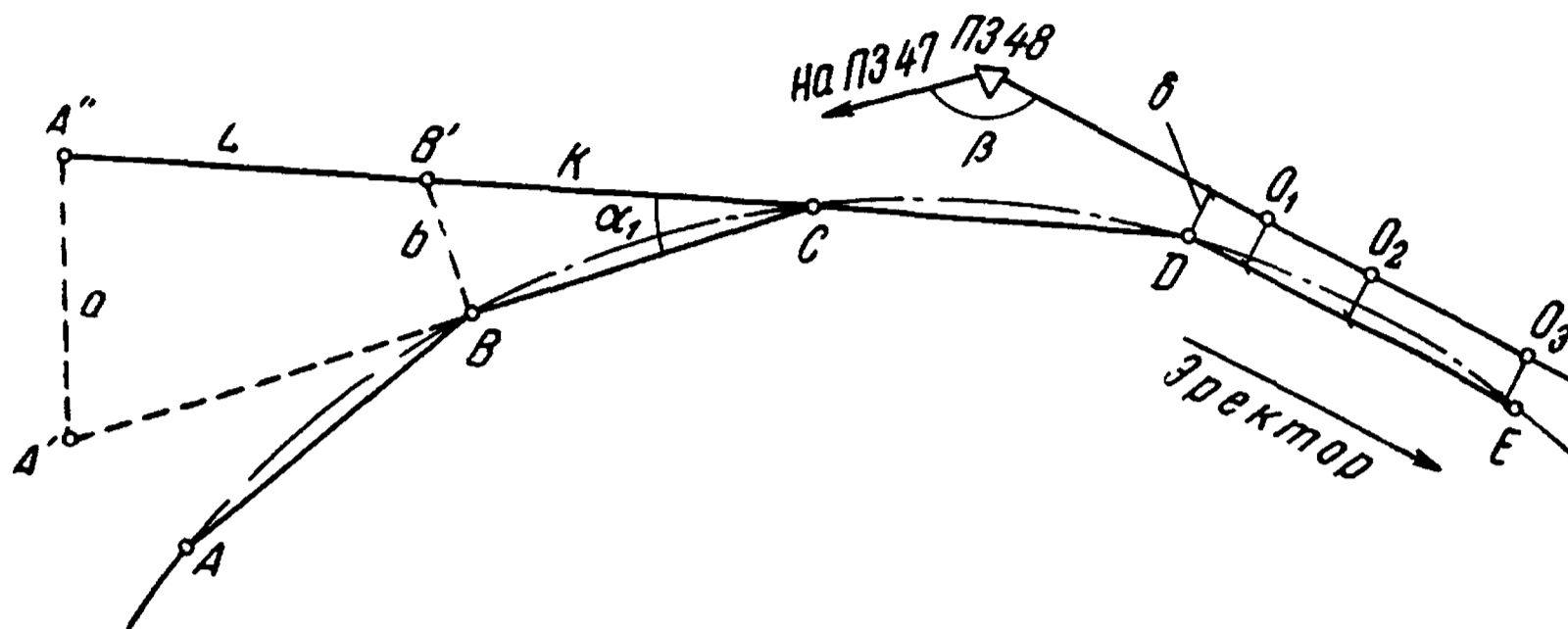


Рис. 111. Разбивка оси тоннеля на кривых участках

ционных 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, \dots задаются при двух положениях круга теодолита. По заданным осевым отвесам производится укладка и съемка колец в плане в пределах хорды DE .

§ 111. 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 главе 12. Первые, нижние сегменты прорезных колец устанавливаются 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 ошибки 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 тубингах белой масляной краской. Данные по определению геометрических элементов колец относят к передней по ходу пикетажа плоскости кольца.

§ 112. 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. 112), 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 тубинги 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 геометрию

ческую форму тоннельного кольца из неочищенных трубных 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.

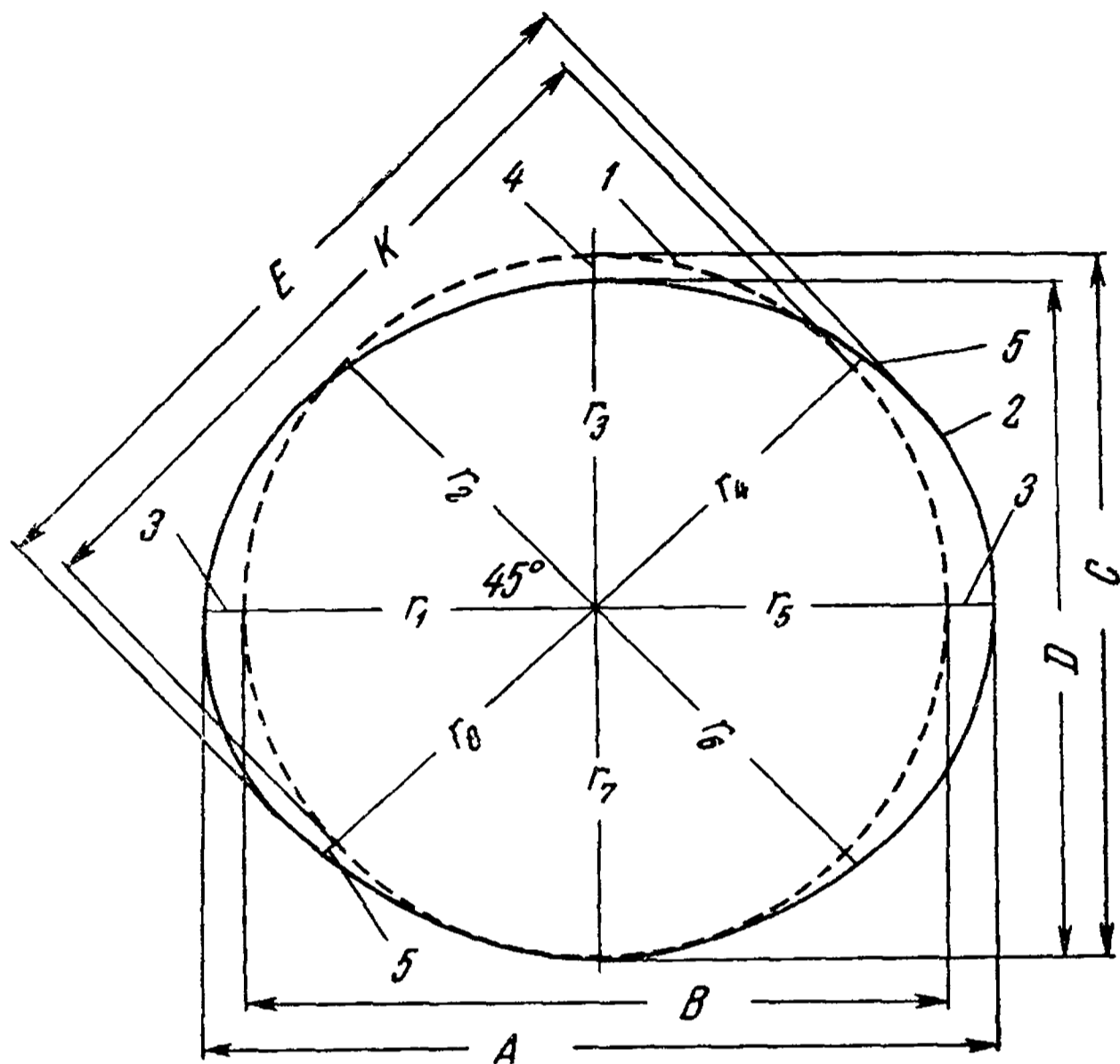


Рис. 112. Эллиптичность кольца

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.

§ 113. Съёмка 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

$$\Delta h_{\text{лотка}} = r - r_7;$$

отклонение свода кольца в профиле

$$\Delta h_{\text{свода}} = r_3 - r;$$

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. 112).

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 главе 10. 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. 113). 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:

$$m_{\text{пр}} = b + a - \frac{D}{2},$$

$$m_{\text{лев}} = \frac{D}{2} - (a + b),$$

$$m = \frac{R_{\text{пр}} - R_{\text{лев}}}{2},$$

где m — величина смещения центра кольца в плане, D — измеренная величина горизонтального диаметра, a — расстояние от смещенной оси до внутреннего ребра жесткости тубинга, b — расстоя-

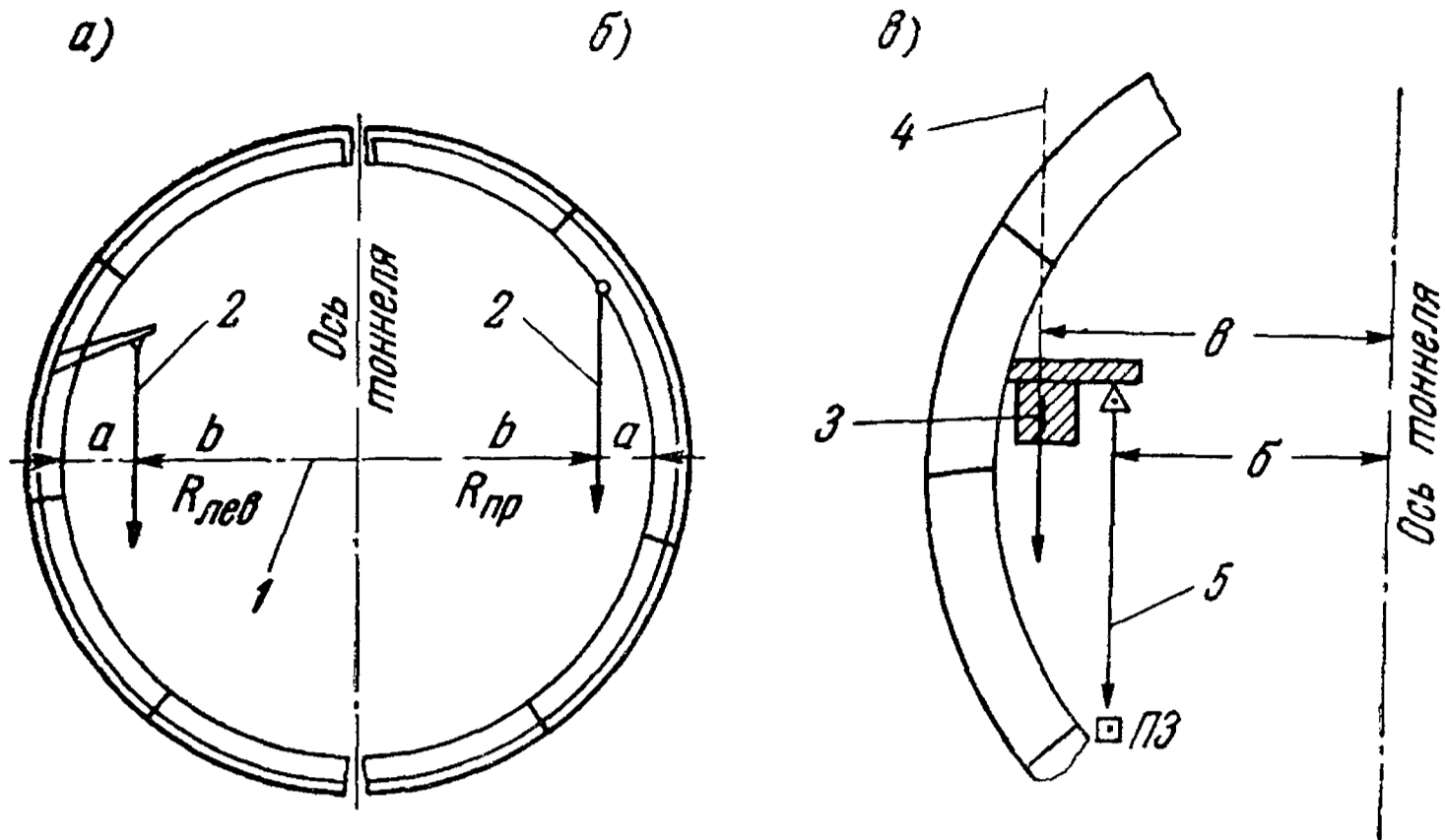


Рис. 113. Схема определения положения центра кольца в плане:

a — смещенная ось в левой стороне, b — смещенная ось в правой стороне от оси тоннеля, 1 — горизонтальный диаметр, 2 — смещенная ось, 3 — световой сигнал, 4 — смещенная ось, 5 — отвес над полигонометрическим знаком

ние 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.

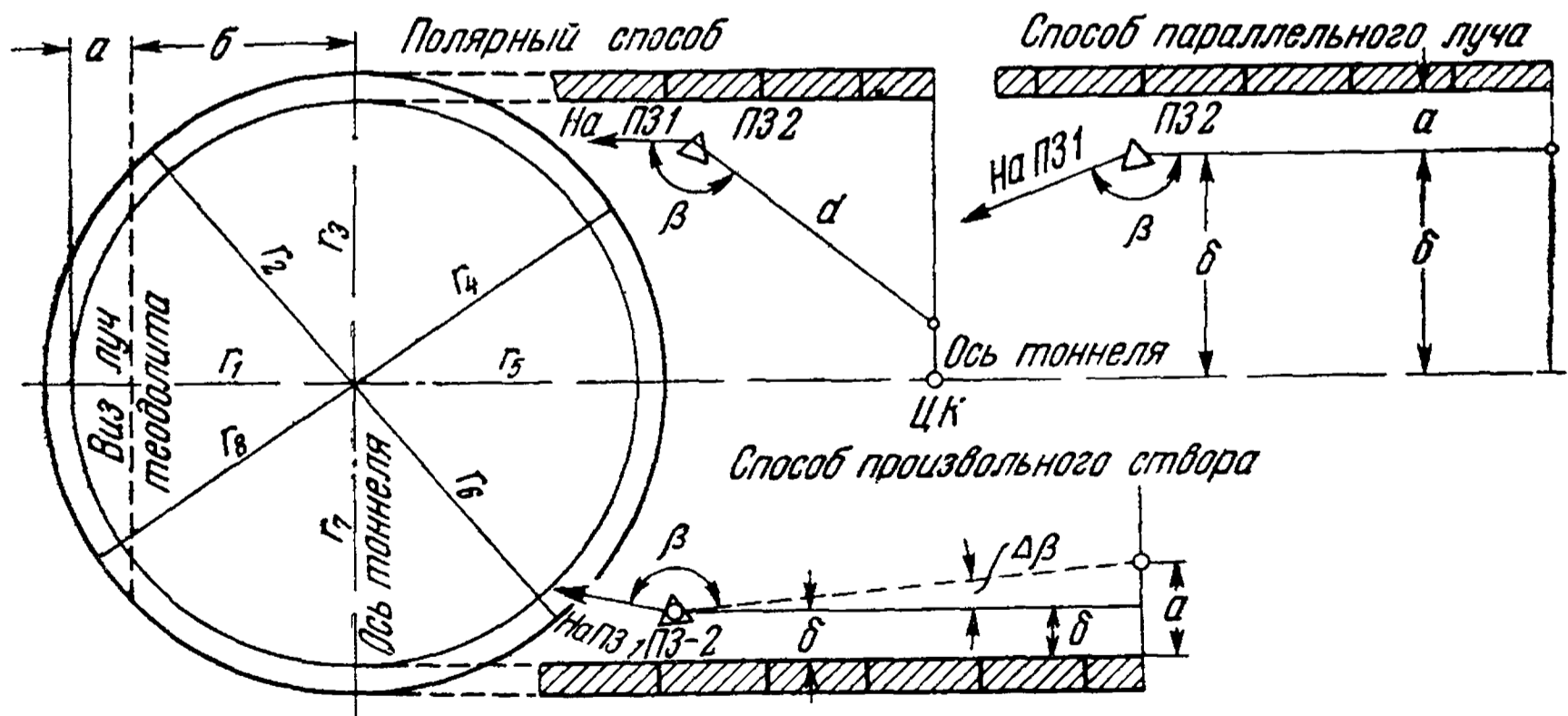


Рис. 114. Инструментальная съемка колец в плане

Инструментально непосредственно с пункта полигонометрии съемку колец в плане можно произвести (рис. 114) 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 удастся 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 полигонометрическом знаке, трубу которого устанавливают по направлению трассы путем откладывания угла

$$\beta = \alpha_{\text{ПЗ 2-ПЗ 1}} - \alpha_{\text{трассы}}$$

Домер a отсчитывают при помощи зрительной трубы по нивелирной рейке, горизонтально приложенной к ребру кольца 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. 114).

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 — домер до ребра кольца; $\Delta\delta$ — поправка в величину δ , вычисляемая по формуле

$$\Delta\delta = d \operatorname{tg} \Delta\beta,$$

где d — разность пикетных значений определяемого кольца и полигонометрического знака; $\Delta\beta$ — разность дирекционных углов направления произвольного створа и трассы.

В формулах для смещений 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 тубинга, 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 пикетажа колец, составляющее при укладке чугунных тубингов величину порядка 0,7—1,0 мм, 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. Это 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 отклонение 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.

Контрольные вопросы:

1. Из каких геометрических элементов состоит тубинговое кольцо тоннельной обделки?
 2. Что такое клиновидное кольцо и для чего оно применяется?
 3. Как разбивается продольная ось тоннеля на кривых участках?
 4. Что такое прорезные кольца и какие требования к ним предъявляются при разбивке?
 5. Что такое эллиптичность кольца, причины ее возникновения и способы устранения?
 6. Как производятся съемки колец в плане и профиле?
-

ВЕДЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОННЕЛЬНОГО ЩИТА ПО ТРАССЕ

§ 114. 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. 115) 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 укреплено 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 6,15 м, длина щита поверху равна 4,97 м, понизу — 4,57 м, вес 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 9,75 м, хвостовой части 9,74 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. Вес 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 тоннеля; в) проектной отметкой условного горизонта, связанного с центром щита.

Щит монтируют на направляющих рельсах или на бетонном основании. Направляющие рельсы устанавливаются 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. 116) 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.

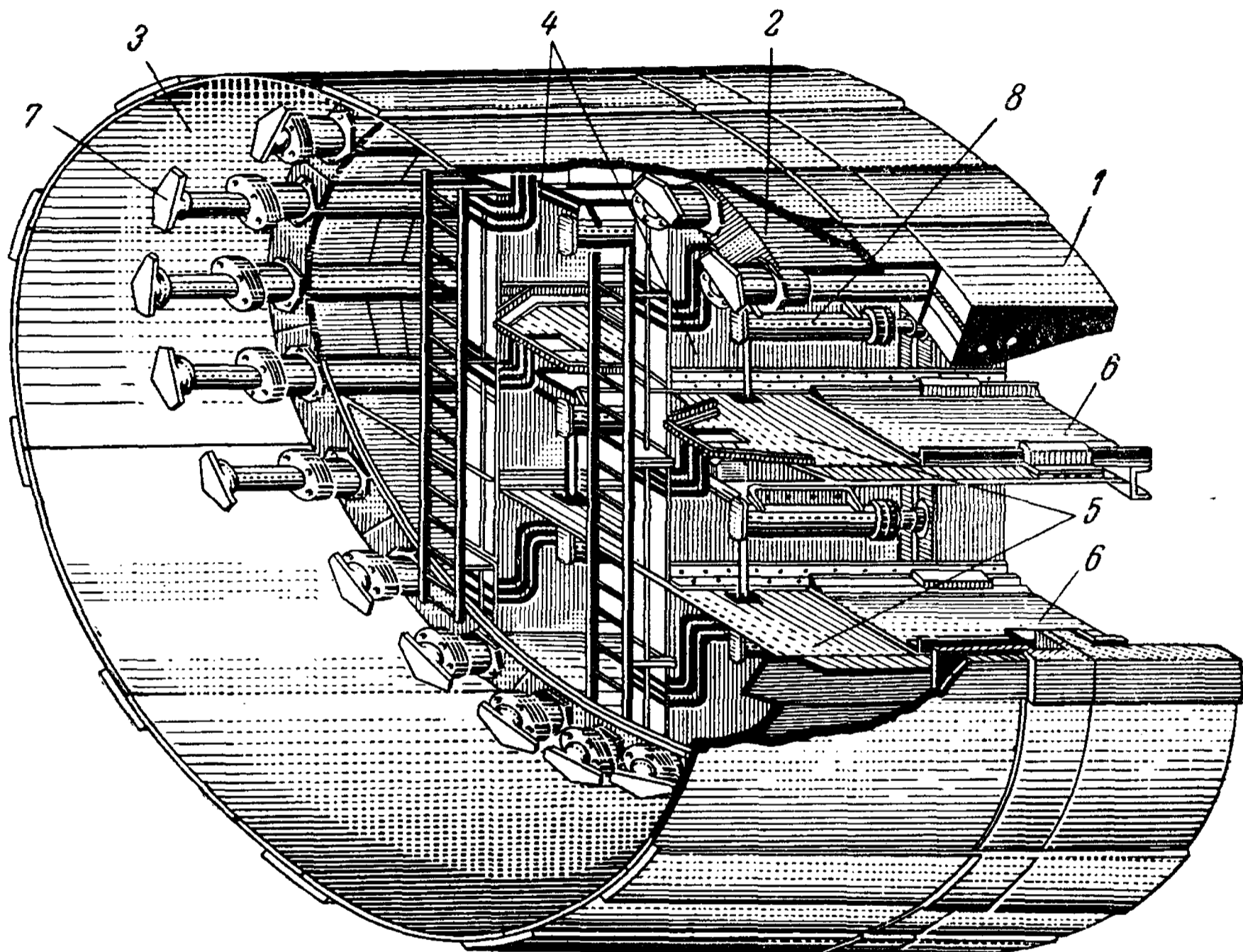


Рис. 115. Общий вид проходческого щита

1 — нож, 2 — опорное кольцо, 3 — оболочка, 4 — вертикальные перегородки, 5 — горизонтальные перегородки, 6 — выдвижные платформы, 7 — щитовые домкраты, 8 — забойные домкраты

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 (рис. 116).

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.

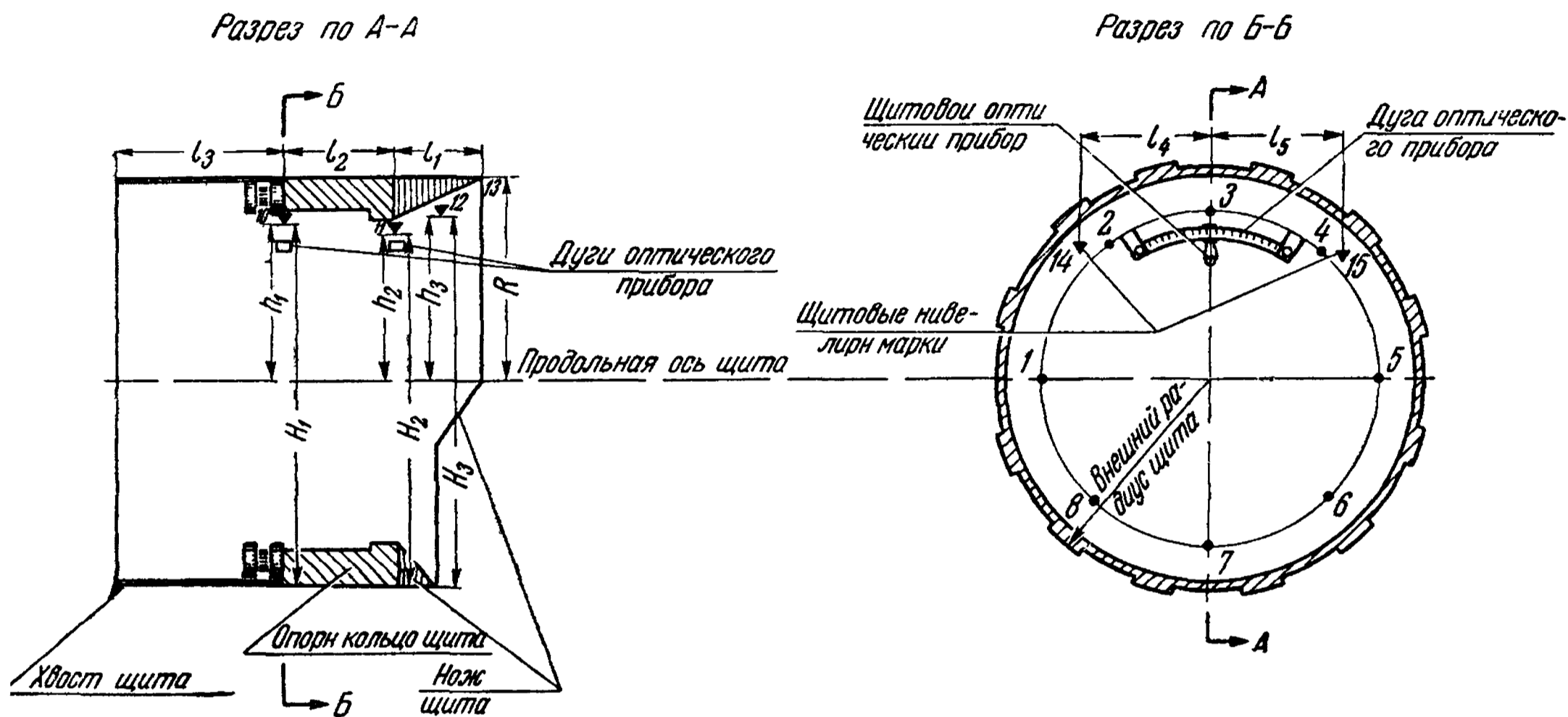


Рис. 116. Схема маркшейдерских измерений на щите и расположение маркшейдерских знаков

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. 116); 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 разрешается: а) разработка забоя по всему периметру на величину передвижки в средних и твердых породах; б) очистка лотка тоннеля перед ножом; в) замыкание последнего кольца тоннельной обделки; г) установка и затяжка всех болтов в кольцах тубинговой обделки; д) наличие

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 отклонения 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.

§ 115. 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 также 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. 116). Поправку в положение знака относительно оси щита за поперечный уклон вычисляют по формуле

$$m_p = \frac{rh}{a},$$

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. 117), 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 поперечного уклона острие отвеса сместится с нулевого деления и по шкале можно будет сделать отсчет (см. рис. 117). 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 отсчеты по рейкам (в положение знаков) за поперечный уклон равна

$$m_p = r \sin \alpha,$$

где r — расстояние от центра щита до реек.

Подставляя значение $\sin \alpha$, получим

$$m_p = b \frac{r}{D}.$$

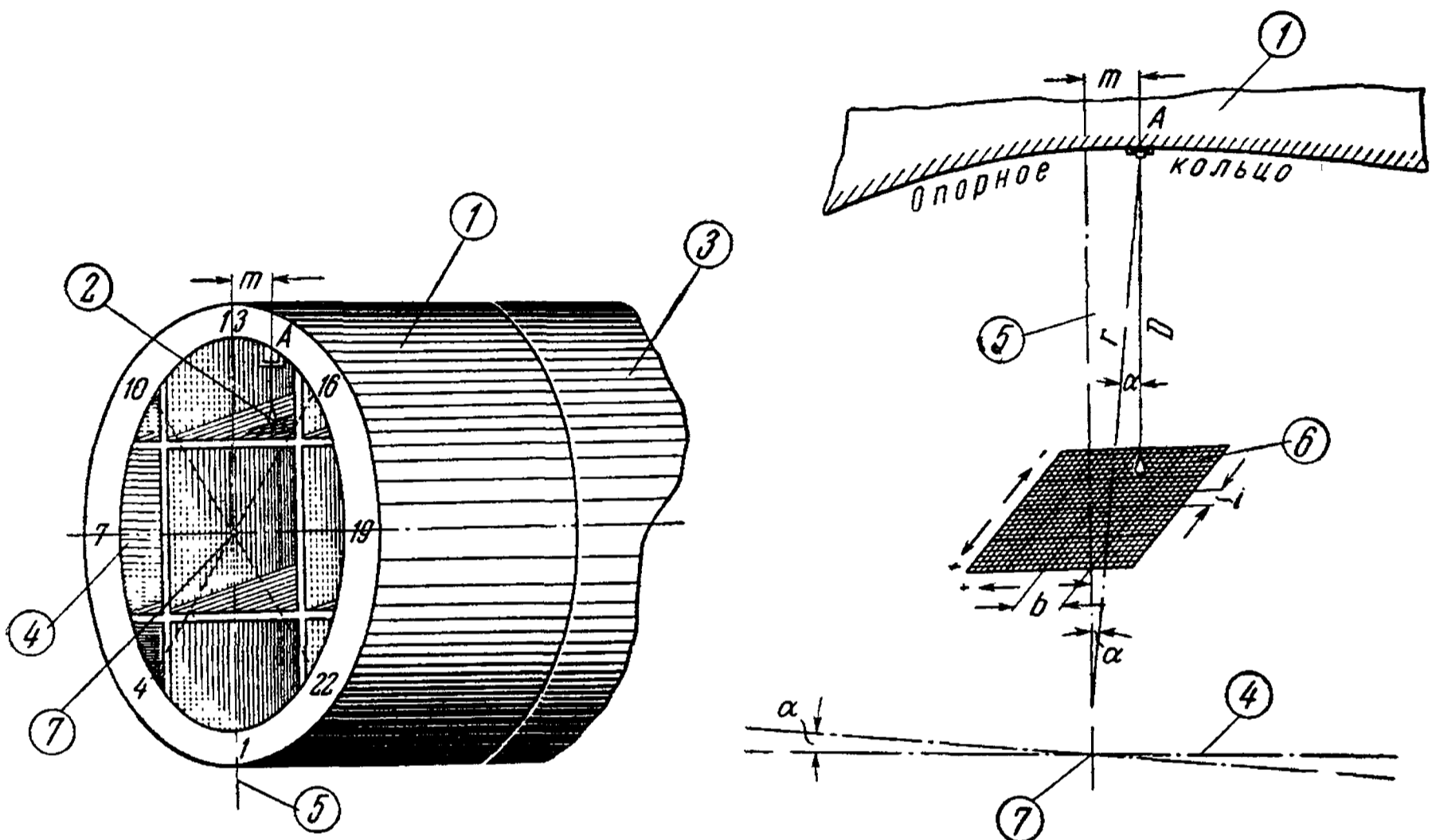


Рис. 117. Схема определения поперечного и продольного уклонов щита

1 — опорное кольцо, 2 — уклономер, 3 — нож щита, 4 — горизонтальный диаметр щита; 5 — вертикальный диаметр щита; 6 — плоскость с градуированными делениями, 7 — центр щита

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 $\frac{5 \text{ мм}}{1,44} = 3,5 \text{ мм}$.

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.

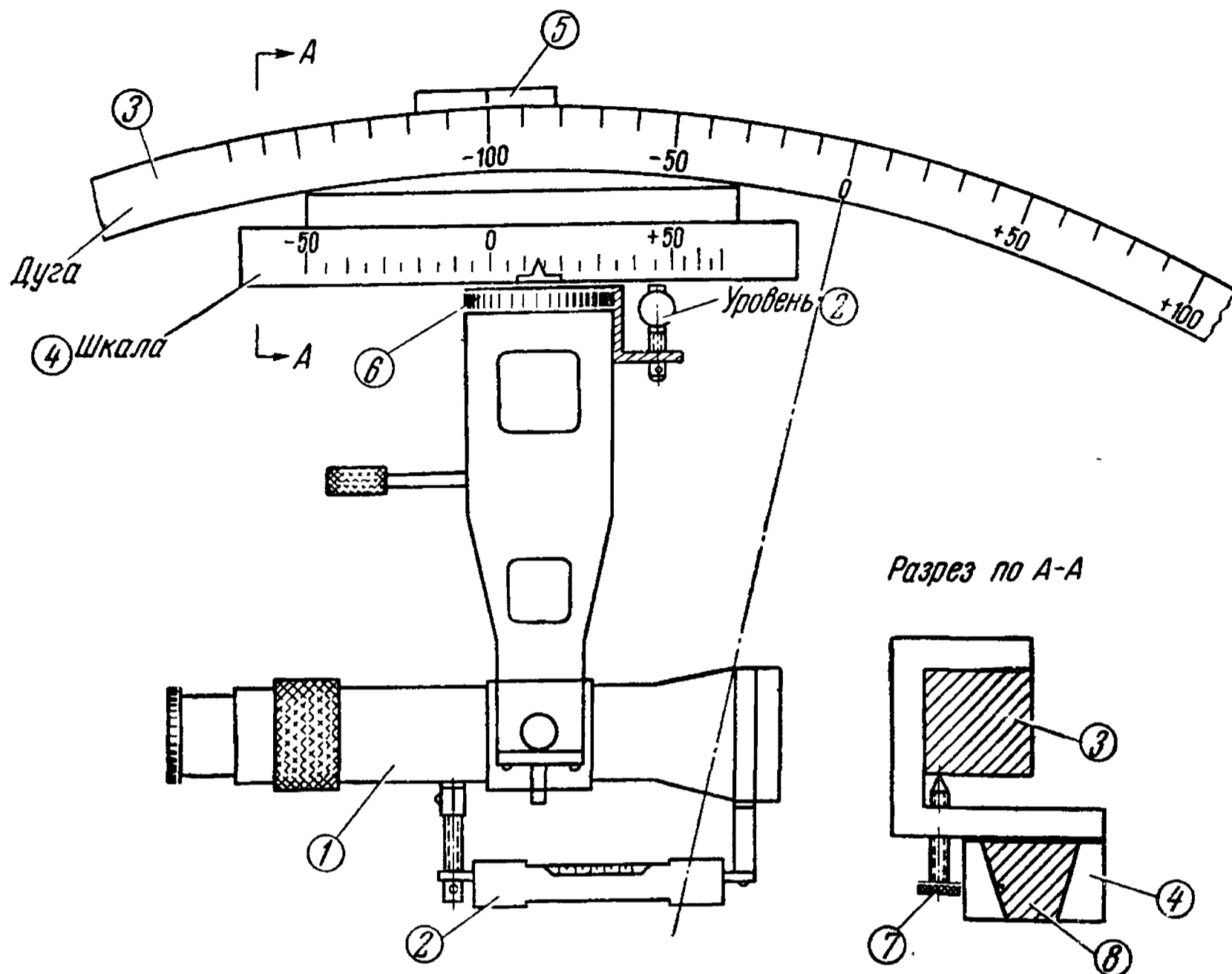


Рис. 118. Оптический щитовой прибор с дугой

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

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. 118). 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.

§ 116. 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 тубингов 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.

Все геодезическо-маркшейдерские работы, связанные с ведением щита, базируются на подземной маркшейдерской основе. 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

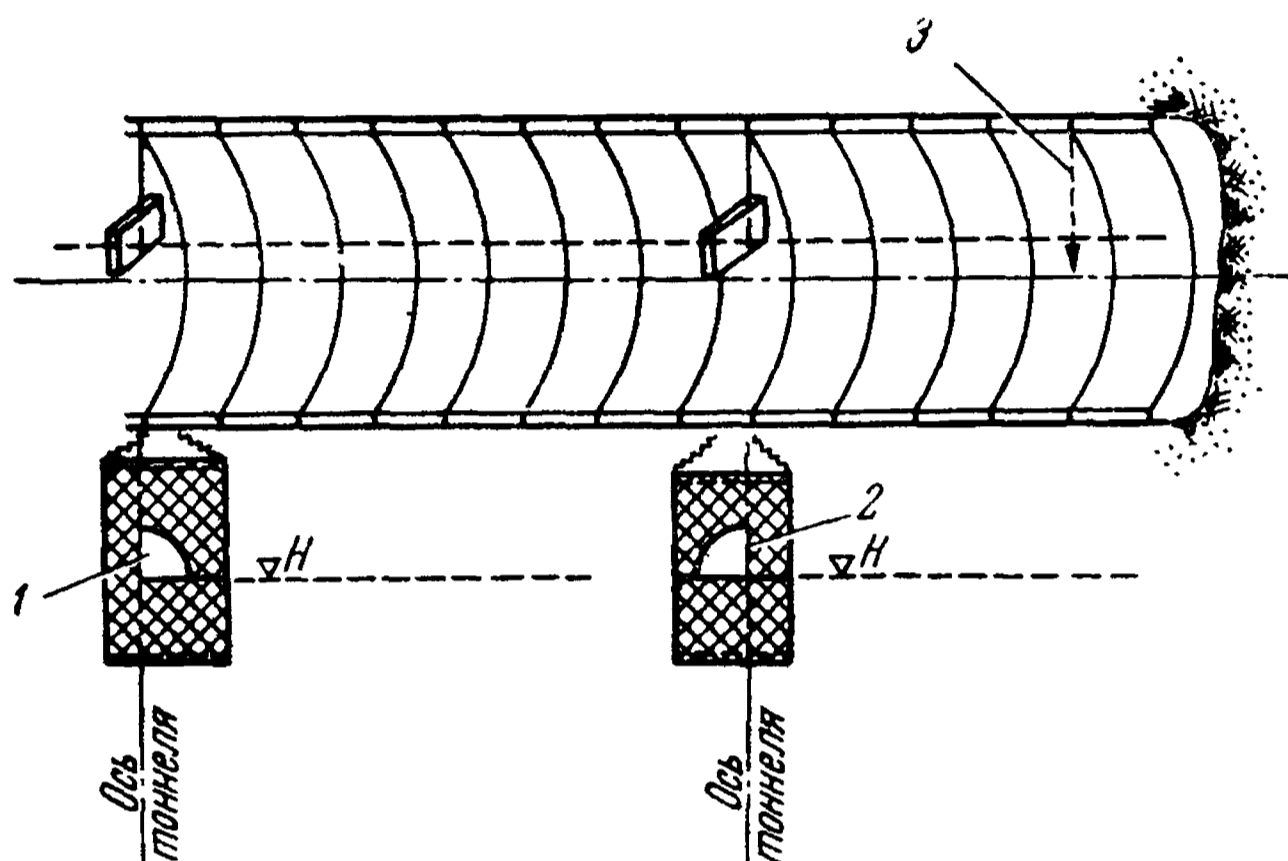


Рис. 119. Устройство световых сигналов в тоннеле

1 — задний сигнал красный 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

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. 118) 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. 119). 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. 118); 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 отклонение 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. 120) по следующим формулам:

отклонение хвоста

$$x_1 = x_2 + (x_2 - x_3) \frac{l_3}{l_2};$$

отклонение ножа

$$x_4 = x_3 + (x_3 - x_2) \frac{l_1}{l_2},$$

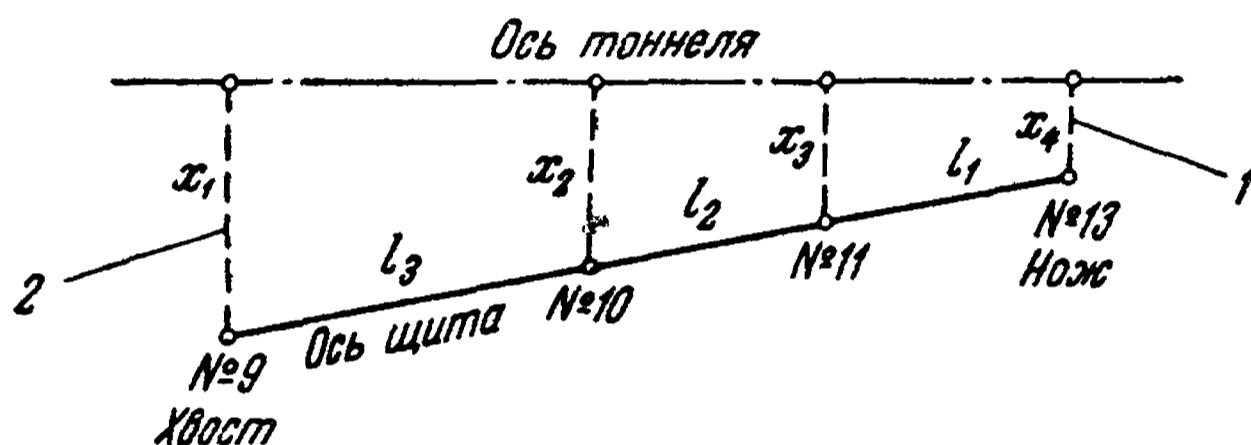


Рис. 120. Схема экстраполяции отклонений для ножа и хвоста щита

где l_1 , l_2 , l_3 — известные расстояния между осевыми знаками и конечными точками щита; x_2 , x_3 — полученные отклонения 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, устанавливаемый 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 участках. 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.

§ 117. Способы определения положения щита в плане на участке 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 получают 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. 121), имеется 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 трубу 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 B и A 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. 118 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 вторую дугу и производят те же

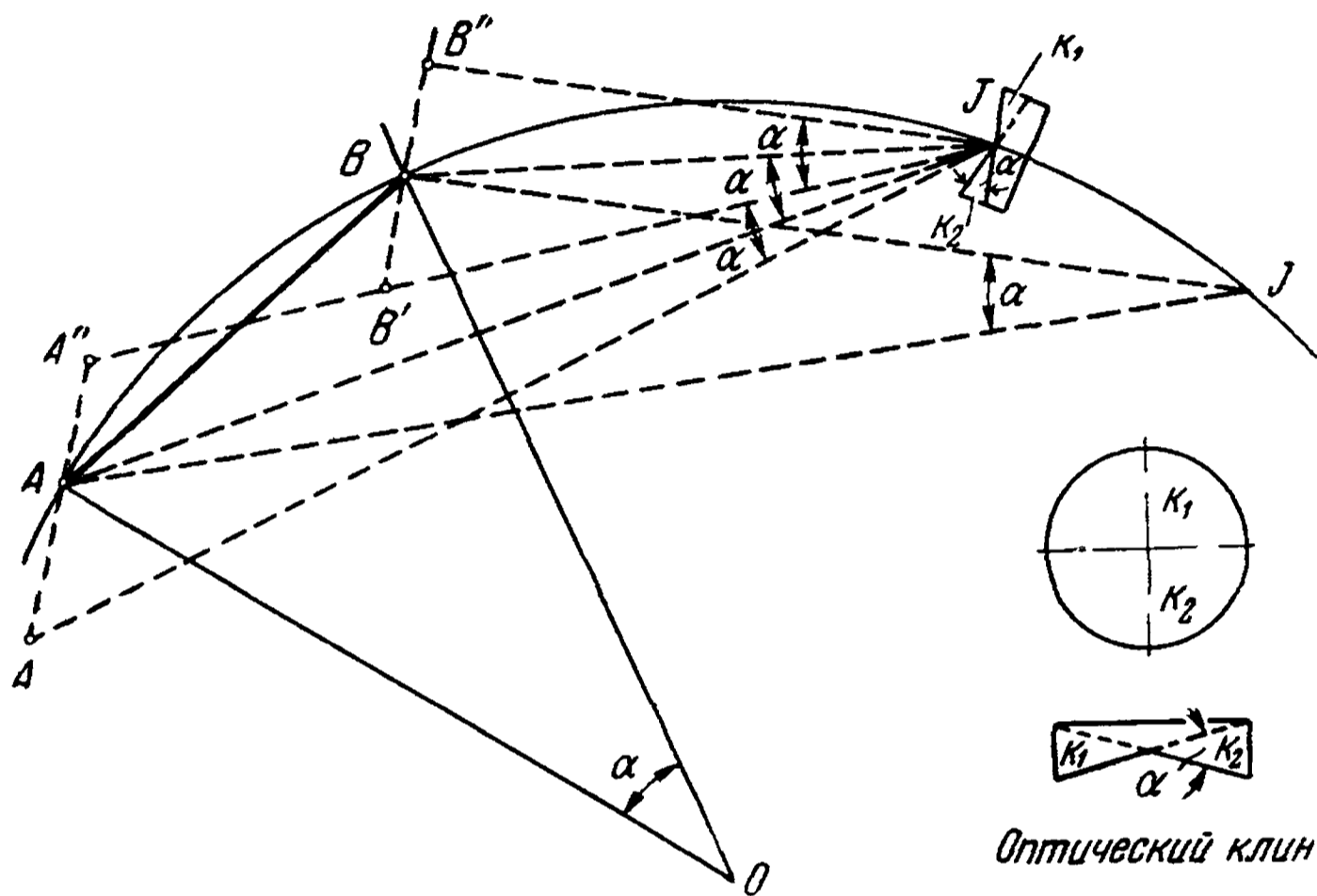


Рис. 121. Схема работы с оптическим клином на кривой

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 его угла оптическим теодолитом типа ОТС или ТБ-1. Угол оптического 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

$$S = 2R \sin \alpha.$$

Для ведения щита при помощи трубы с оптическим клином предварительно рассчитывают установку сигналов в готовом тоннеле. Для ведения щита в начальной части кривой сигналы располагают на прямолинейном участке тоннеля. При расчете их установки в этом случае кривую условно продолжают назад.

§ 118. 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. 116). Зная расстояния между этими знаками и оболочкой щита (H_1, H_2, H_3) 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 оболочки щита.

Продольный уклон щита определяют при помощи отвеса-уклономера аналогично тому, как это описано выше для поперечного уклона щита (см. рис. 117). Деления шкал уклономера рассчитывают так, чтобы их можно было подписать в тысячных долях уклона. 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 своего веса 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 удастся вывести щит на проектную отметку с помощью домкратов, приходится предварительно устраивать специальную бетонную или железобетонную подушку.

§ 119. 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 минут) 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. 122). 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

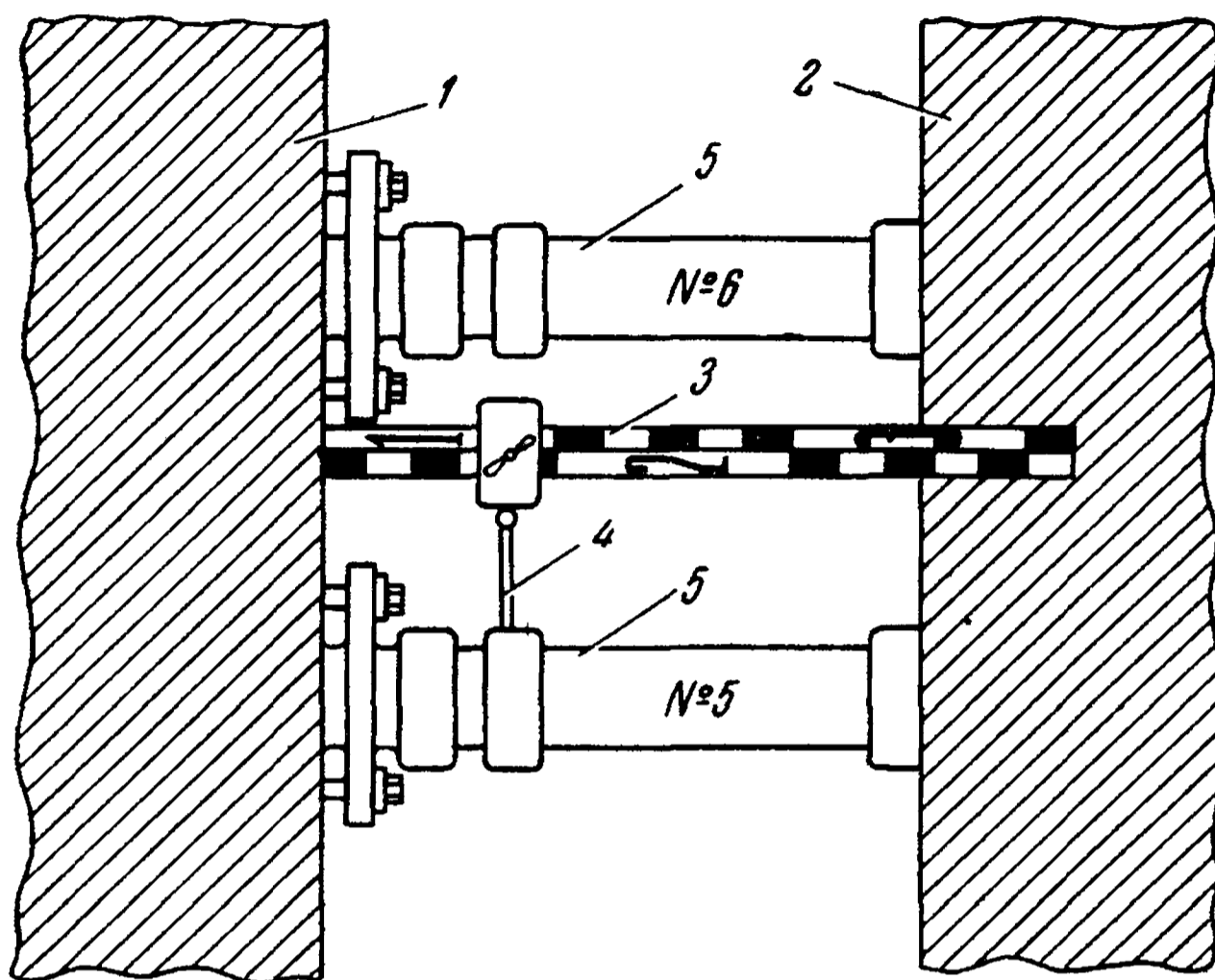


Рис. 122. Приспособление для наблюдения за перекосом и продвигом щита

1 — опорное кольцо щита, 2 — передняя плоскость кольца, 3 — нивелирная рейка, 4 — откидная ножка, 5 — щитовые домкраты

приспособление, предложенное маркшейдером С. П. Сибиркиным. Рейку устанавливают на специальные ножки, которые опираются на домкрат (см. рис. 122). 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.

§ 120. Маркшейдерская документация при сооружении тоннелей щитами

Все данные наблюдений по определению положения щита и колец тоннеля, а также результаты вычислений по определению положения щита в плане и профиле на каждом кольце тоннельной обделки записывают в щитовой журнал (табл. 24). Кроме цифровых данных,

№ провита		Положение колец в укладке				отклонение диаметров, мм				
		Пикетаж на конец продвига		Величина продвига	№ кольца, на котором продв. щит	Пикетаж грани кольца	гориз.		верт.	
		ножа	забоя				1-5	2-6	3-7	4-8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
51	1. X. 1955	2+53,20	2+53,45	—	51	2+49,50	-20	+15	-10	+10
52	1. X. 1955	2+53,95	2+54,25	0,80	52	2+50,25	-15	+10	-15	+10
53	2. X. 1955	2+54,95	2+55,40	1,15	53	2+51,25	-10	0	-5	+20

Продолжение

№ провита		Положение щита				Положение колец по выходе из-за эректора									
		уклоны		в плане		в профиле		отклонение диаметров, мм		откл. лотка кольца в профиле					
		про-дольный	попереч-ный	ножа	хвоста	ножа	хвоста	гориз	верт.	под 45°	под 45°				
1	2	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
51	1. X. 1955	+0,005	-0,008	+20	-10	+15	-5	+5	-15	0	+5	+15	-	+20	-
52	1. X. 1955	+0,007	-0,005	+28	+5	+20	+5	-5	+5	-5	+5	+8	-	+15	-
53	2. X. 1955	+0,004	-0,002	+25	+10	+18	+10	0	-15	-10	+15	+5	-	+10	-

Масштаб. Вертикальный 1:2 Горизонтальный-условный 3м/м - кольцо

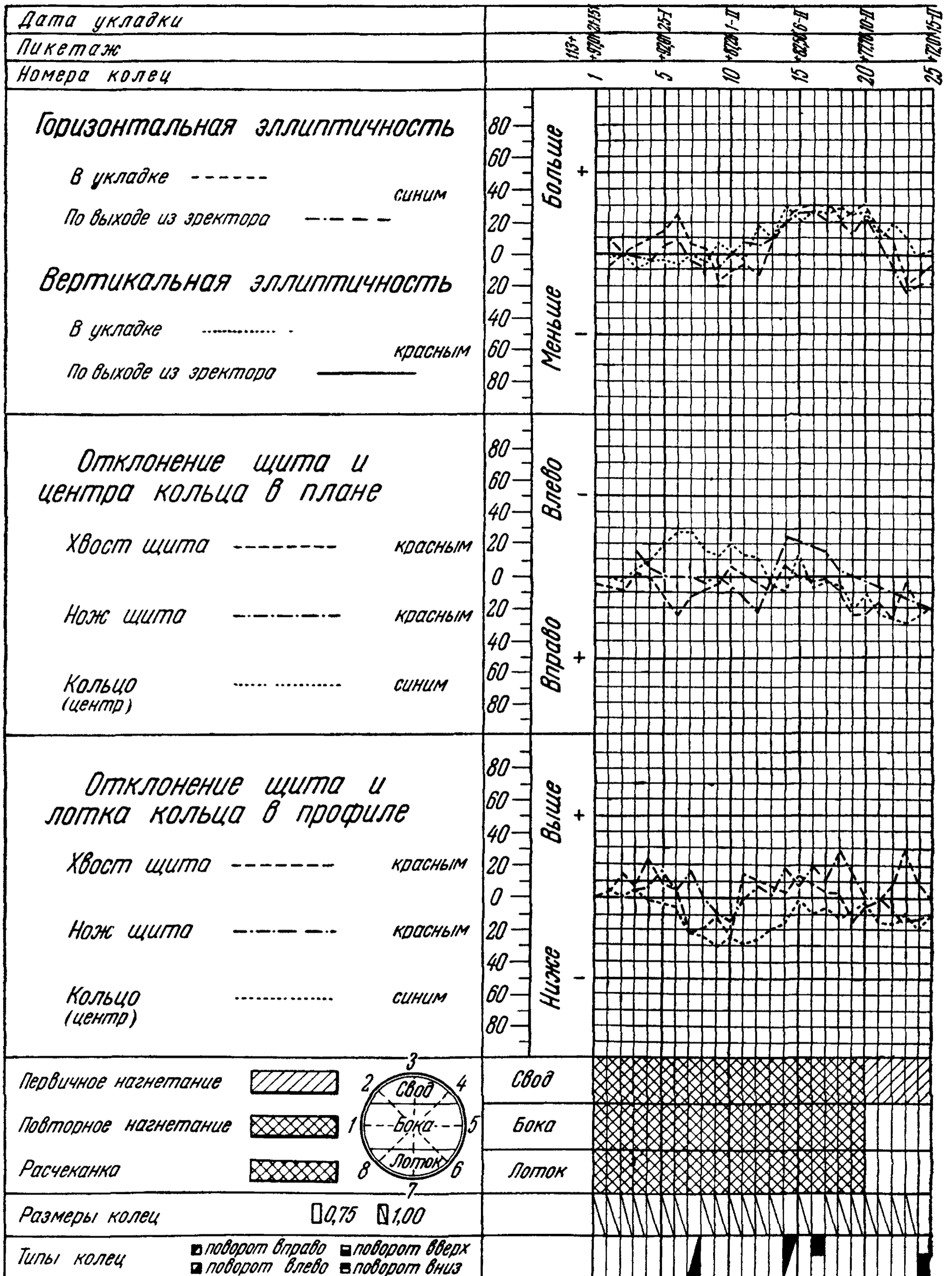


Рис. 123. График уклонений щита и колец

отображающих положение щита и колец в плане и профиле, результаты определения щита и колец систематически наносят на соответствующий щитовой график, приведенный на рис. 123.

Контрольные вопросы:

1. Что такое тоннельный щит и его основные части?
 2. Каким маркшейдерским оборудованием оснащается щит при его монтаже?
 3. Как определяются поперечный уклон и кручение щита?
 4. Какие существуют способы определения щита на прямых участках трассы?
 5. Как определяется положение щита на прямых участках трассы?
 6. Как осуществляется наблюдение за щитом во время его движения по трассе?
 7. Какая маркшейдерская документация ведется при сооружении тоннелей щитами?
-

ГЛАВА 15

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАЗБИВКИ ПРИ СООРУЖЕНИИ И ОТДЕЛКЕ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

§ 121. 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 трубной или блочной отделки 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 тубингов 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 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. 124) или вставкой кольца, у которого по одному фланцу все болтовые отверстия смещены в одну, нужную для испра-

вления сторону. Оперезения колец в плане и профиле исправляют специальными прокладками.

При строительстве стационарных тоннелей из чугунных или железобетонных тубингов в местах будущих проемов укладывают

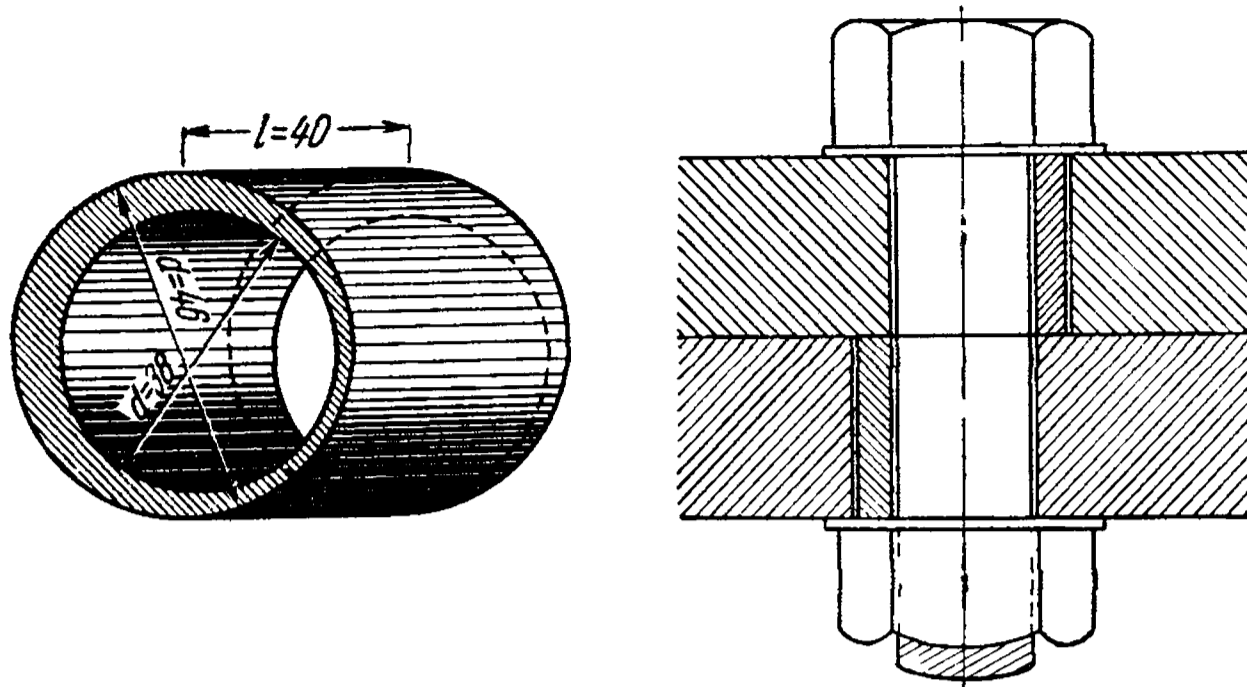


Рис. 124. Ограничитель кручения тубинговых колец

усиленные рамные тубинги, соблюдая маркировку, указанную в укладочной схеме, и установленные допуски.

С особой тщательностью должны проводиться геодезические и монтажные работы при сооружении станций колонного типа. При

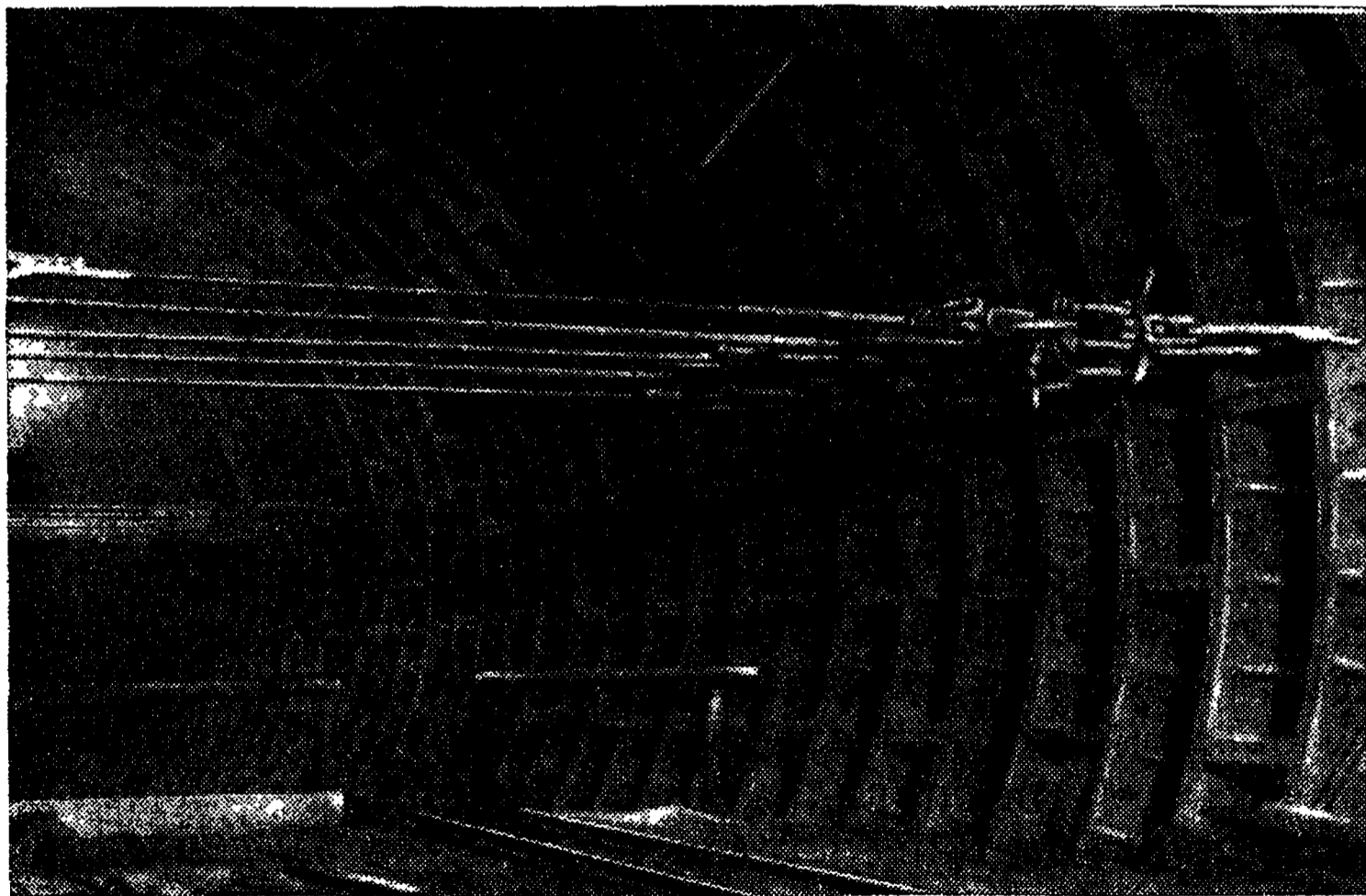


Рис. 125. Горизонтальные стяжки в стационарном тоннеле

строительстве такой станции сначала проходят два крайних тоннеля, а затем ведут проходку средней части станции и монтируют полу-свод из тубинговых колец, опирающихся на фасонные тубинги, ранее уложенные в боковых тоннелях. Фасонные тубинги снизу

имеют приливы для прикрепления к ним болтами металлических колонн и отверстия для сбалчивания тубингов среднего полу-свода.

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 тубингов, 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. 125) 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.

§ 122. 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 тубингов на уровне головки рельсов. После сооружения жесткого 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 главе 6, 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. 126). 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 тубингов 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,

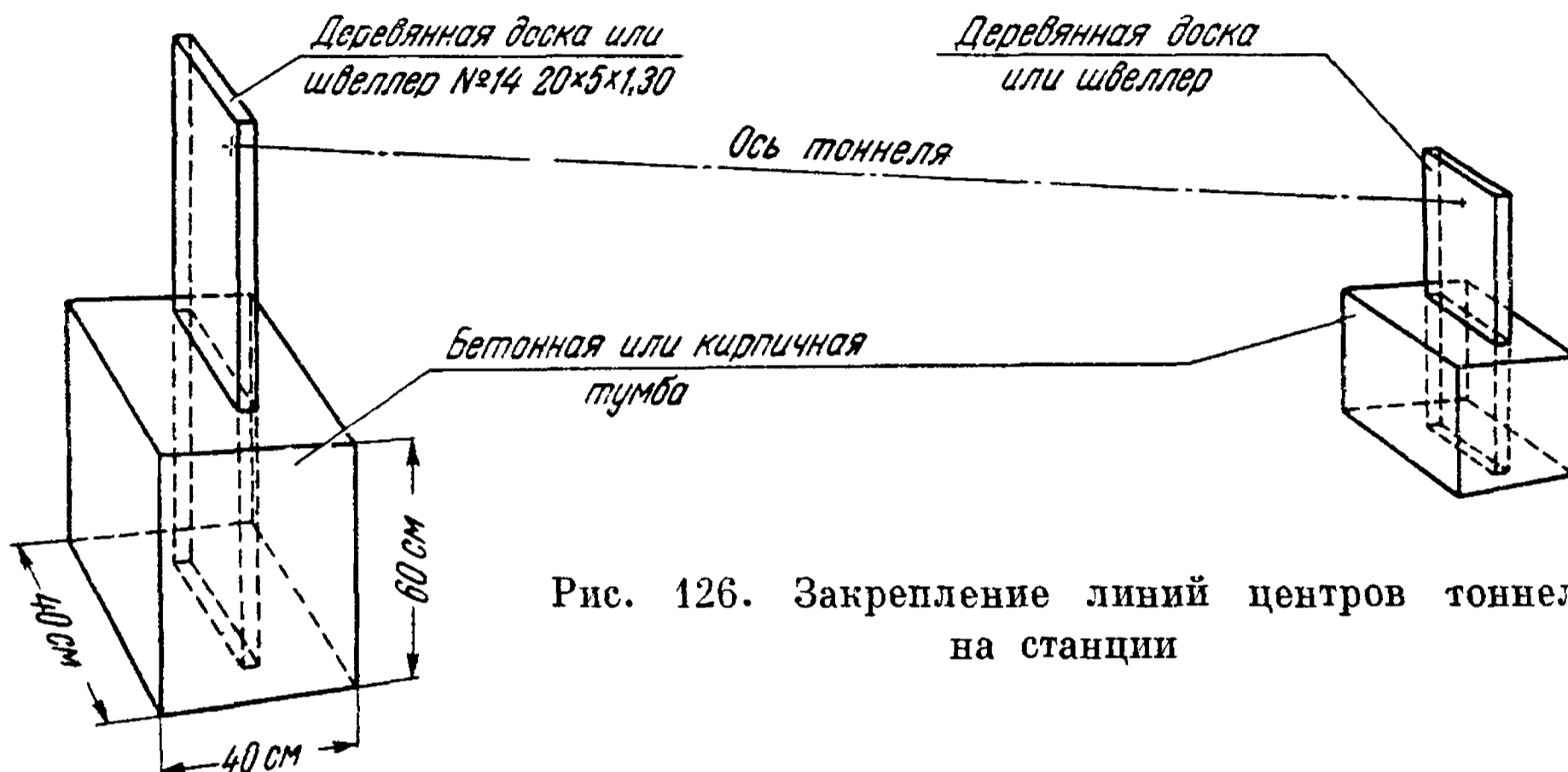


Рис. 126. Закрепление линий центров тоннеля на станции

лежащие на уровне горизонтального диаметра. Между этими точками натягивают леску, на которой промером от закрепленной оси отмечают положение центра тоннеля.

Далее в ячейках тубингов 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 тубинговой 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.

Контрольные вопросы:

1. Какие дополнительные требования предъявляются при укладке тубинговых станционных колец?
 2. Что такое набегание и кручение колец и способы борьбы с ними?
 3. Как ведутся наблюдения над деформацией станционной обделки?
 4. Как разбиваются и закрепляются оси станционных тоннелей?
 5. Какие существуют допуски при укладке бортового камня и облицовке путевых стен?
-

ГЛАВА 16

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ НАКЛОННЫХ ТОННЕЛЕЙ

§ 123. 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. 127); 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-песчаников, которые сильно осложняют или совсем исключают возможность проходки обычным горным способом. Для обеспечения безопасности работающих в забое и сохранности 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, в 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, преду-

смотренное проектом как в плане, так и в профиле. При значительных отклонениях скважин от проекта могут образоваться незамерзшие места — окна, через которые возможен прорыв в тоннель

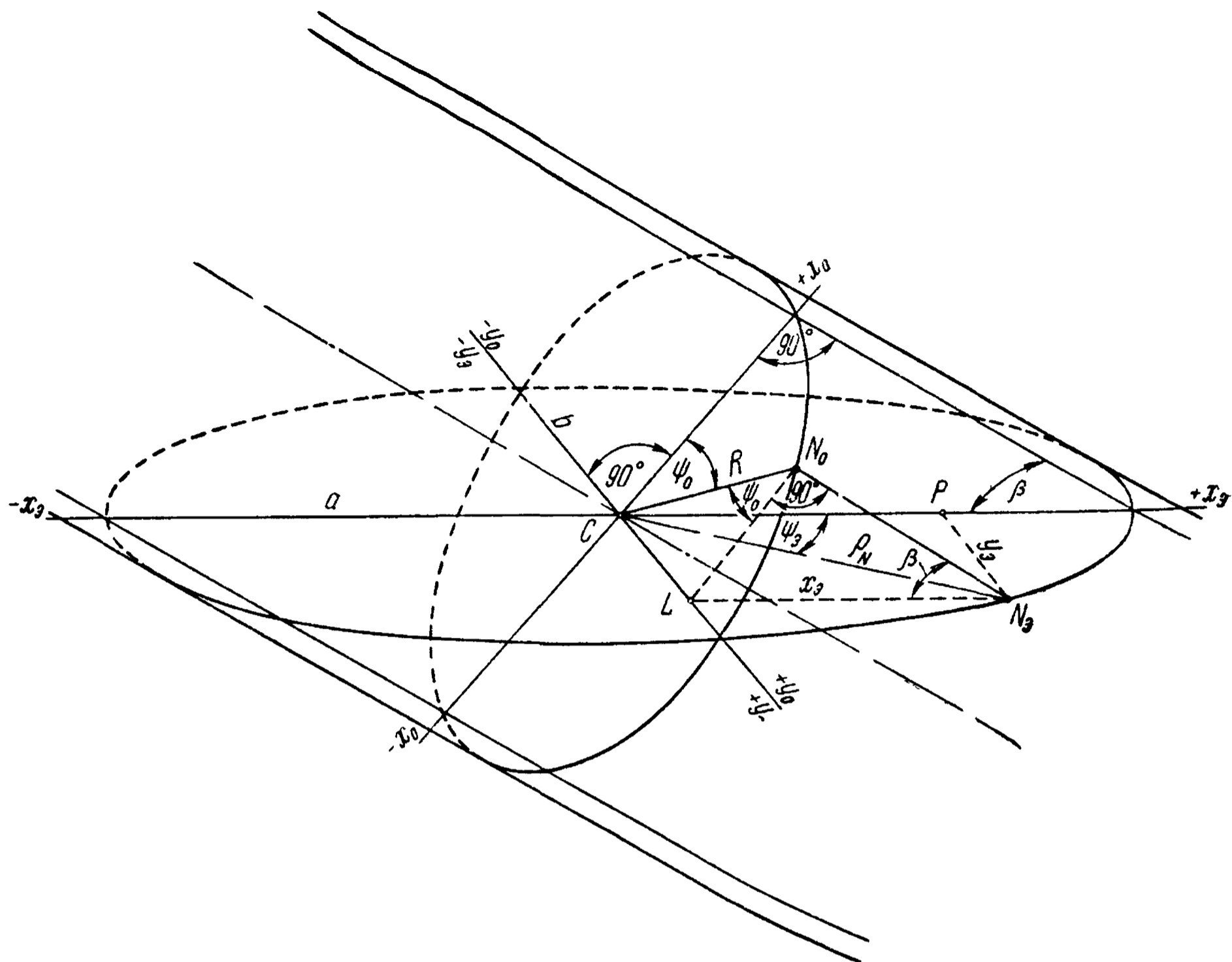


Рис. 127. Сечение наклонного цилиндра нормальной и горизонтальной плоскостями

водоносного грунта, что может повлечь за собой аварию. Поэтому разбивка и определение положения замораживающих скважин в плане и профиле являются ответственной работой.

§ 124. Разбивка осей эллипса

Наклонные скважины для замораживания разбивают на поверхности земли по эллипсу. Прежде чем приступить к разбивке замораживающих скважин, необходимо вычислить координаты и пикетное значение точки пересечения оси эскалаторного тоннеля с дневной поверхностью (рис. 128). Если эти данные приведены в проектном чертеже, то контролируют их значения.

Имея проектные значения координат и пикетажа точки $M(x_M, y_M, ПК M)$, проектный угол наклона β оси эскалаторного тоннеля и дирекционный угол α этой оси, вычисляют следующие проектные данные точки N :

1) пикетное значение точки N :

$$\text{ПК } N = \text{ПК } M \pm m = \text{ПК } M \pm \frac{H_N - H_M}{\text{tg } \beta} = \text{ПК } M \pm h \text{ ctg } \beta.$$

Значение m видно из рис. 128. Знак перед $h \text{ ctg } \beta$ зависит от направления пикетажа; при возрастании его в направлении MP будет знак плюс, а при убывании — минус;

2) проектные координаты точки N (x_N и y_N) получают по формуле

$$x_N - x_M = \Delta x; \quad y_N - y_M = \Delta y,$$

где $\Delta x = m \cos \alpha$; $\Delta y = m \sin \alpha$;

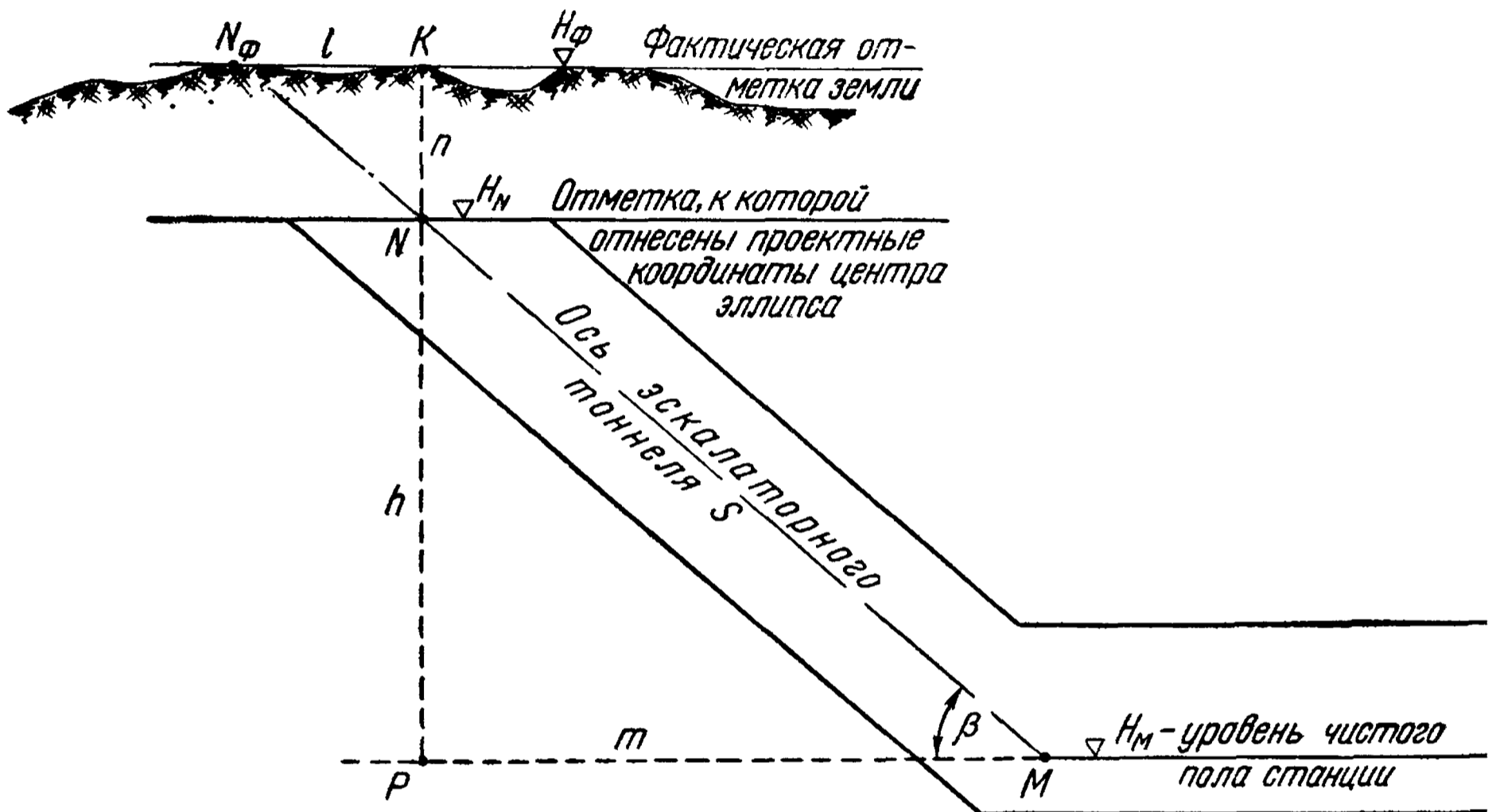


Рис. 128. Схема вычислений пикетажа и координат точки пересечения оси эскалаторного тоннеля с поверхностью земли

3) длину эскалаторного тоннеля S между точками M и N вычисляют из треугольника MNP по формуле

$$MN = S = \frac{m}{\cos \beta} = m \sec \beta = \frac{h}{\sin \beta} = h \operatorname{cosec} \beta.$$

Вынос центра эллипса в натуру производится от знаков полигонометрии.

В том случае, когда фактическая отметка поверхности земли и отметка, к которой отнесены проектные (вычисленные) координаты центра эллипса, значительно расходятся, в проектные координаты вводят поправки. Значения поправок можно получить из треугольника NKN_ϕ (рис. 128):

$$l = KN_\phi = (H_\phi - H_N) \text{ ctg } \beta;$$

обозначив $H_{\phi} - H_N$ через n , получим

$$l = n \operatorname{ctg} \beta.$$

Так как центр эллипса смещается на величину l по направлению оси наклонного тоннеля, дирекционный угол которой равен α , то поправки в проектные координаты можно представить формулами:

$$\Delta x_{\phi} = l \cos \alpha; \quad \Delta y_{\phi} = l \sin \alpha,$$

но так как $l = n \operatorname{ctg} \beta$, то можно написать:

$$\begin{aligned} \Delta x_{\phi} &= n \operatorname{ctg} \beta \cos \alpha, & x_{\phi} &= x_N + \Delta x_{\phi}, \\ \Delta y_{\phi} &= n \operatorname{ctg} \beta \sin \alpha, & y_{\phi} &= y_N + \Delta y_{\phi}. \end{aligned}$$

Разбивка центра эллипса и его осей производится с помощью теодолита от знаков подходной полигонометрии полярным способом. Большую ось эллипса, совпадающую с осью эскалаторного тоннеля, фиксируют специальными марочками или штрихами на стенах окружающих зданий или отмечают кернами на металлических пластинках, заложенных для этой цели в бетонные тумбы.

§ 125. Разбивка наклонных скважин для замораживания грунтов

Центры замораживающих скважин в натуре получают от закрепленных осей эллипса способом прямоугольных координат или полярным методом.

Если принять за ось X направление большой оси эллипса, за ось Y малую ось и за начало прямоугольных координат — центр эскалаторного тоннеля, совпадающий с центром эллипса, то координаты точки N_0 , лежащей на окружности, определяют из треугольника CLN_0 (см. рис. 127).

$$CL = y_{N_0} = R \sin \psi_0,$$

$$N_0L = x_{N_0} = R \cos \psi_0,$$

где $CN_0 = R$ — радиус окружности, полученной в результате пересечения наклонного цилиндра (эскалаторного тоннеля) нормальной плоскостью, ψ_0 — центральный угол, образованный осью X и направлением на текущую точку N_0 ; этот угол отсчитывают по ходу часовой стрелки.

Так как наклонные замораживающие скважины размещают по окружности равномерно, то угол ψ_0 вычисляют по формуле

$$\psi_0 = \frac{360^\circ}{k} (n - 1),$$

где k — число скважин, n — порядковый номер скважины при условии, что первая скважина размещена на оси X .

Определяют координаты точки $N_э$, т. е. той же точки N , но расположенной на эллипсе.

Из прямоугольного треугольника CLN_0

$$CL = CN_0 \sin \psi_0 = R \sin \psi_0, \text{ но } CL = y_{N_0}, \text{ а}$$

$$CL = PN_э = y_0 = y_э = R \sin \psi_0 \text{ и } PN_э = y_{N_э}.$$

Из прямоугольного треугольника $LN_0N_э$

$$LN_0 = LN_э \sin \beta,$$

но

$$LN_0 = x_{N_0},$$

$$x_{N_0} = x_{N_э} \sin \beta,$$

$$x_{N_э} = \frac{x_{N_0}}{\sin \beta},$$

$$N_эL = x_{N_э},$$

где β — угол наклона образующей цилиндра к горизонту.

После подстановки вместо x_{N_0} его значения $R \cos \psi_0$ получают

$$x_{N_э} = \frac{R \cos \psi_0}{\sin \beta}.$$

Если угол ψ_0 равен нулю, то текущая точка $N_э$ займет положение на конце большой полуоси эллипса и ее абсцисса $x_{N_э}$ будет равна a . Следовательно, $x_{N_э} = a = \frac{R}{\sin \beta}$.

При ψ_0 , равном 90° ,

$$y_{N_э} = R \sin \psi_0, \text{ т. е. } y_{N_э} = R,$$

а $y_{N_э}$ в этом случае равен b ; значит $b = R$. Тогда формулы для вычисления прямоугольных координат текущей точки $N_э$, лежащей на эллипсе, примут вид

$$\left. \begin{aligned} y_{N_э} &= b \sin \psi_0 \\ x_{N_э} &= a \cos \psi_0 \end{aligned} \right\}. \quad (\text{A})$$

Полярные координаты скважин, расположенных на эллипсе, вычисляют по формулам:

$$\operatorname{tg} \psi_э = \frac{y_{N_э}}{x_{N_э}} = \frac{b \sin \psi_0}{a \cos \psi_0} = \frac{b}{a} \operatorname{tg} \psi_0;$$

так как

$$b : a = R : R \sin \beta = \sin \beta,$$

то

$$\operatorname{tg} \psi_{\beta} = \operatorname{tg} \psi_0 \sin \beta.$$

Радиус-вектор ϱ_N (расстояние от центра до текущей скважины N_{β} на эллипсе) вычисляют из прямоугольного треугольника $CN_{\beta}P$:

$$y_{N_{\beta}} = \varrho_N \sin \psi_{\beta},$$

$$x_{N_{\beta}} = \varrho_N \cos \psi_{\beta},$$

откуда

$$\varrho_N = \frac{y_{N_{\beta}}}{\sin \psi_{\beta}} = \frac{x_{N_{\beta}}}{\cos \psi_{\beta}} = y_{N_{\beta}} \operatorname{cosec} \psi_{\beta} = x_{N_{\beta}} \sec \psi_{\beta}.$$

Подставляя вместо $y_{N_{\beta}}$ и $x_{N_{\beta}}$ их значения из формул (А), получают

$$\varrho_N = \frac{b \sin \psi_0}{\sin \psi_{\beta}} = \frac{a \cos \psi_0}{\cos \psi_{\beta}} = b \sin \psi_0 \operatorname{cosec} \psi_{\beta} = a \cos \psi_0 \sec \psi_{\beta}. \quad (\text{Б})$$

Радиус-вектор ϱ_N можно получить и по формуле

$$\varrho_N^2 = x_{N_{\beta}}^2 + y_{N_{\beta}}^2.$$

Для эскалаторных тоннелей метрополитена, когда угол $\beta = 30^\circ$, будем иметь следующее равенство:

$$a = \frac{R}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin 30^\circ} = 2R.$$

Координаты же центров замораживающих скважин, находящихся на эллипсе, определяют по формулам:

$$y_{N_{\beta}} = R \sin \psi_0,$$

$$x_{N_{\beta}} = 2R \cos \psi_0,$$

которые получают в результате подстановки в формулы (А) вместо a и b их значений, выраженных через радиус окружности. При угле $\beta = 30^\circ$ полярные координаты точек, лежащих на эллипсе, можно представить такими формулами:

1. Полярный угол:

$$\operatorname{tg} \psi_{\beta} = \operatorname{tg} \psi_0 \sin \beta = \operatorname{tg} \psi_0 \sin 30^\circ = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \psi_0$$

или

$$\operatorname{ctg} \psi_{\beta} = 2 \operatorname{ctg} \psi_0.$$

2. Формула (Б) радиуса-вектора ϱ_N примет следующий вид:

$$\varrho_N = \frac{R \sin \psi_0}{\sin \psi_{\beta}} = \frac{2R \cos \psi_0}{\cos \psi_{\beta}} = R \sin \psi_0 \operatorname{cosec} \psi_{\beta} = 2R \cos \psi_0 \sec \psi_{\beta}.$$

При производстве разбивок скважин непосредственно со знаков геодезической основы необходимо для получения данных разбивки полярные координаты скважин перевычислить в координаты единой системы, принятой на строительстве, по формулам:

$$x_{N_0} = x_c + \Delta x = x_c + \rho_N \cos \alpha_N,$$

$$y_{N_0} = y_c + \Delta y = y_c + \rho_N \sin \alpha_N,$$

где α_N — дирекционный угол радиуса-вектора, ρ_N — радиус-вектор, N — номер скважины, x_c и y_c — координаты центра эллипса.

§ 126. Направляющие кондукторы

Установка наклонных скважин по проектному направлению (в плане и профиле) и дальнейшее сохранение этого направления в процессе бурения обеспечивается применением специальных направляющих труб, называемых кондукторами.

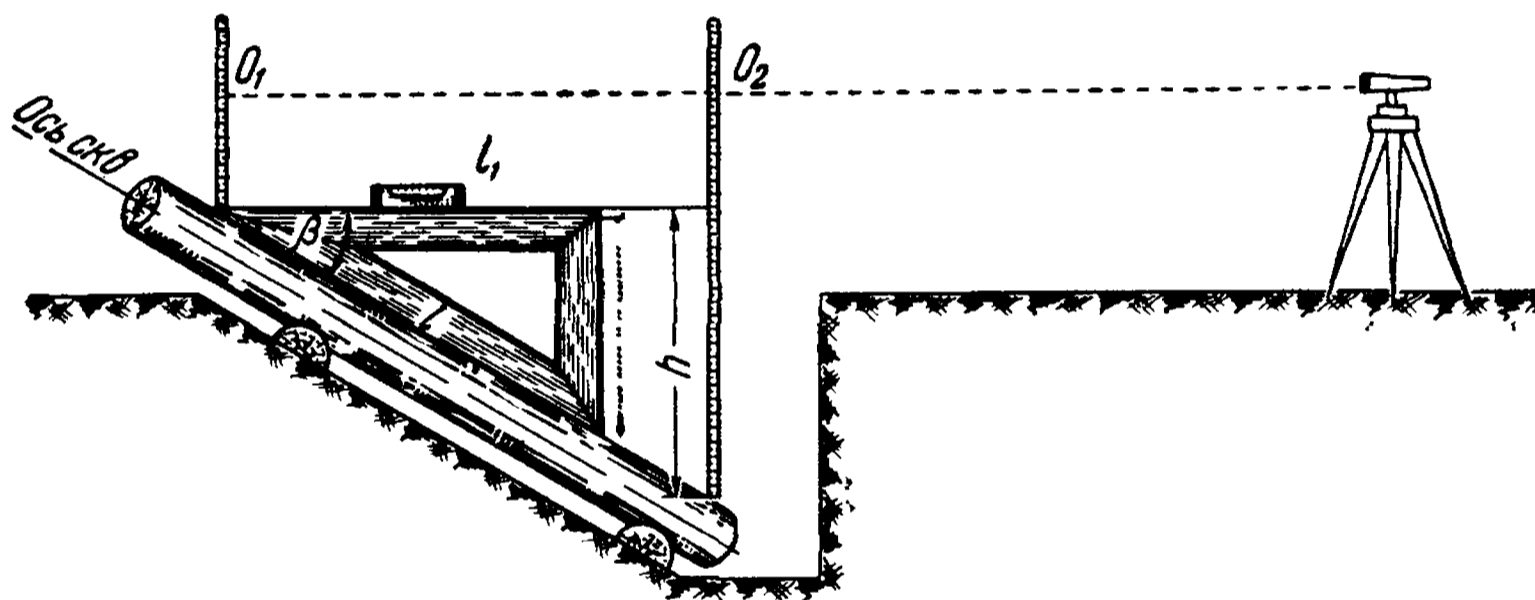


Рис. 129. Схема установки кондуктора

Установку кондукторов (рис. 129) для наклонных скважин длиной до 30 м в вертикальной плоскости производят:

1) по величинам h и l_1 , где

$$h = l \sin \beta; \quad l_1 = l \cos \beta;$$

2) при помощи прямоугольного треугольника с углом β , равным углу наклона скважины, и уровнем на его катете;

3) нивелированием концов кондуктора

$$h = O_2 - O_1 = l \sin \beta;$$

4) подбором длины горизонтальной проекции кондуктора l_1 , для чего верхний конец кондуктора передвигают до получения величины $l_1 = l \cos \beta$. Этот способ рекомендуется при углах наклона, больших 45° , как наиболее точный.

Применяя указанные приемы, необходимо следить за правильным положением кондуктора по пикетажу и в плане. Для этой цели пользуются двумя отвесами, выставленными в створе оси скважины, или теодолитом.

При отсутствии приспособления, удерживающего буровой инструмент в центре кондуктора, необходимо учитывать поправки за разность радиусов кондуктора и скважины.

Если продольная ось кондуктора установлена так, что она совпадает с проектной осью скважины, то при бурении продольная ось бурового инструмента не будет совпадать с проектным направлением скважины на величину, равную разности радиусов кондуктора R и бурового инструмента r . На эту величину необходимо завесить кондуктор.

При установке кондукторов при помощи теодолита поправка за разность указанных радиусов вводится в высоту инструмента по формуле

$$\Delta h = (R - r) \sec \beta,$$

а высота инструмента будет равна

$$i = h + \Delta h.$$

Кондукторы для наклонных скважин длиной более 30 м устанавливают в плане и профиле теодолитом, при этом визирную ось его ориентируют параллельно оси эскалаторного тоннеля. Для того чтобы визирная ось трубы инструмента совпала с осью скважины, требуется сместить теодолит с закрепленного центра скважины на величину

$$l = n \operatorname{ctg} \beta,$$

где n — превышение горизонтальной оси вращения трубы теодолита над проектной плоскостью эллипса.

Для упрощения работ, связанных с заданием направлений кондукторам, вместо определения центров наклонных скважин намечают точки стояния теодолита от смещенного центра эллипса. Точки стояния теодолита разбивают по тем же полярным или прямоугольным координатам со смещенного центра эллипса (рис. 130). Смещение центра эллипса производят по большой оси.

Величину смещения центра эллипса определяют по формуле

$$l = (H_J - H_9) \operatorname{ctg} \beta.$$

При $\beta = 30^\circ$ формула примет вид

$$l = (H_J - H_9) \operatorname{ctg} 30^\circ = (H_J - H_9) \cdot 1,7321,$$

где H_9 — проектная отметка центра эллипса, H_J — рассчитанная отметка для установки горизонтальной оси вращения теодолита.

Принимая $H_J - H_9$ равным 1,5 м, получим

$$H_J = H_9 + 1,5.$$

Для получения точек N (т. е. точек стояния теодолита) в натуре, с которых задаются направления кондукторам по проектному дирекционному углу, устанавливают инструмент в точке смещенного центра эллипса. Пользуясь теми же полярными или прямоугольными координатами, которые были вычислены для разбивки центров скважин на эллипсе, определяют точки стояния теодолита и отмечают их колышком. Затем центрируют теодолит над полученной точкой N и устанавливают его так, чтобы горизонтальная ось вращения теодолита

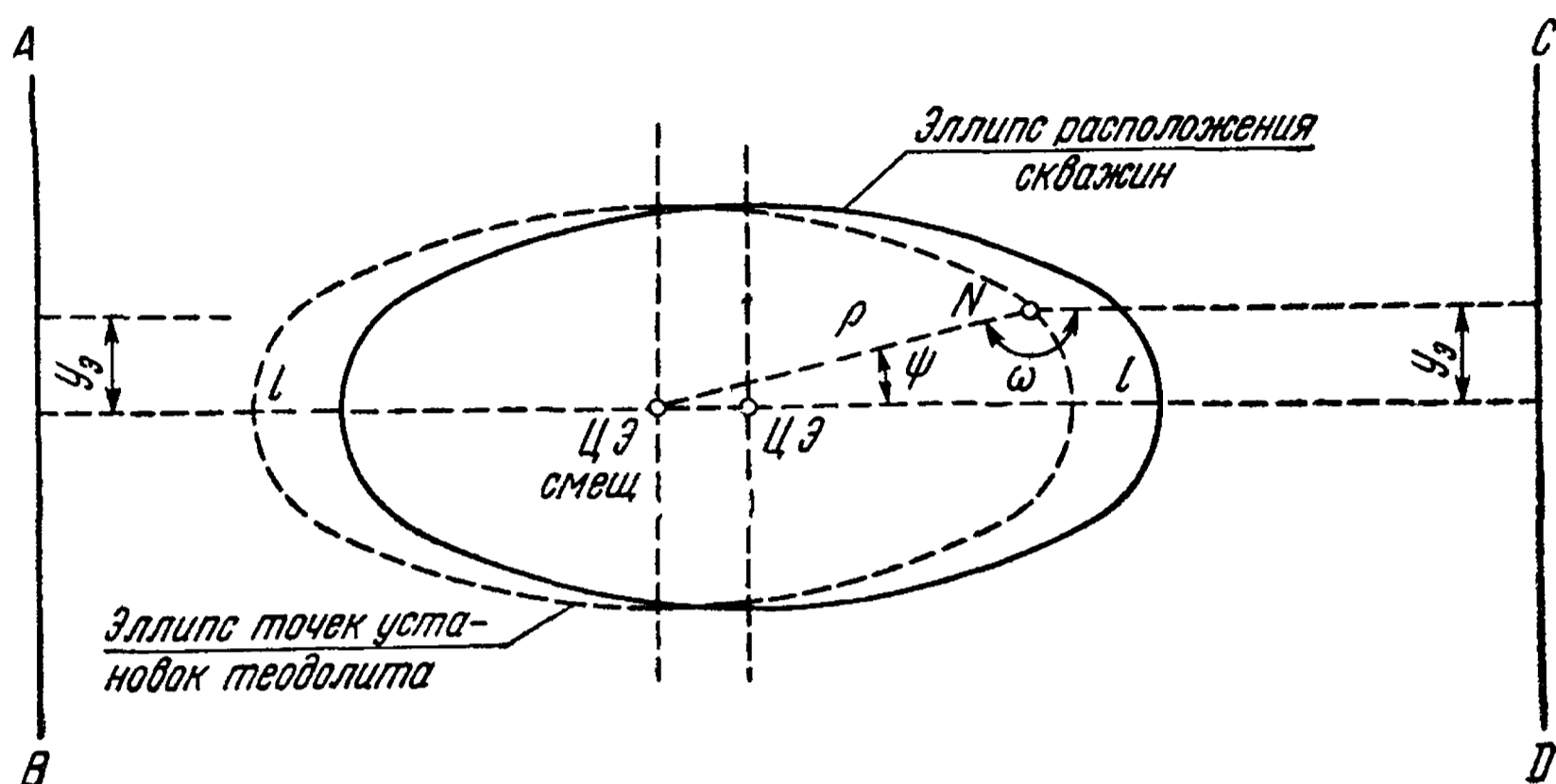


Рис 130. Схема разбивки точек эллипса для установок теодолита при задании направления кондуктором

долита была на высоте рассчитанной отметки H . С точки N задают направление кондуктору согласно проектному дирекционному углу, откладывая угол $\omega = 180^\circ - \psi$ от направления $N - ЦЭ_{смещ}$ (см. рис. 130) или путем обноски AB и CD , устанавливаемых перпендикулярно большой оси эллипса, на которых откладываются величины y_0 для каждой скважины.

Далее с помощью вертикального круга наклоняют визирную ось трубы теодолита под углом 30° к горизонту. По этой оси и устанавливают кондукторы.

§ 127. Определение отклонений замораживающих скважин и замер глубин рабочих колонок

Установленные кондукторы надежно закрепляют в бетоне. Однако наклонные буровые скважины при бурении отклоняются от своего проектного положения. Отклонения скважин определяют теодолитом, который устанавливают так, чтобы в его трубу была видна удаленная светящаяся точка, опускаемая в скважину на специальном приспособлении, на тросе. На тросе через каждые 5 м закрепляют маркировочные знаки, по которым определяют расстояние от теодолита до светящейся точки. Светящуюся точку наблюдают при помощи теодолита на всем видимом протяжении скважины и

измеряют горизонтальный и вертикальный углы через каждые 5 м. С полигонометрических пунктов определяют координаты точки стояния теодолита J и дирекционный угол $J - ПЗ$ (ПЗ — полигонометрический пункт). Вычислив дирекционный угол направления $J -$ светящаяся точка и зная расстояние между этими точками и угол наклона, определяют в наблюдаемой точке положение наклонной скважины как в плане, так и в профиле.

Глубину пробуренных замораживающих скважин определяют путем измерения длин извлекаемых из скважины штанг. Глубина замораживающих колонок, монтируемых в скважинах, получается в результате измерения отдельных звеньев штанг при их сращивании, а также путем измерения длины специального стального тросика с грузом, опускаемого в смонтированную колонку.

Вышеописанный способ определения искривлений наклонных скважин отвечает по точности требованиям, предъявляемым к съемкам буровых скважин для искусственного замораживания грунтов. Но этот способ применим лишь в пределах видимости источника света. За этими пределами измерение искривлений скважин производят специальными стратометрическими приборами, обеспечивающими среднюю ошибку ± 10 см в определении отклонений на отрезок скважины в 10 м. Иногда искривление скважин за пределами видимости светящейся точки определяют путем экстраполяции, но так как этот способ не совершенен, его применяют очень осторожно и на небольшие длины. Согласно технической инструкции ГМУ Главтоннельметростроя (1956 г.) экстраполяция отклонений скважины допускается на одну четверть полной длины скважины.

§ 128. Составление исполнительных чертежей замороженной зоны

По результатам, полученным при определении искривлений наклонных скважин, составляют графики их отклонений от проекта в горизонтальной и вертикальной плоскостях для каждой скважины и сечения плоскостями, перпендикулярными к оси цилиндра, через каждые 5 м в масштабах 1 : 50. На этих сечениях показывают фактическое расположение центров скважин и зоны замораживания (рис. 131). По этим сечениям устанавливают незамороженные места, или «окна», и выбирают точки для бурения дополнительных скважин.

§ 129. Маркшейдерский столик и его назначение

Для геодезического обоснования при сооружении эскалаторного тоннеля на дневной поверхности создают плановую и высотную геодезическую сеть.

Строительство наклонного тоннеля начинают с устройства бетонного оголовника, в котором монтируют первые кольца обделки. Для обеспечения правильной укладки тубинговых колец в полном соответствии с проектом устраивают специальный маркшейдерский столик. Этот столик в зависимости от местных условий может быть

бетонным, железобетонным, кирпичным или собранным из металлических конструкций. В верхней части его надежно крепится металлическая плита толщиной 10 мм.

Рекомендуется также сооружать столик в центре оголовника, на специальной двутавровой балке, предварительно забетонирован-

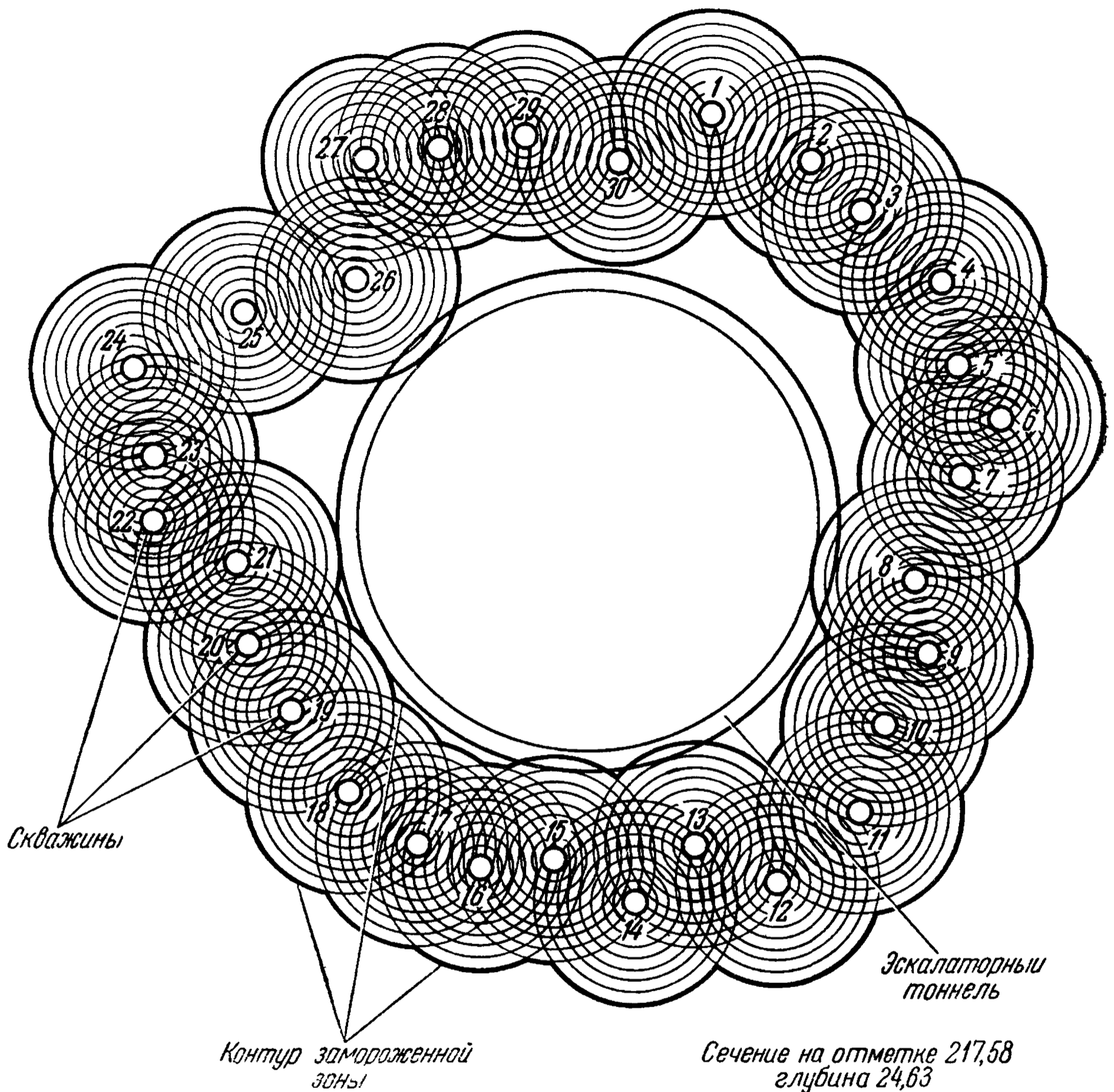


Рис. 131. Сечение наклонных замораживающих скважин и эскалаторного тоннеля плоскостью, перпендикулярной к его оси

ной в стены оголовника. Такое расположение столика внутри тоннеля значительно ослабляет влияние рефракции при прохождении визирного луча в разных средах и в условиях различной освещенности.

Маркшейдерский столик должен удовлетворять следующим требованиям: а) конструкция его должна быть жесткой, изолированной от площадки наблюдателя и окружающих механизмов, приспособлений

и др.; б) визирная ось трубы теодолита, устанавливаемого на столике, должна совпадать с проектной осью эскалаторного тоннеля; в) центр столика и места для подъемных винтов теодолита должны быть накернены на плите столика.

Столик должен быть оборудован телефонной или световой сигнализацией для передачи указаний в забой.

Для выбора места закладки маркшейдерского столика на строительной площадке предварительно намечают на проектной оси эскалаторного тоннеля точку, которую отмечают колышком. Эту точку привязывают линейными промерами к местным предметам, а затем наносят на план строительной площадки. На плане графически измеряют расстояние D между нанесенной точкой (отмеченной в натуре колышком) и точкой A (точка перегиба, т. е. пересечение оси эскалаторного тоннеля с уровнем чистого поля вестибюля). Имея проектные координаты y_A и x_A точки перегиба A , расстояние D и дирекционный угол оси эскалаторного тоннеля α , находят проектные координаты центра столика по формулам:

$$x_{\text{пр. ст}} = x_A - D \cos \alpha,$$

$$y_{\text{пр. ст}} = y_A - D \sin \alpha.$$

По этим координатам и координатам двух-трех близлежащих пунктов полигонометрии вычисляют разбивочные данные, на основании которых выносят центр столика в натуру.

Отметку столика (рис. 132) вычисляют по формуле

$$H_{\text{ст}} = H_A + D \operatorname{tg} \beta - i,$$

где i — высота инструмента, установленного на столике.

После сооружения столика окончательные рабочие координаты его центра определяют с пунктов подходной полигонометрии с точностью ± 3 мм, а отметку получают нивелированием. По полученным координатам и отметке столика вычисляют высоту теодолита, при которой визирная ось совпадает с продольной осью эскалаторного тоннеля. После установки инструмента на рассчитанную высоту при помощи кернения отмечают места для подъемных винтов теодолита. Кернение делают для того, чтобы при повторных установках инструмент располагался точно над центром столика. Высота инструмента при повторных установках выдерживается с точностью ± 2 мм. Направление оси эскалаторного тоннеля закрепляют двумя-тремя точками на стенах фундаментальных зданий или на специальных бетонных знаках. Следует отметить, что маркшейдерский столик расположен в зоне деформации дневной поверхности, поэтому необходимо периодически определять его координаты и отметку и сравнивать их с ранее полученными для суждения о величинах происходящих деформаций.

§ 130. Установка колец эскалаторного тоннеля

При установке (монтаже) колец эскалаторного тоннеля обращают особое внимание на тщательную укладку и закрепление первых двух-трех колец, собираемых одновременно в оголовнике наклонного хода.

Максимальная точность при монтаже первых колец необходима потому, что эти кольца являются направляющими при укладке последующих колец. Следует иметь в виду, что отклонение плоскости первого кольца от проектного положения будет смещать сооружаемый эскалаторный тоннель по мере его удаления. В связи с этим необходимо, чтобы плоскости первых колец были перпендикулярны к продольной оси наклонного тоннеля. Для выполнения этого условия измеряют образующие конуса, т. е. расстояния от точки пересечения оси эскалаторного тоннеля с горизонтальной осью вращения трубы теодолита (или от специальной точки, закрепленной на продольной оси эскалаторного тоннеля) до центров отверстий для болтов задней плоскости первого кольца. Часто бывает достаточно измерить указанные расстояния до центров восьми болтовых отверстий, расположенных вблизи горизонтального, вертикального и косых (наклоненных под углом 45°) диаметров. Отклонения образующих от рассчитанного значения не должны превышать ± 3 мм. Эллиптичность колец не должна быть более ± 10 мм.

Эллиптичность и отклонение центра первого (первых) кольца от проекта определяют измерением восьми радиусов от проектного центра, который разбивают в натуре на продольной оси тоннеля. Для этого теодолит устанавливают на столике и стальной рулеткой откладывают расстояние от инструмента до точки, лежащей в плоскости первого кольца. При этом необходимо учитывать «набегание» — угон колец по пикетажу. Величина этого «набегания» находится в пределах от 0,7 до 1,0 мм на каждое кольцо.

Если этот запас не предусмотрен проектным чертежом, рассчитывают величину «набегания» на всю длину тоннеля и смещают плоскость первого кольца по пикетажу в сторону, противоположную направлению проходки тоннеля. Учитывать набегание колец эскалаторного тоннеля необходимо для того, чтобы обеспечить сопряжение последнего (нижнего) кольца наклонного хода с первым кольцом веерной части, которая в свою очередь сопрягается с кольцами натяжной камеры. Вот почему правильная установка первого кольца по пикетажу приобретает весьма важное значение.

В практике бывают случаи, когда расстояние от плоскости первого кольца до теодолита большое, и это обстоятельство создает неудобства при разбивке. Для устранения этих неудобств разбивают и закрепляют на оси наклонного тоннеля две точки: одну B — в пределах оголовника, а вторую B — в забое (см. рис. 132). Между этими точками натягивают проволоку, на которой отмечают пикетное значение передней плоскости укладываемого кольца. От полученной точки измеряют расстояния до отверстий болтов тубингов во время сборки

кольца, а от точек B и B — длины образующих конуса до плоскости кольца. После окончательной установки и выверки первых колец производят бетонирование и тем самым обеспечивают надежное скрепление их с бетоном оголовника.

Дальнейшую укладку колец производят от вынесенного в забой при помощи теодолита центра тоннеля B путем измерения расстояний S от этой точки до центров отверстий для болтов собираемого кольца, при этом колебания величин S не должны превышать ± 25 мм. Измеряют также четыре диаметра каждого укладываемого кольца.

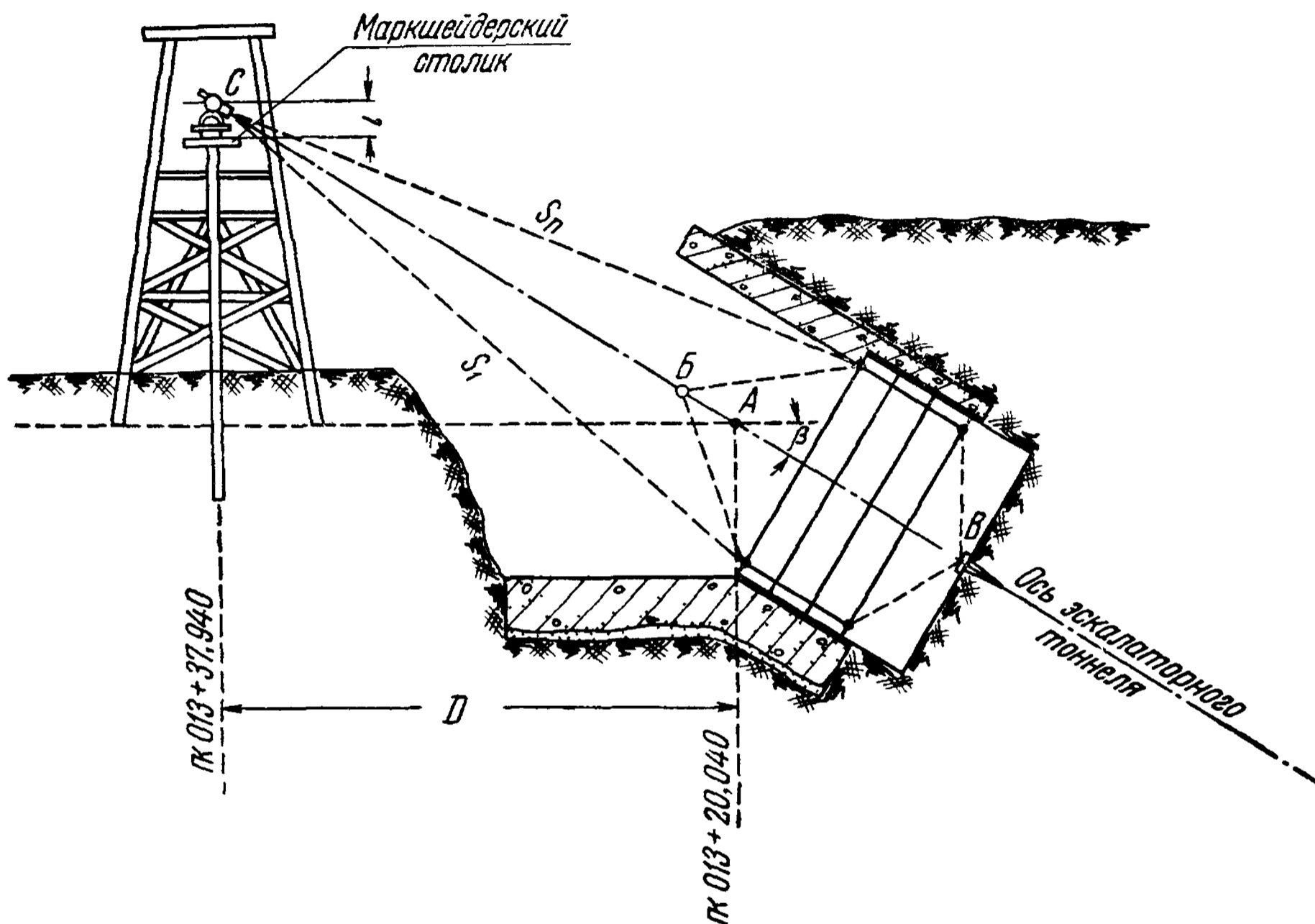


Рис. 132. Маркшейдерский столик, установка и определение вертикального опережения колец эскалаторного тоннеля

Проверку плоскостей последующих колец производят путем определения горизонтального и вертикального опережения. Горизонтальное опережение получают путем измерения на уровне горизонтального диаметра расстояний между плоскостями первого кольца и монтируемого. Вертикальное опережение определяют промерами от плоскости первого кольца до последнего уложенного по лотку и своду, а если это невозможно, то промерами образующих.

Погрешности установки последующих колец по радиусам не должны превышать ± 25 мм, а эллиптичность их ± 50 мм.

После укладки последнего кольца эскалаторного тоннеля и осуществления сбойки со средним стационарным тоннелем производят тщательную съемку последних колец наклонного тоннеля и натяжной камеры. По результатам этой съемки составляют укладочную

схему тубингов веерной части с учетом плавного сопряжения наклонного тоннеля и натяжной камеры. Веерную часть эскалаторного тоннеля разбивают от предварительно увязанных между собой осей наклонного хода и среднего стационарного тоннеля.

§ 131. Маркшейдерские работы при сооружении фундаментов и монтаже эскалаторов

Фундаменты под эскалаторы сооружают из монолитного или сборного железобетона.

При монолитных основаниях сначала бетонируют массив лотковой части тоннеля, а затем на нем устанавливают опалубку и арматуру «гребенок» — фундаментов под эскалаторы с поперечными планками из уголковой стали, на которых в дальнейшем укрепляют продольные швеллеры под фермы эскалаторов с точностью ± 3 мм. При сборных железобетонных основаниях на всей длине тоннеля укладывают поперечные железобетонные балки коробчатого сечения с предварительно напряженной арматурой. Балки образуют сплошную лестницу — перекрытие, на которой располагают блочные фундаменты — гребенки из специальных железобетонных блоков, устанавливаемых вдоль тоннеля. Для создания возможности рихтовки эскалаторных ферм при их монтаже эти фундаменты занижаются на 10 мм против проектных отметок.

Верхние плоскости блоков фундаментов под эскалаторы имеют металлические поперечные пластины, служащие для приваривания к ним продольных швеллеров, на которые затем устанавливают металлические фермы эскалаторов.

Основными исходными данными при сборке фундаментов, установке продольных швеллеров и монтаже эскалаторов являются продольные и поперечные оси, разбиваемые в натуре согласно проектным чертежам. Закрепление указанных осей осуществляется струнами (рис. 133). Перед закреплением струн производят контрольные промеры расстояния между верхней и нижней линиями перегиба.

§ 132. Установка продольных швеллеров, натяжных и приводных станций

Для установки продольных швеллеров по оси каждого эскалатора натягивают струны № 1, 2 и 3 (рис. 134). В плане швеллеры устанавливают от отвесов, опущенных с указанных струн, путем откладывания проектных расстояний до оси швеллера. В профиле швеллеры устанавливают с помощью теодолита и рейки, которую ставят перпендикулярно плоскости швеллера, для чего применяют специальный угольник. Отсчеты по рейке производят по горизонтальной нити трубы теодолита, установленного на специальной металлической балке в створе оси продольного швеллера. При этом визирную ось теодолита устанавливают строго параллельно продольной оси тоннеля.

Отсчет по рейке получают следующим образом. Из проектного чертежа находят расстояние m от горизонтального диаметра тоннеля

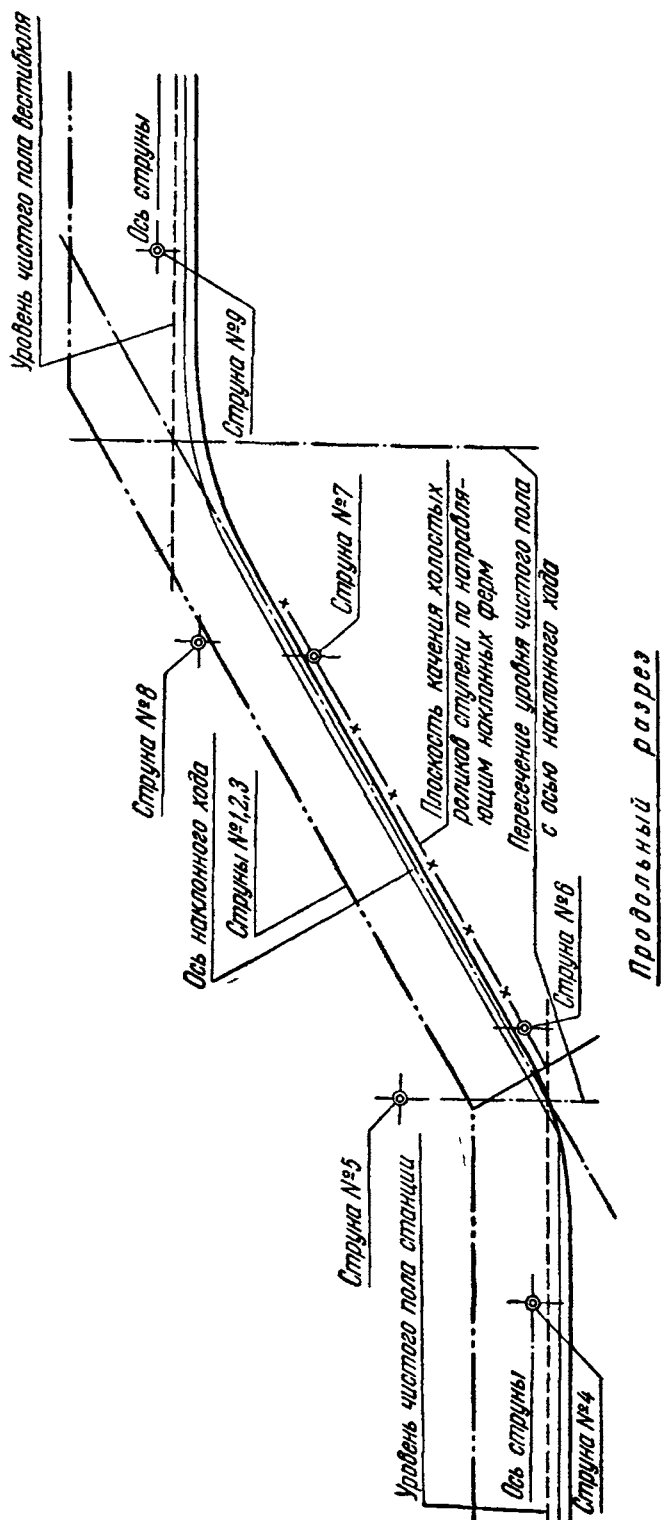


Рис. 133. Схема закрепления струн при монтаже эскалаторов (продольный разрез).

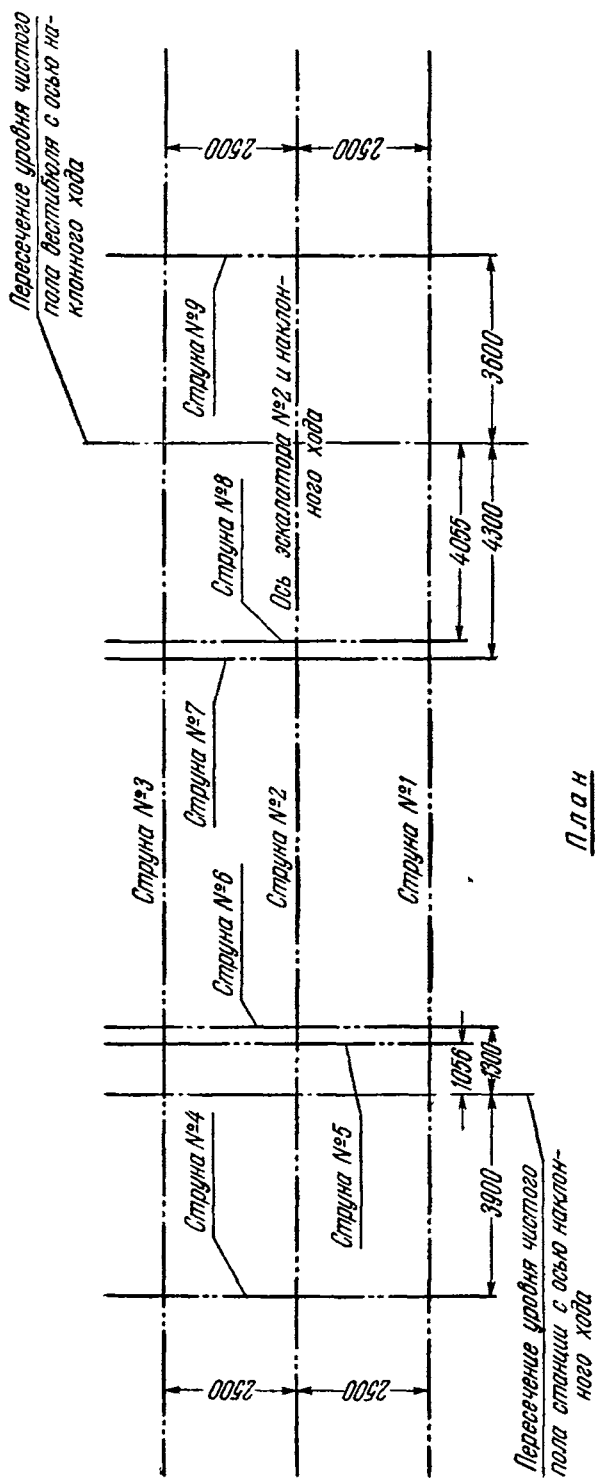


Рис. 134. Схема закрепления струн при монтаже эскалаторов (план)

до продольного швеллера. Определяют пикетное значение оси установленного теодолита и с помощью нивелирования получают отметку его горизонтальной оси. Расстояние n между осью трубы теодолита и горизонтальным диаметром тоннеля определяют по полученной отметке. Отсчет по рейке, устанавливаемой на продольный швеллер, будет равен $m - n$. Следует иметь в виду, что величина $m - n$ не должна превышать 0,5 м. Этого достигают подбором соответствующей высоты инструмента. Для задания визирному лучу направления, параллельного плоскости горизонтального диаметра тоннеля, в натяжной камере на пикете нижней точки перегиба выставляют нивелиром точку, отстоящую от горизонтального диаметра на высоту, равную $\frac{n}{\cos \beta}$. При такой установке визирной оси теодолита отсчет по вертикальному кругу должен быть равен проектному углу наклона.

§ 133. Выверка направляющих ферм и закрепление продольных осей эскалаторов специальными знаками

Реборды верхних направляющих всех ферм эскалаторов устанавливают в плане симметрично относительно струн № 1, 2 и 3 (см. рис. 134) с точностью ± 1 мм. Наклон направляющих под углом β

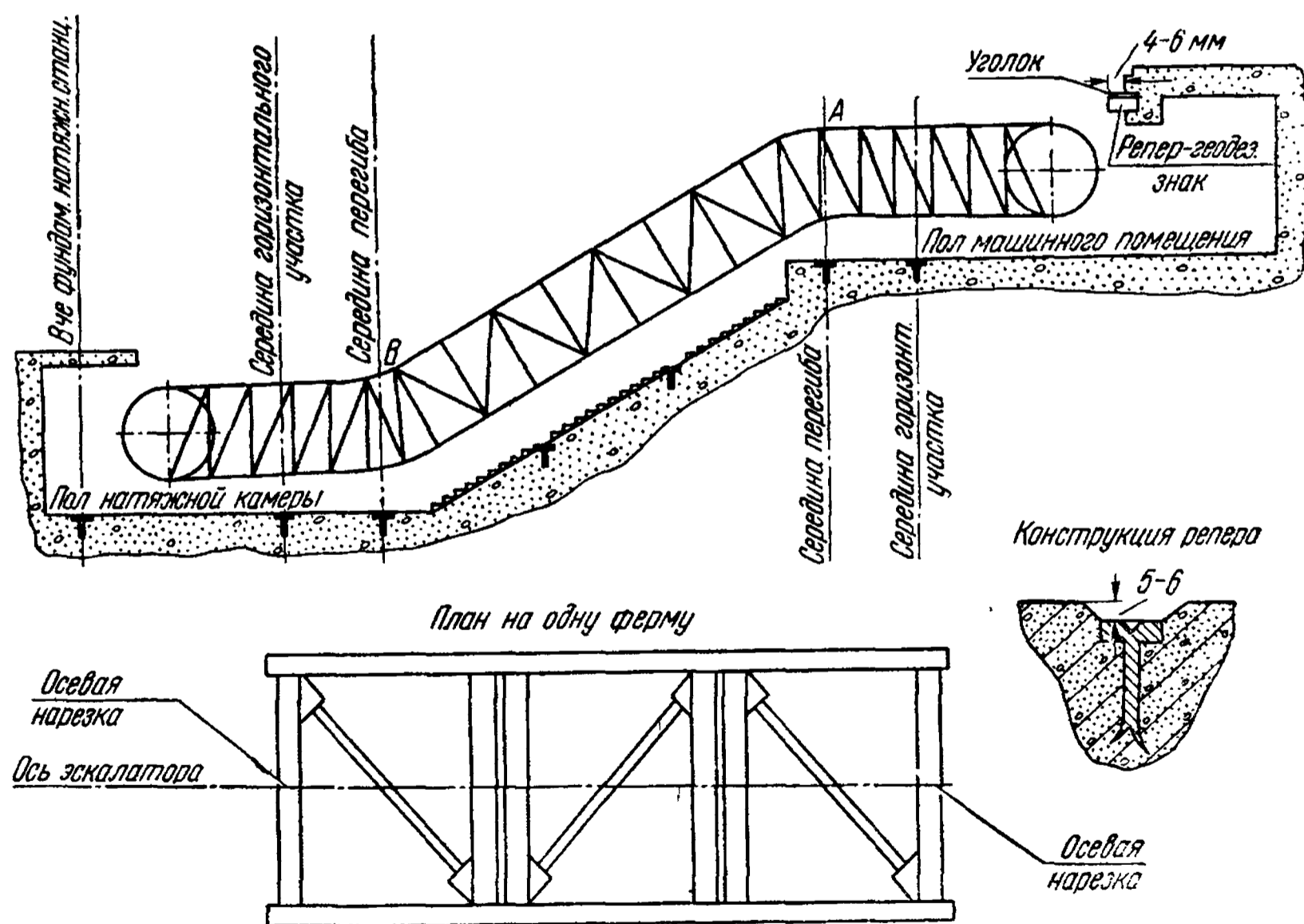


Рис. 135. Закрепление постоянных маркшейдерских знаков в наклонном ходе

(или 30°) устанавливают при помощи теодолита так же, как и при укладке продольных швеллеров. Поперечный перекос направляющих наклонных ферм не должен превышать ± 2 мм.

В нижней части наклонного хода (в натяжной камере) устанавливают натяжные фермы, а в верхней части (в машинном помещении) закрепляют фермы приводной станции. Натяжная и приводная фермы имеют литые направляющие, которые дают «бегункам» эскалаторов возможность перехода от горизонтального положения к наклонному соответственно углу наклона оси тоннеля к горизонту. Верхние плоскости литых направляющих натяжных и приводных станций должны быть расположены горизонтально, ниже уровня чистого пола на 310 мм. Эти станции устанавливают с точностью ± 1 мм от струн № 4 и № 9, закрепленных перпендикулярно к продольным осям эскалаторов.

По окончании монтажа эскалаторов продольные оси их закрепляют в натуре специальными знаками в бетоне лотка и нарезками, вынесенными на фермы (рис. 135). Кроме того, необходимо заложить реперы (геодезические знаки) в верхней части машинного помещения.

Контрольные вопросы:

1. Какие геометрические фигуры получаем в результате сечения наклонного цилиндра нормальной и горизонтальной плоскостями?
 2. Как производится разбивка замораживающих скважин наклонного хода на поверхности?
 3. Что такое кондуктор и способы его установки?
 4. Как определяются искривления замораживающих скважин и их глубина?
 5. Как определить пикетаж и координаты точки пересечения оси наклонного хода с поверхностью земли?
 6. Как и для чего составляют исполнительные чертежи наклонных замораживающих скважин?
 7. Что такое маркшейдерский столик и его назначение?
 8. Как устанавливаются кольца эскалаторного тоннеля?
 9. Что такое вертикальное и горизонтальное опережение колец?
 10. Какие маркшейдерские работы производятся при монтаже эскалаторов?
-

ГЛАВА 17

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

§ 134. 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 геологических 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. п.), 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.

§ 135. 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 удоб-

ства 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 асфальтном 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.

§ 136. Вынесение и закрепление трассы на местности

Для вынесения в натуру проекта трассы предварительно решают обратные задачи на координаты и составляют схемы разбивок. В результате вычислений получают необходимые для разбивки 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 перевернуть. 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 натуре 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.

§ 137. 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 проходимых 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 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 свай в разных копрах разное. Расстояние от оси тоннеля до лицевой плоскости сваи получают из проекта. 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. 136).

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 по-

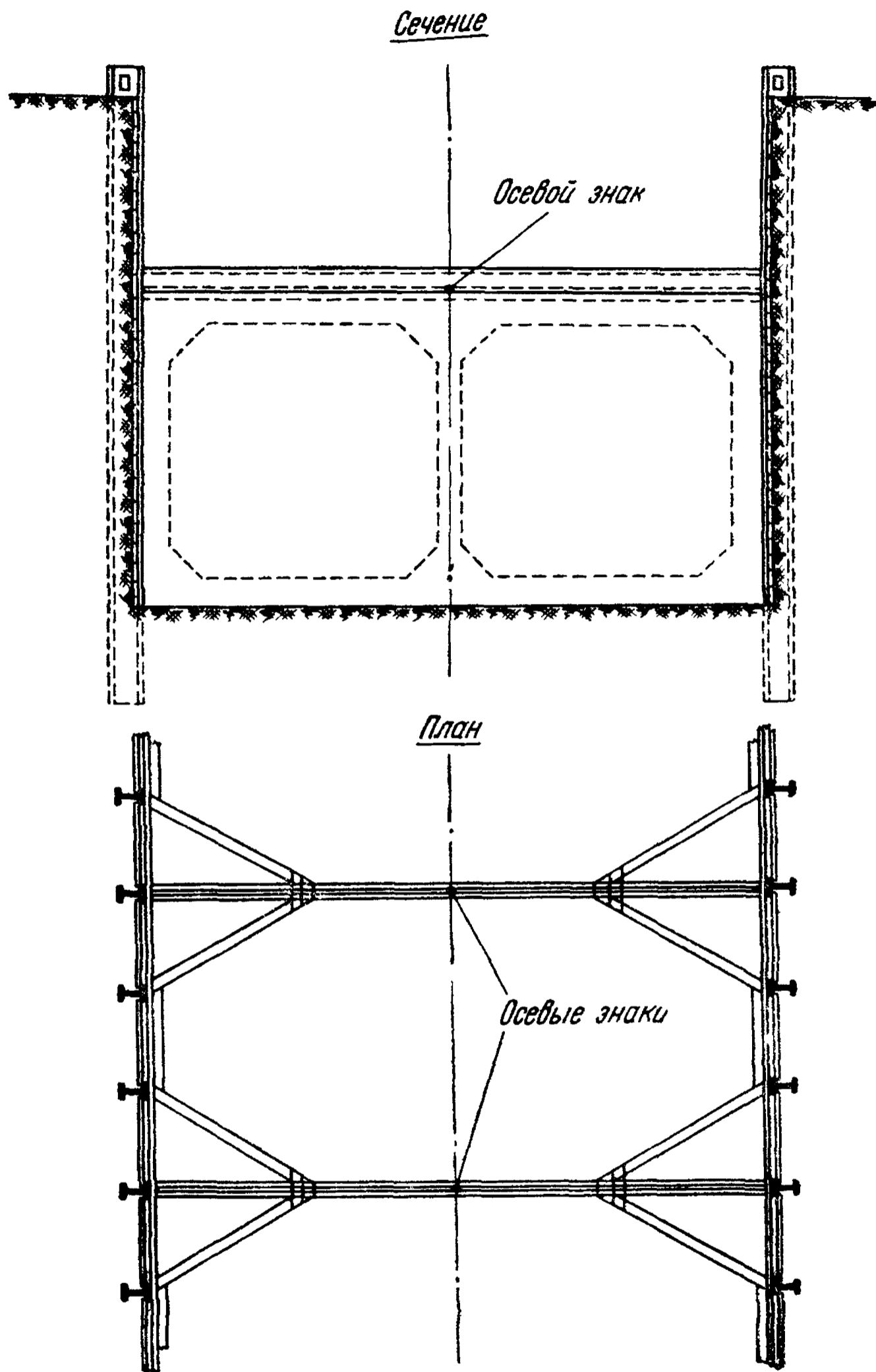


Рис. 136. Схема закрепления котлована сваями

мощью 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.

§ 138. Снесение проектной оси и отметок на крепление котлована

§ 138. 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. 136), 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. 137) 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 (см. главу 6), образующих ломаную линию, которая лишь незначительно отклоняется (в пределах

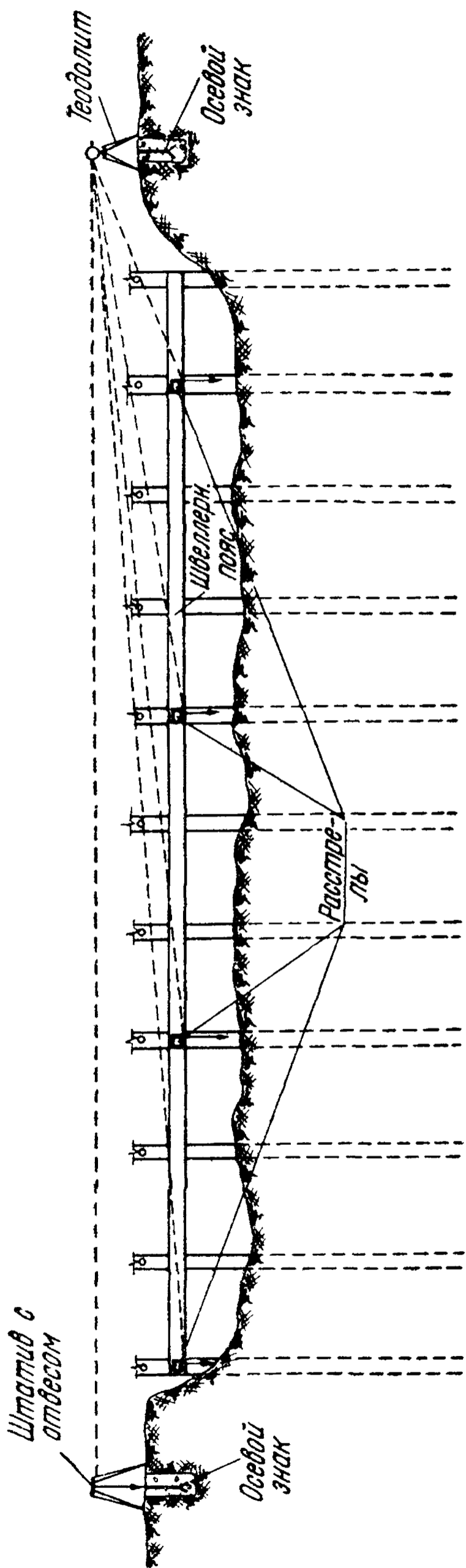


Рис. 137. Сноска на крепление котлована оси и отметок

$\pm 0,020$ м) от фактической кривой. Длины сторон ломаного контура зависят от радиуса кривой и составляют для хорд

$$X_{\text{пр}} = 2,8 \sqrt{Rb_{\text{max}}}$$

и для секущих

$$C_{\text{пр}} = 4,0 \sqrt{Rb_{\text{max}}},$$

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. 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 креплениях боков котлована закладывают реперы и определяют их отметки от реперов на поверхности.

§ 139. 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.

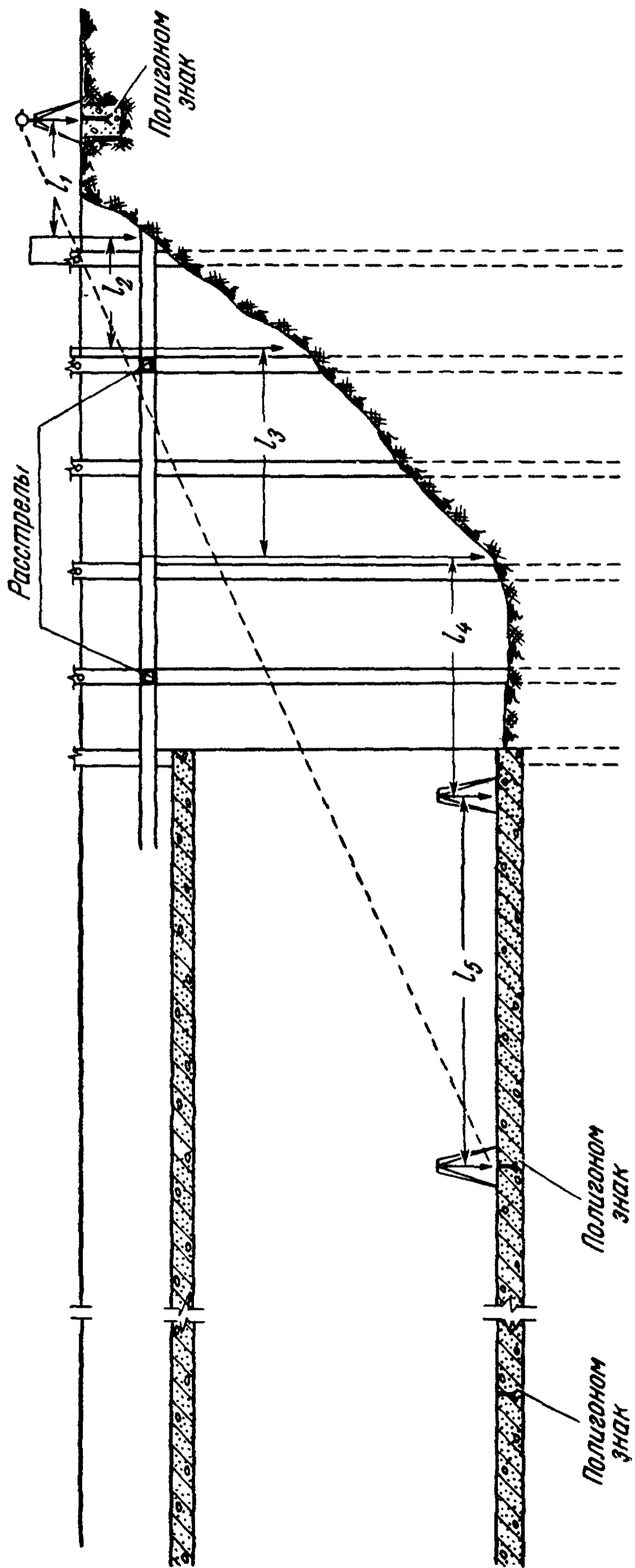


Рис. 138. Вынос оси и ПЗ в готовый отрезок тоннеля

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. 138). При отсутствии в некоторых местах прямой видимости применяют способы косвенного измерения линий и внутренних измерений углов, описанные в главе 10. До момента перекрытия 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.

§ 140. 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 проливкой 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 каждые 20—30 м.

§ 141. Маркшейдерские замеры объемов при разработке грунта и укладке бетона

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 (см. § 135), 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.

Контрольные вопросы:

1. Какие основные геодезические работы проводят для обеспечения открытого способа?
 2. В чем преимущество микротриангуляции при этом способе работ?
 3. Способы выноса и закрепления главных точек трассы на поверхности?
 4. Разбивка на креплении котлована осевых и высотных знаков?
 5. Как переносят ось и полигонометрию в готовые отрезки тоннелей?
-

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАЗБИВКИ ПРИ УКЛАДКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ТОННЕЛЯХ

§ 142. Основные сведения о верхнем строении пути на жестком основании

Железнодорожные пути в тоннелях метрополитенов имеют три основные части (рис. 139): нижнее строение пути (жесткое основание) 1, верхнее строение пути 2 и контактный рельс 3. Нижняя

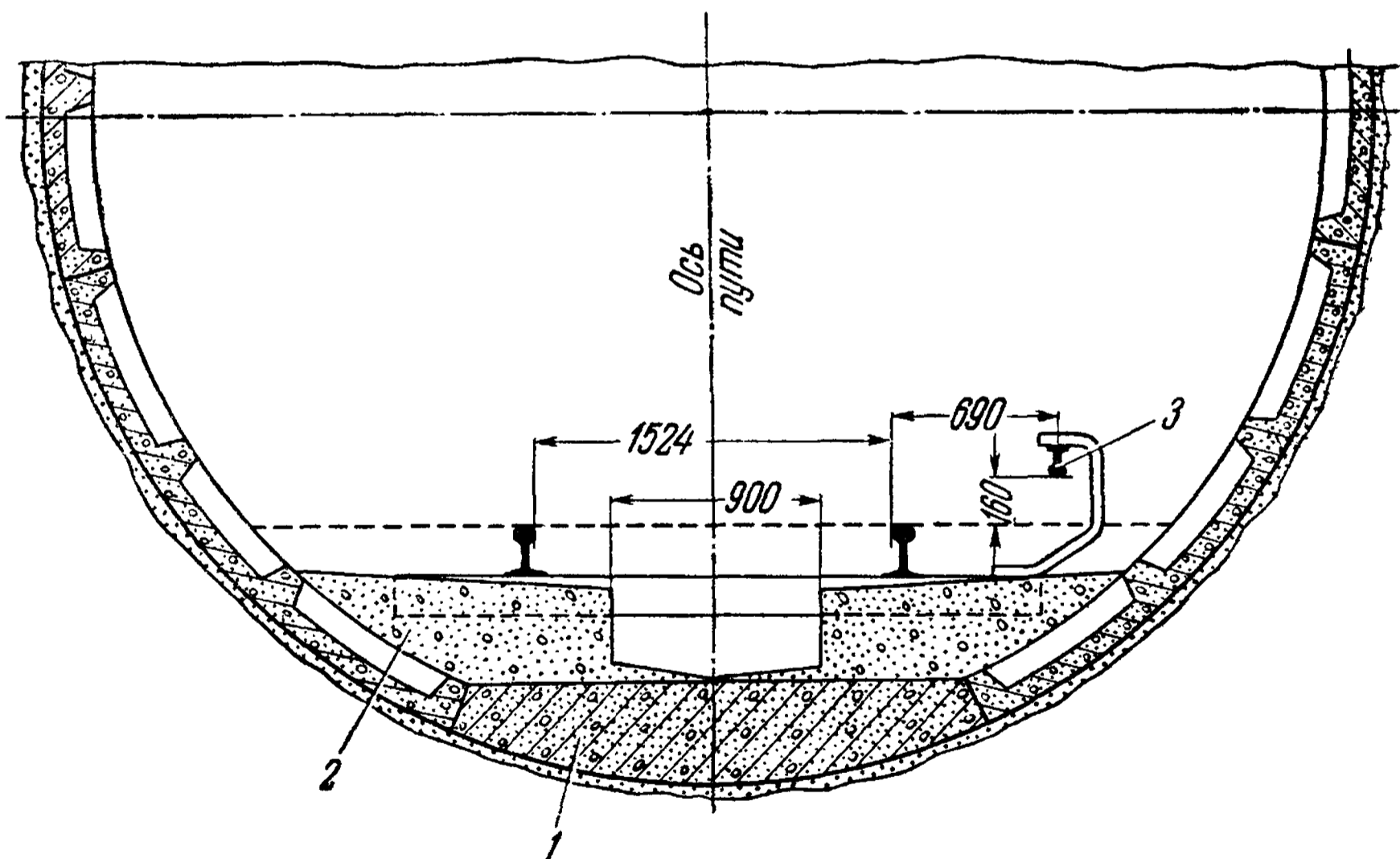


Рис. 139. Тип пути на прямой в перегонном тоннеле

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 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.

§ 143. Габариты тоннелей

Габаритом называют предельное очертание какого-либо сооружения. Для обеспечения безопасности движения поездов по рельсовым путям установлены следующие габариты:

Д л я т о н н е л е й м е т р о п о л и т е н о в

1. Габарит подвижного состава — поперечное, перпендикулярное к оси пути очертание, в пределах которого должен размещаться как порожний, так и груженный 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

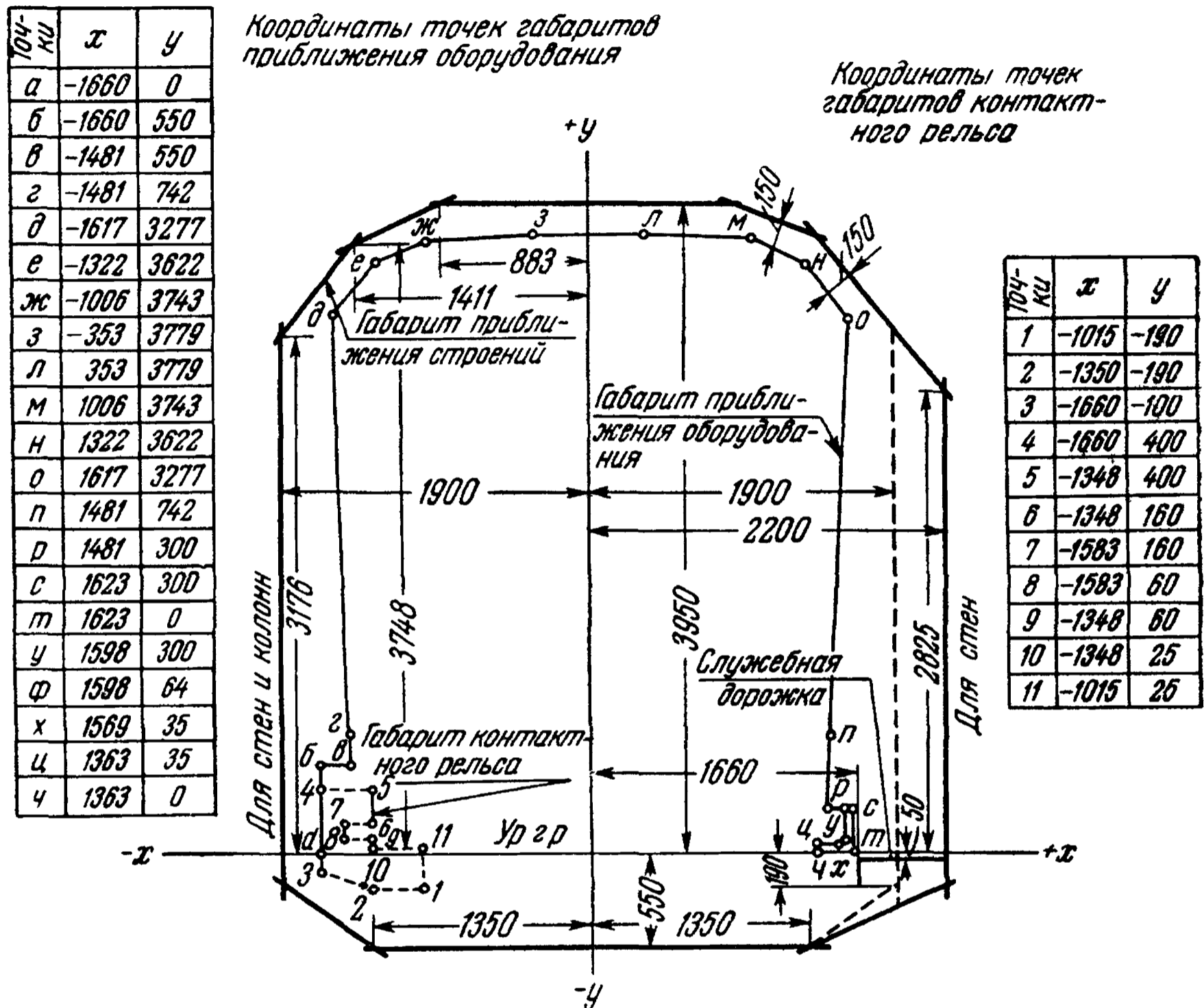


Рис. 140. Габариты для перегонных тоннелей с вертикальными стенами на прямом участке пути

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. 140 показаны габариты перегонных тоннелей 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 вертикальными 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.

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—59) «Габарит приближения строения и подвижного состава железных дорог колеи 1524 мм». В новом ГОСТе установлен

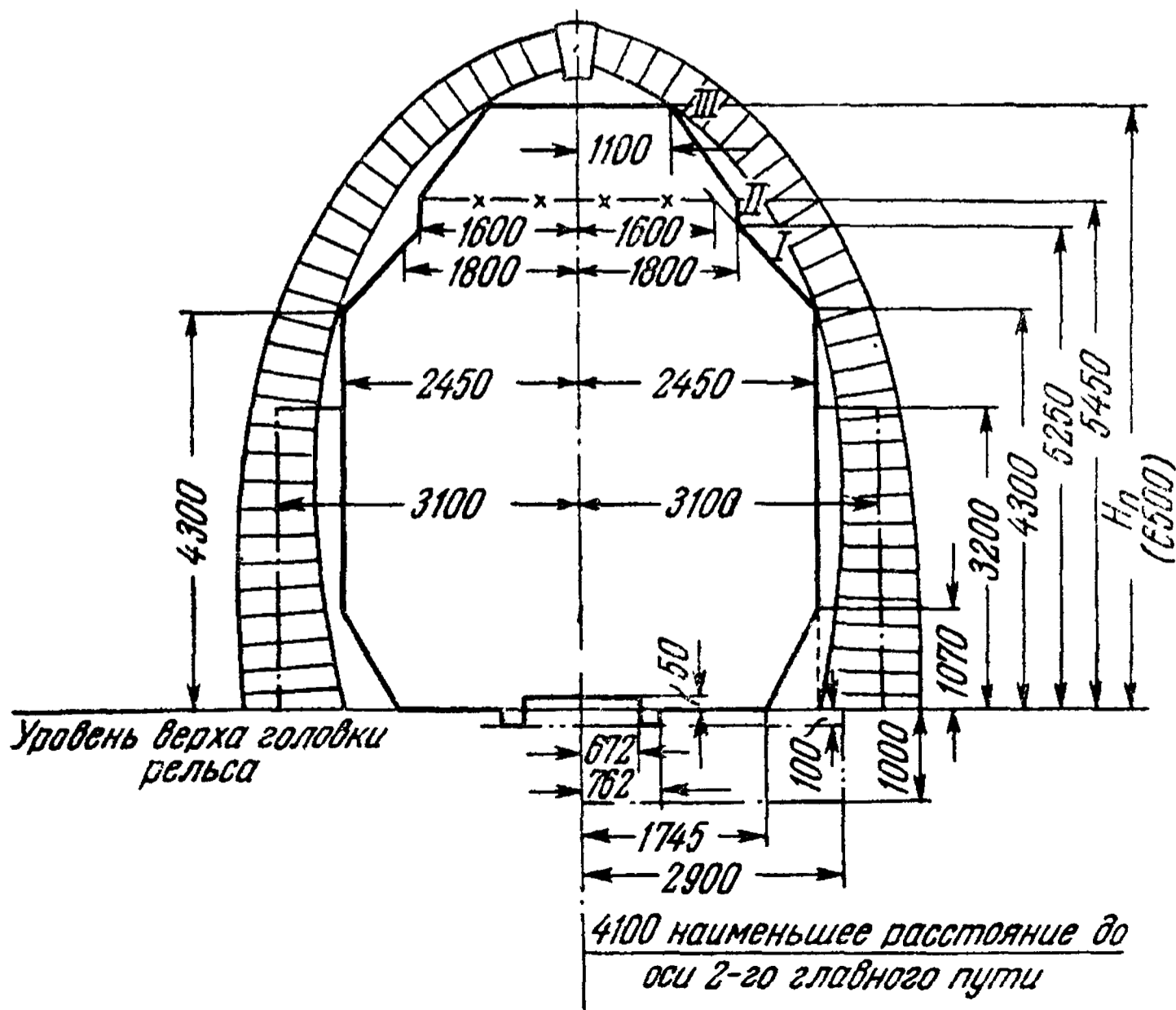


Рис. 141. Габарит «С» приближения строений для железнодорожных тоннелей

единый для всех сооружений и устройств железных дорог габарит приближения С (рис. 141) взамен габаритов 1—С, 2—С, СТ—1 и СТ—2 (однопутные и двухпутные тоннели). В новом 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 состава 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.

§ 144. 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 устанавливаются 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.

§ 145. Способы закладки путейских реперов в тоннелях

Общий вид путейского репера изображен на рис. 142. 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, которое вставляется в квадратное отверстие в головке репера. Под круглой головкой болт имеет квадратное сечение,

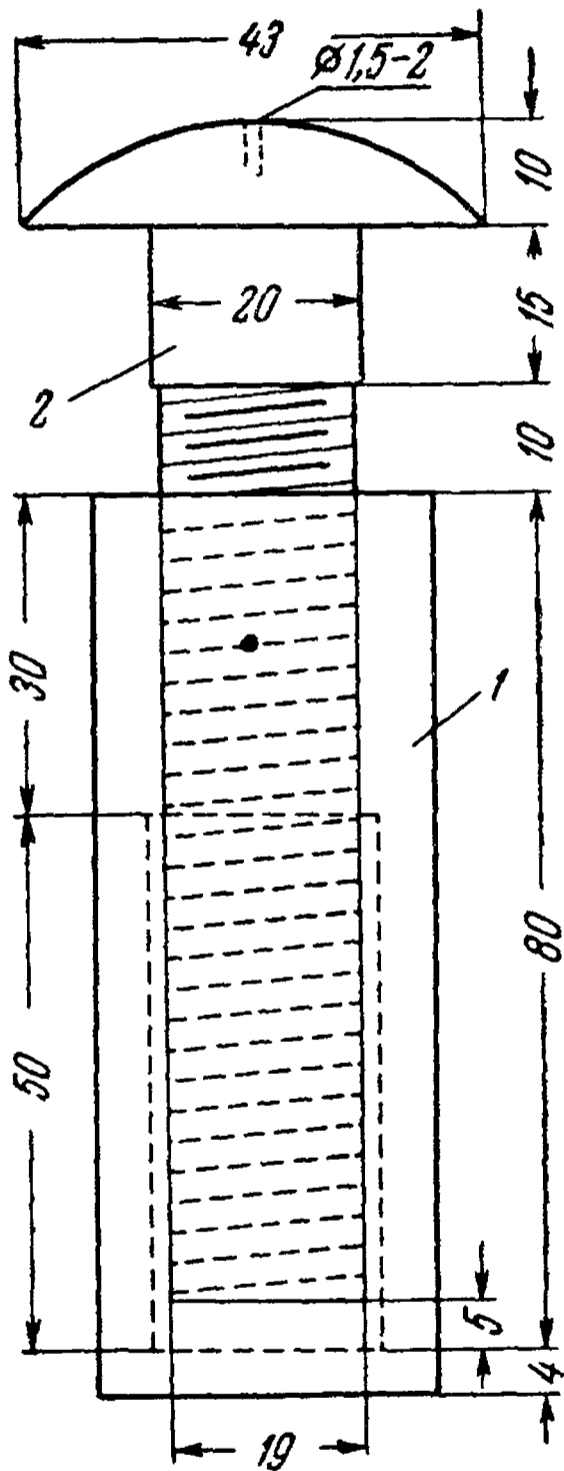


Рис. 142. Путовый репер

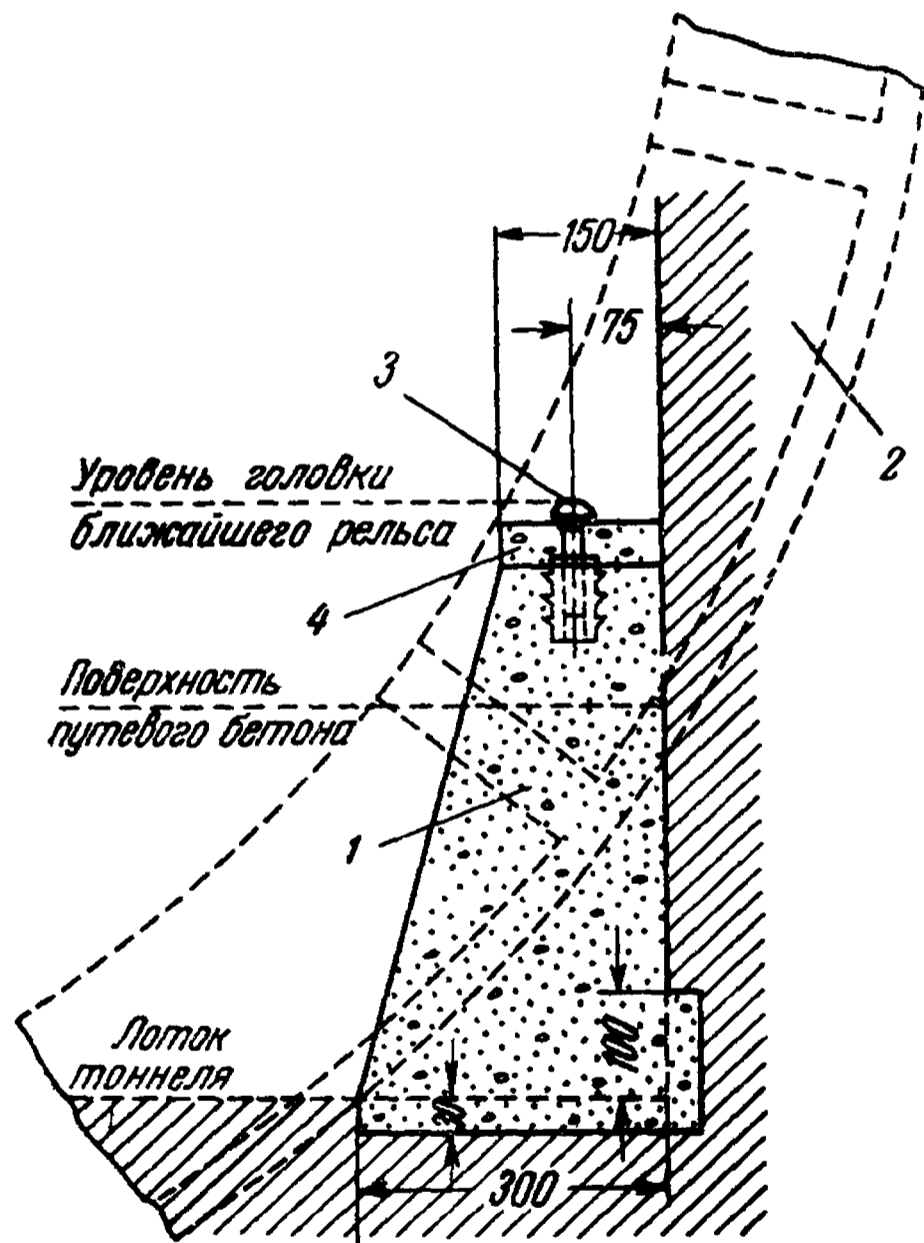


Рис. 143. Закрепление путейских реперов в тоннеле

1 — прямоугольного сечения, 2 — в тубинговом тоннеле, 3 — путейский репер, 4 — бетонная подливка

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 очер-

тания тоннеля (рис. 143). В тоннелях прямоугольной формы путейские реперы устанавливают также по типовому чертежу.

Для разбивки 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 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 разбивку 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.

§ 146. 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 забетониро-

ванных 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 ошибки 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.

§ 147. 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 ошибкой, 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 *I* (рис. 144) 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 *C*, на которую наводят визирную ось трубы теодолита. Таким образом, линия (*ПЗ 1—C*) 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 $\left(\frac{1524}{2}\right) = 762$ 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 определяемого путейского репера. Удаление путейского репера d 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.

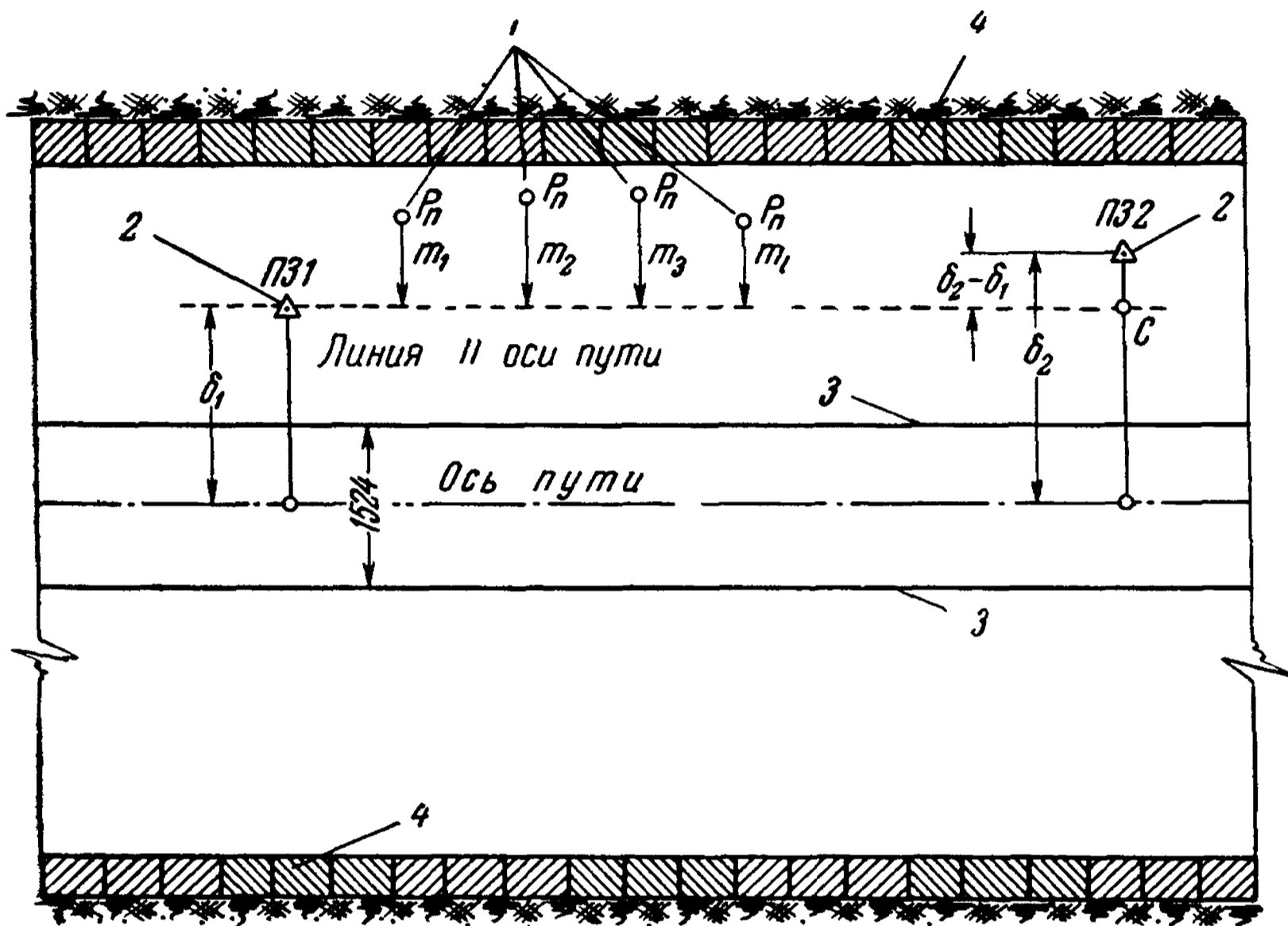


Рис. 144. Схема определения путейских реперов

1 — путейские реперы, 2 — полигонометрические знаки, 3 — рельсы, 4 — блоки тоннельной обделки

Вообще же на участке круговой кривой положение путейских реперов определяют от линии, параллельной хорде AB (рис. 145).

Для этой съемки 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, \dots, 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 $ПЗ 1—С$, параллельной хорде); b_i — стрела изгиба дуги $ПЗ 1—С$ 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

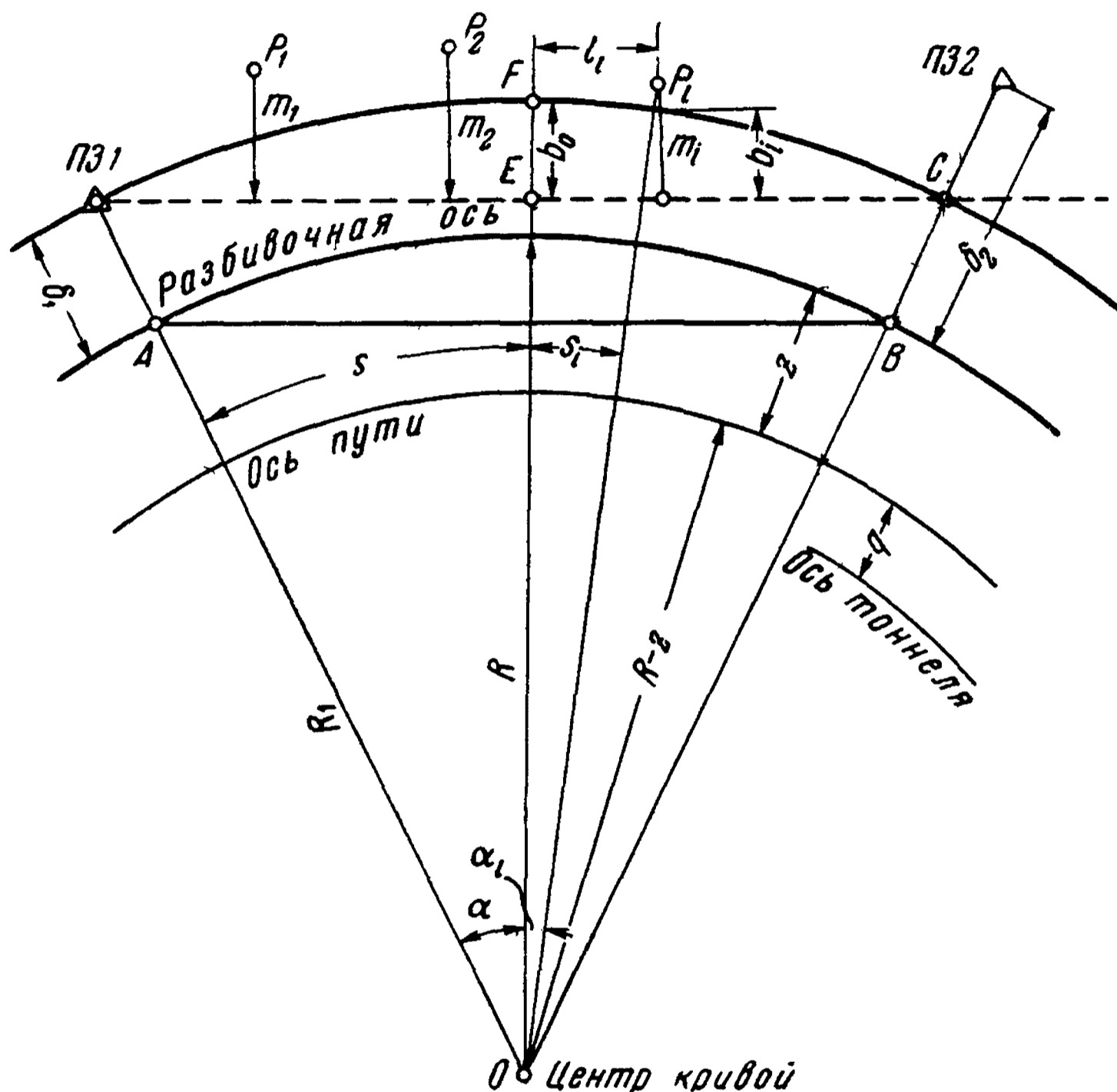


Рис. 145. Схема съемки и определения удалений путейских реперов на круговой кривой от оси пути

на отношение радиусов $\frac{R_1}{R}$ (R_1 — радиус дуги, проходящей через $ПЗ 1$); α_i — угол между радиусами, проходящими через середину хорды и определяемый путейский репер.

Стрелу b_0 на середине хорды вычисляют по формуле

$$b_0 = \frac{L^2}{8R},$$

где L — длина всей хорды, соединяющей $ПЗ 1$ и вспомогательную точку $С$.

При радиусах кривых и длинах хорд, не превышающих значений, указанных в табл. 25, величины $(m_i - b_i)$ за $\cos \alpha$ не исправляют.

Т а б л и ц а 25

R, м	Максимальная длина хорд, м
100	20
200	30
400	50
600	70
800	90
1000	100

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.

§ 148. 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. 146), 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

$$d_i = \delta_1 + m_i + y_i + \frac{l^4}{4C^2}^*,$$

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

$$y_i = \frac{l_i^3}{6C} - \frac{l_i^7}{336C^3};$$

* Формула и табл. 26 предложены инженером В. Н. Ишмаевым.

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. 26.

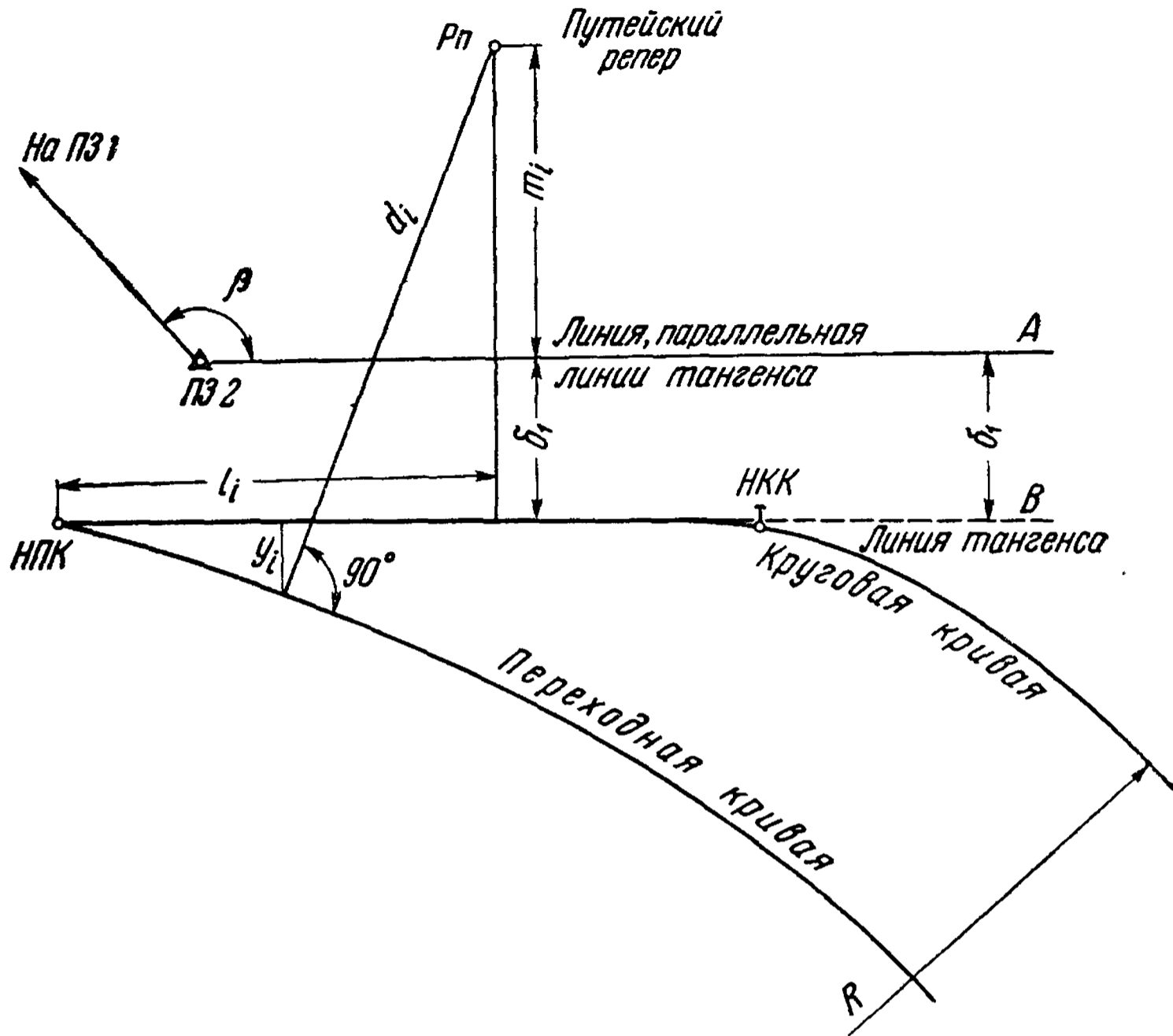


Рис. 146. Схема определения удаления путейских реперов на переходной кривой

Таблица 26

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	

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.

§ 149. 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.



Рис. 147. Укрепление пути распорными домкратами

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. 147), 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 $250 \times 250 \times 50$ мм. Между подошвой рельсов и плитами устанавливают деревянные клинья. Подбивая или ослабляя клин, можно поднять или опустить рельс. После раскрепления пути 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.

§ 150. 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 вагонок 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 (см. главу 5, § 4). 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. Стрелку 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 (ГИ) инструмента. 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.

§ 151. 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.

П у т е в ы е

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.

С и г н а л ь н ы е

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, устанавливаются на высоте не ниже 2 м от головки рельсов; знаки, необходимые для работников службы пути, устанавливаются на высоте 1,2 м от головки рельсов. Сигнальные и путевые знаки надежно закрепляются.

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 уклонов 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.

Контрольные вопросы:

1. Чем отличается путь в тоннелях от железнодорожного пути на поверхности?
 2. Какие применяются габариты в тоннелях?
 3. Что такое путейский репер и его назначение в тоннеле?
 4. Какие применяются способы определения удалений путейских реперов от оси пути на: а) прямой, б) круговой кривой, в) переходной кривой?
 5. Как устанавливаются звенья пути на проектную отметку?
 6. Какие применяются способы выверки и окончательной установки пути в плане и профиле?
 7. Какие путевые знаки устанавливаются в тоннелях?
-

ГЛАВА 19

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЕЙ СООРУЖЕНИЙ

§ 152. 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 коммуникаций — водопровода, канализации и пр.) и реперов на зданиях и сооружениях, расположенных на дневной поверхности. 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.

Деформационные реперы намечают вблизи основных углов зданий, а на вытянутых в длину зданиях — на расстоянии 20—25 м один от другого. 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. 27).

Т а б л и ц а 27

№ реперов	Адреса реперов	Характер здания	Фасад или двор	Характер репера	Примечания
756 157	Пр. Пушкина, д. 30 Ул. Огарева, д. 20	7 кж 2 смж	Двор Фасад	Костыль Цоколь	

В процессе рекогносцировки уточняют характеристики и адреса зданий, а также планы поверхности. В необходимых случаях производят съемку домов, не отмеченных на плане.

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 выполняют зарисовку и линейные привязки репера к ближайшей характерной точке ситуации.

Деформационными реперами охватывается вся зона предполагаемых осадков. 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 посередине и по концам станции, а в камерах съездов — в характерных местах.

§ 153. 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 осадков 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 зданиями.

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 осадков 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 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. Для деформационных работ на все реперы II, III и IV разрядов составляют единый каталог по следующей форме (табл. 28).

Таблица 28

№ реперов	Адреса реперов	Первичные отметки	Текущие отметки					
			1960 г.		1961 г.		1963 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	

Первичное нивелирование выполняют выверенными нивелирами и двухсторонними рейками, ошибки нанесения дециметровых штрихов и пятков которых не должны превышать $\pm 0,5$ 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.

§ 154. 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. 29).

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

Дата наблюдений	Осадки в мм		№ реперов										
	7674	7675	7676	7677	7678	7679	7680	7681	7682	7683	7684	7685	
15.XII 1963 г.	2	1	3	4	1	2	3	4	2	1	0	2	
12.I 1964 г.	4	5	6	7	8	10	4	6	4	5	12	5	

достигают значительных размеров, составляют промежуточные ежедневные сводки непосредственно после получения полевых данных.

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.

§ 155. 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 грунтов, 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 (тубинги, 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 стационарного кольца показан на рис. 148.

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 тубингах 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 деформацией. Для этой цели в конструкцию закладывают деформа-

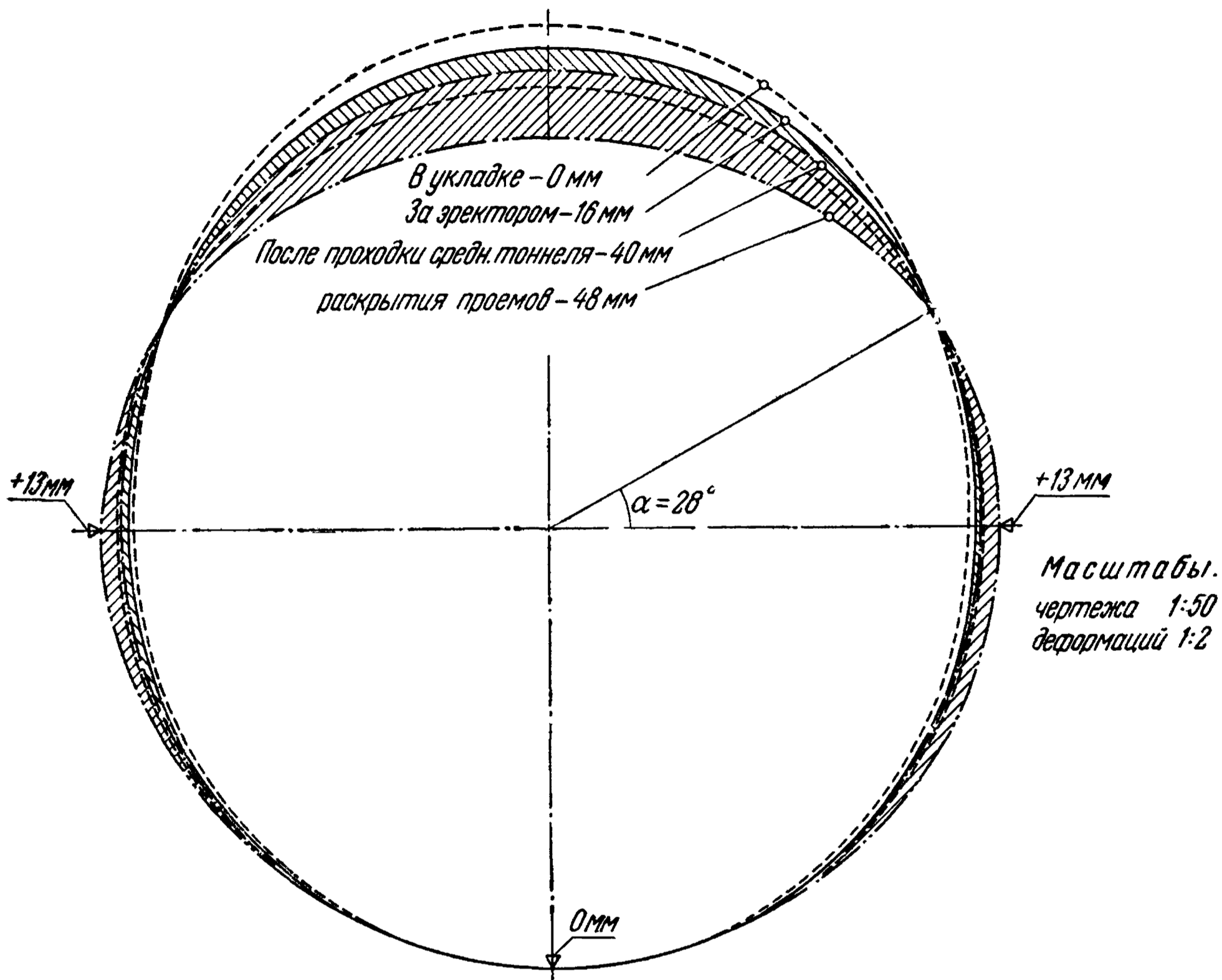


Рис. 148. Деформация кольца тоннеля станции

ционные 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.

Контрольные вопросы:

1. Как организуются наблюдения за деформацией поверхностных сооружений?
 2. Что такое первичное нивелирование деформационных реперов и как оно производится?
 3. Какие материалы должны быть получены в результате наблюдений за деформациями и как они оформляются?
 4. От чего зависит периодичность наблюдений за деформацией сооружений?
 5. Какие наблюдения за деформацией производят в подземных сооружениях?
-

ГЛАВА 20

СОСТАВЛЕНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ

§ 156. Съёмка выработок и конструкций в процессе строительства

Съёмка 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 съёмку горных выработок можно произвести от сооружённой 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 съёмки горной выработки от собранного кольца на требуемом пикете всегда можно вычислить отметку лотка и свода и составить план, профиль и поперечное сечение горной выработки. Съёмка 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, съёмка 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. Съёмку таких участков выполняют также радиальными промерами рулеткой или рейкой от щита или тоннельной обделки.

Съёмку конструкций и самой тоннельной обделки производят после завершения бетонных и монтажных работ. С помощью теодолита, нивелира, рулетки и рейки производят внутритоннельную съёмку от знаков подземной полигонометрии методами и приемами, известными из геодезии. Съёмку внутреннего очертания тоннеля, сооружаемого из монолитного бетона, чаще всего выполняют спо-

собом 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. 149) 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).

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.

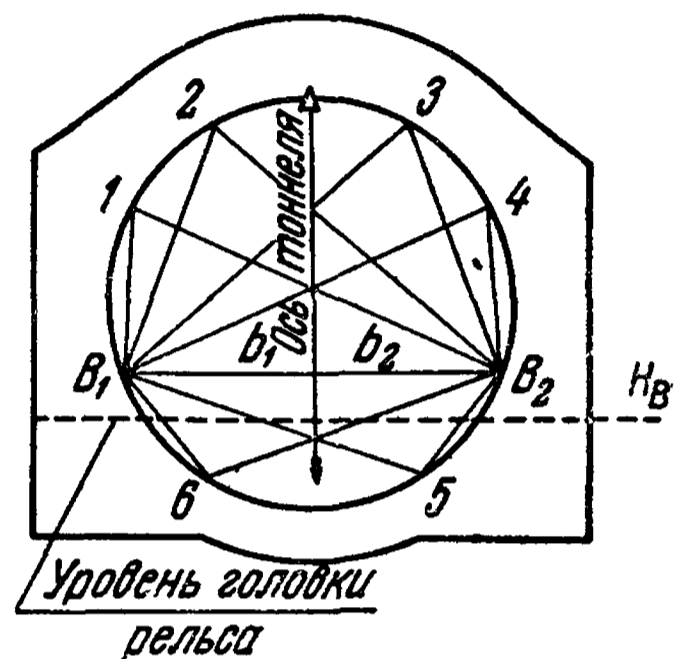


Рис. 149. Съемка внутреннего очертания тоннеля

§ 157. 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. 150) в объеме и масштабах, предусмотренных технической инструкцией (ТИ-12-56, 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 обреза 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.

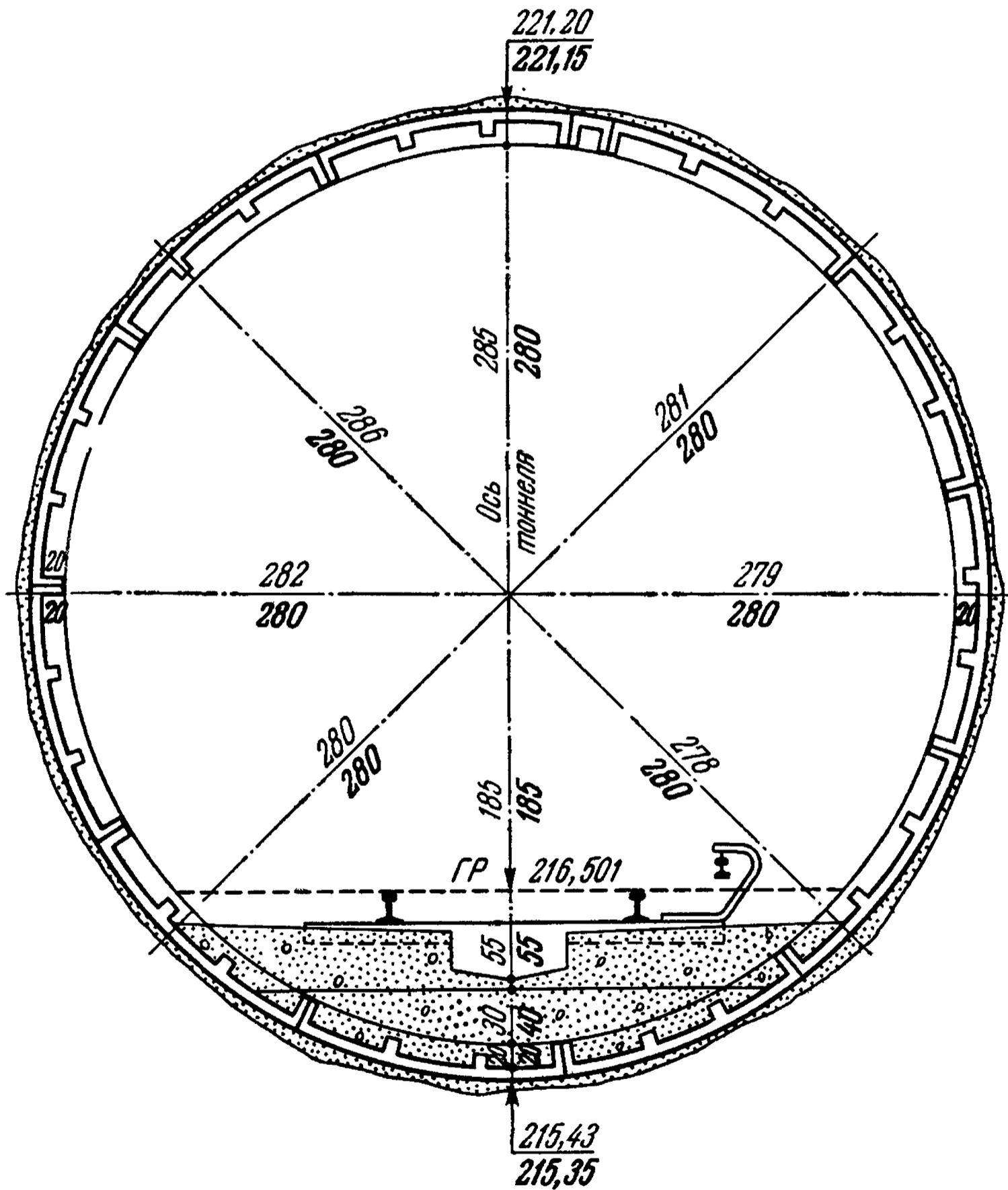
Чертежи небольшого размера размещают по несколько штук на одну форматку. Брошюровку и склейку форматок в альбомах производят по их длинной стороне. При составлении чертежей в карандаше материал конструкции в условных знаках не изображается, а подписывается. Все размеры указывают в сантиметрах.

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

Поперечное сечение тоннеля
Левый путь
ПК 290+56,73
М-1:50



Начальник строительства
Главный маркшейдер

(Кочергин)
(Чеклин)

Рис. 150

облицовки производят по условным знакам. Размеры на всех чертежах дают дважды: проектные — красной тушью*, фактические — черной.

§ 158. 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 показанием 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 составляют в масштабе 1 : 200. На плане показывают сопряжение станции с перегонными тоннелями, служебными и стационарными сооружениями (понижительные подстанции, санузлы и др.) и околоствольные выработки. Продольные профили по осям путевых тоннелей

* На рис. 160 проектные размеры даны жирным шрифтом.

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 располагался 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 стороны 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, а также планы, продольные разрезы и поперечные сечения служебных и подсобных сооружений станции и наклонных ходов составляют с выполнением тех же требований, что и при составлении чертежей самой станции.

В е с т и б ю л и. 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.

Ж е л е з н о д о р о ж н ы е , г и д р о т е х н и ч е с к и е и д р у г и е т о н н е л и. При строительстве железнодорожных, 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);
- 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);

- 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.

§ 159. Составление чертежей, схем и каталогов геодезической основы

Схемы расположения пунктов геодезической основы (наземной и подземной полигонометрии и нивелирования) составляют в масштабах 1 : 2000—1 : 5000 с показанием 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.

Каталоги и описания составляют по специальным формам, указанным в технических инструкциях.

Контрольные вопросы:

1. Как производится съемка горных выработок и конструкций тоннелей?
 2. Какие основные требования предъявляются к исполнительным чертежам?
 3. Какие составляются исполнительные чертежи и в каких масштабах?
-

ЛИТЕРАТУРА

Баранов А. Н., Егунов К. И., Зельцер Е. И., Лебедев Н. Н., Слободчиков Д. А., Черемисин М. С. Геодезия в тоннелестроении. М., Геодезиздат, ч. I, 1952 и ч. II, 1953.

Афанасьев В. Г., Алексеев А. О., Бондин М. Ф., Зельцер Е. И., Курдюков А. Н., Савельев Н. А., Соколов Е. Н., Фетисов В. С. Техническая инструкция по производству геодезическо-маркшейдерских работ. М., Минтрансстрой, 1956.

Черемисин М. С. Геодезические сети при крупном подземном строительстве. М., Геодезиздат, 1960.

Лебедев Н. Н. Инженерная геодезия, ч. VI. М., Геодезиздат, 1959.

Дурново П. С. Организация ремонта и содержания пути. М., Трансжелдориздат, 1945.

Лютц А. Ф., Сорокин В. П., Финковская Т. С., Кокорихин М. Ф. и Кирилленко В. С. Геодезия в железнодорожном тоннеле. М., Геодезиздат, 1962.

Буланов А. И., Данилов В. В., Закатов П. С., Ермолов Б. П., Павлов В. Ф., Троицкий Б. Б. Геодезия. М., Геодезиздат, 1962.

Шилов П. И. Геодезия. М., Геодезиздат, 1961.

Левчук Г. П. Инженерная геодезия, ч. II—III. М., Геодезиздат, 1958.

Дитц О. Г. Геодезия. М., Геодезиздат, 1957.

Карасев Н. Ф., Степанов Я. И., Часовитин П. А., Шейнфайн Р. А., Якобс В. В. Постройка тоннелей. М., Оргтрансстрой, 1958.

Дитц О. Г., Лютц А. Ф., Федоров Н. В. Курс геодезии. М., Геодезиздат, 1940.

Бобылев Г. З. Геодезия. М., Архиздат, 1950.

Федоров Б. Д. Геодезия. М., Углетехиздат, 1957.

Чеботарев А. С. Геодезия, ч. I. М., Геодезиздат, 1955.

Буткевич Г. В. и Оглоблин Д. Н. Справочник маркшейдера. Ч. II, М. Гостехиздат, 1955.

Перегудов М. А. Геодезия и маркшейдерское дело. М., Углетехиздат, 1952.

Шутенков Г. С. Маркшейдерское дело. М., Гостехиздат, 1957.

Гришаев В. И. Железнодорожные тоннели. М., Гостехиздат, 1957.

Слободчиков Д. А. Геодезическо-маркшейдерские работы при строительстве Метрополитена. М., Трансжелдориздат, 1938.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Часть I. Геодезия

	Стр.
Введение	
§ 1. Предмет геодезии	5
§ 2. Понятие о форме Земли и ее размерах	6
§ 3. Единицы мер в геодезии. Прямоугольные координаты. Изображение сферической поверхности	7
§ 4. Практическое значение геодезии. Виды съемок	8
§ 5. Государственная геодезическая сеть	9
§ 6. Маркшейдерия при тоннелестроении — раздел инженерной геодезии	11
§ 7. Требования, предъявляемые к точности геодезических и маркшейдерских работ при строительстве тоннелей	12
Глава 1. Общие сведения по геодезии	
§ 8. Понятие о карте, плане и профиле	14
§ 9. Масштабы	14
§ 10. Условные знаки — контурные и внемасштабные. Координатная сетка	16
§ 11. Изображение рельефа местности	18
§ 12. Задачи, решаемые на планах с горизонталями	19
§ 13. Ориентирование линий местности	19
§ 14. Вычисление дирекционных углов сторон хода по углам. Вычисление углов хода по дирекционным углам его сторон	21
§ 15. Прямоугольные координаты точек. Приращения координат	22
§ 16. Прямая и обратная геодезические задачи	23
§ 17. Общие понятия об ошибках измерений и их вычисление. Абсолютная и относительная ошибки. Допустимая невязка	25
Глава 2. Основные геодезические работы.	
Теодолитная съемка	
§ 18. Тоннельная триангуляция. Основная и подходная полигонометрия. Высотная основа	30
§ 19. Понятие о теодолитной съемке	32
§ 20. Закрепление точек на местности. Вешение линий	32
§ 21. Приборы для измерения линий	35
§ 22. Способы измерения линий. Допуски	36
§ 23. Теодолиты. Отсчетные приспособления	37
§ 24. Проверки и юстировки теодолитов	42
§ 25. Установка и центрирование теодолитов	44
§ 26. Способы измерения горизонтальных углов	46
§ 27. Измерение вертикальных углов	49
§ 28. Дальномеры. Устройство и пользование ими	51
§ 29. Способы съемки ситуации	53

	Стр.
§ 30. Составление геометрической схемы измерений. Обработка результатов измерений	55
§ 31. Построение координатной сетки на планах	62
§ 32. Накладка точек и контуров на план	62
§ 33. Измерение площадей. Планиметры	64
Глава 3. Геометрическое нивелирование	
§ 34. Общие сведения о нивелировании	66
§ 35. Типы нивелиров	68
§ 36. Глухие нивелиры и их поверки	70
§ 37. Нивелирные рейки	74
§ 38. Способы геометрического нивелирования	75
§ 39. Сложное нивелирование	76
§ 40. Влияние кривизны Земли и рефракции. Сравнение двух способов геометрического нивелирования	77
§ 41. Геометрическое нивелирование при изысканиях и проектировании инженерных сооружений	78
§ 42. Подготовка к геометрическому нивелированию по трассе линейного сооружения	78
§ 43. Разбивка пикетажа и главных точек кривых	79
§ 44. Пикетажный журнал. Работа на нивелирной станции	80
§ 45. Нивелирные журналы	82
§ 46. Обработка результатов нивелирования. Геометрическая схема	84
§ 47. Составление продольного и поперечного профилей	85
§ 48. Построение на профиле проектной линии. Уклоны. Красные отметки	87
§ 49. Способы нивелирования площадей. Составление планов с горизонталями	87
§ 50. Определение уклона рек и съемка их живых сечений	89
Глава 4. Тахеометрическая съемка. Фототеодолитная и аэрофотосъемка	
§ 51. Сущность тахеометрической съемки	90
§ 52. Теодолиты-тахеометры. Точность тахеометрических работ	91
§ 53. Порядок работы на тахеометрической станции	92
§ 54. Обработка результатов измерений. Составление плана	94
§ 55. Понятие об аэрофотосъемке и наземной фототеодолитной съемке	94
Глава 5. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации железнодорожного пути и искусственных сооружений	
§ 56. Разбивка железнодорожных кривых	97
§ 57. Геодезические работы при строительстве железнодорожного пути	103
§ 58. Геодезические работы при сооружении мостов	106
§ 59. Понятие о геодезических работах на железнодорожных станциях и при ремонте железнодорожного пути	108
Глава 6. Вычисления геометрических элементов трассы тоннеля и данных для разбивки ее в натуре	
§ 60. Общие сведения о проектировании и расчетах трассы тоннеля	111
§ 61. Геометрическая схема трассы	112
§ 62. Вычисление проектных координат целых пикетов на прямых и кривых отрезках трассы.	114
§ 63. Переходные кривые Неправильные пикеты	115
§ 64. Ось тоннеля на кривой	118
§ 65. Вычисление проектных точек на переходных и круговых кривых	119
§ 66. Геометрические схемы станций и эскалаторных тоннелей. Схемы околоствольных выработок	122
§ 67. Профиль трассы. Вертикальные кривые. Расчет отметок промежуточных точек	125

	Стр.
§ 68. Инженерные разбивки проекта сооружения	126
§ 69. Вычисление пикетажа и удаления (смещения) полигонометрического знака от проектной оси	128
§ 70. Способы разбивки проектной оси от знаков полигонометрии	130
Глава 7. Разбивка поверхностных шахтных сооружений	
§ 71. Съёмка, составление плана и планировка шахтной площадки	135
§ 72. Способы разбивки зданий	136
§ 73. Разбивка на поверхности центра ствола	137
§ 74. Разбивка осей ствола от знаков полигонометрии	138
§ 75. Разбивка оси подъема и шахтного комплекса	138
Глава 8. Геодезические работы при сооружении железнодорожных, автомобильных и гидротехнических тоннелей	
§ 76. Геодезические работы при изыскании и проектировании тоннелей	141
§ 77. Вычисление элементов трассы и способы вынесения их в натуру	142
§ 78. Размеры и формы поперечных сечений тоннелей	142
§ 79. Маркшейдерские разбивки при различных способах проходки тоннелей	144
Часть II. Маркшейдерия	
Глава 9. Ориентирование подземной маркшейдерской основы	
§ 80. Общие сведения	145
§ 81. Проектирование точек. Схемы примыкания	146
§ 82. Оборудование для проектирования отвесов. Подготовка ориентирования	148
§ 83. Производство ориентирования. Вычисления; точность ориентирования	151
§ 84. Физические способы ориентирования	158
§ 85. Ориентирование через две шахты	159
§ 86. Передача абсолютных отметок в подземные выработки	160
§ 87. Передача координат и высотных отметок через шлюзовую камеру в кессон	162
§ 88. Техника безопасности при производстве ориентирования	164
Глава 10. Подземная маркшейдерская основа	
§ 89. Подземная полигонометрия и ее назначение	165
§ 90. Расположение и закрепление полигонометрических знаков	165
§ 91. Особенности геодезических работ в подземных условиях	167
§ 92. Внецентренный способ измерения углов	169
§ 93. Высотная основа в подземных выработках	173
§ 94. Разбивка продольной оси тоннеля в подземных выработках	176
Глава 11. Маркшейдерские разбивки при проходке стволов, околоствольных выработок и штолен	
§ 95. Методы наблюдения за вертикальностью ствола в процессе его сооружения	181
§ 96. Съёмка поперечных сечений ствола, определение рабочего сечения. Разбивка для армирования	185
§ 97. Передача через ствол оси и высотной отметки для рассечек околоствольных выработок	186
§ 98. Разбивки при проходке штолен	188

Глава 12. Маркшейдерские разбивки при сооружении тоннелей горным способом с монолитной обделкой

§ 99. Общие сведения	190
§ 100. Передача оси и высотных отметок в боковые штольни. Расчеты для лекал	191
§ 101. Передача оси и высотных отметок в верхний горизонт через фурнель	192
§ 102. Разбивка оси и горизонтов для разработки калотт	193
§ 103. Изготовление, установка и выверка кружал для сводов	195
§ 104. Разбивки для лекал при бетонировании стен и лотка	197
§ 105. Вынесение и закрепление продольной оси для железобетонной рубашки	198
§ 106. Маркшейдерские разбивки при сооружении тоннелей с раскрытием на полный профиль	199
§ 107. Вычисление объемов грунта и бетона	200

Глава 13. Маркшейдерские работы при сооружении тоннелей горным способом со сборной обделкой

§ 108. Геометрические характеристики элементов железобетонных и чугунных колец	202
§ 109. Клиновидные кольца и прокладки	204
§ 110. Замена продольной оси на кривой системой хорд и секущих	205
§ 111. Укладка первых (прорезных) колец	206
§ 112. Эллиптичность колец. Причины ее возникновения и способы устранения	207
§ 113. Съёмка колец в плане и профиле	208

Глава 14. Ведение и определение тоннельного щита по трассе

§ 114. Щит, его монтаж, маркшейдерское оборудование	214
§ 115. Способы определения вращения щита вокруг продольной оси	217
§ 116. Способы определения положения щита в плане на прямых участках трассы и на переходных кривых	219
§ 117. Способы определения положения щита в плане на участке круговой кривой. Оптический клин	222
§ 118. Способы определения положения щита в профиле; продольный уклон щита	224
§ 119. Наблюдение за щитом во время его движения по трассе	226
§ 120. Маркшейдерская документация при сооружении тоннелей щитами	227

Глава 15. Маркшейдерские разбивки при сооружении и отделке станций метрополитена

§ 121. Особенности укладки колец станционных тоннелей. Набегание и кручение колец. Методы борьбы с кручением	231
§ 122. Разбивка осей на станционных платформах. Облицовка путевых стен. Допуски при укладке бортового камня и других работах	234

Глава 16. Маркшейдерские работы при сооружении наклонных тоннелей

§ 123. Геометрическая схема эскалаторного тоннеля	237
§ 124. Разбивка осей эллипса	238
§ 125. Разбивка наклонных скважин для замораживания грунтов	240
§ 126. Направляющие кондукторы	243
§ 127. Определение отклонений замораживающих скважин и замер глубин рабочих колонок	245
§ 128. Составление исполнительных чертежей замороженной зоны	246
§ 129. Маркшейдерский столик и его назначение	246
§ 130. Установка колец эскалаторного тоннеля	249

§ 131. Маркшейдерские работы при сооружении фундаментов и монтаже эскалаторов	251
§ 132. Установка продольных швеллеров, натяжных и приводных станций	251
§ 133. Выверка направляющих ферм и закрепление продольных осей эскалаторов специальными знаками	254
Глава 17. Геодезические работы при сооружении тоннелей открытым способом	
§ 134. Общие положения	256
§ 135. Подготовительные геодезические работы	256
§ 136. Вынесение и закрепление трассы на местности	257
§ 137. Плановые и высотные разбивки для разработки и крепления котлована	258
§ 138. Снесение проектной оси и отметок на крепление котлована	260
§ 139. Перенесение оси, точек полигонометрии и высотных реперов в готовый тоннель	261
§ 140. Наблюдение за деформациями и сдвигами тоннелей	263
§ 141. Маркшейдерские замеры объемов при разработке грунта и укладке бетона	264
Глава 18. Маркшейдерские разбивки при укладке железнодорожного пути в тоннелях	
§ 142. Основные сведения о верхнем стресении пути на жестком оснвании	265
§ 143. Габариты тоннелей	266
§ 144. Проектные укладочные схемы	269
§ 145. Способы закладки путейских реперов в тоннелях	270
§ 146. Определение фактического пикетажа путейских реперов	271
§ 147. Определение удалений путейских реперов от оси пути на прямом участке трассы и на круговой кривой	272
§ 148. Определение удалений путейских реперов на переходной кривой	275
§ 149. Установка рельсов железнодорожного пути на проектные отметки	277
§ 150. Способы выверки и окончательной установки железнодорожного пути в плане и профиле	278
§ 151. Тоннельные путевые знаки. Исполнительные чертежи	279
Глава 19. Наблюдения за деформацией сооружений	
§ 152. Организация наблюдений за деформацией поверхностных сооружений	281
§ 153. Зарисовка и фотографирование существующих дефектов на наземных сооружениях. Первичное нивелирование	282
§ 154. Оформление каталогов и схем. Периодичность нивелирования деформационных реперов	283
§ 155. Организация наблюдений за деформацией в тоннелях	284
Глава 20. Составление и оформление исполнительных чертежей	
§ 156. Съёмка выработок и конструкций в процессе строительства	288
§ 157. Порядок и сроки составления чертежей. Технические требования, предъявляемые к исполнительным чертежам	290
§ 158. Наименование чертежей и их масштабы	292
§ 159. Составление чертежей, схем и каталогов геодезической основы	297

ВАСИЛИЙ ГАВРИЛОВИЧ АФАНАСЬЕВ,
АЛЕКСАНДР ОНИСИМОВИЧ АЛЕКСЕЕВ,
ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ СОКОЛОВ

**ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ**

Редактор *М. С. Черемисин.*

Редактор издательства *Л. М. Комарькова*

Технические редакторы: *В. И. Алексеева, Л. Н. Ломилина*

Корректор *А. П. Пантелеева*

Сдано в производство 2/IV 1965 г.

Подписано к печати 4/VI 1965 г.

Формат 60 × 90^{1/16}. Печ. л. 18,75. Уч.-изд. л. 17,67. Т-08316. Тираж 2600 экз.

Заказ № 481/2083—15. Цена 77 коп.

Объявлено в сводном темплане учебников 1965 г. № 948. Индекс 1—1—2.

Издательство «Недра». Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.
Ленинградская типография № 14 «Красный Печатник» Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.

Московский пр., д. 91.