

Проф. М. И. ЕВДОКИМОВ-РОКОТОВСКИЙ

ТРАССИРОВКА и РАЗБИВКА ТУННЕЛЕЙ

ТОМСК

1929

Институт машиностроения им. А. Д. Степанова

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Томск. Окрлит № 846

Тип. Издат. „Кр. Знамя“
Томск, Тимиряз. пр., 2

Тираж 500 экз.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Предисловие	1
Часть I. Трассировка оси туннеля на поверхности земли.	
§ 1. Трассировка оси туннеля непосредственно по верху горного массива	5
I. Ось туннеля прямолинейна.	
А. Трассировка без применения угломерного инструмента .	5
В. Трассировка с устройством башни (обсерватории) на перевале и с применением прямых направлений визирования	6
С. Трассировка с устройством башни (обсерватории) на перевале с применением прямых и обратных направлений визирования	9
D. Трассировка с устройством башни (обсерватории) по концам туннеля	11
II. Ось туннеля криволинейна.	
А. Метод описанного многоугольника	14
В. Метод последовательных хорд	16
§ 2. Определение направления оси туннеля при помощи полигональной с'емки	17
§ 3. Туннельная триангуляция	28
Типы туннельных триангуляций	28
Выбор системы расположения точек сети туннельной триангуляции	33
Базис	35
Выбор места для базиса	35
Приведение длины туннеля к определенному уровню	39
Отклонение отвесов притяжением горных массивов	42
§ 4. Знаки, сигналы и обсерватории, применяемые при туннельных геодезических работах на поверхности земли	48
Знаки и сигналы	48
Центры	49
Сигналы туннельной триангуляции	51
Обсерватории (башни)	51
§ 5. Производство работ. Инструменты, применяемые при туннельных геодезических работах на поверхности земли	55
Производство работ по трассировке прямолинейн. туннелей .	56
Инструменты для трассировки туннелей	56
Производство работ	57
Производство туннельных триангуляционных работ	58
Инструменты для туннельных триангуляций	58
Измерение базиса	61
Вертикальная с'емка при трассировке оси туннеля	63
С'емка полигона	64

§ 6. Подготовительные работы на поверхности земли для разбивки	
оси туннелей под землей	64
Вычисление углов и направления оси туннеля	65
Вычисление длины туннеля	69
Закрепление направления туннеля; устройство створов	70
Вычисление углов, направления и длины боковых штолен	
(окон)	70

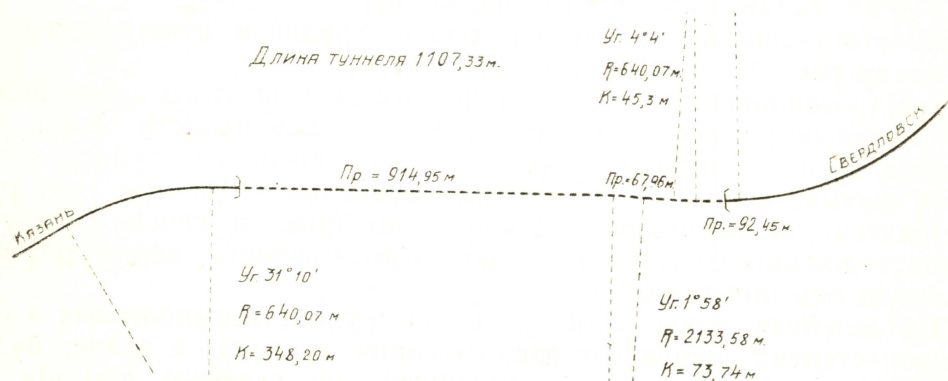
Часть II. Разбивка оси туннеля под землей.

§ 1. Визирные знаки	72
Визирные знаки, располагаемые вне туннеля	72
Визирные знаки, располагаемые внутри туннеля	77
§ 2. Разбивка туннелей с прямолинейной осью	80
Разбивочные знаки	82
Направляющая штольня расположена на оси туннеля	83
Разбивка оси гидротехнических туннелей	86
Направляющая штольня расположена вверху на оси туннеля .	86
Выноска точек окончательной разбивки	88
Направляющая штольня расположена внизу, но сбоку, в сто-	
роне от оси туннеля	89
§ 3. Разбивка туннелей с криволинейной осью	90
Визирные штольни	93
§ 4. Вертикальные и наклонные шахты. Горизонтально распо-	
ложенные штольни (окна)	95
Наклонные шахты	97
Горизонтально расположенные штольни (окна)	97
Разбивка вертикальных шахт	99
Разбивка оси туннеля через горизонтально расположенные	
штольни (окна)	102
§ 5. Разбивка при разработке туннеля на полный профиль . . .	103
Метод прямолинейных координат	103
Метод полярных координат	105
Контроль разбивки профиля по шаблонам	107
§ 6. Производство работ по разбивке оси туннеля. Инструменты	
для подземных геодезических работ	107
Нивелировочные работы	112
Определение (промер) длины пробитого туннеля	114
Промер малых туннелей	114
Промер длинных туннелей	115
Литература	116

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Можно решительно утверждать, что ни одна геодезическая работа в инженерном деле не требует такой тщательности, аккуратности и точности, как разбивка оси более или менее длинного туннеля во время его постройки. Едва заметная неточность при разбивке может повлечь за собой трудно поправимые искажения сооружения и вызвать дорого обходящиеся переделки и исправления. Малейшая неосторожность в работе или неверность в измерениях могут вызвать огромные последствия и испортить все дело. Можно было бы привести довольно много примеров, когда непринятие во внимание всех предосторожностей отражалось на разбивке туннеля в самой грубой форме.

Мне памятен случай у нас в СССР, когда в 1914 г. на Урале при разбивке туннеля длиной 1107,3 мтр. в результате недостаточно внимательной работы получилась сломанная прямая: туннель, запроекти-



рованный на прямой, получил поворот под углом $1^{\circ}58'$ при радиусе закругления в 2133,6 мтр. и другой поворот под углом $4^{\circ}4'$ при радиусе 640 мтр., иначе говоря, получился туннель, нелепый в своем плане. Мне памятен и другой случай: в 1911 г. при разбивке туннеля длиной 1601,8 мтр. расположенного на одной из окраинных дорог нашей Республики, инженер *** запутался в разбивке и, потрясенный неверными результатами,—застрелился.

Заграничная практика дает любопытные примеры из истории трассировки горных туннелей.

Так напр., при разбивке туннеля Сасако в Японии длиной около 8 клм. смычка туннеля получилась на несколько метров далее, нежели это ожидали согласно подсчета.

Просчитались также и при постройке туннеля на участке Биледжик-Каракиой на линии Анатолийской ж. д. в Азиатской Турции.

Несчастная ошибка в трассировке одного туннеля в Италии, расположенного на кривой, вызвала задержку работ на 4 месяца, была сопряжена со значительным перебором горной породы и обошлась в довольно крупную сумму перерасхода.

При разбивке одного туннеля в Индо-Китае прямолинейная ось туннеля в плане оказалась сломанной под углом $3^{\circ}17'$. Это обезобразило сооружение и причинило много неприятностей французским инженерам, строителям дороги.

Много жутких, мучительных минут приходится переживать строителям туннеля и лицам, ответственным за трассировку и разбивку, когда пробивка направляющих штолен близится к концу и ожидается смычка обоих ходов, ведомых с противоположных сторон. Сколько ликований вызывает момент, когда рушится скала, раз'единяющая обе штольни и таким образом удостоверяются в верности направления сооружения. Лица, производившие туннельные геодезические работы, пользуются тогда особенным, вполне заслуженным вниманием. Научные учреждения и ученые общества награждают их и даже иногда выбивают в честь их медали, как было напр. в отношении геодезистов, работавших на триангуляции Лечбергского туннеля.

Моменты, когда произойдет смычка, обычно ждут с лихорадочным нетерпением. Бывали случаи и за-границей, когда ошибки или даже замедления в наступлении ожидаемого момента смычки вызвали нервные расстройства и даже кончались самоубийством.

Впрочем, иногда не обходится и без курьезов: при постройке Сен-Готардского туннеля обе партии, работавшие с противоположных сторон, со стороны Гешенен и со стороны Айроло, сомкнулись по вертикали почти с математической точностью, но на несколько дней ранее, чем ожидали, а именно: когда им „по самому точному расчету“, оставалось пройти еще 60 мтр.

Все это указывает на то, насколько трудна и ответственна геодезическая работа по разбивке туннелей.

Под трассировкой туннеля в широком смысле этого слова, будем разуметь как определение и обозначение на поверхности земли направления оси прямолинейного или криволинейного туннеля, так равно и вообще все те геодезические туннельные работы, которые производятся на поверхности земли и которые в своем конечном результате должны свестись к созданию возможности верно разбить туннельную ось под землей.

Поставленная перед нами задача по трудности выполнения в значительной степени зависит от расположения туннеля в плане, будет ли он прямолинейный или криволинейный, но главным образом от общего рельефа местности, от гористости и утесистости района и от доступности его для производства геодезических работ. Туннельное строительство, протекая среди гор, всегда сопряжено с затруднениями в разбивке сооружения.

Все геодезические туннельные работы на дневной поверхности по своему характеру могут быть разбиты на несколько групп.

К первой группе относятся те туннельные работы, когда, в связи с незначительной длиной туннеля и при благоприятных условиях рельефа местности, возможно ограничиться трассировкой непосредственно по поверхности земли через горный массив. Рельеф местности играет здесь решающую роль: пробиваемый туннелем массив горы в своем внешнем очертании доступен для непосредственной трассировки. Известную роль играет при этом так же и простота расположения туннеля в плане. Может случиться так, что при сложном расположении туннеля в плане, хотя бы даже и при благоприятном рельефе местности, трассировку по поверхности непосредственно через горный массив хотя практически и вполне возможно осуществить, однако, точность работы может получиться несколько меньшая, нежели при применении другого способа определения направления оси туннеля на поверхности земли. Это соображение о точности разбивки приобретает тем большее значение, чем сложнее план туннеля и чем значительнее его длина.

Ко второй группе относятся те работы, когда при незначительной сравнительно длине туннеля при трассировке через горный массив в связи с утесистым малодоступным для работы рельефом местности возникает опасение за верность направления трассы. Поэтому в таких случаях для обозначения направления оси туннеля приходится обращаться к вспомогательным работам и производить съемку полигона, путем замыкания которого и достигается проверка направления трассы.

Наконец, третью группу работ составляют те работы, когда приходится иметь дело с туннелем значительной длины или же сложного очертания в плане. В таких случаях приходится обращаться к посредству тригонометрических работ и при помощи иногда сложной триангуляционной сети точно определять положение начальных и конечных точек туннельной оси, ориентируя ее в связи с общим положением триангуляционной съемки местности.

Тремя означенными группами не исчерпывается все содержание вопроса о проведении оси туннеля на поверхности земли. Сложность вопроса и многообразие обстоятельств, влияющих на производство туннельных геодезических работ и на их точность, вынуждает иногда обращаться к комбинированным приемам производства работ, вводя в принятый способ трассировки туннеля элементы производства работы полигонной съемки или же триангуляционных работ.

Лица, занимающиеся разбивкой оси туннеля, должны удовлетворять некоторым специальным требованиям. Помимо специальных знаний, они должны в повышенной мере обладать особыми личными качествами: быть аккуратны, строго внимательны, терпеливы и педантично последовательны в своей работе.

Употребляемые при трассировке туннелей инструменты должны быть точны, портативны, возможно просты и устойчивы.

Наконец, геодезические работы по трассированию и разбивке оси туннелей в горных местностях представляют собой ряд специфических для туннельного дела трудностей, заключающихся в следующем:

В местностях, окруженных высокими горами отвес отклоняется в силу притяжения этих гор, вследствие чего при вычислениях приходится вводить соответствующую поправку. При постройке Симплонского туннеля в первый раз, когда подсчитали триангуляционную сеть, то ошибка и невязка сети треугольников получилась настолько большая, что не было никакой возможности оперировать с полученными данными и только после того, как ввели соответствующие поправки на отклонение отвеса притяжением гор и надлежаще обработали прежние данные, невязка получилась ничтожная и подтвердила правильность произведенных работ. Классический пример введения поправки на отклонение отвеса в силу притяжения горных массивов имеется в работах проф. Левеля при постройке Лечбергского туннеля. Подробное описание этих работ будет мной дано в соответствующем месте.

Второю особенностью производства работ при разбивке туннелей является ограниченность фронта работы. Начать с того, что в связи с гористостью местности геодезические пункты приходится выбирать с особым умением так, чтобы таковые были хорошо видимы из других мест. Это представляет собой огромные затруднения, так как такие пункты должны быть видимы по крайней мере с трех других пунктов, что становится весьма трудно достижимым в силу рельефа местности. При этом приходится пользоваться сравнительно короткими базами, так как редко бывает возможно в какой либо долине разбить линию на столько, чтобы базис был длиной в несколько километров, как это довольно часто бывает при триангуляционных работах

в равнинной местности. Здесь же, среди гор приходится ограничиваться базисом всего только в 300—500 и редко в 700 мтр. Так было при постройке целого ряда горных туннелей.

Но наибольшая трудность и ответственность при определении направления оси туннеля на поверхности земли заключается в правильности выбора метода работ: трассировать ли без башен (обсерваторий) или же применять башни? Где расположить их? Сколько башен должно быть—одна или две? Не нужна-ли триангуляция? Быть может возможно и целесообразно применить полигонный ход? Как его расположить? Какие принять меры к получению наиболее верных результатов при наименьшей затрате труда и денежных средств? Вот те вопросы, которые неуклонно всегда встают при определении направления оси туннеля на поверхности земли и которые требуют максимум знания и практической подготовленности.

Еще большее затруднение встречается при разбивке под землей оси туннеля, боковых штолен (окон), вертикальных и наклонных шахт. Тесные темные пространства туннеля мало благоприятны для таких точных работ, требующих спокойного внимания и надлежащей обстановки, какими являются разбивка туннеля под землей. Возникает ряд вопросов: как обеспечить наибольшую верность работы? Каковы наиболее рациональные приемы производства работ? Какой инструмент применять? и т. д.

Работа геодезическими инструментами в туннеле весьма часто бывает обставлена столь затруднительными условиями и препятствиями, что предвидеть таковые заранее и, если не устранить, то хотя бы несколько смягчить их влияние весьма необходимо для успеха работы по разбивке.

Таким образом нельзя не притти к убеждению, что трудные и ответственные работы по назначению оси туннеля на поверхности земли путем триангуляции или же трассировки, а затем самая разбивка туннеля под землей нуждаются в подробном и всестороннем изучении. Далеко не всегда бывает возможность передать эти работы геодезистам. Обычно инженерам, строителям туннеля, приходится самим осуществлять разбивку туннеля как над-, так и под землей. К сожалению, ни у нас в Союзе, ни за-границей нет специального труда, посвященного вопросу трассировки и разбивки туннелей. Между тем, развивающееся в нашей Республике с каждым годом туннельное строительство дает повод и надобность возможно подробного ознакомления наших инженеров с методами производства геодезических работ по разбивке туннелей. Задавшись этой целью, я в настоящем труде обработал и систематически изложил данные, полученные мной из моего личного опыта постройки туннелей, затем собранные путем личной переписки с инженерами и, наконец, почерпнутые из русской и иностранной литературы.

Профессор *М. И. Евдокимов-Рокотовский.*

Томск.

Сибирский Технологический Институт.

Часть I. Трассировка оси туннеля на поверхности земли.

§ 1. Трассировка оси туннеля непосредственно поверху горного массива. Здесь может быть два основных случая, резко различных по технике производства геодезических работ:

I. Ось туннеля прямолинейна,

II. Ось туннеля криволинейна.

I. Ось туннеля прямолинейна. Трассировка направления оси прямолинейного туннеля непосредственно через перевал по характеру своему может быть разбита на следующие четыре вида работ:

A. Трассировка без применения угломерного инструмента.

B. Трассировка с устройством башни (обсерватории) на перевале и с применением прямых направлений визирования.

C. Трассировка с устройством башни (обсерватории) на перевале, с применением прямых и обратных направлений визирования.

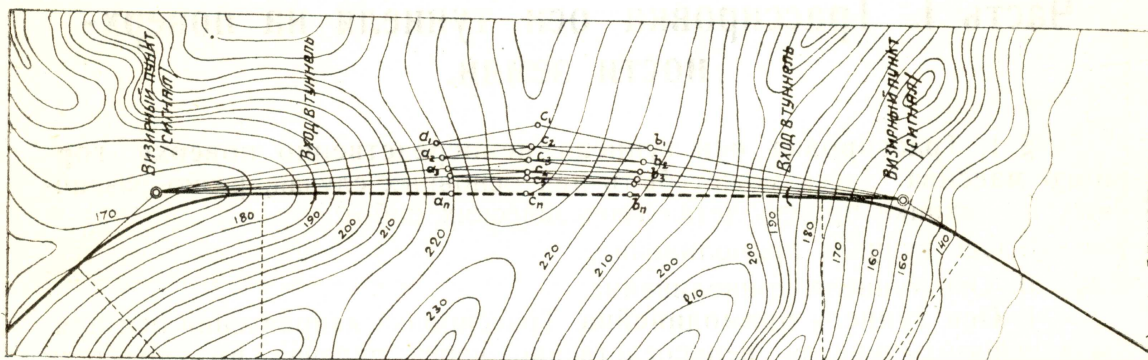
D. Трассировка с устройством башен (обсерваторий) по концам туннеля.

A. Трассировка без применения угломерного инструмента. Сущность этого способа состоит в том, что трассировка ведется, как обычное вешение линии все „на себя“ в одном направлении сначала по направлению к одному из входов в туннель (подход к туннелю). Затем, от входа в туннель по поверхности земли вдоль оси туннеля по направлению к перевалу. Затем от перевала к другому входу в туннель и, наконец, далее за туннелем на подходах к туннелю с противоположной стороны. Этот способ работ характерен тем, что при подобном вешении не употребляются угломерные инструменты, а пользуются только вешками и биноклем.

По такому способу протрассировано огромное количество прямолинейных незначительной длины туннелей. Примеры могли бы быть многочисленны и по существу своему однообразны и малоинтересны.

Вопрос может быть поставлен и несколько иначе: входы в туннель по своему местоположению заданы и требуется протрассировать линию туннеля между двумя пунктами. Такая постановка вопроса может встретиться как в практике железно-дорожного строительства, так и в случае постройки гидротехнических туннелей для использования падения воды и для устройства электро-станции. В таких случаях выбор места для головных сооружений с одной стороны и места для установки турбин с другой стороны имеет решающее значение.

Пусть требуется протрассировать ось туннеля от портала до портала (чер. 1). Вешение через гору прямой линии не представляет затруднений и производится по известному из низшей геодезии способу при посредстве трех вех. Работает опытный техник при двух помощниках (десятниках). Техник с вешкой c_1 становится на перевале так, чтобы были видны сигналы выставленные у порталов туннеля. Затем, техник посылает десятников в пункты a_1 и b_1 и устанавливает их по направлению к сигналам. После этого десятники, обернувшись лицом друг к другу, просят техника переместиться в c_2 так, чтобы он встал со своей вешкой на линии a_1-b_1 и при том так, чтобы он не терял из вида сигналы у порталов. Все трое, постепенно передвигаясь по хребту горы, получают прямую ось туннеля.



Чер. 1. Трассировка оси туннеля от портала до портала простым вешанием через гору.

В пунктах, между которыми желательно протрассировать туннель, выставляются сигналы в виде мачт высотой до 7, иногда до 10 и даже более мтр. Пункты надлежит выбирать неподалеко от входа в туннели. Иногда их ставят непосредственно там, где будет впоследствии портал туннеля. Обычно же эти пункты—сигналы ставят перед порталами на удалении 25—до 50 м. с той целью, чтобы здесь можно было впоследствии поставить визирные знаки, указывающие точно направление оси туннеля и служащие для разбивки оси туннеля под землей. Весьма целесообразно устанавливать сигналы в вершинах углов поворота трассы (чер. 1).

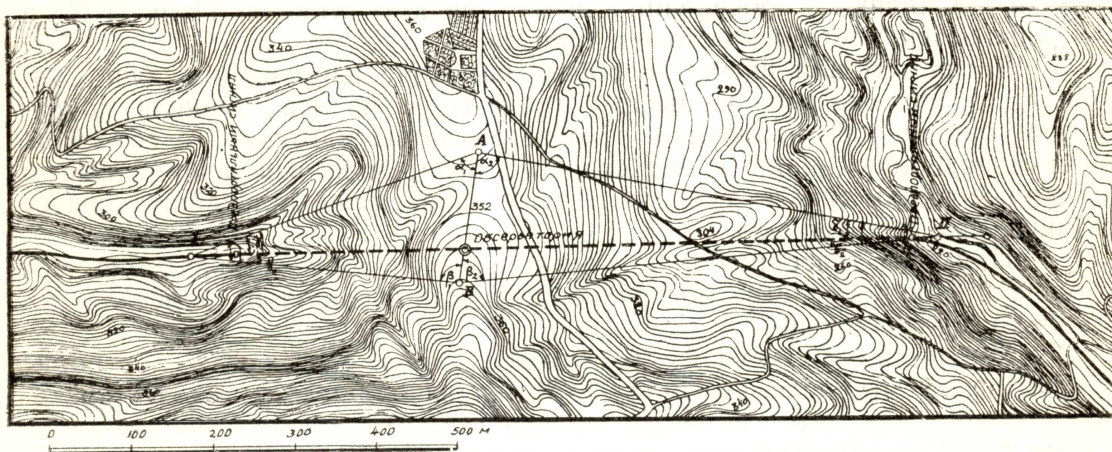
Если вследствие условий местности недостаточно трех вех, то тогда при трассировке туннеля между данными точками можно применять четыре, пять, шесть и более вех.

В Трассировка с устройством башни (обсерватории) на перевале и с применением прямых направлений визирований. На перевале устанавливается башня, оборудуемая сильным теодолитом. Из такой обсерватории трассируется направление в обе стороны: вперед, в сторону одного портала и назад в сторону другого портал.

Предварительно намечается направление оси туннеля, отвечающее истинному положению ее. Для этого, как к предварительной работе, можно обратиться:

- 1) или к простому вешению линии с вехи на веку,
- 2) или к вешению линии при посредстве теодолита, основываясь на азимуте направления оси туннеля,
- 3) или к небольшой трангуляции. Последний способ при достаточной простоте весьма удобен и довольно распространен. Сущность.

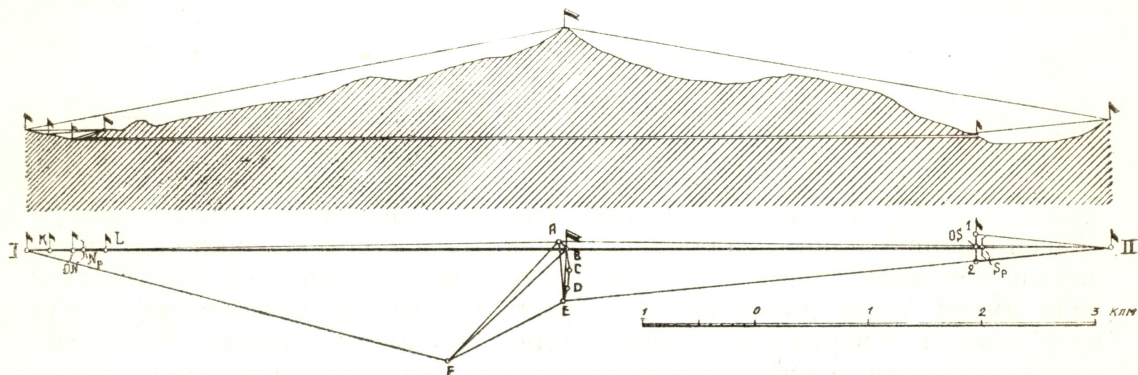
этого способа заключается в следующем: на перевале выбирают два пункта А и В (чер. 2) так, чтобы из них были видны пункты I и II, фиксированные, как входы в будущий туннель. Пункты А и В должны быть несlišком удалены друг от друга и располагаться в местности, благоприятной для промера. Проме́ряют длину АВ и принимают ее за базис, измеряют все углы. Вычисляют треугольники. После этого определение направления оси туннеля I—II не представляет затруднений и дает возможность указать место, где поставить обсерваторию.



Чер. 2. Определение места для обсерватории путем небольшой триангуляции.

На работах Караванкенского туннеля мы имеем пример трассировки оси туннеля в особо отягченных условиях ситуации местности, при посредстве вспомогательной триангуляции.

Караванкенский туннель длиной 7976 м. прямолинеен на всем своем протяжении. Трассировка этого туннеля была основана на растянутой сети треугольников (чер. 3). Работы усложнялись крайне



Чер. 3. Трассировка Караванкенского туннеля.

неблагоприятными гористыми и лесистыми условиями местности. Для использования идеи сети треугольников было необходимо знать длину базиса. Таковым была избрана линия АЕ, разбитая по водоразделу хребта. Однако, определить ее длину непосредственным измерением, несмотря на хорошую видимость одного пункта в другом, не представлялось возможным, а потому пришлось предпринять новые геодезические работы. Длина базиса была определена при посредстве полигона АВСДЕ. Стороны полигона измерялись с большой тщательностью.

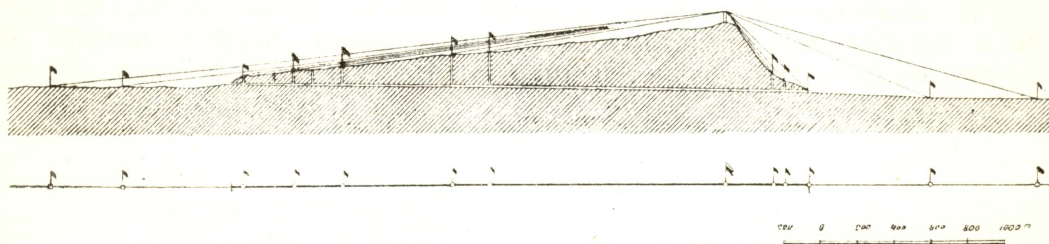
стью при посредстве дальномера. В результате работ и сделанных подсчетов длина базиса определилась в 561,261 м. и таким образом едва составляла $\frac{1}{14}$ долю длины туннеля. Имея размер длины базиса и заснятую триангуляционную сеть, могли графически изобразить расположение триангуляционной сети и нанести направление оси туннеля. Для трассировки оси туннеля предстояло выбрать место для обсерватории на перевале так, чтобы обсерватория была в вертикальной плоскости оси туннеля и чтобы из нее была видимость точек I и II.

Удовлетворяющей этим условиям оказалась точка В. Пункты ON и OS являются обсервационными точками туннеля. Пункты N_p и S_p являются местами порталов туннеля.

Когда тем или иным способом намечено направление оси туннеля, то, как сказано, на высшей точке горы на оси туннеля сооружают башню (обсерваторию). С обсерватории, и только с ее одной, берут визирную линию в обе стороны, визируя на все вешки, выставленные вдоль трассы туннеля и даже захватывая дальнейшую трассу линии уже вне туннеля.

Примеры трассировки по описанному способу направления оси туннеля при посредстве обсерватории, установленной на перевале, довольно многочисленны.

Именно такой случай трассировки имел место при постройке Хинганского туннеля, длиной 3078 м., находящегося на Китайско-Восточной жел. дор. Несмотря на значительную длину туннеля, разбивка оси на поверхности земли велась без посредства триангуляции. Работа по предварительной трассировке производилась обычным способом при посредстве вешек и бинокля. Наиболее возвышенное место провешенной таким образом трассы и послужило пунктом для сооружения башни (обсерватории) (чер. 4). На башне был установлен силь-



Черт. 4. Трассировка Хинганского туннеля.

ный теодолит. После этого приступили к окончательному (заново) трассированию линии, задавшись целью дать прямую линию на протяжении приблизительно 6—7 клм. Трассировка линии Хинганского туннеля имела свои особенности. Труба теодолита доминировала над всей земной поверхностью, под которой проходил туннель. На башне был установлен телефон, провода от которого располагались вдоль трассы. Десятник с ручным телефоном и с вешками перемещался вдоль линии и выставлял вешки по указаниям, передаваемым с башни по телефону. Вешки выставлялись на особых деревянных столбах, врываемых в землю по-пикетно. Последнее обстоятельство важно отметить потому, что вследствие этого было хорошо видно основание вешек. Когда при посредстве башни была протрассирована линия, то получилась некоторая невязка с прежней трассой. Угол составил около $1^{\circ}48'$ и это было легко погашено на ближайшей кривой.

Туннель Лагар-Аул на 143 версте Восточно-Амурской, ныне 1576 версте Уссурийской жел. дор. длиной 1250,6 м, расположен под

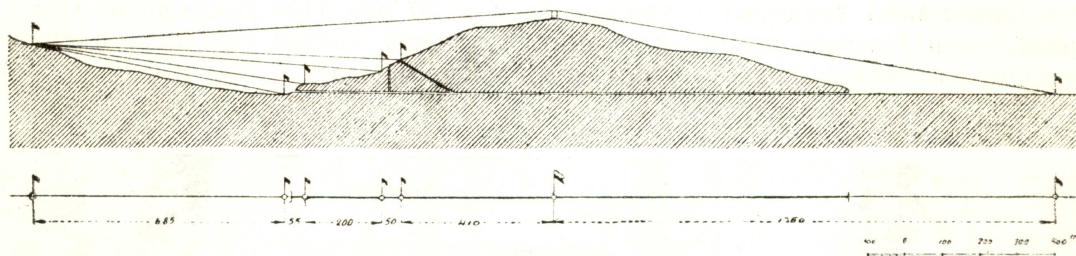
перевалом Малого Хингана. При трассировке линии туннеля была сделана просека, вырублены вековые ели и сосны. Ввиду сильной заболоченности, особенно в восточной части туннеля, а так же ввиду большого количества пней, по оси трассы были уложены в один ряд доски длиной до 10 м. толщиной около 2,5 см. Доски были прибиты гвоздями к пням, которые для этого аккуратно спиливались. По такому помосту 10 саженой стальной лентой, предварительно тщательно проверенной, троекратно произвели промер расстояния. Все точки переломов были так же троекратно пронивелированы нивелиром Герляха. Для трассировки направления оси туннеля на вершине горы на оси линии соорудили особую вышку (фот. 5), где во время работ устанавливали теодолит с увеличением в 20 раз. При посредстве этого инструмента точно провели линию длиной около 2,5 км. и тщательно закрепили трассу в характерных ее местах.



Фот. 5. Вид вышки (обсерватории) при трассировке туннеля Лагар-Аул.

С. Трассировка с устройством башни (обсерватории) на перевале с применением прямых и обратных направлений визирования. Как и в пред'идущем случае, на перевале устанавливается башня (обсерватория) и с нее при посредстве теодолита берется направление оси туннеля вперед к одному из порталов туннеля и назад, но входы в туннель (самые порталы), а равно и входы в шахты, если таковые назначены к исполнению, из обсерватории не видны и поэтому таковые пункты, в отличие от пред'идущего случая, приходится брать обратным направлением визирования от дальних пунктов, назначенных трассировкой инструментально с обсерватории. Таким образом, настоящий случай можно характеризовать, как трассировку с башни (обсерватории) вперед-назад и назад-вперед.

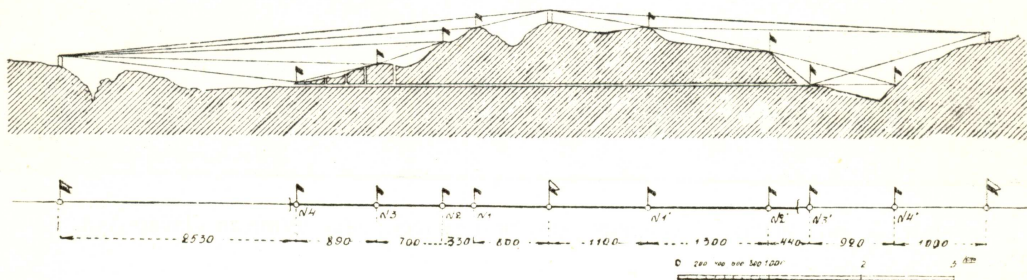
Примером может служить трассировка оси туннеля Мусконетконг (чер. 6). Этот туннель, находящийся в Сев.-Америк. Соед. Штатах, имеет длину 1471,9 м. и расположен целиком на прямой. Разбивка его, благодаря удобной ситуации местности, не представляла больших затруднений. Однако, было необходимо наметить положение порталов и положение входов двух шахт вертикальной и наклонной. Для трассировки оси туннеля на перевале в пункте, определенном предварительными изысканиями и расположенном на оси будущего туннеля устроили обсерваторию. Из обсерватории открывалась видимость на расстояние не менее полутора км. в каждую сторону вдоль трассы



Чер. 6. Трассировка Мусконетконгского туннеля.

туннеля. Поэтому представилась полная возможность брать визирную линию на значительное расстояние. Так и было сделано: были установлены пункты на расстоянии 1400 м. в одну сторону и 1350 м. в другую и уже из этих пунктов было дано направление туннеля и определено положение входов вышеупомянутых шахт.

Не менее интересный пример трассировки дает разбивка оси туннеля Тотлей (Totley) в Сев. Америке. Этот туннель, длиной 5695,8 м., расположен в такой местности, когда пришлось применить смешанный способ (чер. 7). На вершине перевала была устроена обсерватория. С этой обсерватории было дано направление вдоль туннеля на рас-



Чер. 7. Трассировка туннеля Тотлей.

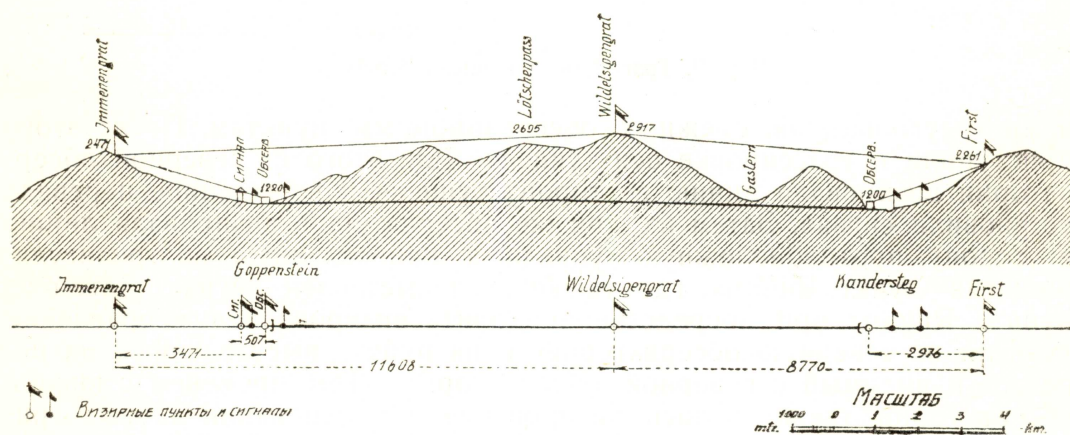
стояние около 6 км. в одну сторону и около 5 км. в противоположную. Таким образом с этой обсерватории было дано направление длиной около 11 км. По концам были построены еще две обсерватории. Трассировка туннеля и определение мест расположения порталов и входов в вертикальные шахты было произведено уже из по концам расположенных обсерваторий. В процессе работы по обоим склонам горы были выставлены сигналы в виде вешек по 4 с каждой стороны. Сигнал № 4 был выставлен над порталом. Совместно с сигналами № 3 и № 2 он послужил основой для разбивки входов как в туннель, так и в шахты. Сигнал № 3 расположен перед входом в туннель. С места расположения как сигнала № 3, так и сигнала № 4 была возможность

визировать непосредственно в самый туннель, что явилось удобной и весьма целесообразной особенностью в работе по трассировке туннеля Тотлей.

Д. Трассировка с применением двух башен (обсерваторий) по концам туннеля. В сильно гористой местности и при туннелях значительной длины нет возможности провести направление оси туннеля, визируя только с одной обсерватории на вершине перевала. В условиях, соответствующих вышеописанному рельефу местности и длине туннеля, видеть в обсерватории входы в портал возможности нет. В таких случаях по концам туннеля на некотором удалении от порталов устраиваются две самостоятельных обсерватории. Устройство обсерватории на вершине горы становится тогда уже излишним. Направление оси туннеля и самая ориентировка этих обсерваторий относительно друг друга производится при посредстве триангуляции, о чем подробно будет сказано в своем месте. В настоящий же момент, сосредотачивая внимание исключительно на трассировке направления оси туннеля, отметим, что описываемый способ дает наиболее надежные результаты и особенно удачно его применение при длинных туннелях со сложным рельефом местности.

Примеры немногочисленны, но характерны.

При трассировке оси Лечбергского туннеля в Швейцарии длиной 13735 м. у входов в туннель были устроены обсерватории. В северной части была обсерватория Кандерштег (Kandersteg), а в южной части обсерватория Гоппенштейн (Goppenstein) (чер. 8).



Чер. 8. Трассировка Лечбергского туннеля.

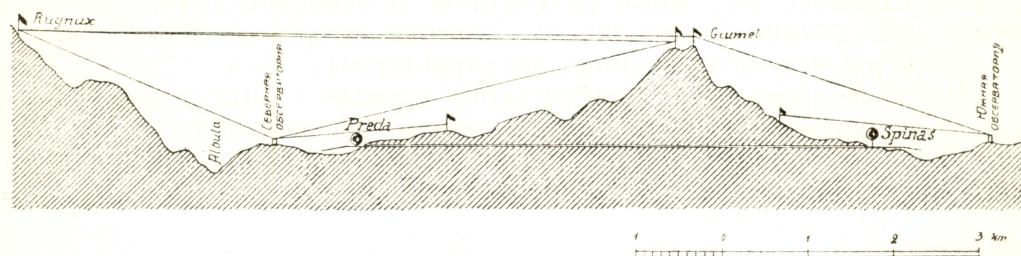
Обе обсерватории были ориентированы друг относительно друга при посредстве триангуляционной сети. В Гоппенштейн осевой сигнал был установлен несколько выше, чем было направление визирной оси туннеля. Столб обсерватории находится в расстоянии 50 м. от „О“ туннельного километража, причем место для обсерватории было выбрано так, что открывалась возможность визировать вдоль туннеля внутри его на подъеме 3,8‰. Впоследствии ввиду необходимости провести шоссе, осевой сигнал Кандерштег был убран, сигнал же со стороны Гоппенштейн стоит и до сих пор. Пока существовали эти основные сигналы туннельных геодезических работ, то представлялась возможность давать направление оси туннеля, не прибегая всякий раз к угломерным измерениям. Высчитанное на основании триангуляции расстояние между осевыми сигналами было приведено к уровню моря, причем при непосредственных измерениях считали не от уровня моря, а от горизонта +1200 м. Первые расчеты были потом пересчитаны

на этот горизонт и получилось удлинение на 2,69 м., вследствие чего расстояние между осевыми сигналами Кандерштег и Гоппенштейн стало 14318,89 м. при условном горизонте 1200 м. над ур. моря.

Расстояние обсерватории Кандерштег от обсерватории Гоппенштейн равно 14331,88 м. при условном горизонте 1200 м. над ур. моря.

Длина туннеля, расстояние между порталами, равно 13744,22 м. на горизонте 1200 м. над ур. моря.

Туннель Альбула имеет длину 5866 м. и расположен на прямой линии. Направление туннеля было определено при посредстве триангуляции. Когда триангуляционные работы были закончены, то на каждом склоне хребта (чер. 9) были сооружены обсерватории: „северная обсерватория“ и „южная обсерватория“. Положение пунктов, где назначались входы в туннель, были определены при посредстве двух самостоятельных триангуляций (чер. 24), расположенных по обоим сторонам хребта и основанных на пунктах Швейцарской государственной триангуляции. Путем вычислений, зная положение северной и южной обсерваторий, определили углы между искомой осью туннеля и сторо-



Чер. 9. Трассировка туннеля Альбула.

нами треугольников, смежных обсервационным пунктам. После этого приступили к трассировке оси туннеля. Для этого из северной обсерватории визировали линию в сторону туннеля и на вершине перевала установили сигнал. Затем из той же обсерватории визировали линию в сторону, противоположную туннелю и направленную на триангуляционный пункт Rugnuh, где также был выставлен сигнал. Затем из пункта Rugnuh при посредстве теодолита визировали в направлении туннеля на северную обсерваторию и на пункт, выставленный на перевале и видимый с северной обсерватории.—Тем временем с южной обсерватории также велось визирование. На основании данных триангуляции взяли направление оси туннеля и для удобства дальнейшей работы зафиксировали это направление постановкой сигнала на склоне горы с южной стороны. Затем визировали в том же направлении и на вершине горы установили сигнал Giimel. С места расположения сигнала Giimel независимо от гористости местности нельзя видеть и визировать в северную обсерваторию, но зато прекрасно виден сигнал Rugnuh. Дальнейшая работа свелась к проверке правильности направления трассы путем визирования с Rugnuh и с Giimel и не представляла никаких затруднений. Обсерваториями пользовались для визирования направления даже на некоторых, хотя и весьма коротких, протяжениях внутри туннеля, а дальнейшую разбивку внутри туннеля вели при посредстве установленных вне туннеля визирных знаков, выверенных и периодически время от времени проверяемых с обсерваторий.

Интересный пример трассировки оси дает Сурамский туннель. Здесь применялась триангуляция. Триангуляционные работы имели целью определение точной длины туннеля, ось которого была намечена на поверхности только двумя точками I и II (чер. 10) при-



Чер. 10. Триангуляция Сурамского туннеля.

Угол равен $\operatorname{tg} \alpha = \frac{27,74}{4176,3}$, откуда $\lg 27,74 - \lg 4176,3 = \lg \operatorname{tg} \alpha$

Откуда $\alpha = 22' 40''$.

The image contains two hand-drawn technical sketches. The top sketch is a terrain profile showing a hill with several flags marking points at elevations 1870, 1873, 1883, and 1888. A dashed line indicates a path or boundary. The bottom sketch is a plan view of the same area, showing a horizontal line with various distance measurements: 597.4, 128, 1621.5, 196.2, 533.4, 533.4, 853.4, 128, and 593.4. A scale bar at the bottom right ranges from 0 to 1000.

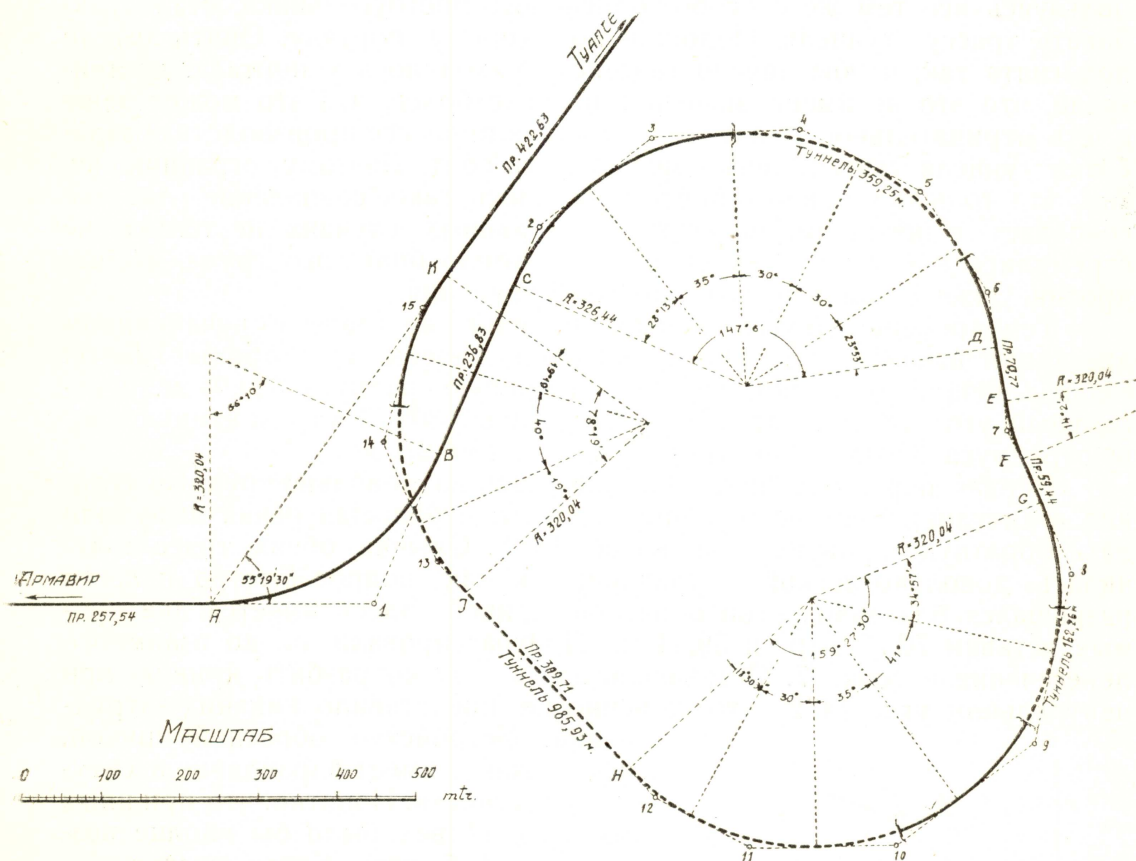
изводить триангуляцию заново. Однако, предстояло дать новое направление и обозначить таковое по обеим сторонам перевала, протрассировав ось по горам через хребет. Эта работа была произведена следующим образом. Над триангуляционным пунктом I ставится теодолит, труба которого направляется на сигнал, выставленный на триангуляционном пункте № 3 и затем поворачивают трубу теодолита вправо на направление новой оси туннеля.

Дальнейшее трассирование новой оси туннеля велось теодолитом и привело к новонамеченному portalу II. Впоследствии повторно произведенное измерение окончательно уточнило угол отклонения трассы $\alpha = 26'$.

II. Ось туннеля криволинейна. Основным и наиболее распространенным методом разбивки криволинейной трассы на поверхности земли является метод описанного многоугольника. По своей простоте и точности результатов этот метод заслуживает наибольшего внимания. Он, как известно, состоит в том, что первоначально производится камеральная работа и намечается трасса туннеля на плане с горизонталями. Когда трасса туннеля намечена и определен радиус кривизны, а равно начало и конец кривой и входы в туннель, то кривая разбивается на отдельные части так, чтобы центральные углы, соответствующие отдельным участкам кривой были удобны для пост-

роения описанного многоугольника. Стороны описанного многоугольника строятся, как тангенсы, соответствующие отдельным участкам кривой.

Примером может служить трассировка петлевых туннелей Армавир Туапсинской жел. дор. (чер. 12). Имеется два направления трассы: со стороны Армавира и со стороны Туапсе, в разных уровнях. Обе эти трассы при взаимном продолжении пересекаются в плане в воображаемой точке А, под углом $55^{\circ}19'30''$, что было определено непосредственным измерением теодолитом. Надо не упускать из внимания, что разность высот обеих трасс составляет около 40 м. Поэтому предстояло развить линию, для чего обратились к способу устройства кольцевого поворота (петли) и петлевых туннелей.



Чер. 12. Трассировка трех петлевых туннелей Армавир-Туапсинской ж. д.

Прежде чем начать работы на месте постройки линии дороги предварительно произвели следующие камеральные работы. Взяли план местности в горизонталях и после длительных исканий запроектировали и нанесли на план направление трассы. Приблизительно наметилось и расположение туннелей и даже в общих чертах и их длина. В процессе производства камеральных работ определились углы поворотов петли и радиусы кривых.

Затем приступили к проведению трассы на поверхности земли. Начали со стороны Армавира от точки А. Радиусом 150 саж. = 320,04 м. дали поворот влево на угол $66^{\circ}10'$. Разбивку кривой произвели по способу описанного многоугольника, для чего провели линию А—Г отложили тангенс, взяли угол влево $66^{\circ}10'$, опять отложили тангенс и получили точку В.—Отложили прямую длиной 110 саж. = 236,83 м. и получили точку С.—Затем предстояло разбить довольно длинную

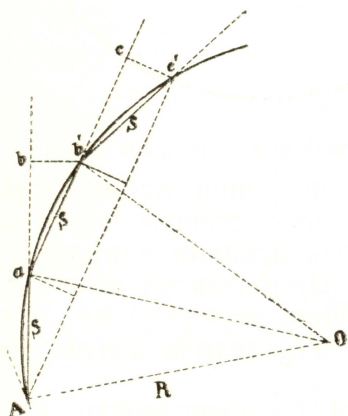
кривую радиуса 153 саж. = 326,44 м. с центральным углом $147^{\circ}6'$. Применяли, как и в предыдущем случае разбивки кривой А—І—В, способ описанного многоугольника. Однако, на этот раз местность имела более неровный гористый характер, чем при разбивке кривой А—І—В и поэтому описанный многоугольник пришлось разбить на небольшие участки. Работа производилась весьма тщательно и аккуратно. Подошли к месту, где предполагалось, согласно предварительного проекта, устройство портала первого туннеля. У портала поставили сигнал. Еще раз проверили разбивку кривой и подогнали так, чтобы начало тангенса приходилось как раз там, где поставлен сигнал у портала кривого туннеля. Для этого наметили центральный угол 35° , а предыдущий угол как остаток, оказался равным $28^{\circ}13'$. Затем по поверхности земли, пользуясь все тем же способом описанного многоугольника, стали разбивать трассу туннеля. Подошли ко второму portalу. Опять хотели подогнать так, чтобы начало тангенса приходилось у портала, но признали, что это не имеет значения и, даже более, что это может даже иметь отрицательное значение, так как в процессе производства разработки туннеля тангенс легко может быть сбит. Поэтому ограничились тем, что только у первого портала осталось такое совпадение—тангенс совпадает с порталом, во всех же остальных случаях не только не стремились к тому, что в первый раз стоило большого труда, но, напротив, даже стали избегать такого совпадения.

Тем временем другая партия техников во главе с начальником дистанции начала работы по проведению трассы со стороны Туапсе. Работы начали от точки К. Разбили кривую радиуса 320,04 м. центральный угол $78^{\circ}19'$, затем, прямую длиной 309,71 мтр. и вторую кривую радиуса 320,04 м. центральный угол $159^{\circ}27'30''$.

Первая партия техников натолкнулась на довольно трудные условия в ситуации местности: обрывы, утесы, небольшая речка вынудили дать обратную кривую, угол влево $14^{\circ}2'$. Смычка обеих трасс получилась довольно легкой и удачной, так как вопрос быстро и легко разрешался благодаря этой обратной кривой. Здесь имеется две прямых вставки 70,77 мтр. и 59,44 м. Протрассировали их до взаимного пересечения в точке 7. Оставалось здесь только разбить кривую при центральном угле $14^{\circ}2'$, что конечно не представило никаких затруднений.

Устройство обратной кривой, как сказано, имеет оправдание в ситуации местности. Понятно, что при иных обстоятельствах было бы вполне возможно ее избежать. Когда смычка обеих трасс была закончена, то проверили еще раз разбивку кривой с центральным углом $159^{\circ}27'30''$. На этот раз получилась маленькая невязка в $30''$, поэтому угол равен $159^{\circ}27'30''$, тогда как раньше был $159^{\circ}27'$.

Способ последовательных хорд есть второй способ трассировки криволинейных туннелей на поверхности земли. Этот способ, как известно (чер. 13), состоит в том, что на продолжении прямой откладывается величина av и затем из точки v под прямым углом величина vv_1 . Тогда прямая av_1 есть хорда S .



Чер. 13.

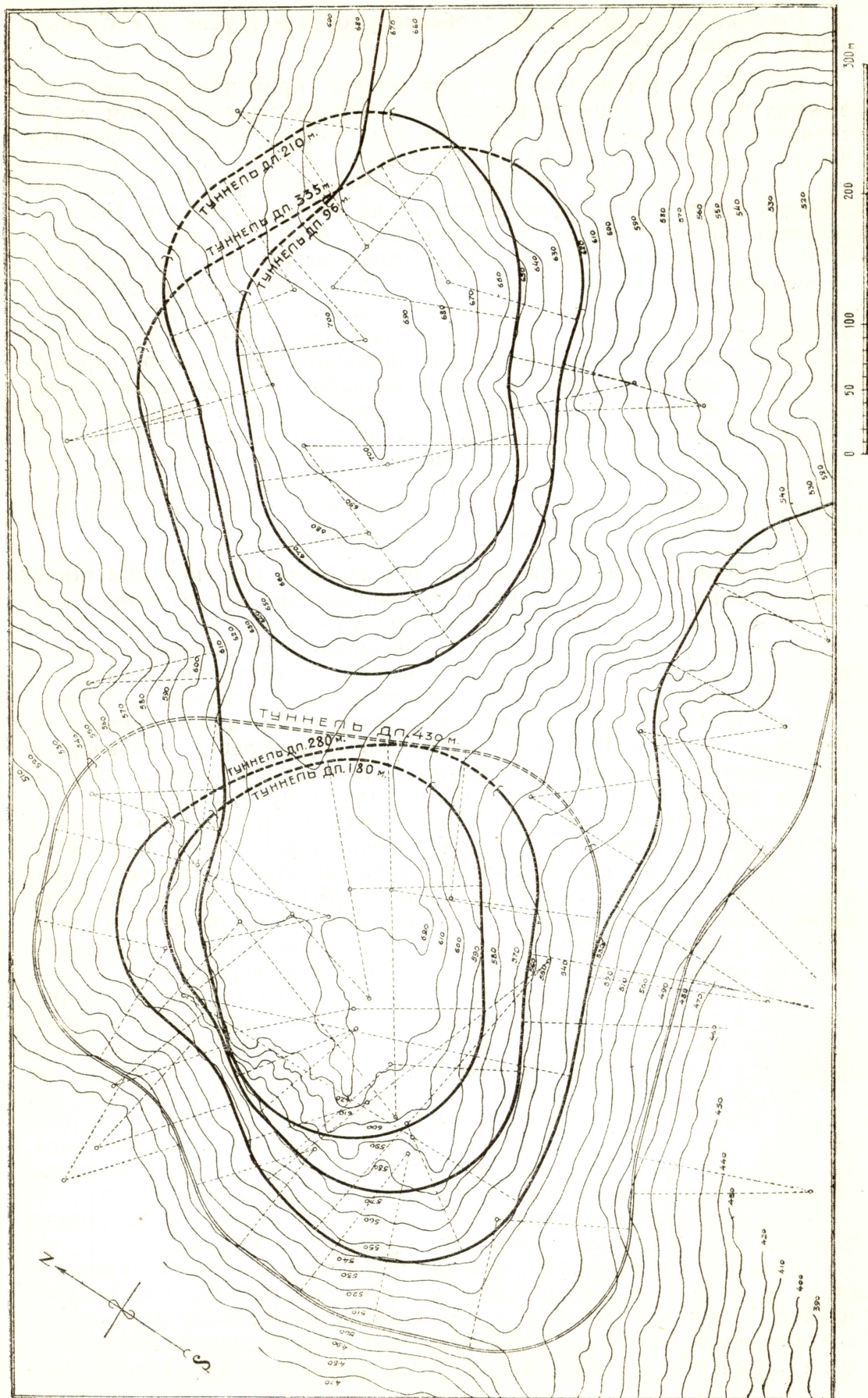
должении прямой откладывается величина av и затем из точки v под прямым углом величина vv_1 . Тогда прямая av_1 есть хорда S .

$$S = 2R \sin \frac{\varphi}{2}$$

Рассматриваемый способ особенно удобен в трудно проходимых узких и тесных местностях.

Способ последовательных хорд иногда применяется даже для сложных разбивок криволинейных трасс. Прекрасным примером, характеризующим достоинства этого метода, может служить разбивка участка „Кучилло“ (Cuchillo) на Тихоокеанской жел. дор. в Сев.-Америк. Соед. Штатах (чер. 14). Здесь на небольшом участке линия подымается круто в горы приблизительно на 150 м. по высоте. Поэтому пришлось развить линию до протяжения 6 клм. и придать трассе весьма сложную конфигурацию. Трассировка всего этого участка и всех имеющихся здесь туннелей исполнена по способу последовательных хорд длиной в 20 м. Такая небольшая длина хорд выбрана потому, что проходимый участок сильно гористый изрезанный в обнажениях базальта. Это не давало возможности применять здесь для трассировки какой либо другой способ геодезических работ. Для проверки трассы периодически производили подсчет азимутов линии и определяли их в натуре. Кроме того определяли углы встречи продолжений прямых участков трассы линии (вставок между кривыми). Результаты всех геодезических работ на этом трудном участке оказались вполне удовлетворительными, что свидетельствует верность выбора метода и правильность в производстве работы по трассировке.

§ 2. Определение направления оси туннеля при помощи полигонной с'емки. Опасения за верность направления трассы может возникнуть всякий раз в случае сильно утесистой мало доступной местности, когда приходится работать, подвешиваясь на веревках, в люльках и т. п. В таких случаях бывает очень легко сбиться в направлении трассы в сторону и, как иногда говорят в таких случаях, „сломать“ ось туннеля. Не лучше обстоит дело и с промером длины туннеля от портала до портала. В таких случаях для определения направления оси туннеля и его длины обращаются с полигонной с'емке, сосредоточивая работы в местности, доступной для геодезических работ. Полигонный ход располагают так, чтобы концы полигона примыкали к пунктам, расположенным у входа в туннель, строго на оси туннеля. Весь полигон в плане должен представлять ломанную прямую, притом так, чтобы стороны полигона были возможно большей длины. Когда полигонный ход намечен, то его закрепляют в углах. Во время работы по углам ставятся или теодолит, строго центрируемый над данным пунктом, или же выставляемая вертикально вешка, на которую и наводится теодолит с соседнего пункта. Промер сторон полигона и измерение углов должно вестись с особенной тщательностью на том основании, что полигон остается незамкнутым, а потому проверка его становится невозможной до тех пор, пока не будут закончены все туннельные работы. Поэтому вся ответственность за работу по определению направления оси туннеля непосредственно связывается с точностью промера сторон и с точностью измерения углов. Когда работы по с'емке полигона закончены, то таковой вычерчивается, проводится направления оси туннеля и вычисляются углы, образуемые направлением этой оси с начальной и с конечной сторонами полигона. Это дает нам возможность назначить инструментально, путем постановки створов, направление оси туннеля, а также вычислить длину туннеля. Чем меньше углов и сторон в полигоне, тем меньше, вообще говоря, измерений, т. е. тем менее источников накопления ошибок измерения. Число же углов будет тем меньше, чем длиннее каждая сторона и чем ближе приближается общее направление полигон-



Чер. 14. Трассировка туннельного участка Кучилло (Cuchillo) на Тихоокеанской ж. д.
по способу последовательных хорд длиной 20 мтр.

ного хода к прямой линии, соединяющей начальный и конечный пункты полигона, расположенные у входов в туннель.

Точность, с которой должны быть даны результаты измерений длины стороны полигона и вычислены прямоугольные, прямолинейные координаты полигонных пунктов, должна выражаться в сотых долях метра (сентиметр).

Так же поступают и при вычислении координат по их приращением.

Поперечное линейное уклонение конечной точки полигона может быть вычислено по формуле

$$m_0 = \pm S \cdot \xi \sqrt{\frac{2n^3 + 3n^2 + n}{6}}$$

где

S — средняя длина стороны полигона (при выводе формулы предполагается, что полигон состоит из n сторон, одинаковых по своей длине S , так что длина полигона равна $\Sigma = n \cdot S$).

n — число сторон полигона.

$\pm \xi$ — средняя ошибка, делаемая при измерении каждого угла полигона.

Точность визирования теодолитом можно считать по исследованию Штампфера равной частному от деления точности визирования диоптрами на увеличение трубы. При отыскании поперечной ошибки полигонного хода не следует упускать из вида, что

1) чем длиннее сторона, тем больше случайные ошибки в их измерении:

$$m_s = \pm \mu \sqrt{S}$$

Поэтому длины сторон полигона не должны превосходить известного предела. Проф. Иордан для полигонных ходов такой предел определяет в 300 мтр.

2) При вытянутом ходе, когда углы близки к 180° , на них сильнее сказываются ошибки центрировки.

Ввиду того, что полигон, как сказано, получается незамкнутым („разомкнутым“) требуется сделать два хода (туда и обратно), пользуясь хотя бы даже одними и теми же вершинами полигона. Обычно, ввиду ответственного дела ведут полигонный ход, замеряя стороны и углы четное число раз, — 4 иногда даже 8 раз, и берут среднее.

Для того, чтобы иметь возможность нанести на бумагу заснятый полигон, обращаются к посредству прямоугольных прямолинейных координат. Каждая точка (вершина) полигона определяется двумя расстояниями до линии запад—восток, проходящей через начало координат перпендикулярно меридиану. По меридиану направляется ось абсцисс (ось X) плюс (+) на север; в перпендикулярном направлении ось ординат (ось Y) плюс (+) на восток. Впрочем иногда за ось X -ов принимают одну из сторон полигона, например сторону, примыкающую к порталу туннеля.

Вычислению координат вершин полигона, которым сделан обход туннеля, предшествуют:

1) Сравнение измеренной суммы внутренних углов с соответствующей ей теоретической $180^\circ (n-2)$ суммой, где n число сторон (углов) полигона.

2) Разкладка оказавшейся разницы. Если она менее тройной точности верньера, умноженной на корень квадратный из двойного числа

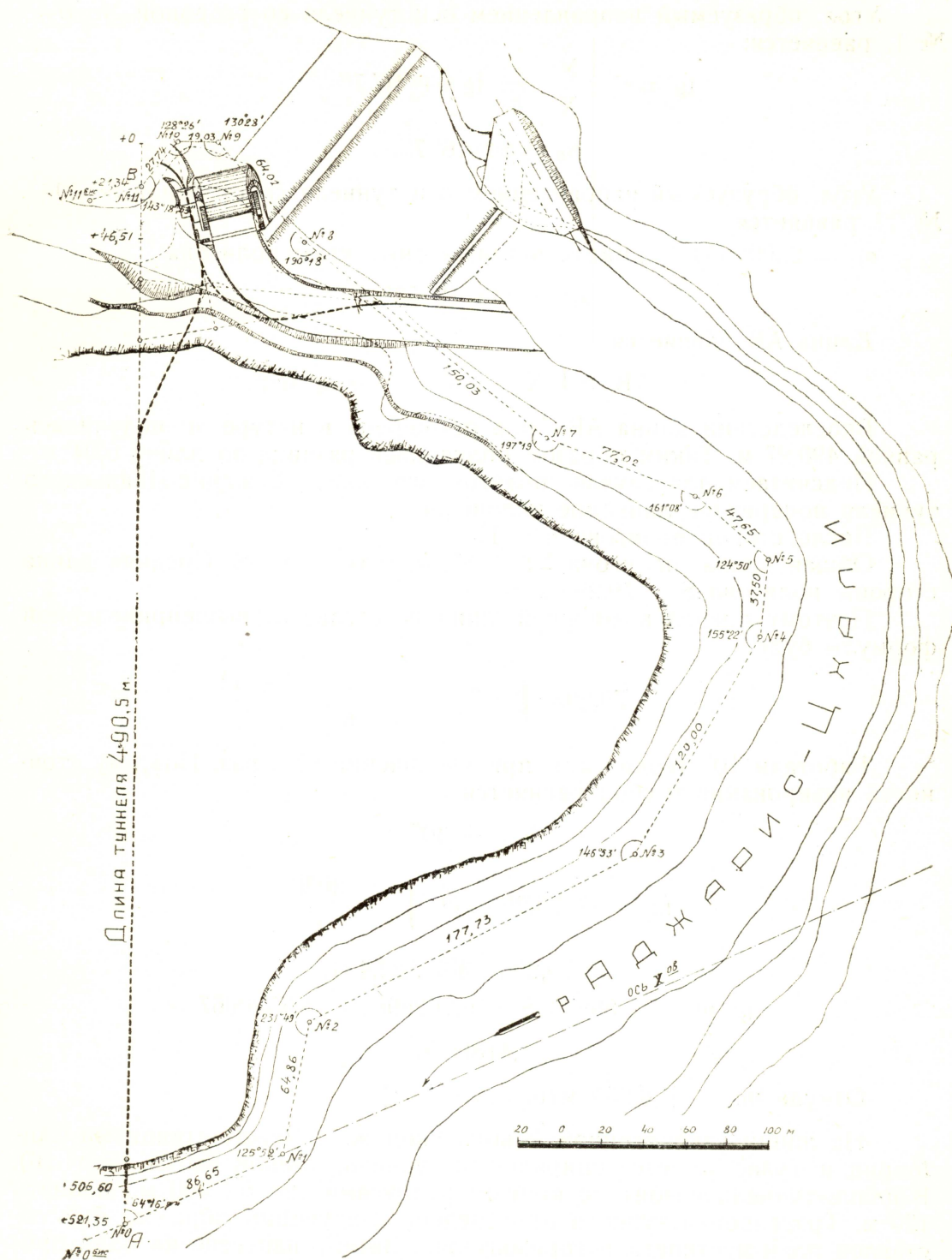
углов, то раскладка производится на углы с более короткими (обеими) сторонами.

Примером определения направления оси туннеля при помощи полигонной съёмки может служить деривационный туннель Аджарис-Цхальской гидро-электрической станции. Туннель длиной 490,5 м пробит в утесах правого берега р. Аджарис-Цхали. Высота почти отвесно стоящего горного массива достигает 220 и более метров от горизонта воды. Таким образом условия работ были весьма неблагоприятны. Первоначально деривационный туннель предполагался прямолинейным. Впоследствии туннелю придали во входной части криволинейное очертание. Однако на разбивку туннеля это не оказало существенного влияния, так как разбивали туннель прямолинейный: во входной части там, где впоследствии сделали поворот, была пробита визирная штольня. Этой штольней, впоследствии заброшенной и даже заложённой горной породой, пользовались для разбивки туннеля под землей. Для определения направления оси туннели обратились к полигонной съёмке. Полигон был разбит по заливаемому высокими водами (паводками) берегу р. Аджарис-Цхали (чер. 15). В прилагаемой таблице приведены данные, относящиеся к полигонной съёмке.

Таблица I.

№№	У Г Л Ы	Длина стороны полигона мтр.	№№	У Г Л Ы	Длина стороны полигона мтр.
№ 0	—	86,65	№ 6	161° 08'	77,02
№ 1	125° 52'	64,86	№ 7	197° 19'	150,03
№ 2	231° 49'	177,73	№ 8	190° 18'	64,01
№ 3	146° 53'	120,00	№ 9	130° 28'	19,03
№ 4	155° 22'	37,50	№ 10	128° 26'	27,74
№ 5	124° 50'	47,65	№ 11	—	

Пройдя полигоном от точки № 0 до точки № 11, т. е. от одного створа до другого, измерив все стороны полигона и определив все его углы, вычертили полигон и аналитически подсчитали положение оси туннеля. Для этого определили координаты точки № 11 взяв за ось координат направление первой стороны от точки № 0 до № 1 и поместив начало координат в точке № 0. Углы № 0 и № 11, образуемые направлением оси туннеля с первой и с последней сторонами полигона, были неизвестны. К определению их и сводилась вся задача. Расстояние АВ, т. е. расстояние от точки № 0 до точки № 11 было так же неизвестно. Полигон был незамкнут. Ввиду этого величины углов угол № 0 и угол № 11 и длина АВ были определены вычислением. В прилагаемой таблице приведены все данные для аналитического расчета и самый расчет по определению координаты точки № 11, расположенной у входного портала.



Чер. 15. Определение направления осей туннелей Аджарис-Цхальской гидро-электрической станции.

Как видно из таблицы, координаты точки № 11 равны:

$$X = 217,09 \text{ м. } Y = 450,44 \text{ м.}$$

Угол, образуемый направлением оси туннеля со стороной № 0—№ 1, равняется:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{Y}{X} = \operatorname{tg} 64^\circ 16' 7''$$

$$\alpha_0 = 64^\circ 16' 7''.$$

Угол, образуемый направлением оси туннеля со стороной № 10—№ 11 равняется:

$$\alpha_{11} = 2.90^\circ (11-1) \text{ минус все известные углы полигона:}$$

$$\alpha_{11} = 143^\circ 18' 53''$$

Длина АВ равняется

$$AB = \sqrt{X^2 + Y^2} = 500,01 \text{ мтр.}$$

Впоследствии длина АВ была промерена в натуре и получилась равной 499,97 м. Таким образом получилась разница по длине 0,04 м.

Подсчитаем для случая полигонного хода Аджарис-Цхальского туннеля поперечное линейное уклонение.

Число сторон полигона $n = 11$.

Общая длина полигона $\Sigma a = 872,22 \text{ мтр.} = n \cdot S$. Средняя длина стороны полигона $S = 79,293 \text{ мтр.}$

Поэтому предел возможной ошибки согласно вышеприведенной формулы будет

$$m_0 = \pm 79,293 \xi \sqrt{\frac{2 \cdot 11^3 + 3 \cdot 11^2 + 11}{6}}$$

Работали 10'' теодолитом при увеличении 20 раз. Поэтому точность визирования трубой равняется

$$\xi = \pm 30''$$

$$m_0 = \pm 79,293 \cdot 30'' \sqrt{\frac{3036}{6}}$$

$$= 79,293 \cdot 30'' \cdot 22,494.$$

$$\lg m_0 = 1,8992348 + \bar{6},1626961 + 1,3520667$$

$$= \bar{1},4139976$$

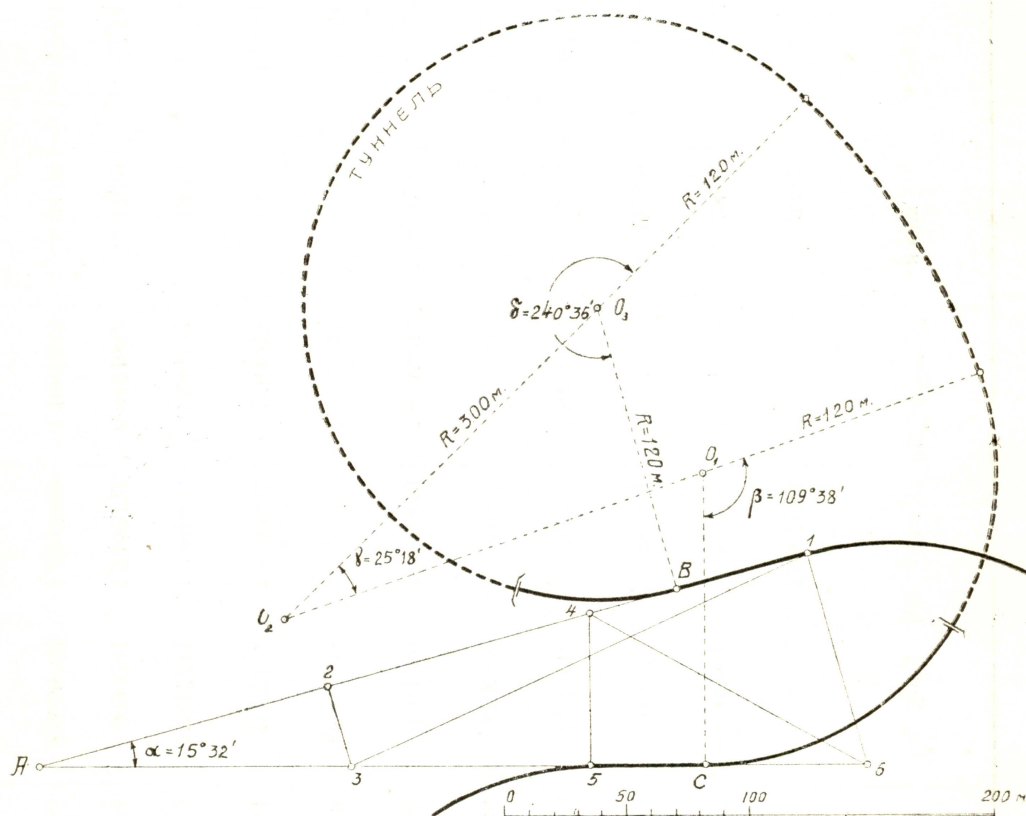
Откуда $m_0 = \pm 0,259 \text{ мтр.}$

На линии узкоколейной Альбульской ж. д. между станциями Сан-Мориц и Тузис имеется спиральный туннель, длиной 676 м. (чер 16). В плане туннель разбит по кривым радиусами 120 м., 300 м., и опять 120 м. Трассировка туннеля произведена следующим образом: был составлен план местности в горизонталях. Затем, нанесено на план проектируемое направление оси линии и обоих к нему подходов. Прямые участки, расположенные на подходах к спиральному туннелю и лежащие в разных уровнях, были на плане продолжены до взаимного пересечения в точке А. Получился угол $15^\circ 32'$. Вся эта работа была перенесена на место постройки туннеля и осуществлена полностью. Был измерен угол в точке А и таковой получился равным $\alpha = 15^\circ 32'$. Затем, на месте постройки туннеля вышеназванные прямые участки, ле-

•

№ ула	аподинон
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	

жащие, как сказано, в разных уровнях, были связаны между собой сетью треугольников, стороны которых были определены. Затем опять обратились к камеральным работам и вычислили расположение означенных прямых, их взаимное друг к другу положение и таким образом, вычислили угол, под которым они взаимно пересекаются. Он оказался равным $15^{\circ}32'$. После этого были окончательно проверены, вычистаны и зафиксированы на месте пункты начала и конца той сложной кривой разных радиусов, на которой должен быть спиральный туннель. Эти точки на чертеже обозначены В и С. Вычисление угла сводилось к следующему. Если идти от точки С, то первая кривая



Чер. 16. Определение направления оси спирального туннеля на линии Альбульской ж. д.

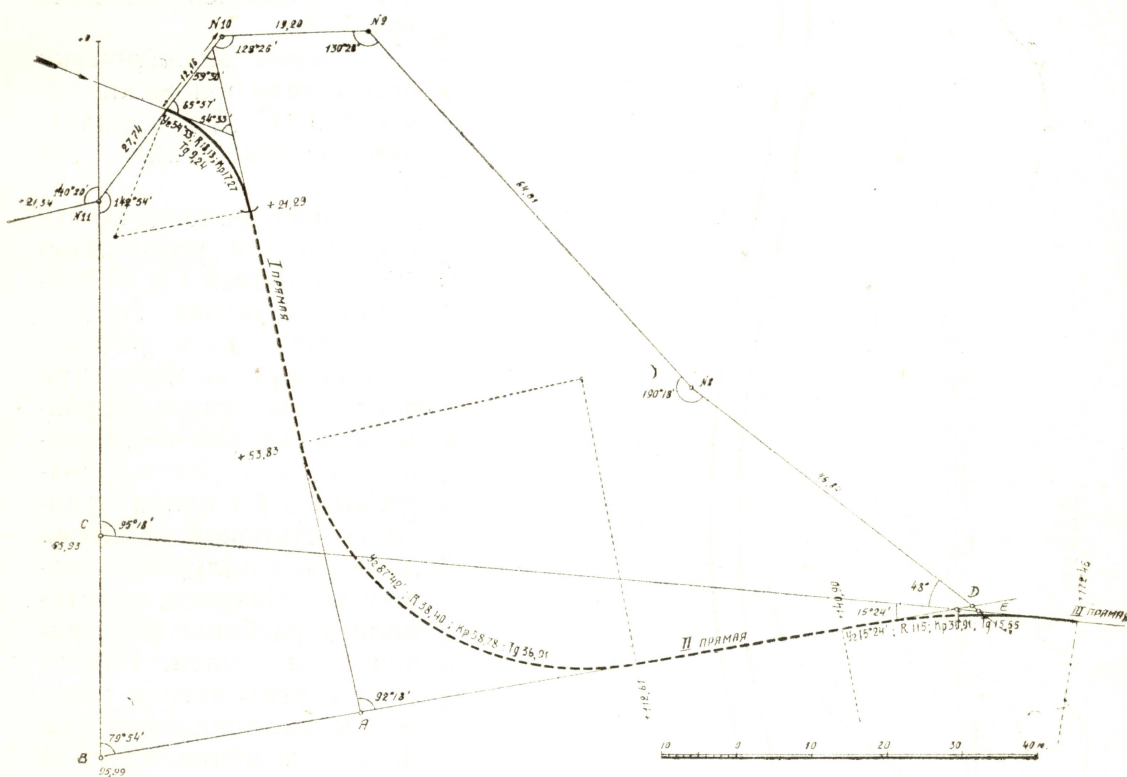
радиусом 120 м. имеет центральный угол $\beta = 109^{\circ}38'$. Затем кривая радиуса 300 м. делает дальнейший поворот на угол $\gamma = 25^{\circ}18'$ и, наконец, третья кривая радиуса 120 м. делает еще поворот на угол $\delta = 240^{\circ}36'$ и приводит к точке В. Таким образом угол, образуемый прямыми O_1C и O_3B равен $109^{\circ}38' + 25^{\circ}18' + 240^{\circ}36' = 375^{\circ}32'$ т. е. $375^{\circ}32' - 360^{\circ} = 15^{\circ}32'$. Именно таков угол α при вершине А, стороны которого перпендикулярны к O_1C и O_3B . Когда были определены точки В и С непосредственно на местности, то разбивка оси туннеля под землей, не представила особенных трудностей и велась от обоих порталов.

Донный туннель Аджарис-Цхальской гидро-электрической станции имеет длину 185,91 м. и расположен на двух кривых, направленных в разные стороны (чер. 17). Трудность разбивки обуславливалась утесистостью местности и недоступностью поверхности над туннелем для непосредственной трассировки оси туннеля. Поэтому обратились к способу полигонного хода. Ввиду того, что донный туннель расположен в утесах правого берега, там же, где и деривационный тун-

нель, ось которого была определена так же при посредстве полигонного хода, воспользовались четырьмя сторонами разбитого уже полигона и ось донного туннеля ориентировали в отношении именно этой части полигона. На чер. 16 углы №№ 8, 9, 10 и 11 принадлежат существующему полигонному ходу. Работа сводилась к определению направления всех прямых вставок на оси донного туннеля и к ориентировке этих направлений в отношении полигона с увязкой в углах аналитическим способом.

Направление входа, показанное на чертеже стрелкой, было задано и по измерению оказалось под углом $65^{\circ}57'$ к стороне полигона № 10—№ 11, на удалении 12,16 м., от точки № 10.

Направление выходного русла из туннеля не обуславливалось каким либо точно выраженным требованием и намечалось только приблизительно.



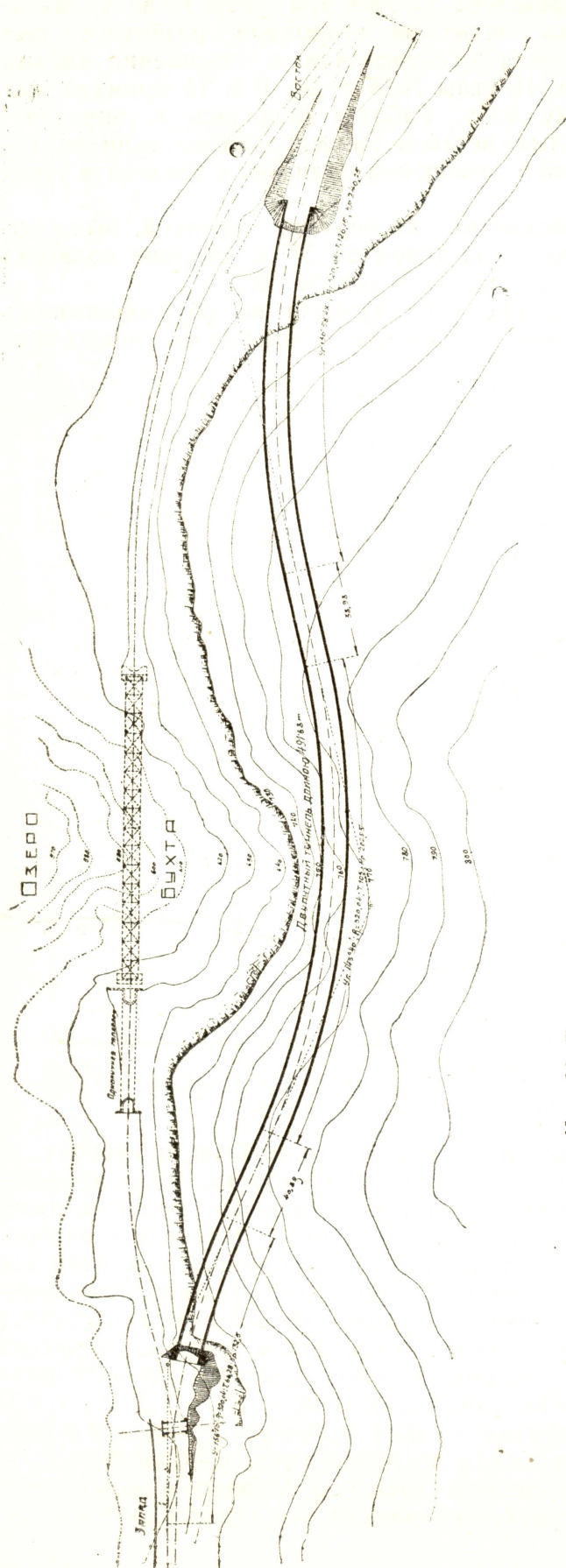
Чер. 17. Определение направления оси донного туннеля Аджарис-Цхальской гидроэлектрической станции (сравни с чер. 14).

Геодезические работы были начаты от входной части туннеля.

Прежде чем приступить к геодезическим работам, были произведены следующие камеральные работы. Был вычерчен полигон, нанесено направление входной части туннеля. Затем, приступили к изображению на плане направления оси туннеля. Здесь пришлось встретиться с весьма существенными требованиями, обуславливаемыми геологическим строением горного массива. В связи с трещиноватостью утеса в его наружной части, приходилось углубляться с туннелем в массив и держаться тех мест, где по предположениям геологов горная порода ожидается достаточно прочной и ненарушенной.

На основании этих соображений был вычерчен туннель в плане. Линии прямых вставок продолжили до пересечения с полигоном.

III-ья прямая (у входной части) в своем продолжении при пересечении с линией № 11-В (т.е. с линией направления оси деривационного тун-



Чер. 18. Трассировка туннеля на 90 клм. Кругобайкальской ж.с. дор.

нея дала точку С. Эта же III-я прямая при пересечении со стороной полигона № 8—№ 7 дала точку Е.

II-ая прямая в своем продолжении при пересечении с той же линией № 11—В дала точку В, а при пересечении со стороной полигона № 7—№ 8 дала точку Д.

I ая прямая в своем продолжении при пересечении с линией ВД дала точку А.

Затем аналитически определили положение точек А, В, С, Д и Е, вычислив как расстояния, так и углы.

Зная положение точек С и Е и угол, образуемый линией СЕ со стороной полигона № 8—№ 7, легко было разбить и закрепить на месте при посредстве створа направление выходной части донного спуска. Угол, образуемый этим направлением со стороной полигона № 8—№ 7 получался равным 48° . Наконец, приступили к разбивке оси туннеля под землей. Работу вели с верхового и низового конца донного спуска. Зная положение точек А и В без труда определили направление I и II прямых вставок, расположенных внутри туннеля.

Не менее интересный пример дает определение направления оси туннеля на 90 клм. Кругобайкальской ж. д. ныне Читинская-Забайкальская ж. д. Здесь отвесными утесами, вблизи Березовой бухты, возвышаются берега Байкала (чер. 18). В обход моста и однопутной галереи при переустройстве дороги на двухпутную, было необхо-

Было решено поступить так, чтобы у каждого портала было точно задано направление туннельной оси. Этим решили ограничиться в работах на дневной поверхности. Всю дальнейшую геодезическую работу по туннелю решили вести исключительно под землей. Для определения направлений туннельной оси у обших порталов обратились к помощи полигонной съёмки.

Чер. 19. Трассировка оси туннеля Лондонской городской подземной жел. дор.

шина О. Угол измерен и оказался равным $114^{\circ}9'45''$. Однако, провести сторону полигона ВО и промерить ее на всем протяжении стальной лентой не представилось возможным. С вешением и промером удалось дойти только до точки „а“, а затем, ввиду препятствий в виде зданий пришлось отклониться с полигонным ходом в сторону и пройти по улице холм а — в — с — О. Произведенный подсчет дал направление оси туннеля — углы ВАО и АОВ и длину $\overline{АО}$. Зная углы направления оси туннеля, стали уверенно по теодолиту вешать линию АО и на протяжении этой линии в различных произвольно выбранных местах на оси будущего туннеля заложили буровые скважины 1, — 2, — 3 и 4. При разбивке туннеля под землей через эти буровые скважины впоследствии были опущены отвесы и таким образом они послужили ориентировочными пунктами.

Когда предстояло трассировать туннель дальше от О до J, то сразу же натолкнулись на следующее обстоятельство. Пункт О, весьма удобный для предидущих работ, благодаря своему относительно высокому положению, оказался совершенно неприемлемым и неудобным для дальнейших работ. Пришлось выбрать новый пункт D, как вершину нового полигона DEFGHJ, проложенного по улицам Лондона. Были промерены стороны полигона и определены углы.

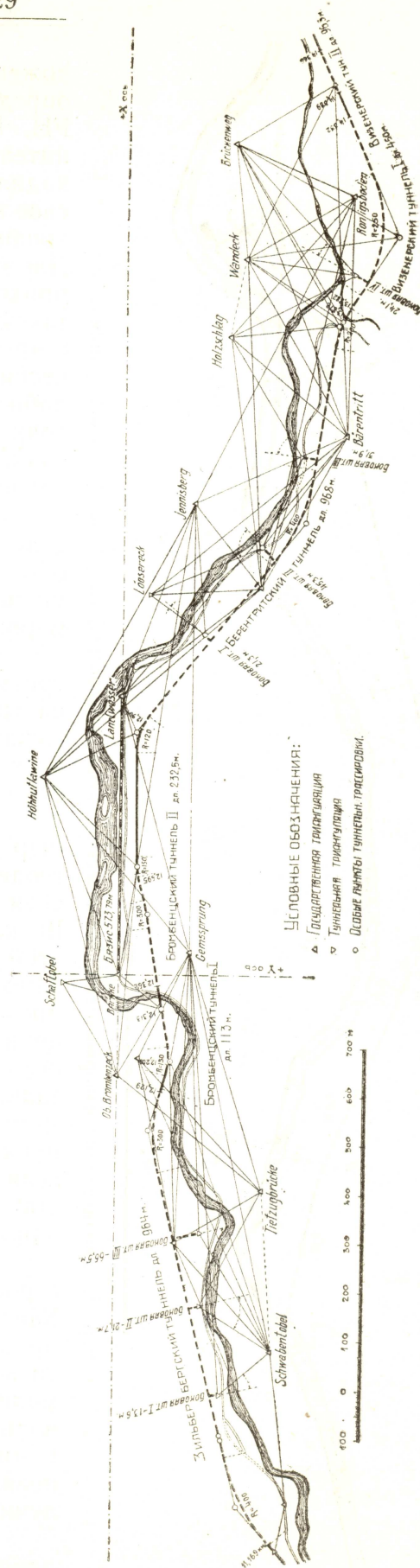
§ 3. Туннельная триангуляция. Как уже указывалось выше, определение направления оси туннеля более или менее значительной длины в гористой местности производится при посредстве туннельной триангуляции. Применение тригонометрической сети в туннельном деле имеет то достоинство, что, определив систему основных опорных точек с'емки, равномерно размещенных по всей снимаемой местности на значительном расстоянии друг от друга, а затем произведя детальную с'емку между опорными точками, идя таким образом, постепенным переходом от общего к частному, мы избегаем грубого накопления ошибок, неизбежных погрешностей, получающихся в результате полигонной или вообще геометрической с'емки: важное значение здесь имеет, конечно, то, что углы возможно измерить с гораздо большей точностью, нежели линии. Затем, при триангуляционных работах открывается возможность учесть кривизну земной поверхности, как части геоида, что весьма существенно отзывается на длине туннеля. Наконец, при туннельных триангуляциях учитывается отклонение отвесов притяжением гор.

Типы туннельных триангуляций. По общему расположению треугольников различают туннельные триангуляции в виде сети и в виде цепи. Первые состоят из группы треугольников, заполняющих все пространство туннельного участка. Вторые представляют собой вытянутый в одном направлении ряд треугольников. Обычно, в практике производства туннельных триангуляций наиболее часто встречаются сети. Что же касается расположения треугольников в виде цепи, то такой вид встречается при разбивке ряда туннелей, следующих друг за другом на незначительном расстоянии, а так же при надобности определить положение боковых галерей (окон) вертикальных или наклонных шахт и т. п.

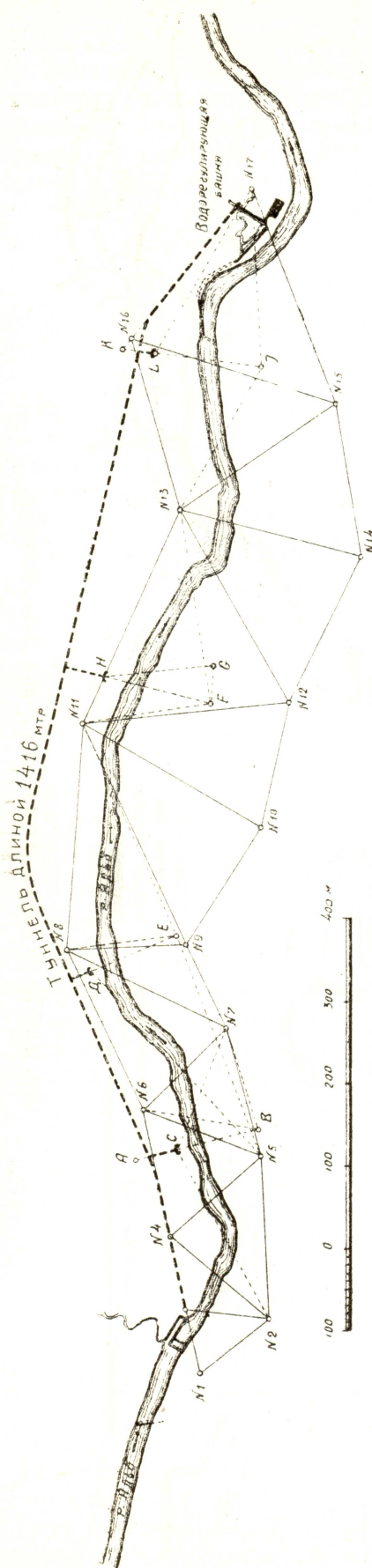
Указанные два типичных расположения треугольников туннельной триангуляции, будет ли то в виде простой сети или же цепи, на практике усложняется налеганием треугольников друг на друга, затем, вставкой отдельных точек помощью боковой и прямой засечки и, наконец, решением известных задач Ганзена и Потенота.

Здесь на протяжении 4,2 км. имеется 6 туннелей общей длинной около 3724 м. причем значительное протяжение туннелей расположено на кривых радиусов 400,-300,-250, 200 и даже 150 и 120 м. Поэтому разбивка оси всех этих туннелей, ввиду их многочисленности и сложности расположения в плане, представляла собой значительные трудности. Предвидя все эти трудности, решили обратиться к посредству триангуляции. Теперь, когда работы исполнены и все туннели пробиты, нельзя не признать, что применение триангуляции было единственно возможным способом дать правильную разбивку туннелей. Большим удобством было то, что удалось воспользоваться сетью государственной триангуляции II класса. Всего было охвачено 13 пунктов сети II класса.

Примером расположения туннельной триангуляции в виде цепи может служить так же триангуляция туннеля Альбской гидро-электрической станции (чер. 21). Туннель длиной 1416 м. имеет четыре прямолинейных участка и три криволинейных, радиуса 200 м. При выборе точек триангуляционной сети воспользовались долиной р. Альб и расположили точки сети на окружающих возвышенностях и утесах. Вся сеть, как это видно из прилагаемого чертежа, состоит из расположенных в виде цепи пятнадцати треугольников. Точки сети № 1, № 2, № 4 и № 6 с одного конца туннеля (входная головная часть гидротехнического туннеля) и затем точки сети № 16 и № 17 с другого конца (выходная часть туннеля) выбраны так, что вполне определяют начальное и конечное направление оси туннеля. Длина сторон сети колеблется от 80 до 280 мтр. В виду того, что для развития фронта работ по пробивке туннеля было необходимо устройство четырех горизонтально распо-



Чер. 20. Триангуляция туннелей на линии Давос-Филизур.



Чер. 21. Триангуляция напорного гидротехнического туннеля Альбской гидро-электрической станции.

ложенных боковых штолен (окна), то для определения направления их ВСА, ЕД, FH, KL пришлось обратиться к дополнительным геодезическим работам: приходилось определять положение точек, в свое время при производстве туннельной триангуляции вовсе не наблюдавшихся. Для этого, как известно (задача Потенота) приходится производить наблюдения с такой точки и определять углы между старыми видимыми с нее тригонометрическими знаками. Встречалась также необходимость определять положение новой точки, с которой видны только две точки туннельной триангуляции (задача Ганзена).

Гораздо чаще, как уже сказано, туннельные триангуляции бывают в виде сети. В этом отношении было бы возможно привести довольно много примеров.

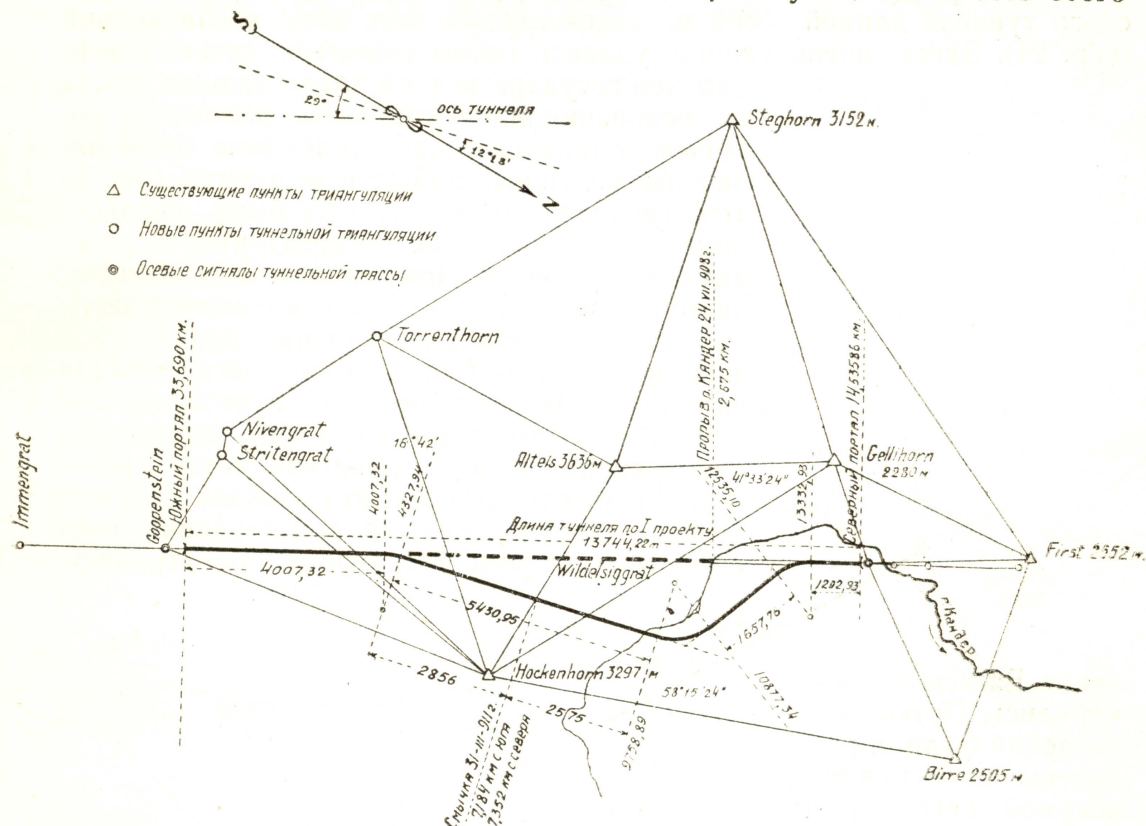
Для характеристики подобного рода триангуляций будет достаточно указать на триангуляции туннелей Лечбергского, Сурамского, Сен-Готардского, Симплонского, Вохейнского, Босрукского, Тауэрнского.

Триангуляция Лечбергского туннеля (чер 22), произведенная Швейцарским геодезистом проф. Bäschlin, основана на сети государственной триангуляции II и III класса. Было взято шесть пунктов этой сети: First, Birre, Gellihorn, Steghorn, Altels, Hockenhorn. Поэтому базис не промерялся. Полная длина туннеля по первому основному проекту 13744 м. По порталам были установлены предпортальные сигналы Kandersteg и Goppenstein и взято еще три дополнительных пункта специально для туннельной триангуляции: Torrenthorn, Rivengrat и Striten-grat.—Таким образом получилась сеть из одиннадцати пунктов.

24-го июля 1908 г. случилась катастрофа: по аллювиальным отложениям р. Кандер прорвалась в туннель. Поэтому пришлось часть пробитой штольни бросить и отклониться на север. Вместо прямолинейного был составлен проект криволинейного туннеля длиной 14535,86 м. Радиусы закруглений 1100 м. При смычке невязка по длине обоих направлений получилась равной всего только—0,41 м.

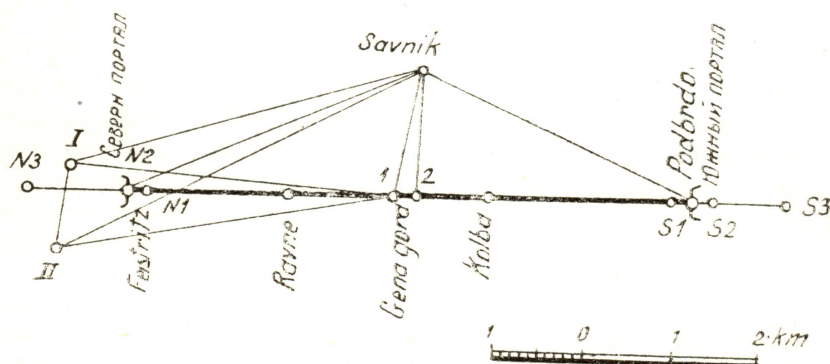
Триангуляция Вохейнского туннеля длиной 6,3 км. очень несложна (чер. 23).

Исходная сторона сети I—II, служившая в роли базиса, дала возможность определить направление оси туннеля и вычислить его длину, а затем определить положение точек 1 и 2, намеченных на перевале как раз на оси туннеля. Всего в общей сложности триангуляционная сеть Вохейнского туннеля имела семь точек, из них 4 на оси туннеля. К сожалению, несмотря на несложность, триангуляционная сеть этого



Чер. 22. Триангуляционная сеть Лечбергского туннеля.

туннеля была выбрана все же не совсем удачно: треугольники сети получились вытянутыми, с острыми углами. Возможно, что это сыграло известную роль: невязка при промере туннеля получилась 0,76 мтр.

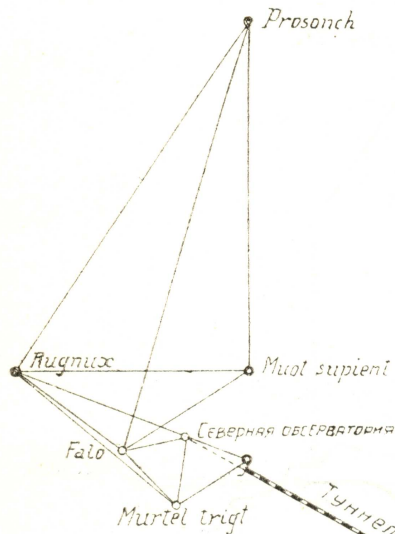


Чер. 23. Триангуляция Вохейнского туннеля.

Иногда туннельная триангуляция может в столь значительной мере опираться на точки сети государственной триангуляции, что отпадает даже надобность иметь сплошную сеть треугольников туннельной триангуляции повдоль всей длины туннеля и тогда задача опреде-

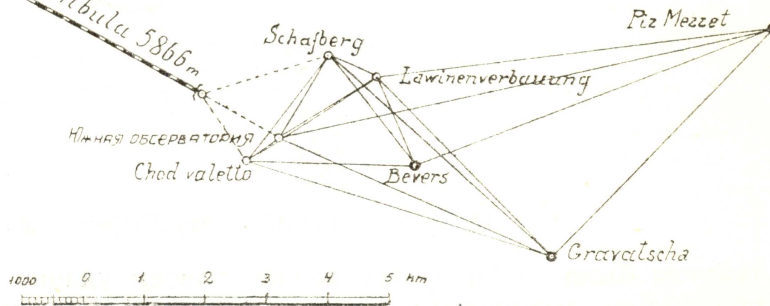
ления направления оси туннеля сводится к полному использованию точек сети существующей государственной триангуляции, как системы опорных точек, и к определению положения конечных пунктов туннеля. Для этого приходится производить триангуляционные работы только в конечных пунктах туннеля.

Примером может служить определение направления оси Альбулского туннеля длиной 5866 м. узкоколейной жел. дор. в Швейцарии (чер. 24). Здесь очень удачно удалось воспользоваться сетью Швейцарской государственной триангуляции. Когда



на основании изыскательских данных и сообразно с геологическими условиями были намечены начальный и конечный пункты (порталы) туннеля, то эти пункты были зафиксированы, как „северная обсерватория“ и „южная обсерватория“. Помимо этих двух обсервационных пунктов было установлено еще два—по одному с каждой стороны—пункта, служивших для работ по разбивке оси туннеля над землей. Все четыре новые пункта—по два пункта с каждой стороны—были определены двумя специальными триангуляциями, произведенными самостоятельно с каждой стороны хребта Альбула. Каждая триангуляция была связана с точками государственной триангу-

ляции. Базисы не промерялись. Путем вычислений были определены углы между искомой осью туннеля и сторонами смежных треугольников, сходящихся у обсервационных пунктов.

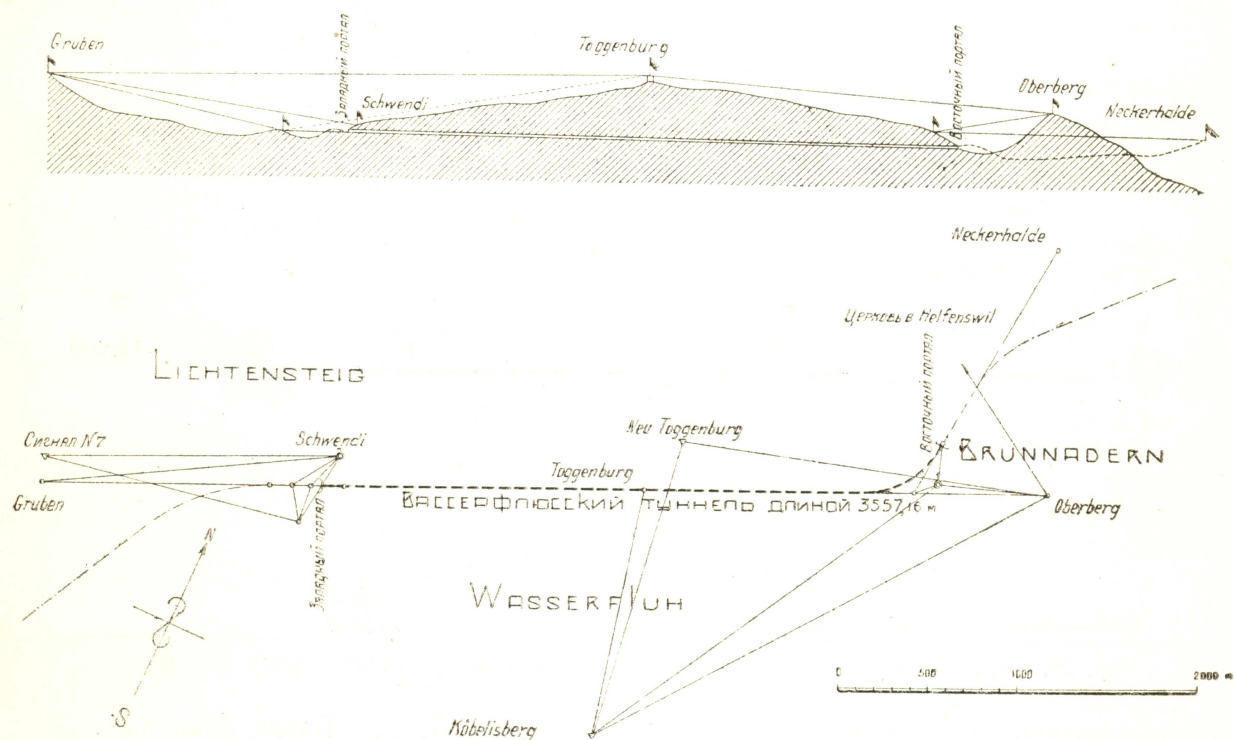


Чер. 24. Определение направления оси туннеля Альбула.

Не менее интересный пример дает разбивка оси Вассерфлюсского туннеля на линии жел. дор. Тоггенбург—Боденское озеро. Туннель длиной 3557,16 м. односкатный, расположен на уклоне 10,4‰, а в восточной части на кривой радиуса 400 м. (чер. 25). Визирная направляющая штольня не пробивалась *). Трассировка Вассерфлюсского туннеля производилась при помощи двух независимых друг от друга туннельных триангуляций. По две точки каждой сети туннельных триангуляций удалось включить в сеть государственной триангуляции III-го класса и это дало возможность обе сети туннельных триангуляций ко-

*) В пояснение этого надо указать: Вассерфлюсский туннель односкатный в направлении с востока на запад. В целях избежать борьбы с водой ввиду трудности ее отвода, по плану работ предстояло пройти от западного портала около 2,5 км. Фактически прошли 2419,55 м. от западного портала и 936,61 м. от восточного. Здесь произошла смычка обоих ходов нижних направляющих штолен. Западный участок длиной, как сказано, около 2,5 км. расположен целиком на прямой, и разбивка его не представляла каких либо затруднений. Восточный же участок получался таким образом незначительной длины и поэтому визирной штольни не пробивали. Результаты смычки указали верность принятого метода и точность произведенных работ: невязка по длине туннеля получилась + 0,28 м., отклонение в сторону 0,05 м. и по высоте 0,01 м.

ординировать относительно друг друга и таким образом точно определить направление туннеля. Точками сети туннельной триангуляции, включенными в сеть государственной триангуляции, были Lichtensteig и сигнал № 1 Gruben—с западной—Neu Toggenburg и Köbelisberg—с восточной стороны. Расстояния между этими пунктами принимались известными и играли роль основных сторон (базисов) соответствующих туннельных триангуляций. Когда камерально было определено и окончательно установлено направление оси будущего туннеля, то работы начались с определения на месте положения пунктов, расположенных на оси туннеля, именно: Toggenбург (Toggenburg) на вершине перевала над туннелем, затем, Gruben на западном и Oberberg на восточном склонах соседних гор. Это осуществить удалось вполне путем соответствующих, как сказано, независимых друг от друга туннельных триангуляций. Затем, путем тех же самых туннельных триангуляций удалось точно выставить на месте работ предпортальные пункты, от которых велась разбивка оси туннеля под землей.



Чер. 25. Определение направления оси Вассерфлюссского туннеля.

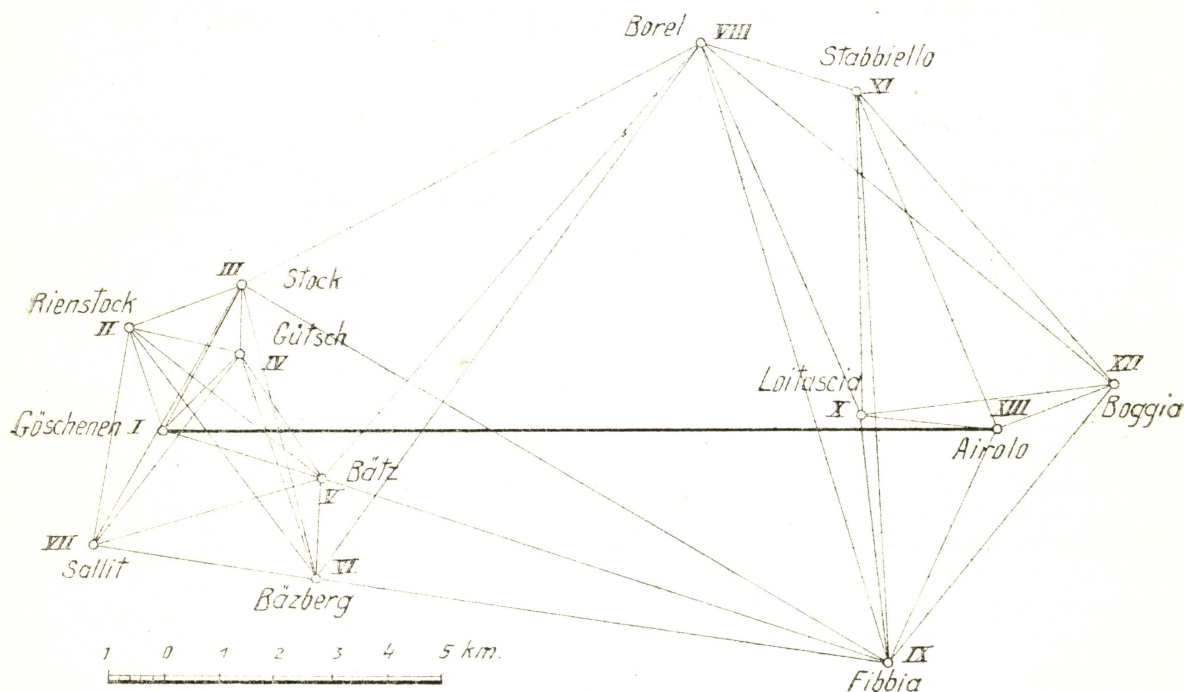
Выбор системы расположения точек сети туннельной триангуляции. Для предварительных соображений весьма целесообразно пользоваться картой возможно крупного масштаба. Сообразуясь с условиями рельефа местности, предварительно, как камеральная работа, назначаются точки сети так, чтобы:

1. Пункты, расположенные у обоих входов в туннель на оси туннеля могли быть взяты с трех различных точек триангуляционной сети.
2. Переход через горный массив, под которым расположен туннель, мог быть осуществлен с возможно наименьшим числом промежуточных пунктов туннельной триангуляции.
3. Треугольники сети туннельной триангуляции были по возможности равносторонние. Длина стороны рекомендуется в пределах от 150 до 600 м.

4. Желательно, чтобы сеть туннельной триангуляции в нескольких, минимально в двух точках, примыкала к существующей сети государственной триангуляции. Это даст возможность не иметь специального базиса для туннельной триангуляции.

5. В случае длинного туннеля желательно, чтобы сеть туннельной триангуляции состояла из двух самостоятельных триангуляций, увязанных друг с другом и имеющих общие пункты, расположенные у порталов туннеля.

В этом отношении прекрасным примером может служить триангуляция Сен-Готардского туннеля (чер. 26). Направление оси туннеля было определено при посредстве двух самостоятельных триангуляций, произведенных двумя геометрами Гельпке (Gelpke) и Коппе (Korpe) совершенно независимо друг от друга при посредстве различных избранных ими триангуляционных пунктов. Гельпке составил триангу-



Чер. 26. Сеть триангуляции Сен-Готардского туннеля длиной 14984 м. (сеть Коппе).

ляционную сеть, имеющую 17 пунктов и один базис. Базис был выбран в долине и имел длину около 3 клм. Коппе имел совершенно отдельную триангуляционную сеть, имеющую 13 пунктов. Базиса не промеряли. Для вычисления сети Коппе связался с пунктами триангуляции Гельпке. После сравнения обеих триангуляций получилась разница между ними в 40 миллиметров, при совпадении в середине туннеля.

Когда в порядке кабинетной работы намечено предварительное расположение точек сети туннельной триангуляции, то надлежит произвести рекогносцировку сети, путем непосредственного осмотра мест расположения точек в горах.

При участии местного жителя, знакомого с горными тропами, лицо, производящее определение направления оси туннеля на поверхности земли (триангулятор) должен побывать во всех пунктах намечаемой сети и окончательно закрепить эти точки. При этом он должен руководствоваться следующими положениями:

6. Пункты должны быть выбраны так, чтобы угловые измерения вести по возможности с земли и не воздвигать сложных сигналов.

7. С каждого пункта должно быть видно не менее двух смежных.

8. Углы в последовательных треугольниках не должны быть менее 40° и более 100° .

9. Доступ к пунктам туннельной триангуляции должен быть не слишком затруднителен.

10. Соответственно результатам рекогносцировки вносятся все исправления в составленный первоначально проект сети. Одновременно с этим выясняется, какие и где должны быть сооружены искусственные сигналы триангуляции.

Туннельные триангуляции по характеру своему могут быть приравнены к триангуляциям III и IV класса.

Базис. Для последовательного вычисления сторон треугольников триангуляционной сети необходимо знать точно длину одной стороны, называемой исходной или основной. Иногда при производстве туннельной триангуляции удается воспользоваться существующей триангуляционной сетью. Тогда вопрос решается довольно просто: стоит только взять два смежных пункта существующей триангуляции, связать их с пунктами туннельной триангуляции и тогда вычисление сторон треугольников всей сети туннельной триангуляции не представляет затруднений.

Сложнее обстоит вопрос, когда нет возможности воспользоваться данными, относящимися к существующей триангуляционной сети. В таких случаях приходится непосредственным промером определять длину стороны, называемой базисом.

Иногда непосредственный промер стороны триангуляционной сети независимо от сильной гористости местности становится столь трудно осуществимым и сопряженным с неточностями промера, что для определения длины основной стороны обращаются к посредству так называемой базисной сети с измеряемым малым базисом. Для этого выбирают на местности линию, удобную для непосредственного промера и расположенную совершенно самостоятельно от триангуляционной сети, измеряют длину этого базиса и последовательным постепенным увеличением сторон треугольников (базисная сеть) переходят от малого базиса к основной стороне туннельной триангуляционной сети.

Вид базисной сети может быть любой сложности.

Иногда базисная сеть бывает ромбическая (предложена Швердом). Малый базис пересекает сторону сети так, что обе эти линии становятся диагоналями ромба. Измеряются все 8 углов. Желательно, чтобы отношение длины основной стороны сети к длине малого базиса не превышало 4. Иногда базисная сеть бывает более сложная. Для перехода от малого базиса к основной стороне приходится делать двойной переход: строится не один, а два ромба: малый базис является малой диагональю меньшего ромба, а большая диагональ большего (второго) ромба есть основная сторона сети. На чер. 27 представлен вариант определения направления оси Риккенского туннеля, как пример сложной ромбической базисной сети.

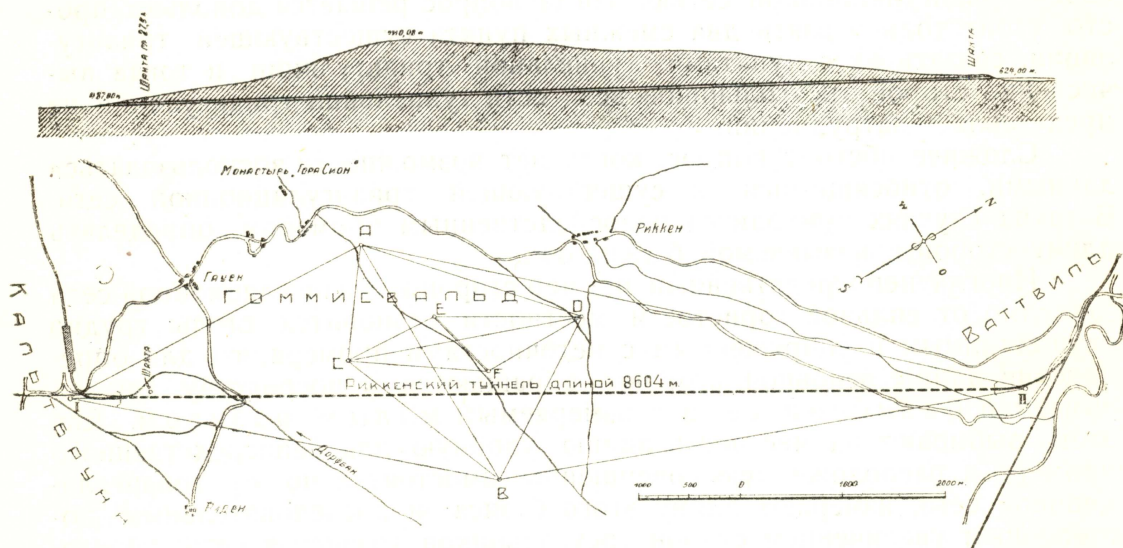
Выбор места для базиса. Выбор места для базиса при туннельной триангуляции является делом важным и трудным. Необходимо выбирать ровный участок, доступный для непосредственного промера и обладающий возможно большей длиной.

К сожалению, при определении оси туннелей, при работе в горах далеко не всегда бывают благоприятные местные условия: ровный

участок если и находится, то расположен не на горизонтальном месте, а на склоне горы. Часто сильная изрезанность, гористость стесняет участок до весьма малых размеров: базис приходится брать в 600—400, а иногда и менее метров длины.

Как исключение можно встретить туннельные триангуляции, когда выбранный базис фактически не было возможности непосредственно промерить и приходилось обращаться к небольшим дополнительным триангуляциям (базисная сеть), а иногда к помощи полигонного хода. Прекрасный пример полигонного способа определения длины базиса дает Караванкенский туннель.

Караванкенский (Karawanken) туннель длиной 7976 м., построенный в 1902—1906 г.г., расположен между ст. Розенбах и ст. Асслинг в Австрии и пересекает горный хребет Караванки в Восточных Альпах. Голая, изрезанная дикими ущельями, бледнокрасноватая известняковая цепь, представляющая величественное зрелище, создала необычайные трудности при трассировке туннеля. При определении направления оси этого туннеля обратились к триангуляции. Базис был



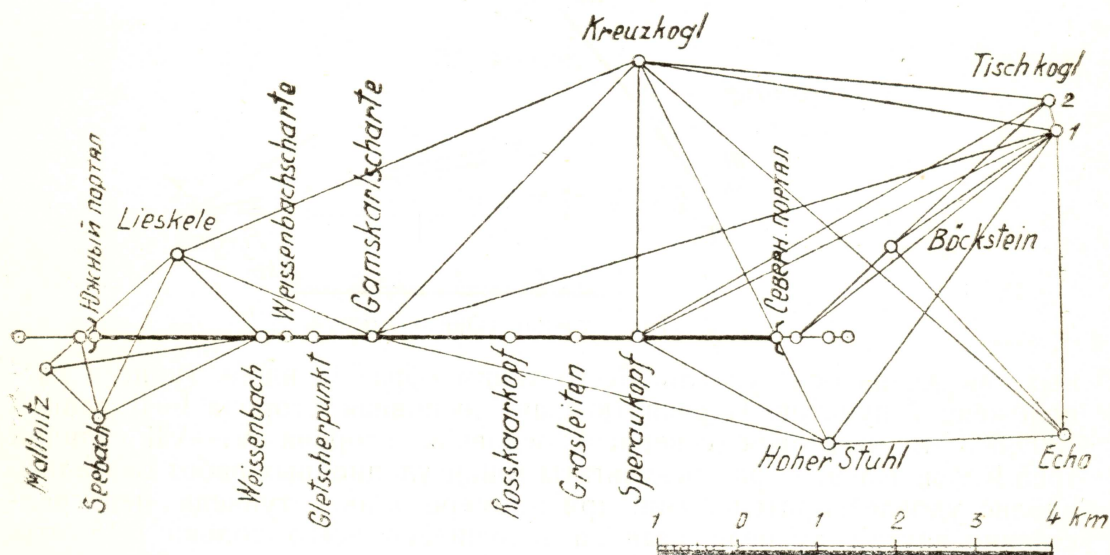
Чер. 27. Вариант определения направления оси Риккенского туннеля.

намечен и разбит по водораздельному хребту (чер. 3). К сожалению, по местным условиям определить длину базиса непосредственным промером не представилось возможным. Длина его была определена при помощи полигонной съемки. Однако, и этот способ встретил необычайные трудности: когда разбили полигон ABCDE, то убедились, что нет решительно никакой возможности определить длины сторон полигона непосредственным промером. Не оставалось другого выхода, как обратиться к тахеометрическим работам.—Между тем известно, что при работе дальномерами точность определения расстояния обычно равна 0,27‰ и предел ошибки составляет около 0,8‰ от истинной длины. В целях уточнения результатов стороны полигона были взяты в пределах от 70 до 130 мтр. и вся тахеометрическая работа производилась с величайшей тщательностью, путем по вторых измерений при помощи дальномеров. В результате подсчетов длина основной стороны сети определилась в 561,261 мтр., причем наивысший предел ошибки составлял около 0,34 м., т. е. около 0,06%, фактически же неточность длины базиса не выходила из предела $\pm 0,12$ мтр. Не меньшие трудности представила собой и дальнейшая работа по

определению оси туннеля. Были выбраны два наблюдательных пункта ON и OS, где были сооружены обсерватории. В результате всех геодезических работ по разбивке оси Караванкенского туннеля как над землей, так и под землей, при промере длины туннеля в натуре (внутри туннеля) получилась разница от вычислений всего только в 0,45 мтр.

Базис должен быть расположен посредине снимаемого участка. Однако ввиду наличия горного массива в туннельных триангуляциях в большинстве случаев это невозможно. Поэтому приходится располагать базис на конце туннеля у одного из входов. Иногда, чтобы иметь контроль правильности измерений и вычислений, назначают два базиса или две основные стороны сети в противоположных концах туннеля. Конечные точки базиса и вершины треугольников выбираются так, чтобы в каждой из них было видно возможно больше других точек, почему не следует их брать в зарослях кустарника, за утесами или в глубоких долинах. Весьма удачно будет расположить базис на горном плато, террасе и на склоне горы. Желательно, чтобы в месте расположения базиса грунт не был каменистым.

Триангуляция Тауэрнского туннеля длиной 8,6 клм (чер. 28) была произведена при помощи двух основных сторон, игравших роль бази-

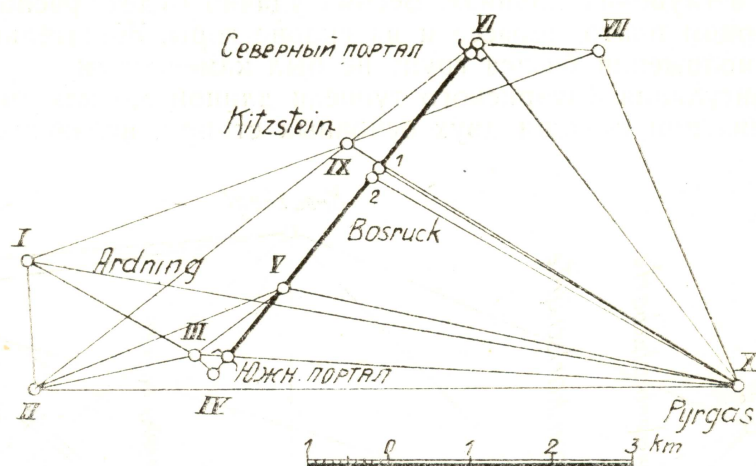


Чер. 28. Триангуляция Тауэрнского туннеля.

сов расположенных по обеим сторонам перевала. Северный базис между пунктами Echo и Bockstein имеет длину 3138,009 м. Южный базис между пунктами Seebach и Mallnitz длиной всего только 930,652 м. Определение длины основных сторон сделано при помощи базисных сетей путем триангуляции. Промер обоих малых базисов сделан А. Tichy оптическим методом. Для более совершенного выполнения триангуляционных работ и во избежание возможных ошибок в определении направления и длины оси туннеля, инж. Imhof были произведены работы по трассировке оси туннеля и по закреплению ее. Как это видно из чер, расстояние между конечными сигналами, расположенными на оси туннеля, составляет около 10 км. На эту работу по трассировке пришлось затратить 3 дня, по 16 рабочих часов в каждом и преодолеть горный перевал, возвышающийся на 1,6 км. от отметок конечных сигналов. В результате работ на оси туннеля были пункты: два конечных сигнала, два сигнала у входов в туннель (портальные

сигналы), два предпортальных сигнала и, наконец, 8 сигналов, расположенных в разных местах вдоль оси туннеля. Таким образом, на оси Тауэрнского туннеля всего находится 14 сигналов. Принятые меры по уточнению работ при определении направления оси туннеля в виду трудных топографических условий местности были весьма целесообразны. И все же при окончательном промере длины туннеля в самом туннеле, его истинная длина оказалась больше длины, исчисленной на основании туннельной триангуляции на $+2,93$ мтр., что составляет замечательную по неправильности величину.

Аналогичный пример туннельной триангуляции с двумя базисами имеем при постройке туннеля Босрук (чер. 29). Ось этого туннеля длиной около 4,8 км. была определена при помощи сети треугольников, имеющей 11 пунктов, из них 5 пунктов расположены на оси туннеля. Кроме того имеется еще два портальных пункта, расположен-



Чер. 29. Триангуляция туннеля Босрук.

ных так же на оси туннеля. Всего таким образом, вдоль туннеля расположено 7 пунктов. Первая (южная) основная сторона I—II длиной 1399,363 м. и вторая (северная) основная сторона VI—VII длиной 1565,108 м. На этот раз результаты триангуляционных работ оказались вполне удовлетворительными: при промере длины туннеля непосредственно внутри туннеля разница получилась всего только 0,18 мтр.

Один из способов развития жел. дор. линии в сильно гористой местности заключается в образовании петель. При этом для развития трассы и при обратном повороте пользуются боковыми долинами. Иногда при отсутствии боковых долин устраиваются поворотные и спиральные туннели. Спиральный туннель целесообразно строить там, где узость ущелья или же местные условия препятствуют открытому расположению петель. В зависимости от положения места путем выбора того или иного радиуса закругления можно выиграть тот или иной подъем. Такого рода спиральные туннели встречаются на Сен-Готардской, Шварцвальдской и многих других железных дорогах Западной Европы, а в СССР на Армавир-Туапсинском участке Северо-Кавказских жел. дор.

Сен-Готардская жел. дор. проходит по долине Рейса, а южнее большого перевального туннеля по долине р. Тичино. Долина р. Рейса в передней своей части сама по себе имеет подъем в $30-40\text{‰}$ и даже в 68‰ следовательно, гораздо больший, чем жел. дор. линия. Поэтому трасса жел. дор. линии много раз проходит по долине почти на отметке уровня самых высоких вод. При наличии такого сильного под-

ема долины искусственное развитие линии являлось необходимым и единственно возможным. С этой целью был устроен Пфаффешпрунгский спиральный туннель с радиусами 280, 300 и 500 м. Его длина 1450 мтр. Его нижний портал расположен на отметке 774 м. от ур. моря, а верхний на высоте 809 м. от ур. моря—Таким образом, благодаря туннелю выигрывается 35 м. высоты и кроме того еще 16 м. на открытом уклоне вне туннеля.

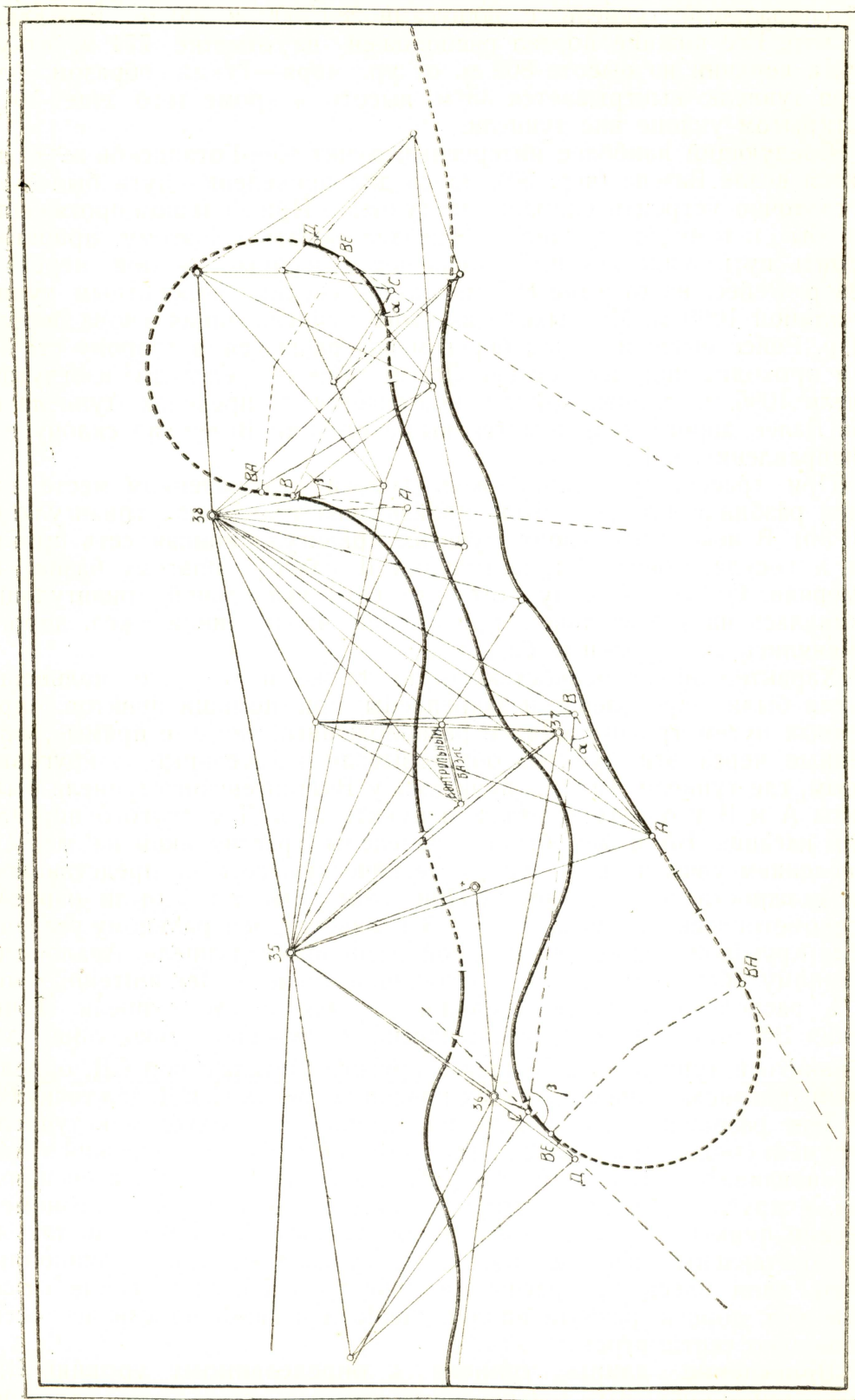
Следующий наиболее интересный пункт Сен-Готардской ж. д. находится возле Вазена (чер. 30). Здесь для проведения пути было уже недостаточно устроить спиральный туннель. При большом протяжении было бы к тому же трудно его вентилировать. Поэтому пришлось устроить путь в виде петли. Таковая петля начинается при переходе через р. Рейсс. на отметке 895 м. Ваттингенским поворотным туннелем длиной 1090 м. По выходе из этого туннеля линия снова пересекает р. Рейсс выше и левым берегом возвращается в сторону ст. Вазен и проходит под местностью Леггиштейн посредством изогнутого туннеля 1095 м. длины, причем подымается в пределах туннеля на 25 м. Далее дорога направляется выше станции Вазен по склону гор по направлению к Гешенен.

При трассировке линии жел. дороги в означенном месте, для точной разбивки туннелей была произведена туннельная триангуляция (чер. 30). В некоторых своих пунктах триангуляционная сеть примыкала к государственной триангуляции II класса, поэтому базиса не промеряли. Однако, в виду того, что сеть туннельной триангуляции раскинулась на значительном протяжении вдоль линии жел. дороги, применялись „контрольные базисы“.

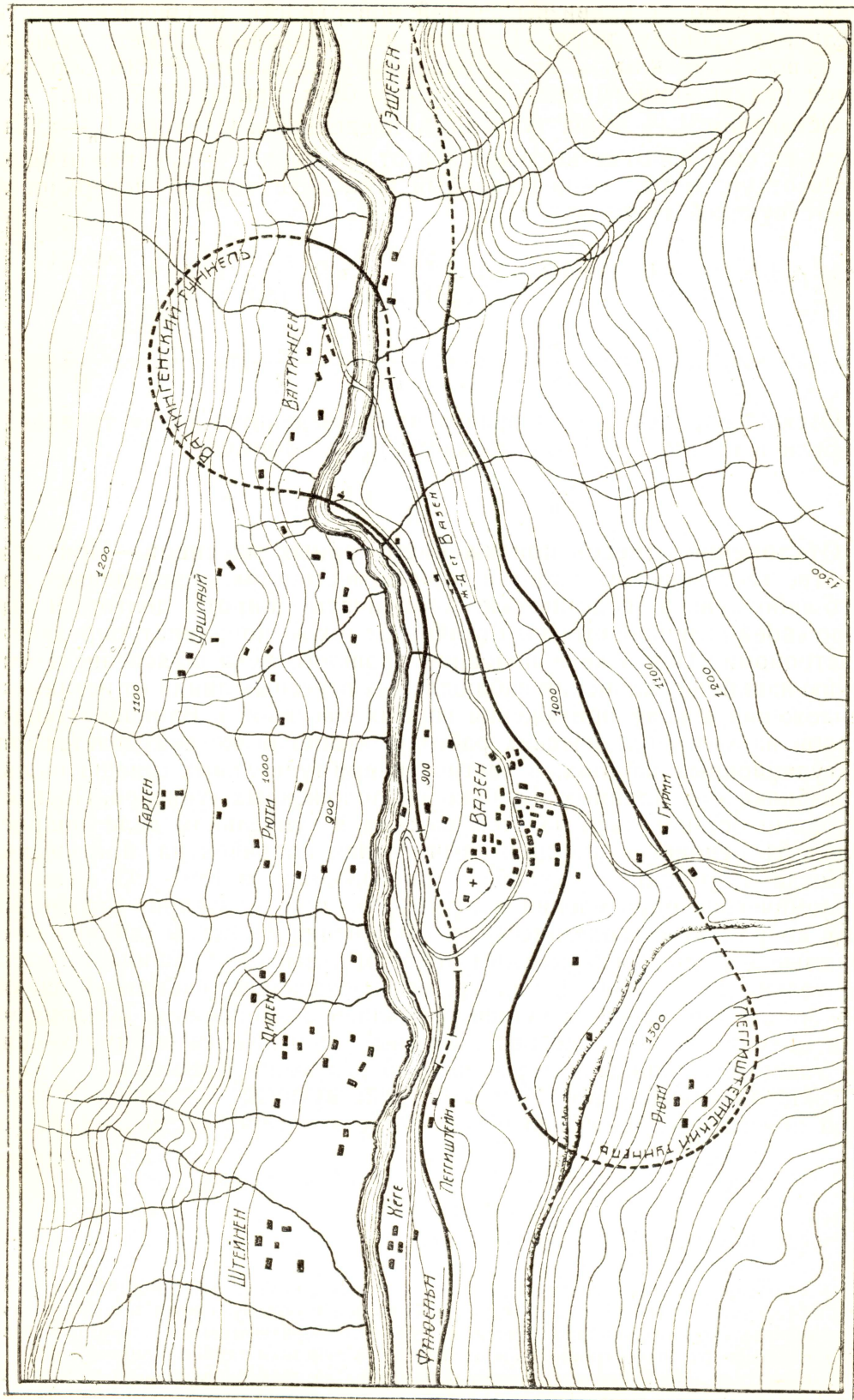
Характерной особенностью было также и то, что кольцевые туннели были определены и закреплены при помощи пунктов, определенных путем триангуляции и расположенных так, что прямые, проведенные через эти пункты, образовывали касательные к круговым кривым, где туннели. Такими пунктами у Ваттингенского туннеля были пункты А и В у одного портала, и пункты С и Д у другого портала. Точки касания ВА и ВЕ были определены трассировкой на месте и вычислением увязать их в тригонометрическую сеть не представилось ни возможности, ни надобности. При этом углы α и β были найдены тригонометрически и сумма их $\alpha + \beta$ равняется центральному углу поворота круговой кривой, на которой расположен туннель. Аналогично сказанному обстояло дело и в отношении туннеля Леггиштейн: точки В и А расположены на касательной к кривой, где туннель. Точка касания ВА была найдена аналитически и служила только лишь для разбивки оси туннеля под землей. У другого портала створ СД, определенный тригонометрически в своих конечных точках С и Д, дал точку ВЕ.

Для разбивки оси туннеля под землей на подходах к туннелю инструмент (теодолит) ставился над точкой А (тригонометрический пункт) и устанавливался по точкам В и ВА, где были выставлены визирные знаки. У другого портала инструмент ставился в точке С (тригонометрический пункт) и устанавливался по точкам Д и ВЕ, где так же были выставлены визирные знаки. Все указанные триангуляционные работы дали здесь прекрасные результаты: сложная в плане трасса линии жел. дороги разбита вполне точно и невязка получилась всего в несколько сантиметров.

Приведение длины туннеля к определенному уровню. При вычислении туннельных триангуляций таковые могут быть приведены к любому уровню. Обычно они приводятся к уровню моря. Между тем длину туннеля необходимо привести к средним отметкам фактического



Чер. 30. Триангуляционная сеть туннелей у Вазена на Сен-Готтардской ж. д.



Чер. 30-й. Туннели у Вазена на Сен-Готардской ж. д.

положения туннеля по высоте. Таким образом необходимо вводить поправку зависимо от кривизны земной поверхности и средней высоты туннеля над уровнем моря. Известно, что полярный диаметр земного шара равен 12713 км., а экваториальный 12756 км. Таким образом, средний радиус земного сфероида может быть принят 6367 км.

Обозначим: L_0 —длина туннеля, приведенная к ур. моря. L_h —длина туннеля на средней отметке туннеля h от ур. моря. h —средняя отметка туннеля от ур. моря, φ —центральный угол дуги земной поверхности, соответствующей туннелю.

$$\Delta L = L_h - L_0 = \pi (R + h) \frac{\varphi^0}{180} - \pi R \frac{\varphi^0}{180} = h \cdot \pi \cdot \frac{\varphi^0}{180}$$

а так как $L_0 = \pi R \frac{\varphi^0}{180}$, т. е. $\frac{\pi \varphi^0}{180} = \frac{L_0}{R}$, то $\Delta L = \frac{h L_0}{R}$

Отсюда определяется поправка на приведенную длину туннеля. Если известно L_0 , то легко найти L_h по формуле.

$$L_h = \left(1 + \frac{h}{R}\right) L_0$$

Отклонение отвесов притяжением горных массивов.—При производстве геодезических работ в горных местностях, определенные для какого либо пункта геодезические координаты (широта, долгота и азимут) по своей величине бывают отличны от тех же координат, определенных астрономически. Уже в половине прошлого века объяснение этому явлению нашли в отклонении наблюдаемых отвесных линий от истинного их положения в силу притяжения горных массивов¹⁾. Влияние горных массивов на ход геодезических работ особенно резко сказывается при триангуляционных работах, в частности при туннельных триангуляциях для разбивки оси длинных, глубоко расположенных туннелей. Поэтому необходимо остановиться на этом важном в туннельном деле вопросе и изложить основные принципы вычисления поправок на притяжение гор. Когда Кортацци и Кульберг производили в 1891—93 г.г. свои астрономические определения в Крыму, то при сличении астрономических координат с геодезическими отклонения отвесной линии, производимые небольшим Крымским хребтом²⁾, высшая вершина которого всего только 1300—1500 м. над ур. моря, оказались настолько значительными, что по своей величине равнялись отклонениям, обнаруженным в высоких горных массивах, каковы Альпы, Кавказ и Гималайские горы, главные вершины которых в 3—6 раз выше Крымских.

Сила притяжения всей земли G , действующая в данном пункте земной поверхности, географическая широта которого есть φ , равняется

$$G = \frac{k M}{b^2} \left[1 - \varepsilon - \frac{3}{2} m + \left(\frac{5}{2} m - \varepsilon \right) \sin^2 \varphi \right].$$

где k есть коэффициент притяжения.

¹⁾ Особенно важный научный интерес геодезических и астрономических работ М. И. Лебедева 1877—1879 г.г. в Болгарии заключался в обнаруженных там на многих пунктах значительных отклонения отвеса, не только от притягательного действия высоких гор Балканского полуострова, но и от обратного действия глубин Черного моря.

²⁾ Крымские или Таврические горы образованы из трех параллельных складчатых горных цепей. Первая цепь—Главный кряж самый южный имеет высоту в среднем около 750—800 м. Главнейшие вершины: Ай-Петри (1321 м.) Орман-Хош (1543 м.) Чатырдаг (1526 м.) Демерджи (1357 м.). Второй хребет не поднимается выше 650 м. и, наконец, третий едва достигает 270 м. высоты.

$$M — \text{масса земли} = \frac{4}{3} \pi a^2 b \delta$$

a и b — большая и малая полуоси земного эллипсоида (сфероида).

$$\epsilon — \text{сжатие земли} \frac{a-b}{a} \text{ равное по Клерку (1880 г.) } \frac{1}{293465}$$

$$m — \text{отношение центробежной силы к силе тяжести на экваторе} = \frac{1}{289}$$

δ — средняя плотность земли, принимаемая обычно в два раза больше средней плотности горно-каменных пород, из которых состоят наружные слои земной коры.

При вышеозначенных значениях ϵ и m , выражение для G примет вид:

$$G = \frac{8}{6} \pi a Z \kappa \delta \quad \text{где } Z = 0,99479 + 0,00526 \sin^2 \varphi$$

Пусть φ — угол отклонения отвесной линии в рассматриваемом пункте вследствие добавочной горизонтально направленной силы притяжения F окружающих горных массивов. — Этот угол мал и может быть вычислен по формуле

$$\varphi \text{ (в сек.)} = \frac{F}{G \sin 1''} = \frac{F}{\frac{8}{6} \pi a \kappa \delta \sin 1'' \cdot Z}$$

Как величина, так и направление горизонтального притяжения F в каждом данном пункте будут легко найдены, если будут определены его составляющие X и Y по каким бы то ни было двум взаимно-перпендикулярным горизонтальным направлениям A_x и A_y — напр., по меридиану и по параллели данного пункта, A , или же по оси туннеля и по линии, перпендикулярной к ней. Условимся считать горизонтальные углы или азимуты α от того именно направления A_x , до которого желательно вычислить слагающую X местного притяжения¹⁾. Подразделим окружающую пункт A местность во-первых, системой вертикальных радиальных плоскостей, составляющих с направлением A_x различные азимуты φ , во-вторых, системой концентрических, цилиндрических поверхностей, описанных из A различными радиусами r , — и рассмотрим сначала притягательное действие на точку A какого нибудь одного из таких подразделений местности, ограниченного именно двумя цилиндрическими поверхностями с радиусами r_1 и r_2 и двумя вертикальными плоскостями с азимутами α_1 и α_2 .

Обозначив относительную высоту какой нибудь точки M этого подразделения над A через z , а среднюю высоту всех точек наружной его части — через h .

ξ южное отклонение.

η восточное отклонение

$$\xi \text{ (в сек.)} = \frac{4 \theta_m \pi R}{3 \theta_0 \rho''} \sum (\sin \varphi_m - \sin \varphi_l) F$$

$$\eta \text{ (в сек.)} = \frac{3 \theta_0 \rho''}{4 \theta_m \pi R} \sum (\cos \varphi_l - \cos \varphi_m) F$$

¹⁾ Кривизной поверхности земли при [небольшом] районе местного притяжения возможно пренебречь.

причем

$$F = h \log_{\text{nat}} \frac{r_m + \sqrt{r_m^2 + h^2}}{r_l + \sqrt{r_l^2 + h^2}}$$

$$\frac{3 \cdot \theta_0 \rho''}{4 \theta_m \pi R} = 0,000386$$

Для удобства пользования этими формулами, производят приведение их к другому виду, путем преобразования.

$$\xi_{(\text{в сек.})} = 0,000386 (\sin \varphi_m - \sin \varphi_l) h \frac{r_m - r_l}{r} \left[1 - \frac{1}{2} \frac{h^2}{r^2} \right] \cdot \left[1 + \frac{1}{12} \left(\frac{r_m - r_l}{r} \right)^2 \right].$$

$$\eta_{(\text{в сек.})} = 0,000386 (\cos \varphi_l - \cos \varphi_m) h \frac{r_m - r_l}{r} \left[1 - \frac{1}{2} \frac{h^2}{r^2} \right] \cdot \left[1 + \frac{1}{12} \left(\frac{r_m - r_l}{r} \right)^2 \right].$$

Эти формулы становятся особенно удобны для вычислений, если синусы (или косинусы) азимутов разных подразделений местности возрастают в прогрессии арифметической, радиусы же ограничивающих их цилиндрических поверхностей—в прогрессии геометрической,—потому что числа $\sin \varphi_m - \sin \varphi_l$ (или же $\cos \varphi_l - \cos \varphi_m$) и $\frac{r_m - r_l}{r}$ становятся тогда для всех подразделений одинаковыми.

Итак, для вычисления местного притяжения в каком либо пункте А по широте нужно сделать построение вышесказанных углов φ относительно меридиана этого пункта, от 0 до 90° в обе стороны от него как для северной, так и для южной половины горизонта, а затем найденные величины $X_{\text{сев.}}$ и $Y_{\text{южн.}}$, и подставить вместо F.—Для вычисления же местного притяжения по долготе нужно сделать совершенно тоже самое, для западной и для восточной половин горизонта, относительно линии, перпендикулярной к меридиану и ввести еще множитель $\sec \varphi$. Таким образом, полные притяжения $\Delta \varphi$ и Δh по широте и долготе при выражении Н в метрах выразятся окончательно так:

$$\text{по широте:} \quad \Delta \varphi = k [\Sigma H_c - \Sigma H_{\text{ю}}]$$

$$\text{по долготе:} \quad \Delta h = k' [\Sigma H_z - \Sigma H_v]$$

Для удобства вычислений соответственно принятой системе подразделений рекомендуется начертить на кальке диаграмму из concentрических окружностей с радиусами в кратных отношениях (напр. $\frac{1}{2}$; 1; 2; 4 и т. д.) и из радиальных прямых, составляющих с основной диаментальной линией углы, синусы которых соответственно равны

$$\frac{1}{n}; \frac{2}{n}; \frac{3}{n}; \dots \frac{n-1}{n}; \frac{n}{n}.$$

Такая диаграмма накладывается на план местности, где туннель, так, чтобы центр ее кругов совпал с исследуемым пунктом А и чтобы основная ее линия совпала с направлением какой либо определенной по направлению линией, напр., линией меридиана или же с линией оси туннеля.

Затем, по счету горизонталей, приходящихся в разных ее подразделениях оцениваются и выписываются абсолютные средние высоты для всех пунктов подразделений, количество которых равно числу пересечений радиальных линий и окружностей. По вычитании из всех этих чисел абсолютной высоты h_0 самого пункта А составляется таблица средних относительных высот h разных подразделений, затем, делаются поправки для получения исправленных высот H и, наконец, простым суммированием последних для каждого пояса отдельно получаются величины $\sum H_{\text{сев.}}$ и $\sum H_{\text{юж.}}$ входящие в выражение местного притяжения по широте $\Delta \varphi$.

При разбивке оси Лечбергского туннеля Th. Mathys для введения поправки на отклонение отвеса в силу притяжения Альпийских гор, — взял семь цилиндрических поверхностей, радиусы которых были 100, 300, 900, 2700, 8100, 24300 и 72900 м.¹⁾ Для местности в пределах радиуса 8100 м. пользовались планом местности в масштабе 1:50000 (Siefriedatlas), а для остальной части гидро-орографической картой Швейцарии в масштабе 1:500000. Каждый квадрант был разделен на 10 углов так чтобы $\cos \varphi$ были последовательно. $1 \times n$ при n от 1 до 10. Углы были $0^\circ 0'$, $25^\circ 51'$; $36^\circ 52'$; $45^\circ 34'$; $53^\circ 08'$; $60^\circ 0'$; $66^\circ 25'$; $72^\circ 33'$; $78^\circ 28'$; $84^\circ 16'$ и $90^\circ 0'$. Косинусы этих углов соответственно равны 1,0; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 и 0. По этим данным была построена диаграмма (чер. 31), центр которой был совмещен со серединой туннеля, а главная линия с осью туннеля

$$\eta_{\text{(в сек.)}} = 0,00772 \frac{\theta}{\theta_m} \sum \left[(\cos \alpha_l - \cos \alpha_r) \frac{r_k - r_l}{\frac{1}{2}(r_k + r_l)} (h - \Delta h) \right]$$

где
$$\Delta h = \frac{1}{2} \frac{h^3}{\left(\frac{r_k + r_l}{2} \right)^2}$$

Если принять притяжение земли $\theta_m = 5,6$, а притяжение гор 2,8, т. е. $\frac{\theta_m}{\theta_m} = \frac{1}{2}$, то тогда

$$\eta = 0,000386 \sum \left[(\cos \alpha_l - \cos \alpha_r) \frac{r_k - r_l}{\frac{1}{2}(r_k + r_l)} (h - \Delta h) \right]$$

При принятом соотношении радиусов цилиндров $r_k = 3 r_l$ получается $\frac{r_k - r_l}{\frac{1}{2}(r_k + r_l)} = 1$. Разность же косинусов смежных углов при

¹⁾ Таким образом, при работах Лечбергского туннеля (3000 м) влияние горных массивов было учтено на расстоянии до 73 км. В исследования И. И. Стебницкого над притяжением Кавкаских гор в разных пунктах принимались неодинаковые предельные радиусы от 80 до 240 вер. в среднем для 14 пунктов $r = 166$ вер.

Для Балканских гор М. Н. Лебедев принял предельный радиус в 64 вер. При пересчете триангуляции Симплонского туннеля принят предельный радиус в 40 км. Для достижения одинаковой точности вычислений необходимо выбирать радиусы тем больше, чем больше массив гор, причем предельные радиусы будут прямо пропорциональны объему горных масс (корню квадратному из куба средних высот гор).

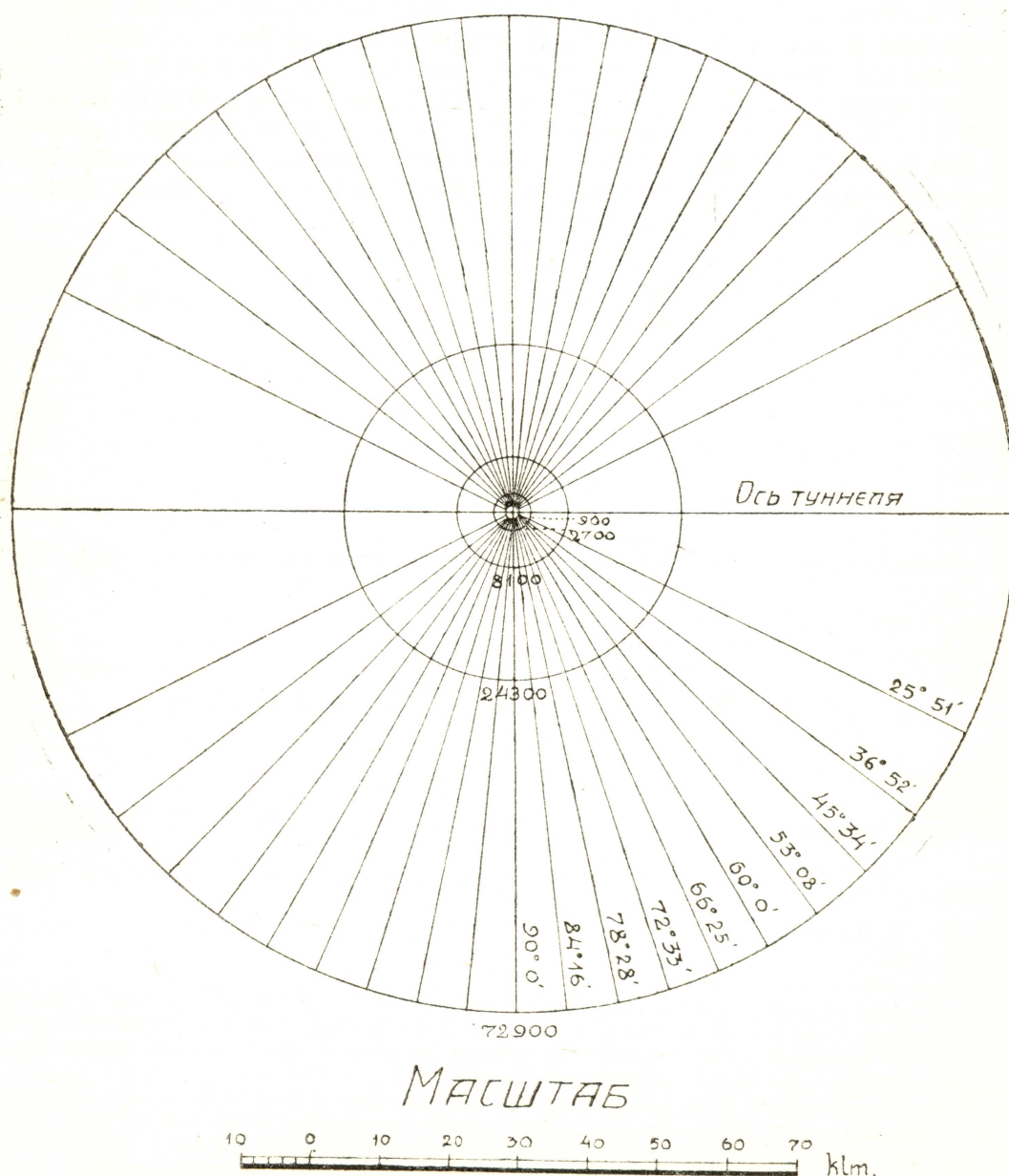
принятых величинах секторов равна 0,1. Вследствие этого формула для исчисления η приняла весьма простой вид

$$\eta_{\text{(в сек.)}} = 0,000386 \cdot \Sigma(h - \Delta h)$$

Результат вычисления был таков:

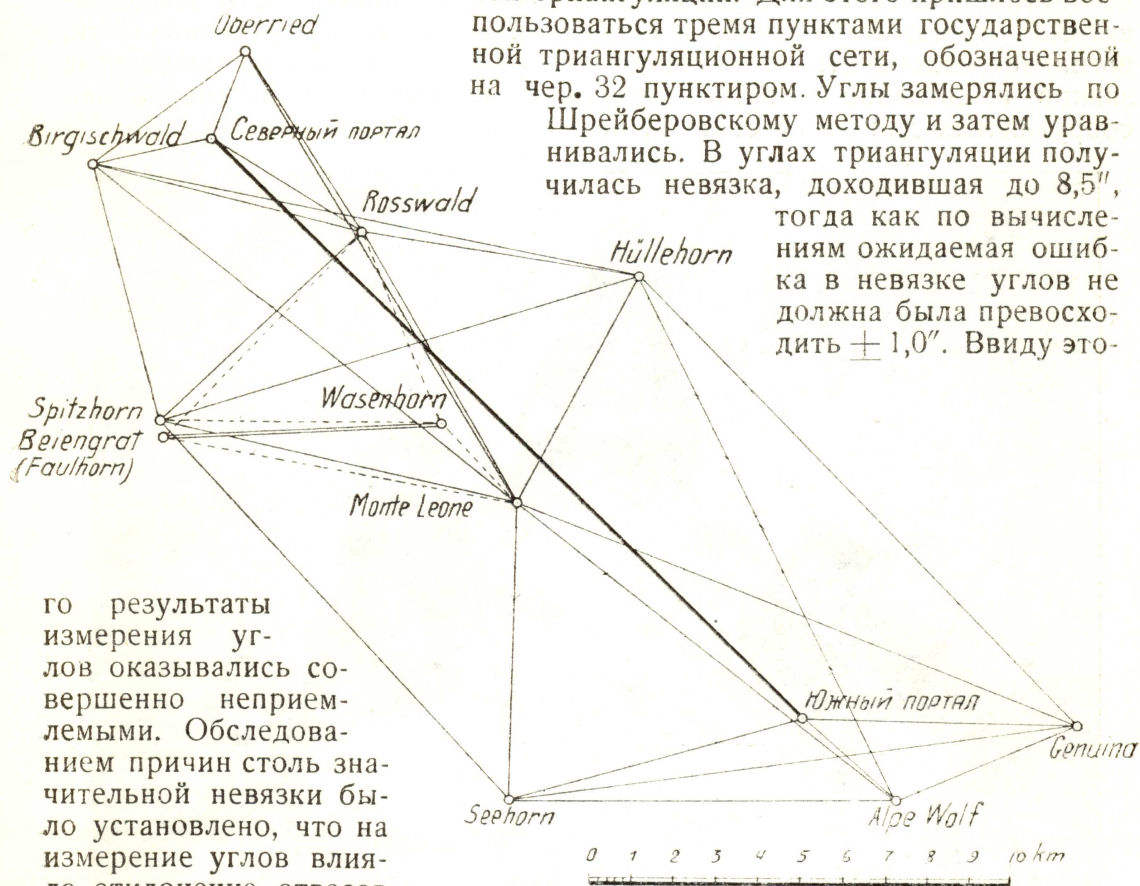
Пункт Kandersteg	$\eta = \pm 0,1''$
„ First	$\eta = - 3,0''$
„ Wildelsigengrat	$\eta = - 7,5''$
„ Immenengrat	$\eta = - 16,4''$
„ Goppenstein	$\eta = + 9,4''$

Знак $+$ обозначает отклонение отвеса на Восток.



Чер. 31. Диаграмма для вычисления местного притяжения гор и отклонения отвесов.

Триангуляция Симплонского туннеля предназначенная для определения направления оси этого туннеля, состояла из 11 пунктов (чер. 32). Из них два пункта были расположены на оси туннеля, в непосредственной близости от порталов. Южный осевой пункт имел отметку 634 м. над ур. моря. Горный массив, под которым пробит туннель возвышается на значительную высоту. Один из пунктов триангуляционной сети, расположенный у вершины Монте-Леоне (Monte Leone) имеет отметку 3559 м. над ур. моря (фотогр. 33). Для подсчета туннельной триангуляции базис особо не промерялся, а сеть треугольников была включена в уже существующую сеть швейцарской государственной триангуляции. Для этого пришлось воспользоваться тремя пунктами государственной триангуляционной сети, обозначенной на чер. 32 пунктиром. Углы замерялись по Шрейберовскому методу и затем уравнивались. В углах триангуляции получилась невязка, доходившая до $8,5''$, тогда как по вычислениям ожидаемая ошибка в невязке углов не должна была превосходить $\pm 1,0''$. Ввиду это-



Чер. 32. Триангуляционная сеть Симплонского туннеля.

го результаты измерения углов оказывались совершенно неприемлемыми. Обследованнием причин столь значительной невязки было установлено, что на измерение углов влияло отклонение отвесов вследствие притяжения горных масс. Видимые горные массивы были подсчитаны, основываясь на горизонталях, значащихся на плане местности, причем средняя плотность этих массивов была принята 2,8, при средней плотности земного шара 5,63. Соответственно сказанному были введены необходимые поправки и тогда невязка получилась незначительная, именно: наибольшая ошибка в измерении углов уменьшилась с $8,5''$ до $5''$ и для других пунктов с $3,1''$ до $1,7''$. На основании средних наблюдений путем ведения поправок была вычислена и вычерчена триангуляционная сеть в горизонтальной плоскости, касательной в пункте Monte Leone, как среднем пункте триангуляционной сети. Вычислено 56 направлений сети с 56 уравнениями погрешностей, 18 нормальных уравнений при 18 неизвестных. Вероятная ошибка вычисленного направления оказалась равной $\pm 0,614''$.

На основании исправленных координат длина осевой линии от одного триангуляционного предпортального пункта до другого была

исчислена в 20 088,63 м. и прибавки поправки вследствие переноса направления с плоскости на геоид были пересчитаны углы от отклонения отвесов у обоих предпортальных пунктов триангуляционной сети.

При окончательном переносе длины на геоид расстояние предпортальных пунктов триангуляционной сети выразилось 20091,33 м. на высоте 696,74 м. над ур. моря (средняя отметка туннельного профиля). Вероятная погрешность этой величины есть $\pm 0,10$ м. и если принять во внимание все возможные в работе ошибки, то $\pm 0,56$ м.

§. 4. Знаки, сигналы и обсерватории, применяемые при туннельных геодезических работах на поверхности земли. В процессе производства туннельных геодезических работ на поверхности земли независимо от масштаба работ и особенной важности и ответственности, возникает надобность обозначения точек на местности при посредстве знаков и сигналов и затем установки инструментов на специально сооружаемых для этого башнях, называемых обсерваториями.



Фот. 33. Триангуляционный пункт на вершине Монте-Леоне.

Знаки и сигналы. Пункты геодезических туннельных работ назначаются в тех местах, которые в том или ином отношении важны и необходимы в процессе работы. Такими пунктами являются:

- 1) Входы в туннель.
- 2) Входы в шахты, боковые окна и т. под.
- 3) Входы в визирные штольни.
- 4) Пункты туннельной триангуляции.
- 5) Точки (вершины) углов полигонной с'емки.
- 6) Створы, устанавливаемые при определении направления оси туннеля.
- 7) Точки вершин описанного многоугольника при разбивке туннеля на кривой.

Ввиду того, что один и тот же вид знака или сигнала может найти применение в различных, только что перечисленных, случаях

обозначения пунктов, то поэтому дальнейшее рассмотрение вопроса удобнее сосредоточить на описании отдельных видов знаков и сигналов, отмечая применимость данного вида в том или ином случае.

Центры. Все точки туннельной триангуляции должны быть отмечены и затем сохранены на случай проверок. Для этого применяют особые подземные тригонометрические знаки, называемые „центрами“.

Центр есть искусственное обозначение и закрепление данного пункта на поверхности земли, путем закладывания в почву какого либо предмета (болта, гвоздя и т. под.) для сохранения данной точки на возможно продолжительный период времени.

На устройство и установку знаков следует обращать всегда особенное внимание.

Центры туннельной триангуляции должны обладать простотой, столь необходимой при производстве инженерных работ вообще,—быть достаточно прочны и защищены от случайных повреждений. Для этого центры закладываются в грунт на достаточной глубине;—центры должны обладать определенностью и единообразием,—должны быть легко находимы.

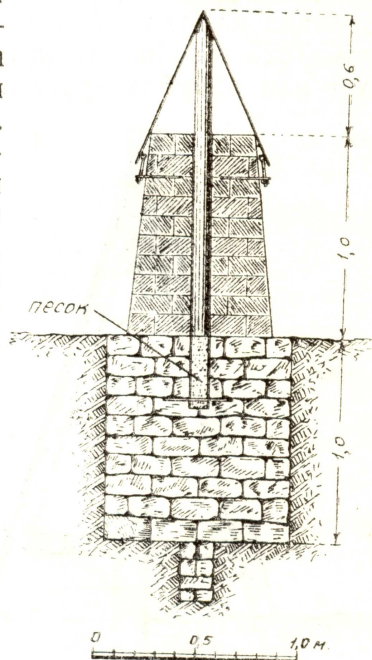
Существуют следующие виды центров, применяемые в туннельной триангуляции:

1. Котлован размером в плане $0,9 \times 0,9$ м., глубиной 1,0 м. На дно котлована в углубление $0,3$ м. площадью $0,2 \times 0,2$ м. втрамбовывается бетон, в который втапливается особый знак в виде конусообразной или цилиндрической железной болванки или даже простого болта. На них напильником делается два крестообразных надпила. Точка пересечения надпилов и является пунктом туннельной триангуляционной сети (центр). Для защиты центра от случайных повреждений над центром возводится каменный или бетонный массив, доводимый до поверхности земли, а выше выкладывается каменная тумба, на высоту 1,0 м. от поверхности земли. Через всю тумбу, так равно и на некоторую глубину в фундамент старательно закладывается железная труба внутренним диаметром 7,5 см. строго вертикально и центрированно над центром (крест напильником), а в верхнюю ее часть вкладывается деревянный кол. Сверху тумба накрывается конусом из оцинкованного железа, закрепленным к тумбе при посредстве четырех железных болтов. Верхний край трубы, вершина кола и вершина конуса должны быть строго центрированы. (черт. 34).

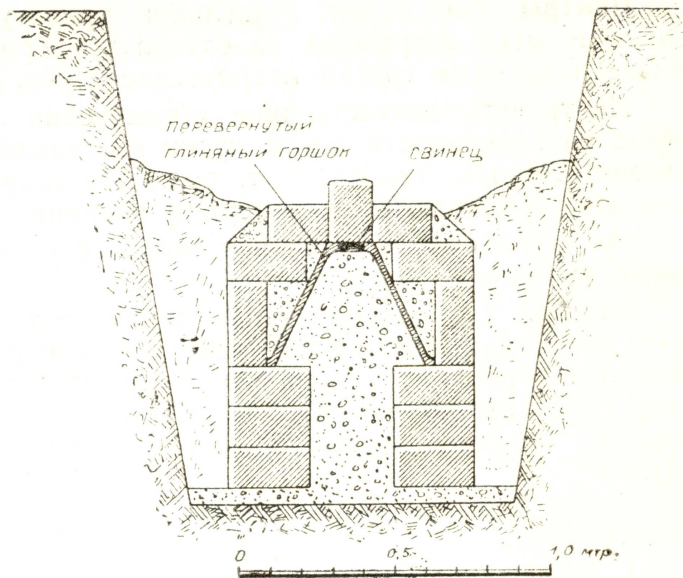
Во время производства триангуляционных работ конус снимается, кол вытаскивается и теодолит устанавливается на ножках строго по отвесу над геометрическим центром отверстия трубы.

Вышеописанный тип применим в мягких грунтах, каковы супески, суглинки, глины и т. п.

Таким образом, основная часть всего—самый „центр“, существует исключительно только на случай повреждения и даже полного разрушения всей тумбы и служит только для восстановления точки триангуляционной сети.

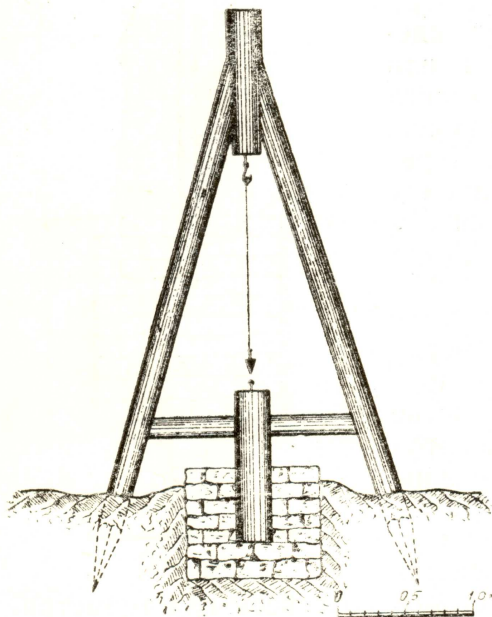


2. Котлован размером $1,0 \times 1,0$ м. и глубиной 1,5 м. (чер. 35) В дно котлована втрамбовывается щебень или тощий бетон. Выкладывается из кирпичей массив, заполняемый внутри бетоном. На высоте около 0,5 м. устанавливается перевернутый вверх дном горшок (типа для комнатных цветов), заполняемый через отверстие в дне бетоном. Когда горшок заполнен бетоном, то сверху заливается свинец, в который погружается гвоздь. Шляпка гвоздя является центром триангуляционной сети. Центр закладывается на сухо двумя кирпичами, а вокруг кирпичи выкладываются на цементном растворе еще на некоторую высоту, затем весь центр заваливается грунтом.



Чер. 35.

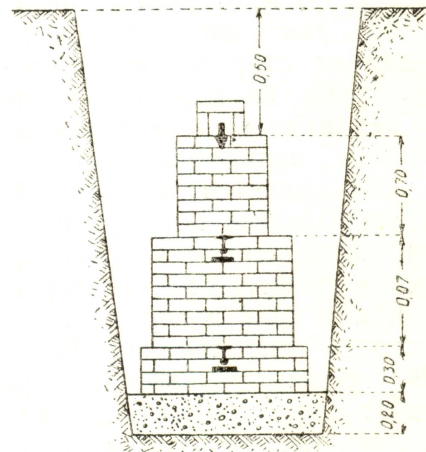
3. Довольно простой по конструкции центр изображен на чер. 36. Котлован в плане $1,0 \times 1,0$ м. и глубиной до 0,7 м. Выкладывается массивка из бута на цементном растворе. Закладывается бревно диаметром 0,25 м. Под нижним отрубом бревна в кладку закладывается болт или обрубок круглого железа.



Чер. 36.

В бревно, спиленное на высоте около 0,75 м. от поверхности земли, забивается гвоздь.

4. Котлован глубиной до 2,4 м. в плане размером $1,10 \times 1,10$ м. В



Чер. 37.

дно котлована втрамбовывается щебень и бетон. Затем выкладывается массив из кирпича на цементном растворе в четыре ряда. Во втором ряду укладывается металлическая плитка с крестообразным надпилом (глубокий основной центр), сверху укладывается обрубок рельса (чер. 37).

5. На чер. 38 представлен тип центра, предназначенный для оптического визирования. Он состоит из бетонного массива, полого внутри. Внизу располагается геодезический центр. Во время визирования во внутрь массива опускается электрическая лампочка.

Сигналы туннельной триангуляции по своей конструкции ничем не отличаются от сигналов триангуляций III и IV класса.

Лес для пирамид и сигналов должен быть прямой, хорошего качества, предпочтительна сосна. Площадка для постановки инструмента должна быть солидна и не касаться с полом наблюдателя.

После постройки сигнала закладываются подземные центры. Нижний подземный центр должен быть ниже глубины промерзания грунта. Верхний центр вровень с землей или несколько выше.

Обсерватории (башни). При производстве геодезических туннельных работ по трассировке оси туннеля в гористой местности, как указывалось уже, устраиваются обсерватории (башни). Туннельные обсерватории имеют назначение служить местом для установки зрительной трубы большого или малого пассажного инструмента или же, как частный случай, теодолита, на такой высоте, чтобы луч зрения при посредстве трубы доминировал над местностью вдоль трассы туннеля на значительное расстояние. Высота обсерваторий (башен) доходит до 10 и даже до 12 мтр. и редко падает до 5 мтр.

Существует два основных типа туннельных обсерваторий: каменный и деревянный.

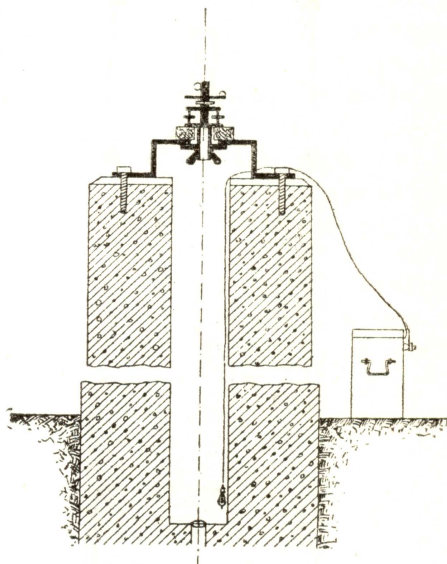
Каменный тип обсерватории представляет собой каменный или бетонный, иногда кирпичный столб, выложенный на бутовом фундаменте. Вверху столба устанавливается инструмент. Вокруг столба устраивается деревянное, иногда каменное или бетонное строение, дающее возможность наблюдателю находиться на особой площадке на надлежащей высоте при работе инструментом. Особенность конструкции та, что колебания деревянного строения под влиянием перемещения (ходьбы) наблюдателя возле инструмента не должны отзываться даже в малейшей степени на устойчивости того каменного массива, на котором установлен инструмент.

В деталях своих тип каменных обсерваторий может быть разбит на несколько групп.

К первой группе возможно отнести такие обсерватории, которые представляют собой сплошной монолит, столб квадратного или круглого сечения, покоящийся на прочном фундаменте.

Примером может служить туннельная обсерватория, применявшаяся при постройке одного английского туннеля (чер. 39).

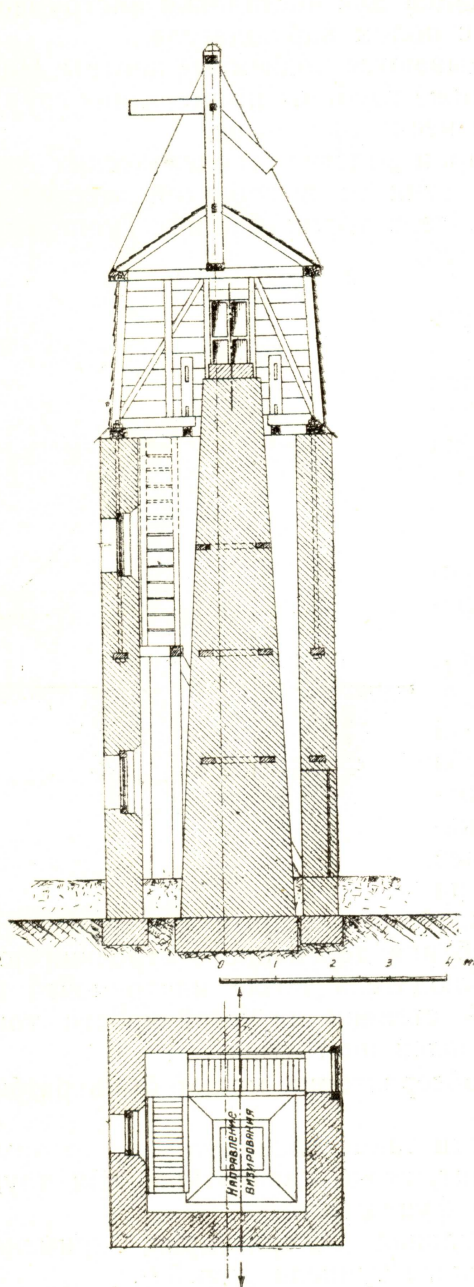
Центральная часть башни, предназначенная для установки переносного инструмента, представляет собой массив квадратного сечения, выложенный на цементном растворе. Размер массива $2,0 \times 2,0$ мтр. внизу и $1,0 \times 1,0$ мтр. вверху, высота 9,6 мтр. Вверху сделан уступ. Массив окружен отдельно от него стоящим строением из четырех каменных на известковом растворе стен, выведенных на высоту 8,5 мтр., а выше на высоту около 3 мтр. сделана деревянная надстройка. Эта



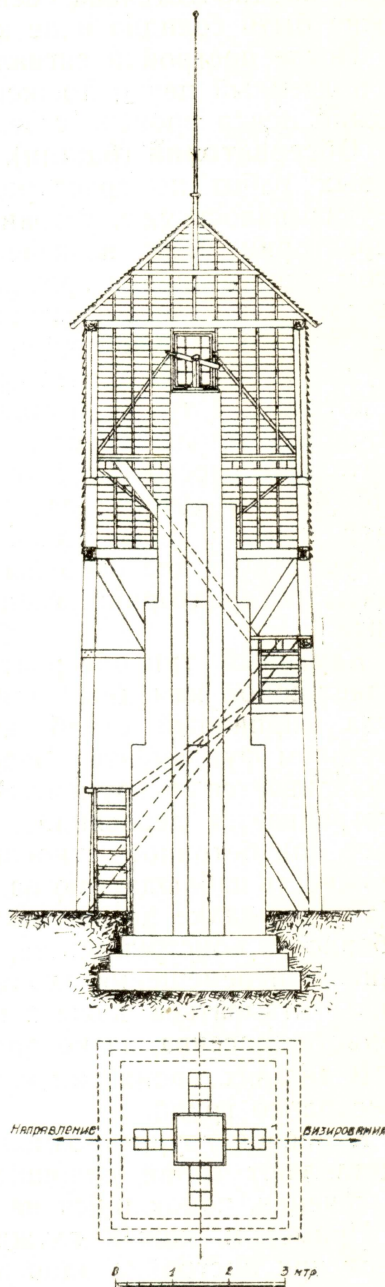
Чер. 38.

надстройка укреплена при посредстве 8 анкеров. Вверху над крышей для подачи сигналов имеется особое устройство в виде семафора. Место стоянки инструмента ограждено перилами.

Ко второй группе каменных обсерваторий следует отнести обсерватории в виде столбов несколько облегченной конструкции в отношении количества кладки. Обычно это достигается тем, что столб делается более тонким и имеются для устойчивости контрфорсы.



Чер. 39. Башня.



Чер. 40. Башня.

Примером может служить туннельная обсерватория (чер. 40), применявшаяся для трассировки туннелей Blechingley и Saltwood.

Основной массив из бутовой кладки выведен на высоту 10 м. и, не считая контрфорсов, квадратного сечения $1,0 \times 1,0$ м. Вокруг сделано деревянное строение с лестницей внутри. Вверху площадка для наблю-

дателя. Вся кабинка наблюдателя на высоту около 4 мтр. обшита досками, причем в сторону визирования сделаны во всю стену узкие щели шириной 0,5 м., где обшивки нет. В обшитых стенах сделаны два небольших окна, с застекленными рамами. Над кабинкой имеется крыша, а вверху шпиг высотой 3,5 м., где подымались цветные флаги, имеющие значение сигналов при трассировке линии.

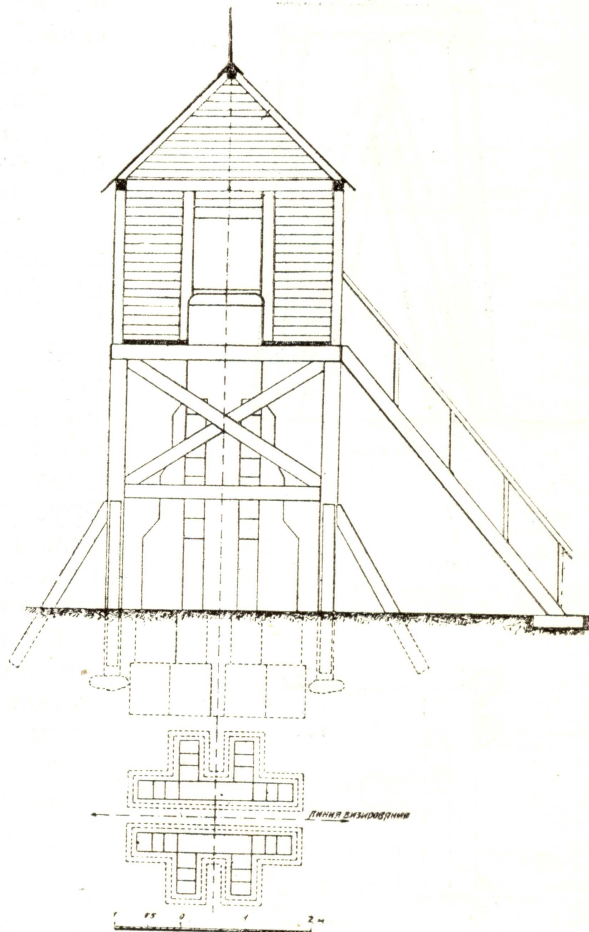
Наконец, третью группу составляют обсерватории, у которых каменный столб представляет собой два отдельно стоящих столба, с контрфорсами, так что между ними имеется свободное пространство, используемое для опускания отвеса при установке инструмента и центрировании его над геодезическим пунктом. Разделение основного массива на два столба сделано по линии, направленной вдоль трассы туннеля и таким образом, в направлении визирования.

Примером подобного рода туннельной обсерватории может служить обсерватория туннеля в Америке (чер. 41). Бетонный массив выведен на высоту около 5 м.. Фундаменты заложены на глубину 1,6 м, деревянное строение, имеющее площадку для наблюдателя, состоит из 4 столбов, вкопанных в грунт. Кабинка наблюдателя забрана досками только с двух сторон. В направлении же трассы кабинка оставлена совершенно открытой.

Деревянный тип туннельных обсерваторий, как обычно для подобного рода сооружений состоит из двух частей: основная часть—сооружение, предназначенное для постановки инструментов и другая совершенно независимая от первой, не соприкасающаяся с ней строение, несущее помост для наблюдателя.

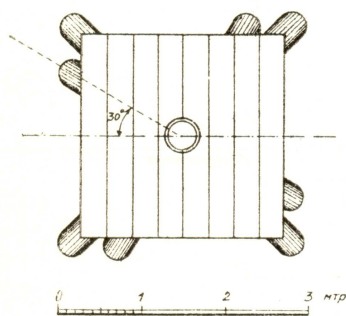
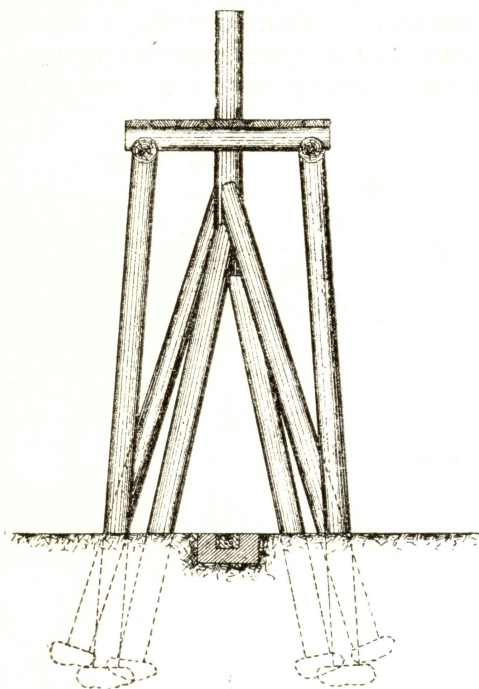
В Германии, а так же и в Швейцарии одно время применялись туннельные обсерватории деревянного типа, напоминающие по своей конструкции триангуляционную пирамиду.

Взамен этого типа впоследствии (чер. 42) стали применять деревянные обсерватории, следующего устройства. Основная часть, состоит из четырех 30 см. столбов, расположенных наклонно и сходящихся у вертикального бревна, в который и врубаются. Отвесно под бревном в грунт закладывается массивка (геодезический пункт). Ввиду того, что при трассировке и визировании с других пунктов бывает трудно видеть низ сигнала, устанавливаемого над этим пунктом, все основное сооружение в виде пирамиды пришлось в плане повернуть относительно направления трассы туннеля на угол 30° . Вверху на бревно устанавливается теодолит. Вокруг этого сооружения на четы-



Чер. 41. Башня.

рех столбах, врытых в землю, расположена площадка. Через центр ее, свободно, не соприкасаясь с площадкой проходит вышеуказанное бревно. Наблюдатель по приставной лестнице взбирается на площадку, располагаемую на высоте 4,5—до 6,0 мтр. Площадка квадратная размером $1,6 \times 1,6$ м. Высота выступающего столба, на который ставится теодолит, равна 1,1 м.



Чер. 42. Обсерватория для трассировки туннелей.

На фотографии 5 и чер. 43 представлена деревянная туннельная обсерватория, применявшаяся в 1911 г. при трассировке Лагар-Аульского туннеля на Восточно-Амурской, ныне Уссурийской ж. д. Основная часть сооружения представляет собой два 7 верш. (31 см.) столба, поставленных вертикально. Высота столбов 9,5 м. Расстояние между столбами около 2,8 м. Между этими столбами в плоскости, перпендикулярной линии столбов, проходит направление визирования. Для устойчивости столбы подпираются с боков наклонными упорами по три штуки на каждый столб. Вверху столбы спилены горизонтально по уровню. Вверху на столбах расположен брус длиной около 6,5 м. шириной 45 см. и толщиной около 11 см. На одном столбе этот брус укреплен неподвижно, а другой конец возможно немного подымать или опускать при посредстве клиньев. Этим пользовались всякий раз, приступая к работам, чтобы достичь полную горизонтальность верхней грани бруса. Это мероприятие имеет тем большее значение, что опасались выпирания столбов в условиях вечной мерзлоты почвы. Впоследствии пришлось убедиться в полезности и целесообразности именно такой конструкции. В середине бруса сделан продольный прорез, предназначенный для пропуска шнура для центрирования при установке теодолита. Внизу в грунт заложен центр, представляющий собой массивку с втопленным вверху болтом.

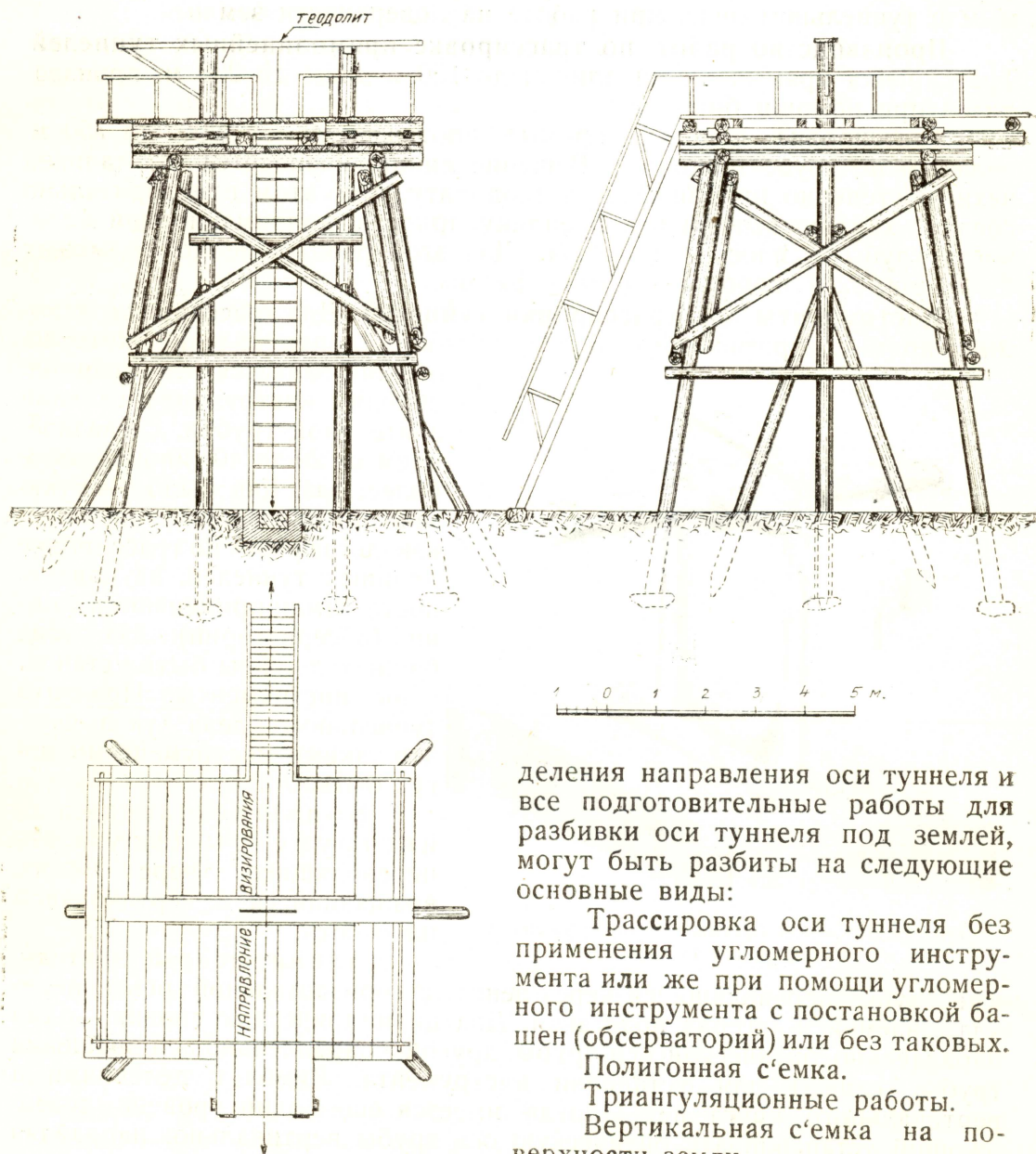
Строение с площадкой для наблюдателя по общему принципу постройки туннельных обсерваторий сделано независимым от основного сооружения. Все детали видны из чер. 43.

Вышеприведенными видами, иллюстрированными шестью чертежами и одной фотографией, не исчерпывается все разнообразие туннельных обсерваторий. Однако, нет надобности излагать и описывать остальные виды на том основании, что все указанные здесь являются наиболее характерными, хорошо зарекомендовавшими себя при производстве геодезических туннельных работ.

В заключение необходимо сказать несколько слов о способах сигнализации, применяемых при трассировке туннелей. Долгое время

был распространен способ сигнализации при посредстве цветных флагов, поднимаемых на флагшток на верху обсерватории и служивших условным знаком, куда перемещаться вешильщику—вправо или влево. За последнее время все большее и большее распространение получает телефон. Для этого с успехом пользуются переносным полевым телефоном. Попытки применить звуковые сигналы, а равно световые сигналы ночью в виде фонарей с цветными стеклами оказались ненадежными и хлопотливыми.

§ 5. Производство работ. Инструменты, применяемые при туннельных геодезических работах на поверхности земли. Все геодезические работы, производимые на поверхности земли в целях опре-



Чер. 43.

деления направления оси туннеля и все подготовительные работы для разбивки оси туннеля под землей, могут быть разбиты на следующие основные виды:

Трассировка оси туннеля без применения угломерного инструмента или же при помощи угломерного инструмента с постановкой башен (обсерваторий) или без таковых.

Полигонная съёмка.

Триангуляционные работы.

Вертикальная съёмка на поверхности земли.

Хотя в некоторых своих частях туннельные геодезические работы и не представляют каких либо особенностей и известны из курсов геодезии, однако, в значительной доле все эти работы безусловно

имеют много отличительных черт и специфических особенностей, поэтому производство туннельных геодезических работ нуждается в особом подробном рассмотрении.

Вне всякого сомнения, что выбор инструмента, соответствующего туннельным геодезическим работам не может не отзываться на легкости и точности работ по определению направления оси туннеля на поверхности земли, а потому этот вопрос также нуждается в соответствующем освещении.

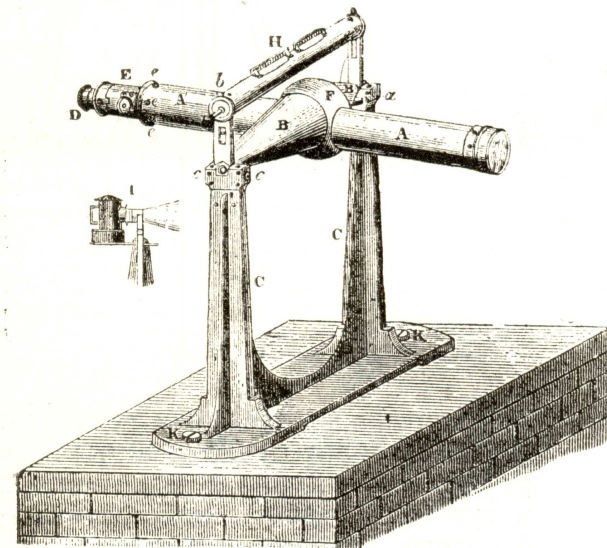
Характерной особенностью туннельных геодезических работ будет так же и то, что некоторые из них в целях достижения большей точности, довольно часто производятся не только днем, но и ночью. Это создает известные требования к угломерным инструментам, применяемым в туннельном деле, при работе на поверхности земли.

Производство работ по трассировке прямолинейных туннелей. Трассировка прямых линий длиной до 150 и даже до 200 м. производится при помощи бинокля.

Трассировка длинных прямых протяжением от 200 до 750 м. делается по трубе теодолита. Вешение линии начинается от дальней вехи, постепенно приближаясь к теодолиту, при этом предварительно следует хорошо выверить перпендикулярность коллимационной плоскости трубы к плоскости лимба. Для этой работы теодолит может быть применен любой системы и фирмы.

Инструменты для трассировки туннелей. Для трассировки длинных прямых протяжением более километра, направление которых обычно задается азимутом, необходим инструмент с сильной зрительной трубой, с увеличением от 20 до 40, иногда даже более, раз. Как было уже указано при описании методов производства работ по трассировке длинных туннелей, на поверхности земли применяются башни (обсерватории). На этих башнях должны быть установлены инструменты. Практика туннельного дела указывает, что такими инструментами могут быть:

Большие пассажные инструменты (фигура 44), переводящиеся через зенит, вращающиеся в вертикальной плоскости.



Чер. 44. Большой пассажный инструмент для трассировки туннелей.

Алиниометры зрительные трубы, переводящиеся через зенит, с горизонтальной осью, перекладываемой в лагерах подставки. Два цилиндрических уровня,—один параллельно оптической оси трубы, другой—параллельно оси вращения трубы,—служат для установки инструмента. Лимба с делениями и вертикального круга нет. Иногда имеется еще один уровень, позволяющий устанавливать оптическую ось трубы вертикально, направляя ее объективом вниз к поверхности земли. Это дает возможность оптически центрировать инструмент над данным пунктом („центром“). Вертикальная ось инструмента делается полый. Для удобства работы в таких случаях окуляр применяется коленчатым. По середине треножника

помещается цилиндр с подвижным штифтом для центрировки инструмента.

Малые пассажные инструменты (фиг. 45) рекомендуются германскими специалистами туннельного дела для трассировки длинных прямолинейных туннелей. Они отличаются от алиниметров своей средней частью, состоящей из двух досок, приспособленных к тому, чтобы инструмент мог быть точно установлен на оси линии или над данным пунктом.

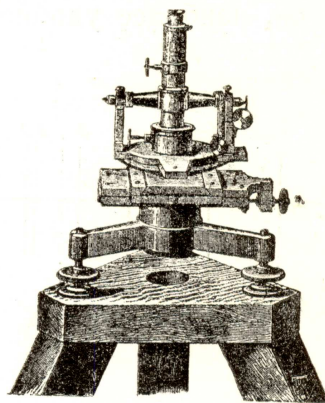
Миры (визирки). При разбивке туннелей алиниметром или теодолитом рекомендуется иметь две миры (визирки) чер. 46 устанавливаемые на треножниках о трех подъемных винтах с полыми втулками, одинаковыми как у теодолита, так и у визирок. Вследствие такого устройства треножники теодолита и передней визирки, будучи установлены, могут оставаться на месте, а задний треножник заносится вперед и в его втулку попеременно вкладываются оси теодолита или визирки.

Производство работ. Сущность провешивания длинных прямых заключается в том, что выставив вежу или миру (визирку) по трубе теодолита или алиниметра, установленного в начальной точке данной прямой, переносят инструмент на место вежи или миры и убедившись, что инструмент точно встал на оси линии в том самом пункте, где была выставлена первая вежа или мира, продолжают вешать линию вперед, выставляя вновь вторую, затем третью и т. д. миру или вежу.

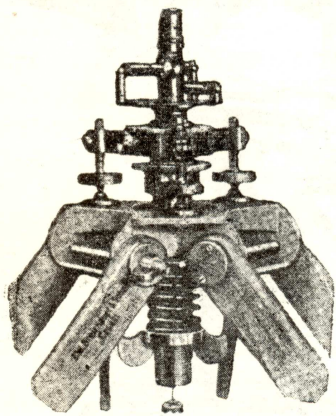
Трассируемая прямая задается, как уже указывалось, двумя сигналами в виде вех. Иногда вместо вех пользуются ракетой, бенгальским огнем или даже костром.

Большие, как равно и малые пассажные инструменты применяются исключительно для постановки на башнях (обсерваториях). Большие пассажные инструменты имеют постоянную установку. Малые пассажные инструменты по окончании работ всякий раз полностью убираются и при возобновлении работ требуют установки заново.

При трассировке с башни визирование ведется путем многократного (повторного) наведения трубы на вежу или миру. Пока вежа или мира окончательно не установлена, положение ее каждый раз отмечается на геодезическом центре чертой, направленной вдоль линии трассирования. Делается обычно не менее 8 наблюдений и всякий раз производится новая установка вежи или миры. Из практики туннельных трассировок известны примеры, когда работа производилась по 20 и более раз, прежде нежели окончательно устанавливалась трасса туннеля. Среднее берется от 2 последовательно произведенных отсчетов при разных положенных трубы (круг право,— круг лево) и затем только выводится суммарное среднее из этих частных средних. Наблюдения, резко отличные от среднего, отбрасываются. При трассировке считается приемлемым отклонение крайних отсчетов от среднего из расчета 25 мм. на 1000 м. визирования инструментом.



Чер. 45. Малый пассажный инструмент для трассировки туннелей (тип Алиниметра).



Чер. 46. Мира (визирка).

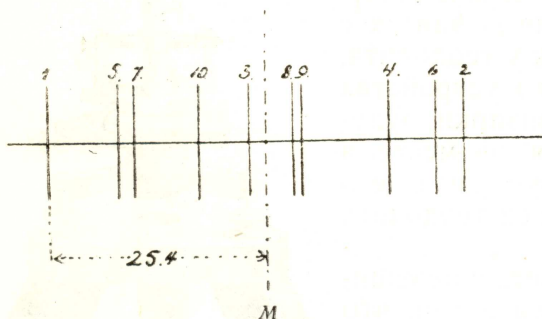
На чер. 47 дан пример нанесения штрихов на геодезический центр при трассировании в Хауэнштейнском базисном туннеле на 1200 м. от южного портала 6 окт. 1912 г.

Здесь будет уместно сказать несколько слов о погрешности при трассировке оси туннеля с башни (обсерватории). Допустимая погрешность наблюдения составляет от 30" до 45", что составит от 145 мм. до 218 мм. на 1 км.—Иногда при работе большими пассажными инструментами погрешность падает даже до 10", т.е. до 48 мм. на 1 км.

Производство туннельных триангуляционных работ. Время суток, наиболее удобное для измерения углов сети, от 5 до 8 ч. вечера.

Если имеется возможность пользоваться масляными, ацетиленовыми или электрическими лампами, то с большим удобством и успехом можно работать от заката до восхода солнца. Иногда, как, напр., при триангуляции некоторых туннелей в Индо-Китае, с успехом применялись для ночных работ бенгальские огни.

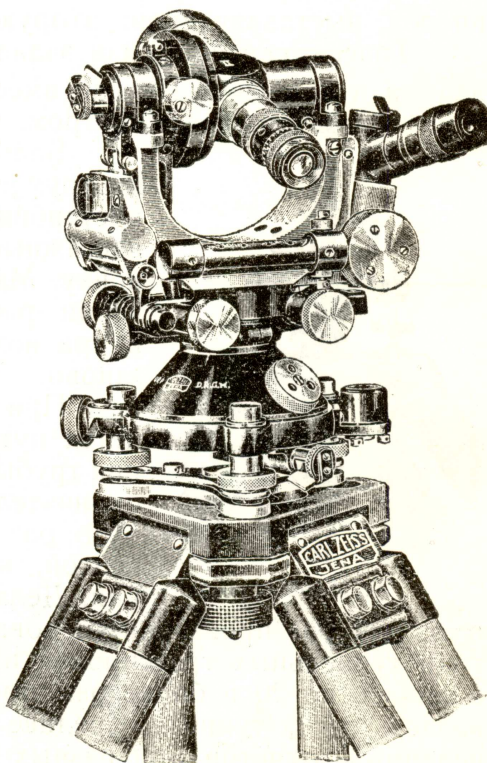
Инструменты для туннельных триангуляций. Для измерения углов при определении направле-



Чер. 47.

ния оси туннеля рекомендуется применять совершенные угломерные инструменты. Для этой цели служат большие повторительные теодолиты и универсальные инструменты. Точность отсчитывания (читаемая) по верньерам должна быть около 10" при 60' и 60" делении градуса. В таких случаях оценка на глаз может быть произведена с точностью до 1". Увеличение трубы обычно бывает достаточно в пределах от 18 до 30 раз и только лишь исключительных случаях в туннельном деле применяются более сильные трубы. При небольших туннельных работах можно применять угломерные инструменты (теодолиты) любых систем. Употребляемые для измерения углов туннельной тригонометрической сети инструменты в общем те-же, что применяются и для триангуляционных работ вообще, при триангуляциях III и IV класса. Однако, на основании практики туннельного дела главным образом за границей: в Германии, в Швейцарии и в Италии, а равно и у нас в СССР, возможно указать на некоторые инструменты, как на наиболее пригодные и наиболее часто применимые специально для туннельных работ.

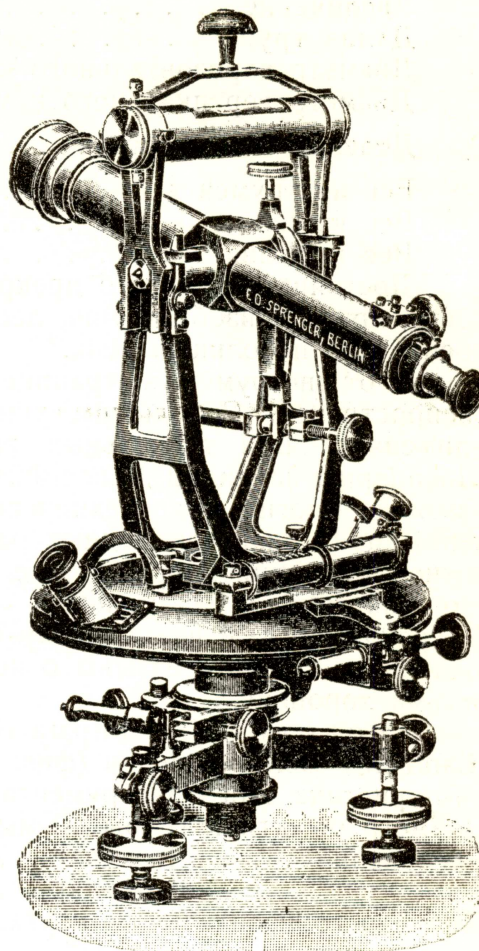
Теодолит I фирмы Карл Цейсс (Carl Zeiss. Iena) (фиг. 48). Этот теодолит весьма распространен в практике работы туннельных триангуляций хотя, насколько мне известно, он предназначается главным образом для триангуляции III и IV класса.



Фиг. 48

Принимая во внимание большую силу трубы, точность работы и другие достоинства, нельзя не признать, что цена его 600 рублей сравнительно не высока. Этот теодолит довольно часто применяется при сложных туннельных триангуляциях. Некоторые специалисты туннельного дела с успехом пользовались им для производства работ в ночное время. Большая яркость предмета, получаемая в поле трубы, и приспособления для искусственного освещения нитей являются достоинством этого инструмента. Некоторым недостатком является малая портативность (громоздкость, большой вес).

Теодолит 1 фирмы Карл Цейсс с приспособлением для ночных работ. Вышеописанный теодолит 1 фирмы Карл Цейсс может иметь специальные приспособления в виде осветительного прибора, позволяющего хорошо освещать круги и с удобством производить по ним отсчеты в темноте (фиг. 51). Источником энергии может служить малый аккумулятор. Две маленьких электрических лампы Осрам в 2,5 вольта и 0,5 ампера устанавливаются перед осветительными призмами кругов и освещают соответствующие иллюминаторы. Для освещения сетки нитей на оправу объектива ставится рефлектор.

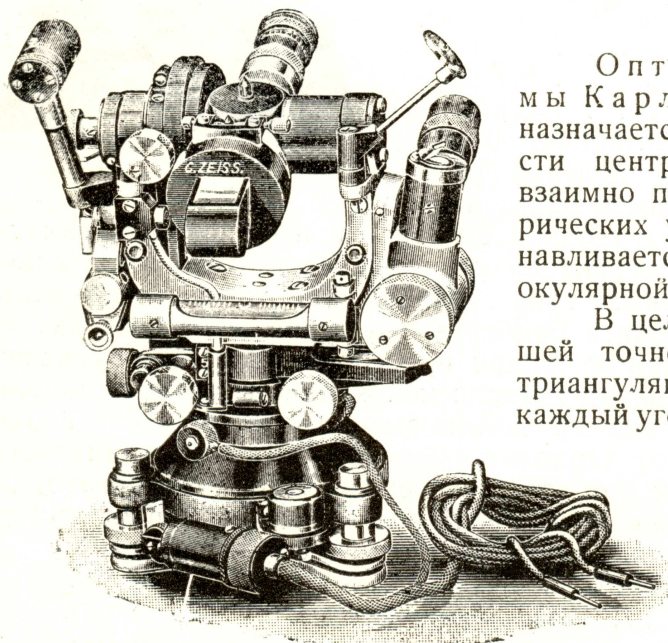


Фиг. 50.

Оптический отвес фирмы Карл Цейсс (фиг. 52). Предназначается для увеличения точности центрирования. Имеется два взаимно перпендикулярных цилиндрических уровня. Сетка нитей устанавливается по глазу вращением окулярной оправы.

В целях достижения наибольшей точности определения углов триангуляционной сети необходимо каждый угол измерять несколько раз.

В Сен-Готардском туннеле каждый угол триангуляционной сети, составленной Гельпке, был измерен 24 раза. Коппе, работая совершенно отдельно от Гельпке, пользовался теодолитом с 30 сильным



Фиг. 51. Теодолит с приспособлением для ночных триангуляционных работ.

увеличением. Все углы отсчитывались по 4 нониусам и отсчет повторялся в обратном порядке. Затем, делительный круг передвигался на 5° и отсчеты производились повторно. Каждый угол измерялся Коппе в общей сложности до 40 раз.

В Лечбергском туннеле измерение углов производилось Керновским повторительным теодолитом градуированным на 400 делений (вместо 360°) и стоминутным и стосекундным делением. Каждый угол брался от 16 до 32 раз. Новые пункты триангуляции определялись тремя или более направлениями от основных пунктов. Три угла между этими главными направлениями измерялись по крайней мере до 18 раз.

При туннельных триангуляциях наибольшая допустимая погрешность в измерении углов принимается равной от $15''$ до $20''$.

Измерение базиса. От точности измерения базиса в значительной степени зависит точность всей туннельной триангуляции. Когда выбрано направление базиса, то линия базиса тщательно вешится при помощи теодолита и закрепляется кольями диаметром около 8 см., вбиваемыми в грунт через 30 или 50 мтр. Измерение базисов при туннельных триангуляциях производится различно:

- или стальной лентой длиной 25 или 30 м.,
- или жезлами длиной 5 м.,
- или стальной проволокой длиной 24 или 25 м.

При измерении базиса необходимо определять уклон местности при посредстве нивелировки или же помощью висячего полукруга. Определяется также температура воздуха помощью термометра—праща.

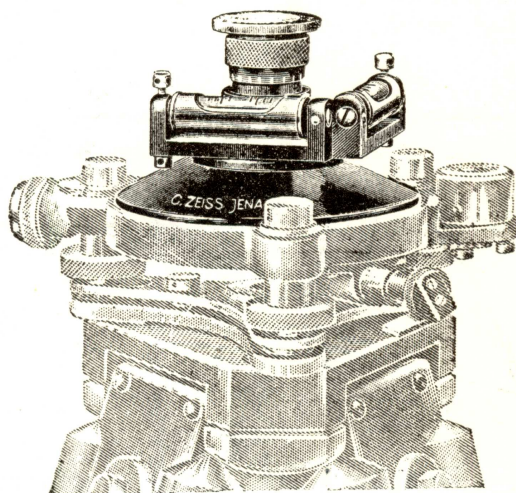
Проф. Шмидт (Schmidt) предложил способ измерения базиса помощью рулетки (ленты), свободно подвешенной между точками. Этот способ дает достаточно точные результаты и не раз применялся при туннельных триангуляциях. Способ проф. Шмидта заключается в следующем: берется стальная рулетка 30 м. длины, 12 мм. ширины и 0,4 мм. толщины. Направление базиса назначается теодолитом и закрепляется помощью кольев, вбитых в землю через 30 м. друг от друга и спиленных горизонтально. В колья вбиваются гвозди, на которые надевают одно из колец рулетки. Другой конец рулетки подводится к колу, приближается к винту и натягивается динамометром с какой-либо определенной силой, напр., 10 кг. В этот момент делается отсчет от оси винта при помощи линейки, разделенной на миллиметры (чер. 53). Когда расстояние между центром винта и ближайшим к нему делением рулетки определено с точностью до



Чер. 53.

1,0 мм., то рулетка надевается кольцом на этот винт, а свободный конец относится вперед.

Как пример, можно привести измерение базиса для одного австрийского туннеля в 1913 г. Базис промерялся 6 раз: три раза при



Фиг. 52. Оптический отвес.

натяжении в 5 кгр. и три раза при натяжении 10 кгр. Результаты таковы:

$$L_5 = \frac{1}{3} (384,715 + 384,717 + 384,713) = 384,715 \text{ мтр.}$$

$$L_{10} = \frac{1}{3} (384,752 + 384,753 + 384,754) = 384,753 \text{ мтр.}$$

Довольно часто при промере базисов туннельных триангуляций употребляется инварная проволока, натягиваемая грузом, как указано на чер. 54.

Для получения длины горизонтальной проекции базиса вводятся следующие поправки:

Поправка на неверность длины. Производится сравнение данной рулетки (ленты) с выверенной рулеткой. Выверка производится при том же натяжении, как производилось измерение базиса*).

Поправка на разность температур. Определяется температура, при которой измеряется базис. Нормальной считается температура, при которой выверенная рулетка имеет истинную длину.

Поправка вычисляется по формуле:

$$M = L \alpha (t - t_0),$$

где α коэффициент расширения стали, равный 0,000012.

Поправка на уклон местности. Вычисление производится по формуле:

$$\sum 2 l \sin^2 \frac{i}{2},$$

где i угол наклона каждой части, имеющей уклон, отличный от соседнего участка.

$$\sin i = \frac{h}{l}$$

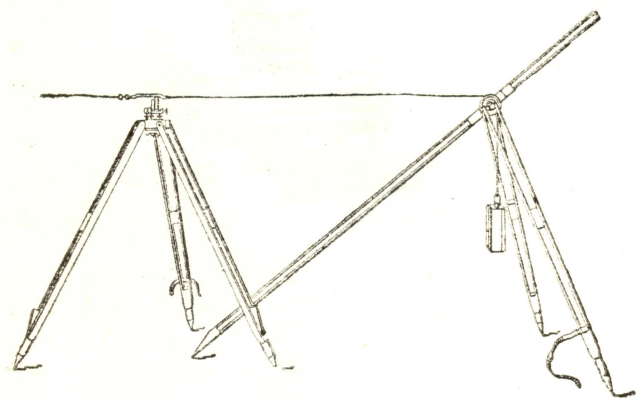
Величина h определяется нивелировкой.

Поправка на приведение горизонтальных расстояний к уровню моря или к какому-либо другому горизонту. Вычисление ведется по формуле:

$$l = l_0 - \frac{h}{R}$$

При определении длины базиса оптическим методом наиболее благоприятным временем года является осень от начала листопада до первых морозов. Имеет значение и время дня. При небе, покрытом облаками, получаются лучшие результаты. Хороши результаты так же час спустя после восхода солнца и в последний час перед закатом. При частичной облачности следует пользоваться периодами времени, когда солнце покрыто облаками. Слабый ветер благоприятен для опти-

*) В приведенном примере измерения базиса туннельной триангуляции длина рулетки оказалась при натяжении 5 кгр. более 30,000 м. на 2,7 мм. и при натяжении 10 кгр. более на 5,6 мм.



Чер. 54.

ческих замеров длины базиса. Отсутствие ветра только при сплошной облачности не может стать ощутительным. Наиболее верное определение базиса, как это можно судить из практики туннельного дела в Швейцарии и в Австрии, получается путем многократных наблюдений в различные дни или периоды дня.

При определениях длины базисов для туннельных триангуляций допустимая погрешность выражается в долях от промеренной длины:

цепью	от 0,0003	до 0,00075
стальной лентой	от 0,002	до 0,0005
жезлом	от 0,00015	до 0,00033
инварной проволокой .	от 0,000001	до 0,000003

Вертикальная съёмка при трассировке оси туннеля. Производимая при геодезических туннельных работах на поверхности земли вертикальная съёмка преследует следующие цели:

1. Определить продольный профиль местности вдоль оси туннеля.
2. Определить возвышение портала в отметках от ур. моря.
3. Если производится триангуляционная съёмка или имеется полигон, то необходимо знать возвышение всех пунктов сети и всех вершин полигона в отметках от ур. моря.
4. Наконец, вертикальная съёмка имеет задачей дать реперные пункты, которые должны будут служить основой для всякого рода разбивочных работ внутри туннеля.

Геометрическое нивелирование от одного портала туннеля до другого производится двойным замкнутым ходом либо непосредственно через горный массив, вдоль трассы оси туннеля, либо в обход массива горы. Приходится сообразоваться какой путь целесообразнее и выгоднее: учитывается время года, климатические особенности, наличие удобопроходимых путей сообщения и т. д. При нивелировке приходится учитывать высоту как подъемов, так и спусков и сумму их вводит в подсчет.

Из практики туннельных нивелировок можно иметь следующие интересные выводы: при нивелировке в обход массива горы средний успех обычно равен 1,5 км. за 8 часовую рабочий день. Таким образом если разделить протяжение туннеля, выраженное в км., на 1,5 км. и добавить еще приблизительно 30%, то получится вероятная продолжительность времени (brutto), потребного на нивелировку от одного портала до другого.

При работе нивелиром на дневной поверхности наибольшая допустимая ошибка принимается равной от 2 до 3 мм. на км. и пропорциональна корню квадратному из L выраженному в км.

$$0,002 \sqrt{2n} \text{ до } 0,003 \sqrt{2n} \text{ или } 0,0063 \sqrt{L} \text{ до } 0,0095 \sqrt{L}$$

При нивелировках вне туннеля рекомендуется ставить инструмент посредине стана и тогда первые две ошибки не скажут влияния на конечный результат нивелировки.

Если принять, что при работе вне туннеля инструмент имеет в среднем $n = 5$ станом на км. и если допустить, что отсчет по каждой рейке производится с точностью от 0,002 до 0,003 мтр., то согласно теории погрешности разность уровней начальной и конечной точек сложной продольной нивелировки определится от $0,002 \sqrt{2n}$ до $0,003 \sqrt{2n}$ или от $0,0063 \sqrt{L}$ до $0,0095 \sqrt{L}$ где L есть число км, пройденных нивелировкой.

Предельная наибольшая ошибка нивелировки вне туннелей будет равна утроенной средней ошибке, т. е. $0,0189 \sqrt{L}$ до $0,285 \sqrt{L}$.

Съемка полигона. Работы по съемке полигона для определения оси туннеля не представляют, вообще говоря, существенных особенностей в обычных приемах производства подобного рода работ.

При определении направления оси туннеля вершины полигона назначаются в возможно минимальном количестве. Самый полигон надо выбирать так, чтобы его стороны были возможно длиннее, однако, рекомендуется, чтобы они не превосходили 300 м. Для промера линия должна быть провешена через 50 м. Измерение сторон полигона производится стальной лентой не менее 4 раз последовательно в противоположных направлениях. Для введения поправок на уклон местности на плане должно быть нанесено горизонтальное положение линии. Углы уклона местности определяются эклиметром. При промере стальной лентой углы уклона местности, меньшие 1° , обычно не учитываются. При помощи буссоли измеряются румбы или азимуты. Для съемки полигона применяются теодолиты.

За последние годы за границей при определении направления осей некоторых гидротехнических туннелей при посредстве полигона с успехом производились работы по ночам. Для этого применялись теодолиты, снабженные осветительным прибором, а по вершинам полигона выставлялись визирные диски (см. чер. 67). Эти визирные диски, освещаемые ацетиленовыми лампами, устанавливаются на подставки и на штативы, при чем на тот же штатив и на ту же подставку без перестановки и без перемещения может устанавливаться и теодолит. По имеющимся отзывам, применение ночного времени для съемок полигонов внесло уточнение работы, легкость и ускорение.

В целях достижения наибольшей точности работ, заснятие полигонного хода производится путем повторного многократного измерения как сторон, так и углов. Из практики туннельных работ можно наметить следующие пределы этих работ. При промере сторон таковые измеряются обычно не менее 4 раз. Довольно часто промер производится по 8 и более раз. Измерение углов производится, как минимум, 8, а обычно 16 и более раз за каждый ход. Число ходов не менее двух, обычно четыре и иногда даже до восьми. Таким образом, каждый угол оказывается измеренным от 16 до 48 и более раз.

При полигонной съемке для определения направления оси туннеля рекомендуется измерять, кроме углов полигона, еще и дополнительный до 360° углы. Получается 2 значения для каждого угла: непосредственно измеренное и найденное вычислением. Из разности этих углов можно определить среднюю ошибку измерения, которое в данном случае складывается из ошибки отсчитывания и визирования и постоянной погрешности от увлечения лимба в сторону вращения алидады.

При полигонной съемке наибольшая допустимая погрешность принимается от $1'$ до $1' 30''$.

Средняя погрешность измерения угла составит от $20''$ до $30''$.

При промере сторон полигона, при определении оси туннеля, могут быть приняты следующие нормы погрешностей, считая эти величины в долях длины стороны полигона:

При промере цепью от 0,001 до 0,0025

При промере стальной лентой от 0,0005 до 0,001

§ 6. Подготовительные работы на поверхности земли для забивки оси туннеля под землей. Работы на поверхности земли, как уже было указано, имеют основной и единственной целью дать направление оси туннеля на дневной поверхности. Пункты, находящиеся по концам направления оси туннеля, есть предпортальные пункты. Они фиксируют это направление. Когда направление оси туннеля на днев-

ной поверхности дано и надлежащим образом закреплено, то перед тем, как производить разбивку оси туннеля под землей, надлежит выполнить на поверхности земли еще некоторые подготовительные работы, именно:

I. Вычислить углы и дать направление (азимуты) оси туннеля, а если туннель криволинейный, то подходов к нему.

II. Вычислить длину туннеля.

III. Обозначить и закрепить на местности направление оси туннеля путем устройства в потребном количестве особых рабочих пунктов (створов), необходимых для подземных работ.

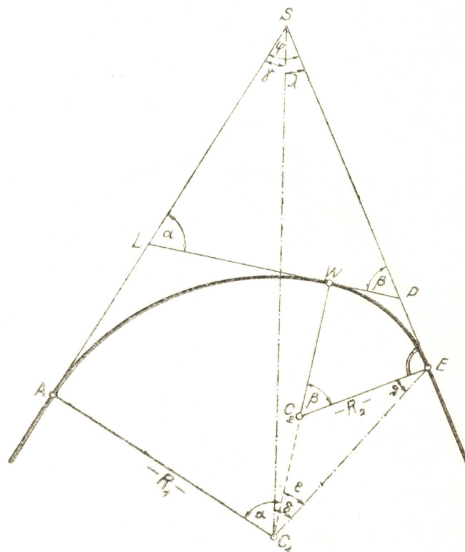
IV. Вычислить углы, направление и длину боковых штолен (окон) визирных штолен, вертикальных и наклонных шахт.

V. Обозначить и закрепить на местности входы в боковые штольни (окна), в визирные штольни и в шахты.

Только после производства означенных подготовительных работ возможно приступить к осуществлению самой разбивки оси туннеля под землей*).

I. Вычисление углов и направления оси туннеля. Уже указывалось, что направление оси прямолинейного туннеля определяется азимутом**). В случае криволинейного туннеля азимутами определяются направления как прямолинейной части туннеля, так и прямолинейных участков на подходах к туннелю. При определении направления оси туннеля приходится вычислять углы и разбивать кривые. При таких обстоятельствах могут возникнуть затруднения в криволинейной увязке двух трасс: оси туннеля с одной стороны и прямолинейных участков на подходах к туннелю с другой стороны. Определение направления оси туннеля и разбивка кривых распадается на целый ряд случаев, которые удобнее всего рассмотреть каждый в отдельности.

1. Подход к туннелю состоит из двух кривых разного радиуса. Даны два направления линии и начало и конец криволинейного участка: точки A и E (чер. 55), угол φ^0 и радиус R_1 одной из кривых. Требуется найти величину второго радиуса R_2 и точку W.



Чер. 55.

$$\text{Из } \triangle AC_1S \text{ определяем } \gamma: \operatorname{tg} \gamma = \frac{R_1}{AS} \quad SC_1 = \sqrt{AS^2 + R_1^2} = \frac{R_1}{\sin \gamma}$$

$$\text{Из } \triangle EC_1S \text{ определяем } \lambda: \lambda = \varphi - \gamma$$

$$C_1E = \sqrt{SE^2 + SC_1^2 - 2SE \cdot SC_1 \cdot \cos \lambda}$$

*) В древности направление оси туннеля под землей намечалось сначала по солнцу, а потом, по мере углубления во внутрь горного массива, по звуку.

**) Здесь надо внести существенную оговорку: пользоваться азимутом возможно только лишь в том случае, если нет местных возмущений (аномалий) магнитной стрелки. (По поводу этого см. мою статью в „Уральском технику“ за 1927 г. № 8—9. „Новейшие способы разведки горных пород“). Поэтому при трассировке туннелей, пользуясь азимутами, приходится быть весьма осмотрительным, чтобы не оставить без внимания возможную аномалию магнитной стрелки. В случае аномалии приходится работать астрономически теодолитом.

$$\operatorname{tg} S C_1 E = \frac{S E \sin \lambda}{S C_1 - S E \cos \lambda} = \operatorname{tg} \delta \text{ отсюда определяем } \delta.$$

$$\angle S E C_1 = 180 - (\lambda + \delta)$$

Из $\triangle C_1 E C_2$ находим $\angle \delta = \angle S E C_1 - 90^\circ$

$$C_1 C_2 = R_1 - R_2 \quad C_1 C_2^2 = (R_1 - R_2)^2 = C_1 E^2 + R_2^2 - 2 R_2 C_1 E \cos \delta$$

$$\text{откуда } R_2 = C_2 E = \frac{C_1 E^2 - R_1^2}{2(C_1 E \cos \delta - R_1)}$$

$$\sin \varepsilon = \frac{C_2 E \sin \delta}{C_1 C_2} = \frac{R_2 \sin \delta}{R_1 - R_2} \quad \angle \beta = \angle \delta + \angle \varepsilon$$

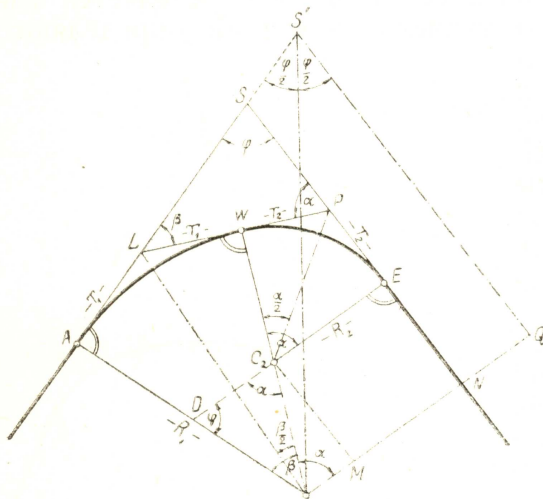
Когда будут сделаны все вычисления, то осуществление разбивки подходов к туннелю уже не представит затруднение. Необходимо тща-

тельно закрепить на местности постановкой створов направления AL и ED. Проверить углы $\angle ALW$ и $\angle EDW$. Весьма целесообразно, если только это представится возможным, измерить также и угол $\angle ASE$.

2. Криволинейный участок на подходах к туннелю очерчен радиусами R_1 и R_2 . Дано начало криволинейного участка и угол φ .

Требуется определить конец криволинейного участка точку E_1 затем точку W.

Делаем вспомогательные построения: продолжаем $C_1 Q$ параллельно $C_2 E$ и откладываем $C_1 Q = R_1$. Проводим $S' Q \parallel ES$ и соединяем S' с C_1 .



Чер. 56.

$$\angle S = \angle S' = \varphi \quad CQ = CM + MN + NQ = R_1$$

$\angle C_1 D C_2 = \varphi$ т. к. стороны $\angle C_1 D C_2$ перпендикулярны к сторонам угла S.

$$\angle D C_2 C_1 = \angle C_2 C_1 Q = \angle W C_2 E = \alpha$$

$$C_1 M = C_1 C_2 \cos \alpha = (R_1 - R_2) \cos \alpha$$

$$MN = R_2 \quad NO = (AS' - AS) \sin \varphi$$

$$R_1 = C_1 O = (R_1 - R_2) \cos \alpha + R_2 + (AS' - AS) \sin \varphi - AS' = R_1 \cotg \frac{\varphi}{2}$$

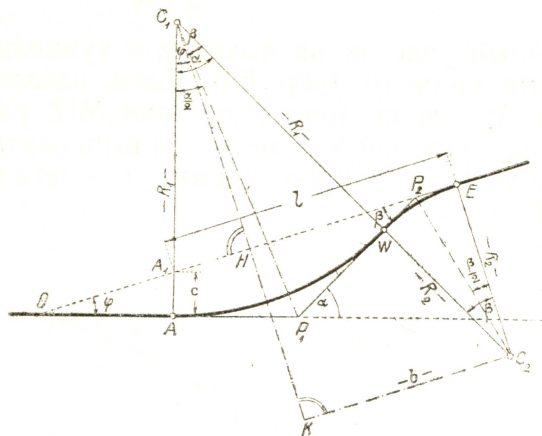
$$R_1 = (R_1 - R_2) \cos \alpha + R_2 + (R_1 \cotg \frac{\varphi}{2} - AS) \sin \varphi$$

$$\cos \alpha = \frac{R_1 - R_2 - (R_1 \cotg \frac{\varphi}{2} - AS) \sin \varphi}{R_1 - R_2} = 1 - \frac{(R_1 \cotg \frac{\varphi}{2} - AS) \sin \varphi}{R_1 - R_2}$$

Отсюда определяется угол α .

Угол β определяется из условия $\angle \beta = 180^\circ - (\varphi + \alpha)$.

3. Криволинейный туннель (чер. 57). Даны начальная и конечная точки A и E S' образной кривой. Даны угол φ и радиус одного из закруглений R_1 . Требуется определить радиус другой кривой R_2 , вычислить углы α и β и разбить кривые, для чего предстоит определить точки P_1 и P_2 .



Чер. 57.

Обозначим $AA_1 = c$ $A_1E = l$

$$\angle AC_1H = \varphi \quad A_1H = (R_1 - c) \sin \varphi \quad C_1H = (R_1 - c) \cos \varphi$$

$$KC_2 = l - A_1H = l - (R_1 - c) \sin \varphi = b$$

$$C_1C_2^2 = (R_1 + R_2)^2 = (C_1H + HK)^2 + KC_2^2$$

$$KC_2 = b \quad HK = EC_2 = R_2 \quad (R_1 + R_2)^2 = (C_1H + R_2)^2 + b^2$$

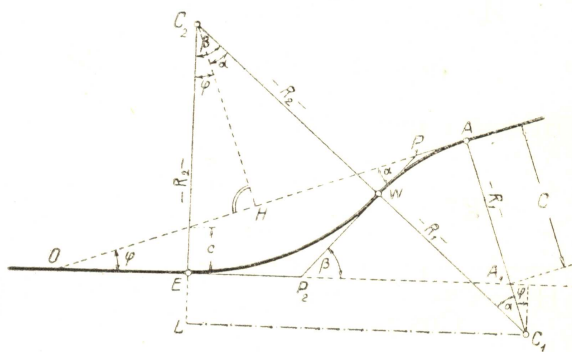
$$R_2 = \frac{C_1H^2 + b^2 - R_1^2}{2(R_1 - C_1H)} \quad \sin \beta = \frac{b}{R_1 + R_2} \quad \alpha = \beta + \varphi$$

$$\text{Если } R_1 = R_2 = R \text{ то } (2R)^2 = (C_1H + R)^2 + b^2$$

Обозначим C_1H через z , тогда

$$R = \sqrt{\frac{z^2 + b^2}{3} + \frac{z^2}{9} + \frac{z}{3}}$$

4. Криволинейный туннель (чер. 58) даны начало кривой точка A, угол φ и радиусы закруглений R_1 и R_2 . Требуется вычислить конец кривой, найти точку E, определить точку перегиба S' образной кривой точку W и углы α и β , и наконец разбить кривые, для чего найти точки P_1 и P_2 .



Чер. 58.

Обозначим AA_1 через c : сделаем вспомогательное построение $C_2H \perp OA$ $C_1\lambda \perp C_2\epsilon$. Тогда $C_2\lambda = (R_2 + R_1) \cos \beta$ $C_2\lambda = C_2E + E\lambda = R_2 + (R_1 - c) \cos \varphi$ откуда $(R_2 + R_1) \cos \beta = R_2 + (R_1 - c) \cos \varphi$

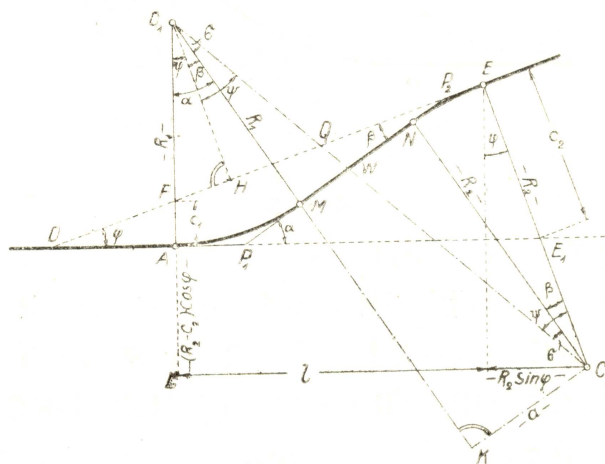
$$\cos \beta = \frac{R_2 + (R_1 - c) \cos \varphi}{R_2 + R_1} \text{ отсюда определяем } \beta.$$

$$\angle EC_2H = \angle S = \varphi \quad \alpha = \beta = \varphi \quad C_2H \parallel C_1A$$

$$\angle HC_2W = \angle AC_1W = \alpha.$$

$$\text{Если } R_1 = R_2 = R \text{ то } \cos \beta = \frac{R + (R - c) \cos \varphi}{2 \cdot R}$$

5. Криволинейный участок на подходе к туннелю. Прямая вставка между обратными кривыми (чер. 59). Даны: начальная точка криволинейного участка А; длина прямой вставки МН, равная а; угол φ и один из радиусов закруглений R_1 . Требуется вычислить углы α и β определить другой радиус R_2 и разбить кривые, для чего необходимо знать положение точек P_1 и P_2 .



Чер. 59.

Обозначим: $AF = c_1$, $EE_1 = c_2$, проекцию FE на OA через L .

$$\text{Из } \triangle C_1 C_2 L \text{ имеем: } C_1 C_2^2 = [R + (R_2 - c) \cos \varphi]^2 + (l + R_2 \sin \varphi)^2.$$

$$\text{Из } \triangle C_1 K C_2 \text{ имеем: } C_1 C_2^2 = (R_1 + R_2)^2 + a^2$$

$$(R_1 + R_2)^2 + a^2 = [R_1 + (R_2 - c) \cos \varphi]^2 + (l + R_2 \sin \varphi)^2$$

Отсюда определяется R_2

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{KC_2}{C_1K} = \frac{a}{R_1 + R_2} \quad FH = (R_1 - c_1) \sin \varphi \quad C_1H(R_1 - c_1) \cos \varphi$$

$$HE = \frac{1}{\cos \varphi} - FH \quad \triangle HC_1Q \sim \triangle EC_2Q \text{ откуда } HQ = HE \frac{C_1H}{C_1H + R_2}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{HQ}{C_1H} = \frac{QE}{C_2E} \quad \beta = \psi - \sigma \quad \angle AC_1M = \varphi + \beta = \alpha$$

6. Подход к туннелю (чер. 60). Фиксировано положение начала кривой точки А. Дан угол φ . Даны радиусы закруглений R_1 и R_2 и прямая вставка $MN = a$. Требуется найти положение точек М, Н и Е и углы α и β .

Обозначим $AF = c$. Тогда $C_1F = R_1C$

$$\angle AC_1H = \varphi \quad C_1H = (R_1 - c) \cos \varphi \quad \triangle C_1WM \sim \triangle C_2WN.$$

$$M W = \frac{M N}{R_1 + R_2} \quad R_1 = \frac{a R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{M W}{C_1 M} = \frac{M W}{R_1} = \frac{a}{R_1 + R_2} \quad C_1 C_2 = C_1 W + C_2 W$$

$$C_1 W = \frac{R}{\cos \sigma} \quad C_2 W = \frac{R_2}{\cos \sigma} \quad C_1 C_2 = \frac{R_1 + R_2}{\cos \sigma}$$

$$\Delta C_1 H O \approx \Delta C_2 E O$$

$$\frac{C_1 O}{C_1 C_2} = \frac{C_1 H}{C_1 H + C_2 E} = \frac{C_1 H}{C_1 H + R_2}$$

$$C_1 O = \frac{C_1 C_2 \cdot C_1 H}{C_1 H + R} \quad C_2 O = C_1 C_2 - C_1 O$$

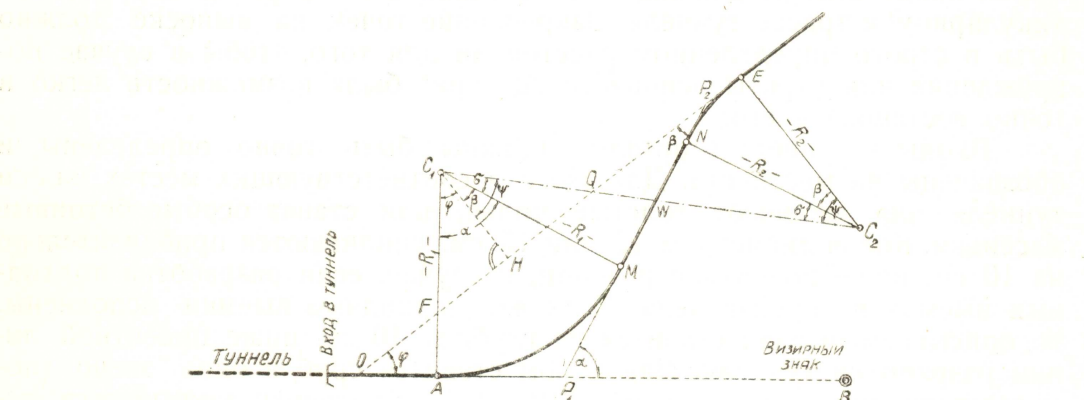
$$\cos \varphi = \frac{r_{C_2 E}}{C_2 O} = \frac{R_2}{C_2 O} = \frac{C_1 H}{C_1 O} \text{ отсюда определяем } \varphi$$

$$\angle EC_2N = \psi - \sigma = \beta \quad \angle HC_1M = \angle EC_2N = \beta$$

$$\angle A C_1 M = \angle H C_1 H + \angle H C_1 M = \varphi + \beta \quad \alpha = \varphi + \beta \text{ и т. д.}$$

$$\text{Если } R_1 = R_2 = R, \text{ то } \operatorname{tg} \sigma = \frac{a}{2R} \quad C_1 C_2 = \frac{2R}{\cos \sigma}$$

$$C_1 W = C_2 W = \frac{C_1 C_2}{2} = \frac{R}{\cos \sigma}.$$



Чер. 60.

II. Вычисление длины туннеля. Когда окончательно вычислены углы и определено направление трассы как туннеля, так и подходов к нему, то, независимо от того, каким способом трассировался туннель, надлежит вычислить длину туннеля. В отделе о триангуляции туннелей уже указывалось, что длину туннеля надлежит привести к средним отметкам туннельного профиля. Если направление оси туннеля на поверхности земли было определено при помощи полигона, или же непосредственным вешением, или трассированием с башен (обсерваторий), то и в этих случаях так же должна быть точно вычислена длина туннеля. Если применялся полигонный ход, то длина туннеля оп-

ределится, как часть стороны замыкающей полигонного хода. При простой трассировке длина туннеля вычисляется путем промера трассы на поверхности и введением поправок на уклон местности.

Весьма целесообразно при вычислении длины туннеля определять эту длину не от портала до портала, а от какого либо геодезического пункта до другого, например, от одной обсерватории до другой, или от одного визирного знака до другого, или от одной вершины полигона до другой и только уже затем переходить к междупортальному расстоянию. Если туннель односкатный, то иногда можно встретить в практике туннельного дела определение длины по наклонной прямой соединяющей обе конечных точки, однако, такой способ определения длины туннеля не универсален, а потому рекомендовать его нельзя*). В этом отношении будет более целесообразно отнести длину туннеля к средним отметкам продольного профиля туннеля.

В отделе о трангуляции были даны формулы для подсчета длины туннеля на высоте h от ур. моря.

В пояснение вышесказанного можно привести Лечбергский туннель, для которого $L_0 = 14316,2$ мтр. и тогда для отметки 1200 м. от ур. моря находим

$$\Delta L = \frac{1200 \cdot 14.316,2}{6367000} = 2,692 \text{ м. } L_n = 14318,89 \text{ м.}$$

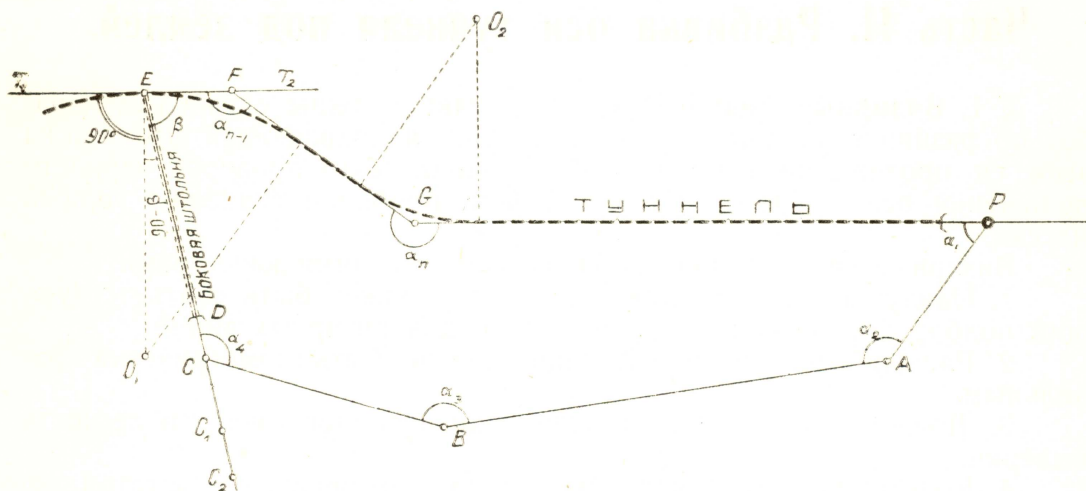
III. Закрепление направления туннеля; устройством створов. Направление оси туннеля у каждого из его входов должно быть точно и прочно обозначено на местности постановкой надлежащего знака („центра“). Ввиду возможных случайностей и нарушения сохранности поставленного „центра“ необходимо таковой зафиксировать устройством, по возможности вне района строительных работ, выноски по направлению оси туннеля на строго определенном расстоянии. Такая выноска, в виде створа, должна быть сделана и в направлении, перпендикулярном к трассе туннеля. Закрепление точек на выноске должно быть в строго определенном расстоянии для того, чтобы в случае повреждения или утраты основного „центра“ была возможность легко и точно восстановить его.

Входы в туннель (порталы) должны быть точно определены и обозначены на местности. Для этого в соответствующих местах на оси туннеля или забивают толстые колья, или ставят особые бетонные массивки. Колья диаметром 12 или 15 см. спиливаются приблизительно на 10 см. ниже поверхности земли, в случае, если разработка подходов выемок не произведена. Если же подходы выемки исполнены, то описываемый знак ставится на глубину 10 см. ниже проектной линии разработки туннеля. Над колом ставится сруб в одно звено (колода) размером приблизительно $0,4 \times 0,4$ м. и сверху закрывается деревянным щитом для предохранения от случайных повреждений. Вместо кола иногда ставят бетонную массивку с втопленным в бетон деревянным брусом, в который забивают гвоздь или же завинчивают шуруп. Гвоздь или шуруп должны быть строго на линии трассы туннеля.

IV. Вычисление углов, направления и длины боковых штолен (окон). На плане местности наносится направление туннеля со всеми его криволинейными участками. Затем на чертеже задают направление боковой штольни.

*) Определение длины односкатного туннеля по наклонной прямой бывает нужно в гидротехнических туннелях.

Если туннель криволинеен и боковая штольня примыкает к туннелю под любым углом (чер. 61), то требуется определить угол β , образуемый направлением оси боковой штольни с касательной $T_1 T_2$, проведенной в точке E встречи боковой штольни с осью криволинейной части туннеля. Для этого весьма целесообразно обратиться к полигонному ходу $PAB C D E F G P$.



Чер. 61.

Исходным началом разбивки должна служить точка E , принадлежащая боковой штольне и расположенная на оси туннеля. Эта точка получается согласно вычерченного полигона путем разбивки угла и точным промером штольни (окна). Когда точка E определена на месте и закреплена, то требуется разбить касательную прямую $T-T$. Разбивка касательной прямой возможна только на основании предварительной работы по вычерчиванию полигона. Подсчет должен дать угол β .

Зная β , можем построить касательную $T-T$ к нашей кривой. Дальнейшее построение и уже самая разбивка кривой не представляет никаких трудностей и при предварительной разбивке производится по способу последовательных хорд, а при окончательной—по способу вписанного многоугольника. Для того, чтобы иметь возможность нанести на бумагу заснятый полигон, возможно обратиться к посредству прямоугольных, прямолинейных координат.

Часть II. Разбивка оси туннеля под землей.

§ 1. Визирные знаки. Визирные знаки должны служить для работ по разбивке входов в туннель, а затем направляющей штольни на всем ее протяжении и наконец для периодических проверок верности положения оси туннеля при углублении пробивки туннеля в горный массив.

Визирные знаки должны обладать следующими качествами:

1. Наилучшей видимостью, для чего должен быть соответствующий подбор цветов как для фона, так и для визирных линий.
2. Расположение визирных линий должно быть геометрически правильным.
3. Должна быть легкость установки визирного знака и легкость выверки.
4. Конструкция визирного знака должна отличаться простотой, незамысловатостью, прочностью и незыблемостью установки.

По месту своего расположения все визирные знаки разбиваются на две категории:

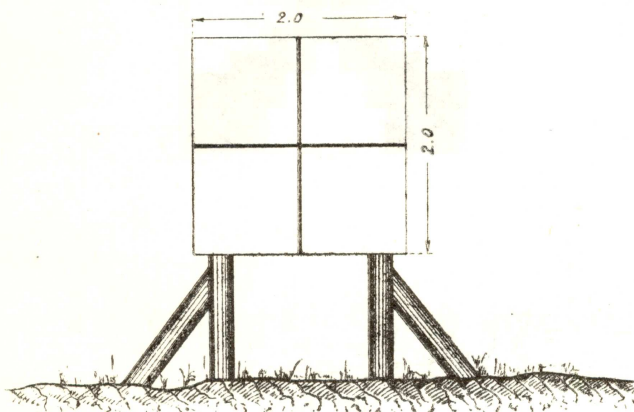
- 1) Визирные знаки, располагаемые вне туннеля. Они могут быть предназначены:
 - а) Для дневных работ.
 - б) Для ночных работ.
- 2) Визирные знаки, располагаемые внутри туннеля.

Визирные знаки, располагаемые вне туннеля. Эти визирные знаки имеют своим назначением дать возможность перенести направление оси туннеля согласно разбивки на поверхности земли во внутрь горного массива.—Эта ответственная и трудная работа наталкивается на то крупное неудобство, что при работе днем приходится визировать линию туннеля в условиях, различных в разных местах работы: яркое дневное освещение визирных знаков, расположенных на дневной поверхности, нагретый у поверхности воздух—с одной стороны, темные пространства, едва различимые световые визирные знаки, совершенно иное состояние атмосферы внутри туннеля—с другой стороны. К этому присоединяется еще и то неудобство, что обычно у входа в туннель идет большое оживление: рабочие входят и выходят из туннеля, вывозят горную породу, ввозят строительные материалы. Поэтому наряду с применением визирных знаков, предназначенных для дневных работ вне туннеля, имеют применение также визирные знаки, исключительно для работ ночных, когда условия работы вне и внутри туннеля несколько выравниваются и вообще становятся более благоприятными. Отказаться окончательно от применения вне туннеля визирных знаков, приспособленных исключительно для дневных работ, возможности все же нет. При небольших туннелях и при облегченных условиях трассировки и разбивки визирные знаки дневного пользования применяются все же довольно часто. Для длинных же туннелей можно рекомендовать применение визирных знаков, приспособленных исключительно для ночных работ и следует отказываться от постановки знаков, предназначенных для дневных работ.

Визирные знаки должны быть поставлены на местах, хорошо видимых из обсерваторий. Плоскость визирного знака должна быть расположена строго перпендикулярно к направлению визирной линии.

Визирные знаки надлежит ставить так, чтобы они не заслоняли собой ни одной из закрепленных точек трассы.

Визирные знаки для дневных работ. Простейший вид визирного знака для дневных работ есть закрепленный на двух столбах квадратный щит из досок, покрытых белой краской с черным крестом (чер. 62).



Чер. 62.

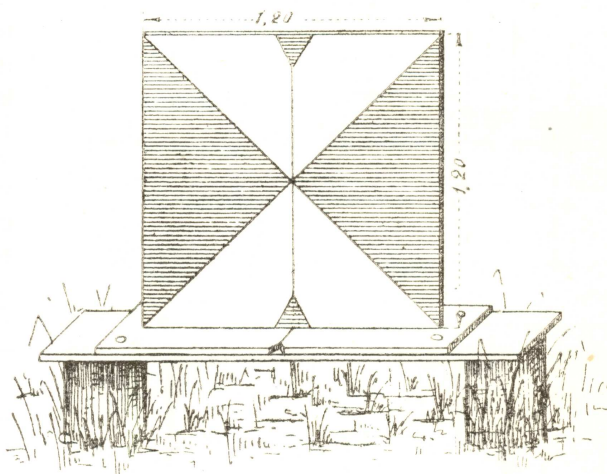
При разбивке туннеля Альбула визирные знаки представляли собой деревянные из досок щиты размером $2,0 \times 2,0$ м. прибитые гвоздями к двум прочно установленным столбам. По белому фону крест был черный из полос шириной в 2 см. Крест был окончательно нанесен после 10 кратного визирования.

При разбивке Лечбергского туннеля визирные знаки представляли собой деревянные досчатые щиты размером $1,2 \times 1,2$ м. Щиты были поставлены на бетонные фундаменты; раскраска их красной или черной краской по белому фону сделана по рисунку согласно чер. 63.

При разбивке туннеля 521 вер. Сев. Дон. ж. дор. применялись точно такие же визирные знаки, как и для Лечбергского туннеля.

На чер. 64 представлен визирный знак в виде деревянного щита, установленного на бетонном фундаменте. Рисунок нанесен черной краской по белому фону. Узкий белый крест в середине рисунка имеет ширину в 1 см. высота же узкого креста 25 см. Крест резко выделяется на черном фоне. При визировании находится белый крест весьма легко.

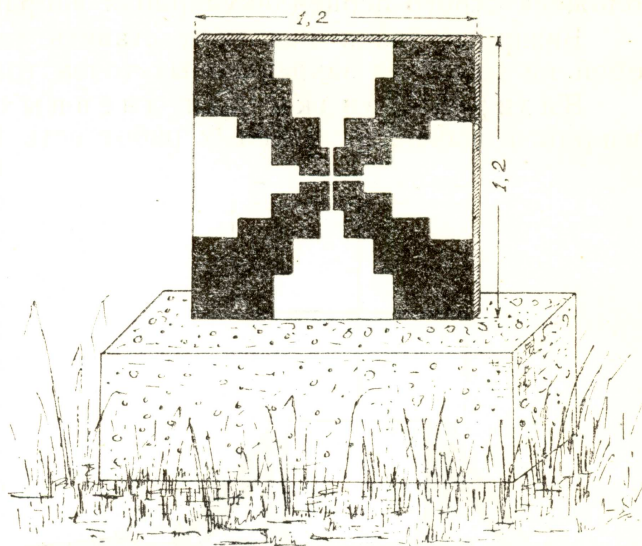
Визирные знаки для ночных работ. В деле конструирования визирных знаков для ночных работ можно подметить два этапа исторического развития. Раньше применялись визирные знаки, в которых визируемая черта была темная (черная, теневая) на освещаемом фоне. Освещение таких знаков достигалось при посредстве керосиновых ламп. За последние годы перешли к лампам, в которых визируемая черта, наоборот, ярко освещенная на черном теневом фоне. Освещение достигается при посредстве карбидовых (ацетиленовых) или электрических ламп.—Доказано, что яркую белую световую полосу на черном фоне бывает гораздо легче наблюдать, нежели темное тело вблизи яркого источника света. Поэтому с того времени, как все чаще и настойчивее возникала надобность визи-



Чер. 63.

рования на значительные расстояния, а равно с применением сильных по яркости источников света, переход на светло-штриховые визирные знаки вполне понятен и естественен. Из практики туннельного дела можно вывести ширину как черного, так и белого (светового) штриха визирования. Из практики целого ряда построенных в XIX веке туннелей черный штрих получается хорошо видимым при 2 мм. ширины и на расстоянии 128—156 м.; это составит угол приблизительно в 4".

Из практики трассировки современных туннелей известно, что видимость светового яркого штриха бывает около 1" и

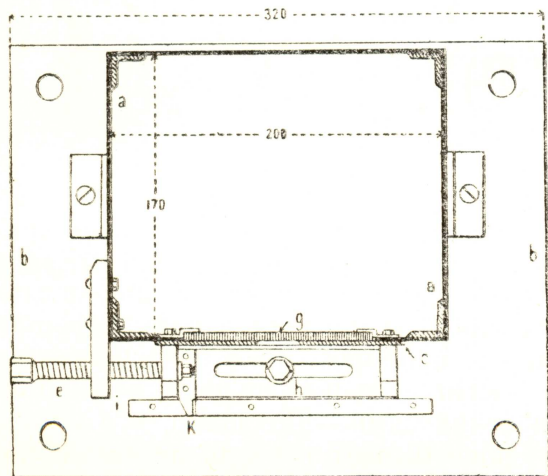
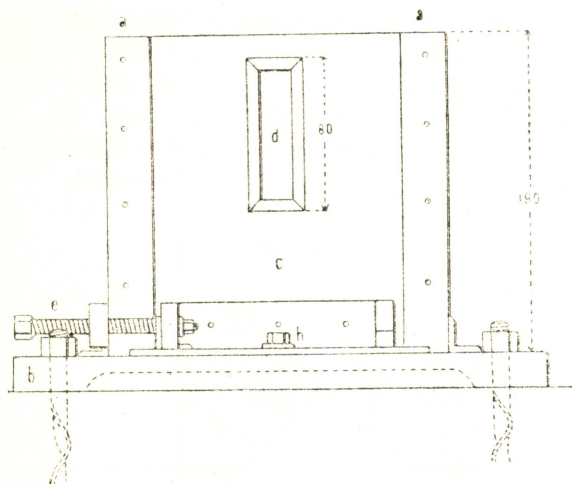


Чер. 64.

даже менее. Таким образом, точность визирования при световом штрихе может быть принята более высокой, нежели при теновом.

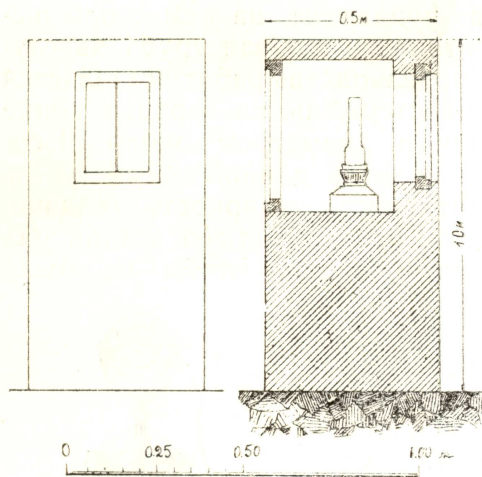
При разбивке Симплонского туннеля визирные знаки были сделаны так, чтобы были видимы не только днем, но и ночью. Визирный знак состоял из железного листа размером $1,0 \times 1,0$ м., окрашенного в черную краску с разрисованным белым кругом и с отверстием в 1,0 см. Позади листа по ночам ставился фонарь. На чер. 65 изображено приспособление для точной установки этого визирного знака: *b*—подушка, укрепленная неподвижно, *e*—винт для перемещений, *h*—винт для закрепления.

При разбивке Сурамского туннеля визирные знаки представляли собой каменный столб (чер. 66) высотой около 1,3 м. Верхняя часть его на высоту 0,5 м. была устроена в виде ниши, в которую ставилась обыкновенная керосиновая лампа. В окно ниши, обращенное к теодолиту, была вделана деревянная рамка с матовым стеклом, на котором ось туннеля



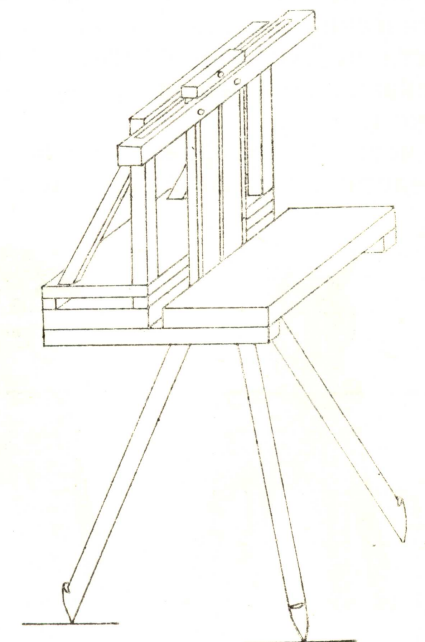
Чер. 65.

обозначалась отвесной непрозрачной чертой (старый тип визирного знака). Было удобно готовить такую черту из плотной бумаги, нарезанной в виде полосы выкрашенной в черный цвет и наклеенной на



Чер. 66.

указатель в виде вертикальной тонкой черты, конец которой перемещается по шкале при передвижении рамки. Один конец бруска сделан подвижным в вертикальной плоскости, для чего отверстие подставки,



Чер. 67.

пропускающее винт этого конца бруска имеет удлиненную форму. Благодаря этому представляется возможность установить аппарат так, чтобы начерченная на стекле вертикальная линия была строго отвесна.

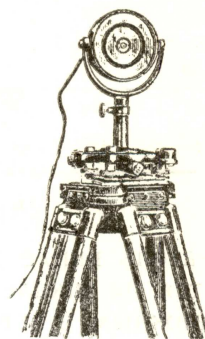
Современные типы визирных знаков, предназначенные для ночных работ вне туннеля, представляют собой бетонные фундаменты и столбы высотой от 1,3 до 1,5 м. с устроенной сверху нишей, закрытой сверху крышей из оцинкованного железа. Передняя открытая часть ниши должна быть обращена в сторону визирения и на время, когда работы

не ведутся, закрывается крышкой. В нишу вставлен металлический ящик. Одна обращенная наружу стенка стеклянная или металлическая и имеет узкую щель для визирования. Внутри помещается сильный источник света (электрическая или ацетиленовая лампа).

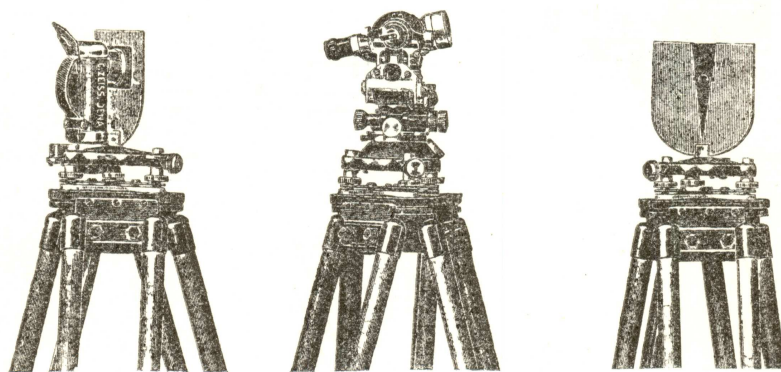
Другой тип визирного знака таков: фундамент, на нем столб высотой от 1,0 до 1,5 м. Вверху в столб встроена газовая труба на глубину до 0,5 м. В эту трубу во время производства работ вставляется плотно входящий в трубу металлический стержень, на верхнем конце которого неподвижно прикреплен цилиндр диаметром около 10 см. и высотой 30 см. Вдоль цилиндра узкая щель длиной около 10 см. Внутри сильный источник света. Портативность и яркость создают удобство работы с этим визирным знаком, но необходимо всякий раз устанавливать щель в направлении визирования, чтобы не было искажения (фазы) при наблюдении.

Наконец, необходимо указать на переносные визирные знаки, предназначенные для ночных работ вне туннеля. В своих деталях они бывают разнообразных конструкций, но основная идея их устройства одинакова. Имеется треножник. На нем устанавливается подставка. Эта подставка, регулируемая тремя винтами, может быть строго центрирована над данным пунктом при посредстве отвеса-шнурового или оптического. На подставку устанавливается визирный знак. Подставка приспособлена так, что в нее может устанавливаться теодолит или оптический отвес. Выгода та, что в случае надобности можно пользоваться, не переставляя треножника и не делая никаких перемещений, или теодолитом, или отвесом, или визирным знаком.

На чер. 68 изображен визирный знак в виде светящегося сигнала, представляющего собой диск из матового стекла с каким либо



Чер. 68.



Чер. 69.

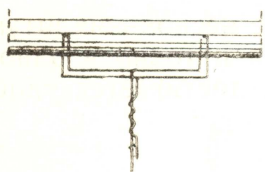
рисунком. Сигнал устроен так, что его возможно поставить нормально (перпендикулярно) к лучу зрения из трубы инструмента. Для этого сигнал в виде диска монтирован на кардановом кольце. Его центр совпадает с точкой пересечения осей карданового кольца и после замены инструмента сигналом центр сигнала в точности совпадает с центром сферы, около которой вращался инструмент при приведении его в различные положения. На диск, как сказано уже, сделанный из толстого матового стекла, нанесен ряд концентрических окружностей, ширина контура которых подобрана так, чтобы всегда существовала

возможность точного визирования на сигнал с помощью двойной вертикальной нити теодолита. В центре диска имеется отверстие для яркого незатемненного луча света. Для работы с описываемым визирным знаком может быть использован любой источник света.

На чер. 69 дан другой не менее распространенный в туннельном деле тип визирного знака, в деталях несколько иной конструкции, но идея устройства остается та же; на штативе устанавливается подставка, в которую может помещаться или теодолит, или оптический отвес, или визирный знак. В данном случае визирный знак сделан в виде черной щели треугольного очертания, на молочно белом прозрачном (стеклянном) фоне. В черном треугольнике имеется отверстие для яркого незатемненного луча света. На этот раз поверхность визирного знака остается неизменно вертикальной.

Говоря о различных визирных знаках для ночных работ вне туннеля нельзя не упомянуть об интересной попытке создания светового знака, видимого со всех сторон,—в виде устройства световой дуги. При тонких углях перескакивающие искры давали хорошую отчетливую видимость. Точность установки на бетонном столбе легко осуществима, что также является достоинством.

Визирные знаки, располагаемые внутри туннеля. К числу визирных знаков, употребляемых при разбивках внутри туннеля надо отнести разнообразного вида отвесы *).



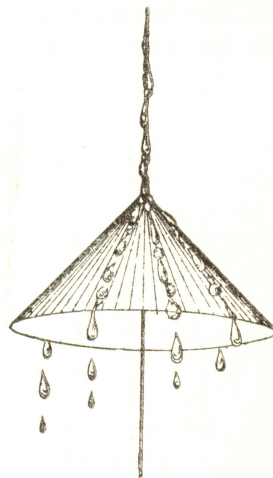
Чер. 70.

Обыкновенный отвес представляет собой груз (весок) весом от 1 до 4 кг. на медной или железной проволоке диаметром не более 0,6 мм. Для подвешивания отвеса проволока закрепляется на скобу (чер. 70).

В случае работы в мокрых или сильно водоносных грунтах, для того, чтобы стекающая по проволоке вода не изменяла ее толщину и не влияла бы таким образом на точность наблюдения, на верху проволоки снабжается металлическим колпачком или зонтиком („зонтичная проволока“) (чер. 71). Диаметр зонтика 0,1 м.

Для того, чтобы во время наблюдения не получалось погрешности в связи с боковым освещением проволоки (образование „фаз“) рекомендуется располагать лампу позади проволоки, ставя при этом между проволокой и лампой в виде экрана лист белой бумаги. Перемещение отвеса по скобе при установке для визирования производится обычно от руки. Так как установка от руки медлительна и сопряжена с рядом неудобств, применяется особый прибор (чер. 72) с микрометрическим винтом, при посредстве которого установка отвеса до совмещения с крестом нитей теодолита производится быстрее, удобнее и точнее.

Иногда в целях соблюдения особой тщательности в работе употребляются специальные электрические приборы, сигнализирующие световым сигналом, когда проволока висит совершенно свободно, не задевая крепей или выступов скалы и поэтому строго вертикальна.



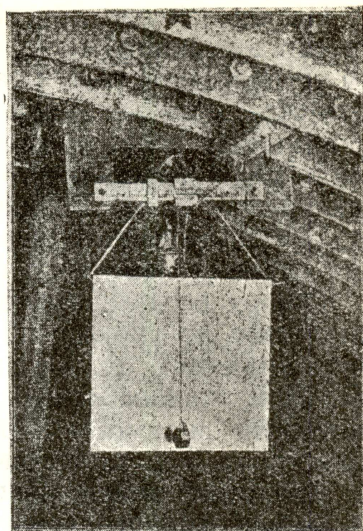
Чер. 71.

*) Как при предварительной, так равно и при окончательной разбивке оси туннеля, вешки ввиду значительной их толщины не применяются. Вешки, как увидим ниже, применяются только для разбивки туннеля в поперечном направлении при разработке на полный профиль.

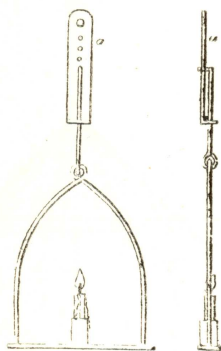
Для того, чтобы отвес не покачивался, как маятник, а возможно скорее успокаивался, грузы (вески) спускают в ушаты с водой или с нефтью на глубину около 10—15 см. от поверхности жидкости.

При постройке небольших туннелей, при благоприятных условиях состояния воздуха (чистота, отсутствие пыли и главным образом тумана), и при визировании на небольшое расстояние бывает достаточно применять в качестве визирного знака следующее устройство (чер. 73): берется подсвечник в виде подвески и тщательно пригоняется так, чтобы ось свечи точно совпадала с вертикальной осью подвески. Подвеска пропущена через отверстие в нижней (отогнутой) части пластинки. Пластика в верхней части имеет отверстие и может надеваться на гвоздь. — Вбивая гвоздь в верхняке (верхнем бруске крепления) направляющей штольни, получаем направление оси туннеля. В пластинке сделано несколько мелких отверстий, предназначенных не для гвоздя, а для подвески. Когда визирные знаки установлены повдоль туннеля в количестве нескольких штук,

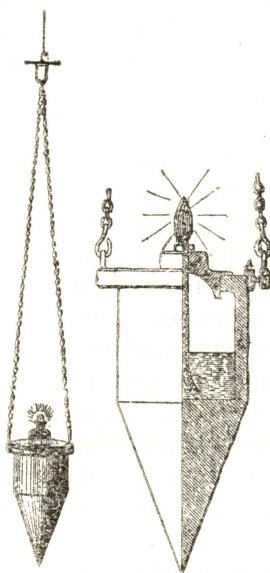
то бывает надобность разместить пламя свечи хотя и точно в одной вертикальной плоскости, но в разных уровнях. Этим достигается удобство визирования. Ближайшие к наблюдателю визирные знаки описанной конструкции зацепляются подвеской за нижнее отверстие, следующие, далее от наблюдателя, имеют подвески несколько выше. Имеет значение так же и то, что верхняки штольни не на одном уровне.



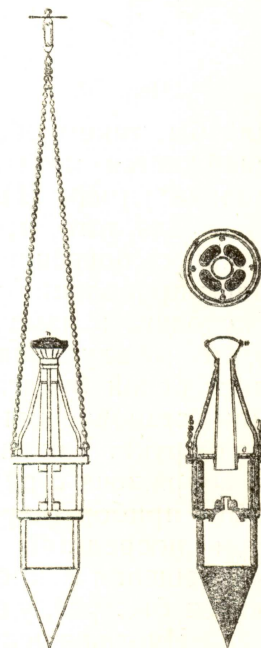
Чер. 72.



Чер. 73.



Чер. 74.



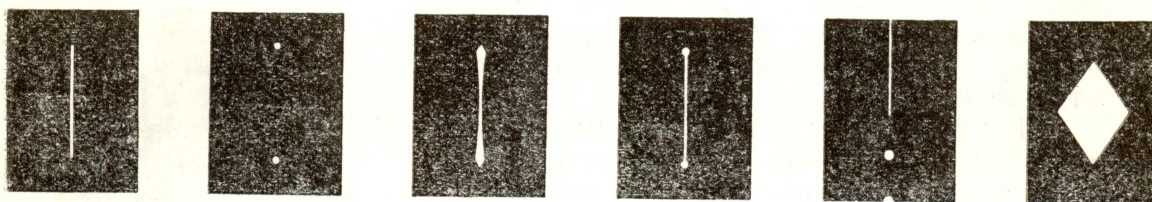
Чер. 75.

Другой тип подвесного визирного знака, применяемого для подземной разбивки оси туннеля, состоит в следующем (чер. 74): берется шнур. На конце его при посредстве крючка прикрепляется кольцо, от которого идет две цепочки, поддерживающие весок (свинцовый отвес). Весок сделан полым, наполняется сурепным маслом и имеет фитиль для горения. Низ веска, в виде конуса, и фитиль строго центрированы вдоль оси шнура.

На чер. 75 представлен аналогичный визирный знак в виде лампы несколько иной конструкции, не имеющей открытого пламени и потому предназначенный для работ в туннелях, содержащих рудничный газ.

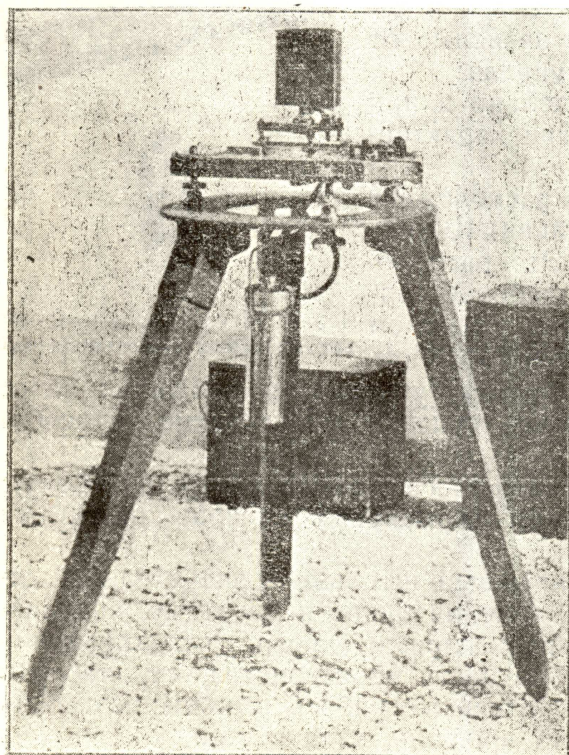
Все визирные знаки, конструируемые по типу светильника, подвешиваемого на шнуре, обладают тем важным недостатком, что не всегда бывает легко сделать так, чтобы пламя было точно на осевой линии шнура.

Изложенные приемы визирования применимы только при незначительных сравнительно расстояниях, т. к. недостаточная сила освещения делает невозможным различать шнур на расстоянии уже 150—200 мтр. В случае насыщенного парами воздуха внутри туннеля видимость шнура быстро падает иногда даже до 20—30 м. В таких случаях и вообще в случае надобности визировать на дальнее расстояние применяются визирные знаки с ярким пламенем, закрытым металлическим экраном со щелью или же темным стеклом с проведенным по нему прозрачным штрихом. На чер. 76 изображены различные виды подобных щелей, применяемых для металлических экранов.



Чер. 76. Виды экранов световых визирных знаков.

Штатив предназначен для попеременной установки инструмента или визирного знака (фиг. 77). Штатив состоит из двух частей:



Фиг. 77.

из прочного устойчивого треножника высотой до 1 мтр. с большим поддерживающим кругом диаметром 0,5 м. и из особой подставки из литого железа, устанавливаемой горизонтально на уровне при посредстве трех установочных винтов. Эта подставка так сконструирована, что в верхней своей части так назыв. „санок“ при посредстве особого винта может плавно сдвигаться в сторону до 30 см. при чем точность установки в сторону может быть уточнена при посредстве дополнительного микрометрического винта. Инструмент устанавливается так, что направление означенных перемещений перпендикулярно линий визирования. Середина „санок“ центрируется при помощи отвеса. На одной из сторон рамы, в которой скользят „санки“, нанесены миллиметровые деления.

Ацетиленовая лампа имеет полуцилиндрическую жестяную ширму, отполированную с внутренней стороны и имеющую узкую щель для визирования, которая при посред-

стве особого заслона может быть сделана по желанию уже или шире. Обычно работают при ширине щели в 5 мм. Горелка лампы соединена с газовым резервуаром при посредстве резиновой кишки. Продолжительность горения лампы около 5 часов.

Отвесы для разбивки шахты существуют нескольких систем. Весьма удобен механизированный отвес сист. проф. Шмидта изготовляемый фирмой Брейгаупт (F. Breithaupt et Sohn) в Касселе (Германия) (чер. 78). Отвес состоит из медной проволоки надлежащей длины, диаметром от 0,6 до 1,0 мм. На конце помещается груз (весок) от 8 до 25 кг. Перемещение отвеса производится при помощи двух взаимно перпендикулярных микрометрических винтов.

§ 2. Разбивка туннелей с прямолинейной осью. Все геодезические работы на дневной поверхности земли преследуют исключительно только ту цель, чтобы дать возможность разбить ось туннеля под землей абсолютно верно и точно. Работа по разбивке туннельной оси под землей, вообще говоря, трудна, так как производится в темных и тесных пространствах. Вода падает каплями с потолка, а атмосфера насыщена парами воды. Поэтому требуется максимум внимания, аккуратности и технических навыков.

При разработке туннелей неизменно всегда особенное внимание уделяется ответственной и важной работе—пробивке направляющей штольни.

Система работ по разбивке оси туннеля должна быть такова, чтобы без ущерба точности производилась наименьшая трата времени.

Разбивка оси туннеля под землей в деталях своих несколько разнится зависимо от принятого способа разработки туннеля.

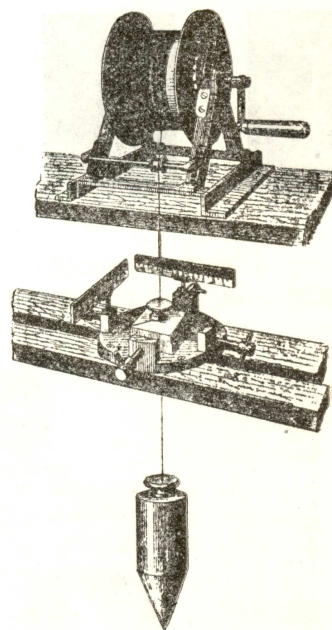
При разработке, а следовательно и при разбивке туннеля может быть три характерных случая:

1. Направляющая штольня расположена внизу (нижняя направляющая штольня). Штольня расположена на оси туннеля. Это расположение штольни бывает при разработке горной породы австрийским способом, способом надсводного разреза и секционным способом.

2. Направляющая штольня вверху туннельного профиля, на оси туннеля. Так будет при разработке туннеля бельгийским способом, австрийским и скетч-швинг.

3. Наконец, направляющая штольня заложена внизу, но сбоку, а не на оси туннеля. Это будет при германском способе разработки туннеля.

От успеха пробивки направляющей штольни в значительной степени зависит и общий успех сооружения туннеля. Поэтому, направляющая штольня пробивается всегда в первую очередь с лихорадочной быстротой. Таким образом, она, по месту производства строительных работ, всегда опережает все строительные работы, каковы: разработка и расширение туннеля на полный профиль, кладка стен, кладка сводов, устройство ниш, кладка обратных сводов и проч. Пробивка направляющей штольни опережает разбивку туннеля на протяжении, равное в среднем от 200 до 300 мтр., максимально доходит до 600 мтр., а иногда падает до 50 мтр.



Чер. 78. Механизированный отвес вертикальных туннельных шахт.

В связи с таким распорядком работ, во избежание хотя бы малейшей задержки в пробивке направляющей штольни, необходимо давать разбивку туннеля возможно незамедлительно, однако, так, чтобы обезопасить в то же время верность направления. Поэтому в самом процессе производства работы по разбивке оси туннеля под землей различают два момента: предварительную разбивку и разбивку окончательную.

Когда пробивка туннеля ведется при посредстве нижней расположенной на оси направляющей штольни, то каких либо существенных особенностей в разбивку предварительную, а затем, в разбивку окончательную не вносится:—окончательная разбивка имеет тогда назначение окончательно выверить и точно и надежно закрепить разбивку предварительную и отклонения будут зависеть только лишь от точности предварительной разбивки и практически изменять точки приходится в ничтожно малых пределах, вправо или влево.

Совсем иначе будет обстоять дело, когда разработка туннеля ведется при посредстве направляющей штольни, расположенной вверху или же хотя и внизу, но не на оси туннеля. В таких случаях предварительная разбивка оси туннеля, само собой понятно, должна сосредотачиваться в направляющей штольне, окончательная же разбивка, ради исключения временного характера, должна сосредотачиваться на оси туннеля, у его подошвы, т. е., иначе говоря, в совершенно ином месте, нежели то, где производилась разбивка предварительная.

Предварительная разбивка оси туннеля служит для того чтобы дать направление штольни и обезопасить возможность ее дальнейшей пробивки. Таким образом, основная идея предварительной разбивки оси туннеля сводится исключительно к тому, чтобы служить для целей разработки горной породы. Предварительная разбивка может производиться техником или старшим туннельным десятником. Инструментами служат: бинокль, рулетка или же лента, и затем рейка с ватерпасом.

Для обозначения направления оси туннеля при предварительной разбивке бывает вполне достаточно применить в качестве разбивочных знаков:

в породах твердых—выбуривать в подошве скважину (шпур) и забивать в него деревянный кол диаметром до 0,05 см.,

в грунтах мягких—забивать деревянную свайку. Диаметр свайки до 0,20 м. Глубина забивки до 0,5 м.

Как в кол, так и в свайку вбивается гвоздь, головка которого и служит обозначением направления оси туннеля.

Над каждым разбивочным знаком в потолок штольни, строго по отвесу над центром разбивочного знака забивается в крепь гвоздь или еще лучше скоба, на которой и укрепляется отвес.

Окончательная разбивка имеет целью проверить предварительную разбивку и окончательно ее закрепить так, чтобы при дальнейших туннельных работах иметь возможность располагать вполне верными и надежными точно закрепленными точками.

На время производства работ окончательной разбивки оси туннеля под землей совершенно необходимо создавать наилучшие условия работы по разбивке. Для этого должны быть прерваны все строительные работы по разбивке туннеля и по отвозке выработанной горной породы. Если вентиляция туннеля искусственная, то необходимо возможно лучше проветрить туннель, особенно дальний забой, где сосредоточится работа по разбивке оси туннеля. Приблизительно за три часа до начала работ по разбивке искусственное вентилирование дол-

жно быть прекращено. Это нужно для того, чтобы установилось по возможности вполне спокойное состояние атмосферы внутри туннеля. Весьма удобно и целесообразно работы по окончательной разбивке приурочивать к ряду праздничных дней отдыха.

Окончательная разбивка должна производиться опытным инженером, работающим аккуратно с сознанием ответственности порученной ему работы. Поэтому при окончательной разбивке длинных туннелей бывает целесообразно периодически время от времени приглашать специалиста и поручать ему произвести проверку разбивки туннеля. Вообще необходимо прилагать все старания к тому, чтобы применялись наилучшие, наиболее точные инструменты, работали наиболее опытные лица и чтобы направление оси туннеля периодически проверялось.

Для окончательной разбивки оси туннеля перед тем, как начать геодезические работы, производят подготовительные работы для предстоящего обозначения и окончательного закрепления оси туннеля под землей.

Разбивочные знаки. Пользуясь результатами предварительной разбивки оси туннеля и намеченным пикетажем устанавливают разбивочные знаки. Таковые должны обладать возможно полной неподвижностью и устроены так, чтобы не подвергались порче или утере.

Существуют следующие виды разбивочных знаков при окончательной разбивке оси туннеля под землей:

1. В подошве направляющего хода делается буровая скважина (шпур) в которую забивается:

или а) стержень из круглого железа, на котором напильником проводится черта, указывающая ось туннеля,

или в) газовая труба, геометрический центр которой и служит указанием оси туннеля.

2. В подошву направляющего хода заделывается камень из твердой горной породы. В камне выбивается борозда, заливаемая свинцом. В свинец по отвесу загоняется гвоздь, шляпка которого служит центром.

3. В подошву направляющего хода помещается бетонная массивка размером приблизительно $0,5 \times 0,6$ м. и до 0,4 м. высотой. В верхней части в бетонную массивку заделывается какой либо металлический предмет: болт, железный стержень и т. под., на котором делается надпил, указывающий ось туннеля. Иногда заделывают в массивку вертикально торчащую газовую трубу. Применение подобного рода камней или бетонных массивок весьма целесообразно при туннелях значительной длины и при слабых грунтах, разрабатываемых без применения взрывчатых веществ.

4. В подошву направляющего хода забивается на глубину до 0,8 м. толстый деревянный кол диаметром до 0,12 м. с железным наверху кольцом (бугелем). Верх кола спиливается горизонтально на высоте около 0,04 м. от поверхности подошвы выработки. Ось туннеля обозначается гвоздем, забиваемым в верх кола. Такой способ обозначения оси туннеля удобен при мягких грунтах и при туннелях незначительной длины.

5. В шпалу временного пути, уложенного внутри туннеля заворачивается шуруп или забивается костыль или гвоздь, обозначающий ось туннеля. Такой способ обозначения оси вообще говоря, мало надежен, и благодаря своей простоте еще может быть допущен только в туннелях незначительной длины.

6. Ось туннеля обозначается на потолке направляющей галлерей. В случае, если горная порода твердая—можно пробурить скважину, забить деревянный кол и затем вбить в кол гвоздь или ввинтить крючек. В случае, если по геологическим условиям установлены крепи, и если крепь находится случайно в том месте, где надо ставить знак, то возможно забить гвозди или ввинтить крючек непосредственно в рамную крепь (в верхняк). Описанный способ обозначения оси целесообразен в устойчивых скальных породах и при условии, что крепи не деформируются под давлением горных пород. Недопустимо забивать гвоздь в марчеваночную крепь.

Все разбивочные знаки должны быть ограждены от возможных повреждений. Для этого рекомендуется окружать знаки деревянной колодой (срубом в один венец) и перекрывать досками или защищать крышками из литого железа подобно тому, как это делают для гидрантов.

Наконец, все разбивочные знаки нуждаются в том, чтобы имела какая либо примета надпись или указание, что здесь имеется знак, определяющий направление оси туннеля. Для этого бывает достаточно сделать грубо знак на поверхности скалы масляной краской или же просверлить отверстие (шпур) и забить в него деревянный кол и уже в дерево прибить дощечку с надписью. Можно ограничиться даже надписями на крепях. Все надписи должны быть единообразны и легко находимы и располагаться для удобства ориентировки на одной стороне штольни.

Разбивочные знаки закладываются через каждые 100 м.

Направляющая штольня расположена на оси туннеля. Для работы рекомендуется тихая безлунная ночь, приблизительно через 2—3 часа после заката солнца. Начинают работу от подходной к туннелю выемки. Заново выверенный инструмент (теодолит) устанавливается над обсервационной точкой. Необходимо тщательнейшим образом центрировать инструмент над пунктом. Затем, труба наводится на визирный знак, расположенный вне туннеля. Центр нитей зрительной трубы точно устанавливается по кресту или штриху визирной марки. Потом направление туннеля переносится в самый туннель. Здесь взгляд работающего у теодолита ожидает визирный знак (отвес или световой сигнал). Этот визирный знак перемещается до полного совпадения с нитью теодолита. Когда визирный знак внутри туннеля точно установлен по нитям теодолита, то отмечают направление отвеса на массивке в виде нанесения геодезического центра (штрих напильником).

После этого теодолит переводится через зенит и вся работа повторяется, начиная от наведения на визирный знак вне туннеля и кончая нанесением нового штриха на центре массивки.

Работу повторяют несколько раз, произведя несколько наведений теодолита при круге право и круге лево и, наконец, поворачивая трубу в горизонтальной плоскости на 180° . Должно быть сделано не менее четырех наблюдений, однако, рекомендуется делать 8 наблюдений при разных положениях трубы и брать среднее.

Если у отмечаемой точки (центра) разница в крайних отсчетах (штрихах) получается меньше 10 мм., то среднее всех восьми отсчетов принимают, как истинное направление оси туннеля. Если же отклонения более значительны, то увеличивают число наблюдений.

Когда определено направление туннеля с первой стоянки теодолита, то таковой переставляют на другое место.

Для этого в полотне подходной к туннелю выемки строго на оси туннеля устанавливаются каменные столбы с бетонным треуголь

ником. В случае невозможности установить таковые благодаря стесненным условиям работы для той же цели в полотне подходной выемки устанавливаются бетонные или каменные низкие массивки с вделанными в них отрезками железных трубок диаметром не свыше 20 мм. Центр трубки указывает место установки инструмента.

Установив здесь теодолит, направляют его трубу на визирный знак и описанным способом вторично берут направление оси туннеля, визируя во внутрь туннеля. Таким образом, перестановкой инструмента на новое место удастся достичь проверки направления оси туннеля, задаваемой внутрь туннеля, исходя из двух различных положений инструмента.

Иногда при наличии обсерватории у входа в туннель при удачном положении обсерватории по высоте удастся пользоваться ей и визируют ось туннеля во внутрь туннеля непосредственно с обсерватории.

Когда будет окончательно нанесен геометрический центр на массивке, заложенной внутри туннеля, то теодолит переносят и точно устанавливают над только что нанесенным центром. В том месте, где только что стоял теодолит, устанавливают визирный знак. На следующем пикете, где заготовлена массивка, так же устанавливают визирный знак. После этого приступают к работе. Трубу теодолита наводят на 1-ый визирный знак, служивший основой при первой стоянке теодолита, а равно и на все визирные знаки, видимые теперь из туннеля. Если бы случилось расхождение в визировании, то рекомендуется работу прервать и вернуться с теодолитом на первую стоянку и выяснить причину расходимости, памятуя, что всякая хотя бы, казалось бы, ничтожная неточность не должна замалчиваться, так как она может впоследствии привести к весьма крупным расхождениям.

Итак, когда окончательно дано и закреплено направление трубы теодолита, то переводят трубу через зенит и наводят на визирный знак, расположенный на следующем пикете внутри туннеля. Аналогично предыдущему, повторяя наведение при различных положениях трубы, наносят штрихи на „центре“ и таким образом окончательно устанавливают направление оси туннеля.

Первую стоянку теодолита внутри туннеля рекомендуется использовать возможно в большем размере: обычно имеется возможность визируют ось туннеля не на один, а на несколько пикетов внутрь туннеля, всякий раз переводя трубу через зенит и при круге право и круге лево беря взгляды поочередно на все видимые из данного места туннеля визирные знаки, расположенные вне туннеля. Расстояние визирения внутри туннеля зависит от целого ряда причин: от оптической силы трубы, от состояния атмосферы внутри туннеля (чистота, степень влажности, ток воздуха и проч.) от яркости освещения сигналов, от опытности лица, производящего работу и от некоторых других причин. Обычно расстояние визирования внутри туннеля в среднем около 300 м. В самых благоприятных условиях дальность визирования достигает даже 1,0 и 1,3 килом. при неблагоприятных же условиях падает до 75 и даже 50 м.

Прямое визирование по направляющим пунктам доходило в штольнях Сен-Готарда (ночью) до 1300 м., а в Лечберге достигало до 2550 м. Однако, не следует увлекаться силой инструмента. Рекомендуется работать с более ограниченными расстояниями, так как воздух внутри туннеля не всегда достаточно чист, чтобы видеть лампы на большом расстоянии. В Лечбергском туннеле обычно работали при расстояниях в 600 м., иногда даже при 400 и даже при 200 м. в связи

с туманом. В исключительных случаях едва было видно даже за 30 м. При пробивке туннелей на Зап. и Вост. Амурских жел. дор. было установлено, что видимость визирования зависит от густоты тумана. Бывали случаи, что на расстоянии 25—20 м. совершенно ничего не было видно, а в 10 м. виден расплывчатый контур факела или ацетиленовой лампы. Для того же, чтобы различить самый сигнал, надо было приблизиться на расстояние 5 м. Понятно, что при таком состоянии атмосферы работу приходилось прерывать и проветривать туннель.

Когда установлен ряд пунктов (пикетов) внутри туннеля и „центры“ их точно обозначены по оси туннеля, то некоторые специалисты рекомендуют прежде чем переходить с теодолитом дальше во внутрь туннеля, еще раз вернуться в пункт, расположенный вне туннеля перед его порталом, установить здесь еще раз теодолит и еще раз проверить все пункты, намеченные внутри туннеля. Нельзя не отметить, что состояние атмосферы у входа в туннели обычно бывает беспокойное, а потому мало благоприятно для визирования. Поэтому рекомендуется в этом случае быть особенно точным и аккуратным. Таким образом, все пункты внутри туннеля будут визироваться от двух различных пунктов.

По мере углубления туннеля внутрь массива горы принцип работ остается тот же. Только лишь вследствие непрозрачности воздуха расстояние между стоянками инструмента берется обычно в среднем около 200—300 м., не более.

Дальнейшая разбивка оси туннеля должна включать по крайней мере три существующих основных пункта, дабы при посредстве их обеспечить неизменность и надежность положения устанавливаемых вновь „центров“. Каждый новый „центр“ проверяется по крайней мере из двух различных мест стоянки теодолита, определенных при окончательной разбивке туннеля.

Производство работ при окончательной разбивке. При окончательной разбивке оси туннеля под землей заново выверенный инструмент с хорошей зрительной трубой устанавливается внутри туннеля и центрируется над пунктом, расположенным неподалеку от портала. Инструмент должен быть установлен так, чтобы наведение трубы сводилось к перемещениям горизонтальной и вертикальной нитей, но не к поворотам самой трубы. Крест нитей в зрительной трубе направляется сначала на визирную марку и затем переводится на направление туннеля. Над пунктом туннельной линии, который должен быть закреплен, помещается лампа. Если протяжение визирования длинно, то для передачи распоряжений бывает удобно пользоваться переносным телефоном. Расстояние, на которое происходит визирование, зависит от целого ряда причин:

От силы зрения трубы.

От состояния атмосферы внутри туннеля.

От яркости освещения сигнала.

От опытности лица, производящего работу.

Обычно при туннельных работах это расстояние доходит около 300 м., хотя иногда в случае неблагоприятных условий падает даже до 50 м. В самых благоприятных условиях работ дальность визирования достигала даже нескольких километров.

Полученный при визировании пункт должен быть обозначен. Прием работы должен быть повторен несколько раз, причем всякий раз положение трубы должно изменяться.

При работах в Симплоне брали среднее из 8 наблюдений при разных положениях трубы. Если у отмечаемой точки разница в отсче-

тах получалась меньше 10 мм., то среднее всех восьми отсчетов принимали, как истинное направление туннеля. Если же отклонения были более значительны, то увеличивали число наблюдений.

Разбивка оси гидротехнических туннелей. По существу своему разбивка оси гидротехнических как напорных, так и безнапорных туннелей, именуемых иногда штольнями, представляет собой лишь частный случай рассмотренных работ, когда направляющая штольня располагается внизу туннеля. Отличительная особенность будет заключаться в том, что в большинстве случаев пространство выработки гидротехнических туннелей весьма незначительно. Так напр., в туннелях Клостер-Кюблис (Kloster Küblis) диаметр разработки едва составлял 2,5 м., в туннеле Лёнч (Löntschi) не превосходил 2,7—2,9 м. В туннеле Амштер (Amsteg) диаметр равнялся 2,3 м. Тоже самое было в туннелях Шпиц-Тунерзее (Spiz Thunersee) и Энгельберг-Обермат (Engelberg-Obermat). В туннеле Риттом (Ritom) диаметр штолен на некоторых протяжениях был около 2,0 м. В туннеле Люцер (Lucerne/d. Plessuz) диаметр выработки не превосходил 1,75 м. Можно было бы привести для примера еще много других туннелей, выработка которых была даже еще меньше.

При таком небольшом сечении гидротехнический туннель имеет вид штольни, причем выработка горной породы в таких случаях обычно ведется сразу на полный ход. Это не может не отзываться и на производстве геодезических работ. Влияние некоторых обстоятельств, сопровождающих разработку туннеля (обильно смоченный водой грунт, и даже целые потоки воды, тесные и узкие пространства разработки) иногда вызывают необходимость устанавливать теодолит и визирные знаки не на треножниках, а на специально всякий раз устанавливаемых горизонтальных распорках (чер. 79). Второй особенностью будет выноска геодезических центров вверх. Ввиду того, что производство работ по обделке гидротехнических туннелей в большинстве случаев начинается снизу и идет постепенно вверх, то поэтому приходится рекомендовать выноску вверх геодезических точек разбивки оси туннеля.

Разбивка оси гидротехнических туннелей, как обычно, начинается от входа (порталов). Теодолит располагается внутри туннеля и устанавливается по визирным знакам, поставленным вне туннеля. В дальнейшем работа по разбивке оси туннеля не представляет собой каких либо трудностей и отличительных особенностей по сравнению с разбивкой оси штольни большого туннеля.

Гидротехнические туннели строятся односкатными с довольно значительным продольным уклоном. При разбивке оси, одновременно с работой теодолитом, приходится производить, так же и нивелировочные работы, что так же является характерным для этих туннелей.

По мере углубления в туннель принцип работ остается тот же, только лишь вследствие непрозрачности воздуха расстояние между стоянками инструмента берется обычно в среднем около 80—120 м., но не более.

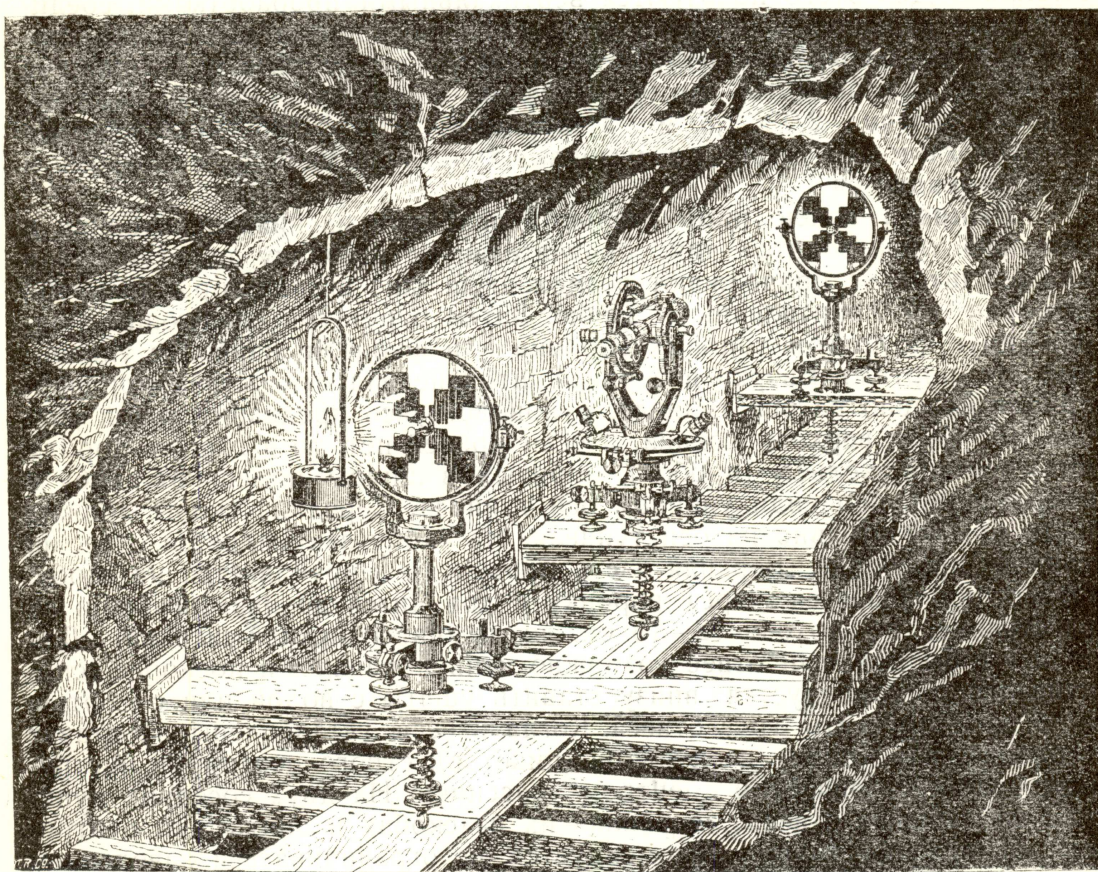
В период постройки туннеля разбивка его должна заключаться в периодическом промеривании оси туннеля и нивелировке его подошвы внутри пробиваемого хода. Такая разбивка должна производиться по мере необходимости, но не менее одного раза в месяц.

Направляющая штольня расположена сверху на оси туннеля. Особенностью производства работ по разбивке туннеля будет заключаться в том, что при предварительной разбивке оси туннеля

для направления верхней направляющей штольни приходится как обычно устанавливать внизу у лежня (нижнего бруса) штольни разбивочные знаки для обозначения направления оси, но зато уже нет возможности рассчитывать на них при окончательной разбивке.

Окончательная разбивка должна вестись при разработке горной породы на полную площадь и закрепляться на оси туннеля внизу очертания туннельного профиля. Поэтому понятно, что в процессе производства строительных работ по разработке горной породы все разбивочные знаки, которые выставлены в верхней направляющей штольне для закрепления направления туннеля, будут обязательно уничтожены.

Поэтому приходится предварительную разбивку, сосредотачиваемую в верхней направляющей штольне, вести так, чтобы она, основываясь всецело на окончательной разбивке туннеля на предидущих



Чер. 79.

протяжениях (пикетах) туннеля, в то же время не служила бы подготовительной работой для окончательной разбивки. Иначе говоря, окончательная разбивка должна производиться независимо от предварительной разбивки.

Для этого разбивку предварительную, сосредотачиваемую в верхней направляющей штольне, производят основываясь на данных окончательной разбивки, для чего периодически приходится выносить окончательную разбивку из нижней штольни в верхнюю и таким образом, проверять предварительную разбивку.

Важным обстоятельством является то, что разбивка направляющей оси туннеля, производимая в верхней направляющей штольне и,

как сказано, являющаяся предварительной, в то же время должна стать основой для разбивки поперечного профиля в верхней части, так назыв. каллоты *). Таким образом видим, что разбивка верхней направляющей штольни приобретает значение окончательной разбивки, т. к. какие либо исправления и перемещения свода в случае неправильности становятся уже невозможными. Поэтому поступают так.—Верхнюю направляющую штольню ведут обычным способом предварительной разбивки, периодически производя выверку направления по данным окончательной разбивки.

Окончательную разбивку сосредотачивают в нижней направляющей штольне. Когда возникает надобность дать разбивку для разработки каллоты и кладки свода, или же когда требуется проверить направление предварительной разбивки в верхней направляющей штольне, то делают выноску окончательной разбивки вверх в верхнюю штольню. Для этого пользуются вертикальными проработками, соединяющими верхнюю и нижнюю штольни и служащими для свалки горной породы, называемыми фурнелями иногда служащими и для под'ема людей и называемыми тогда ходовыми воронками. Размер ходовых воронок обычно $2,0 \times 1,5$ м., а фурнелей $0,85 \times 0,85$. Пользоваться бремсбергами для работ по разбивке туннеля неудобно, а поэтому и не рекомендуется.

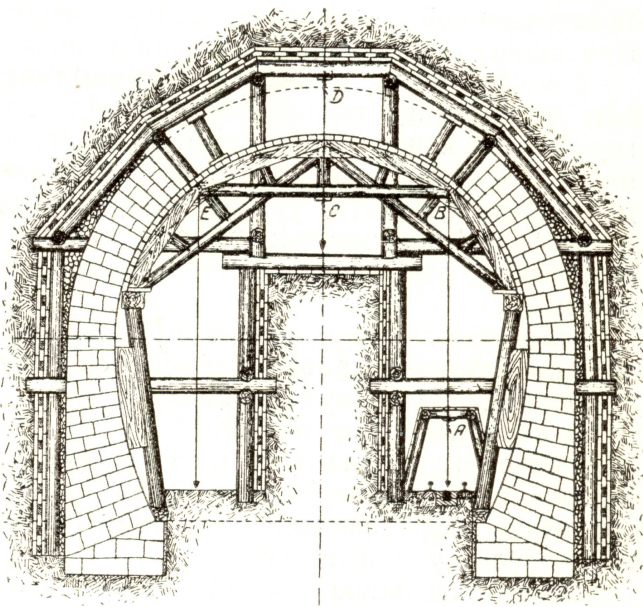
Выноска точек окончательной разбивки из нижней штольни в верхнюю производится так: окончательную разбивку оси туннеля в нижней штольне продолжают возможно дальше вглубь горы до конца штольни по направлению к забою. Затем берут три следующих подряд друг за другом ходовых воронки или фурнели, наиболее удаленные от портала. Вверху в верхней штольне над отверстием воронки, приблизительно на оси туннеля, руководствуясь предварительной разбивкой оси, в верхняк крепей, а если крепей нет, то в горную породу при помощи кольев (пробок), забитых в шпур, помещают скобу в направлении, перпендикулярном оси туннеля. Середина скобы должна быть приблизительно на оси туннеля. На скобу закрепляется отвес на тонкой проволоке. Верхняя часть проволоки закручивается на скобу. Отвес пропускается через воронку и доводится до низа штольни на расстояние, не доходя 12—15 см. до подошвы нижней штольни. Для того, чтобы длинный отвес возможно меньше качался и поскорее успокаивался, рекомендуется внизу ставить ушаты с водой или с нефтью и в них опускать груз отвеса. Когда отвесы установлены, то ставят теодолит над одним из пунктов (пикетов), строго центрируя инструмент над геодезическим „центром“ массивки. На двух соседних пунктах выставляют отвесы, закрепляя их на скобах и опять-таки центрируя надлежаще точно. Рекомендуется не ограничиваться наведением трубы на отвесы, расположенные на ближайших пунктах, а установить инструмент и по отвесам дальних пунктов, т. к. толщина проволоки, неправильное ее освещение (фаза) могут сыграть некоторую роль в неточности установки инструмента. Когда инструмент окончательно установлен, то один сотрудник по работе отправляется в верхнюю направляющую штольню и располагается у отвеса, пропущенного через воронку. Отвес должен быть видим в трубе точно на пересечении нитей. Труба остается неизменной, передвигается отвес. Для этого работающий у инструмента дает распоряжения в верхнюю штольню своему сотруднику, стоящему у верха отвеса. По этим распоряжениям (свист-

*) Это является тем более ответственным делом что при бельгийском способе производства разработки, обделка туннеля, как известно, производится первоначально вверху в виде свода, опираемого в пятах непосредственно на горную породу.

ком или иногда по телефону) отвес сдвигается вправо или влево. Нужно внимательно следить за тем, чтобы отвес на всем своем протяжении не касался крепления стенок воронки или горной породы и чтобы отвес успокоился прежде, чем последует команда о новом перемещении отвеса. Когда отвес приведен в надлежащее положение на ось туннеля, то будет весьма целесообразно закрепить его положение путем установки под ним массивки, расположив ее в подошве нижней направляющей штольни и, кроме того, сделать пометку (надпил) оси туннеля на скобе.

Затем, последовательно производят работу описанным порядком и в отношении двух других отвесов, опущенных через другие воронки. По этим трем отвесам, определяющим направление оси туннеля, производится разбивка в верхней штольне и дается ее направление для разработки туннеля.

Направляющая штольня расположена внизу, но сбоку, в стороне от оси туннеля. Как уже было сказано, такое положение создается при применении германского способа для разработки горной породы (способ опорного ядра). Как это видно из черт. 80, опорное ядро находится как раз там, где надлежит производить окончательную разбивку оси туннеля. Она сохраняется довольно значительный период времени: пробьют направляющие штольни, сомкнутся в двух противоположных ходах, перекинутся с разработкой породы вверх, разработают породу по контуру туннеля, произведут кладку фундаментов стен и даже начнут кладку свода туннеля, а опорное ядро продолжает стоять. И только лишь тогда, когда выведут свод туннеля и замкнут его в ключевой части, то надобность в опорном ядре минует и оно подлежит разработке и уборке. Таким образом видим, что дожидаться, когда освободится место для окончательной разбивки туннеля на оси туннеля,—пришлось бы слишком долго и утратило бы всякое значение. Поэтому и предварительную, и окончательную разбивку приходится вести в направляющей штольне сбоку, в стороне от оси туннеля. В своих приемах производство работ по разбивке направления туннеля ничем существенным не отличается от производства разбивки в случае нижней направляющей штольни на оси туннеля.



Чер. 80. Разбивка туннеля в случае расположения направляющей штольни внизу, но сбоку от оси туннеля.

Особенности производства работ по разбивке штольни таковы:

Вычерчивается поперечное сечение туннеля по проекту, наносится обделка туннеля и задается положение штольни. Определяется расстояние оси штольни от оси туннеля.

Ось штольни относится в сторону от оси туннеля и отмечается или путем установки бетонных массивок, или забивкой кольев. Когда

направление оси штольни точно обозначено, то производят уже самую разбивку оси штольни под землей. При разбивке кривых вводится поправка на отклонение направления оси. В остальном разбивка оси штольни под землей ничем не отличается от разбивки оси туннеля.

Примеры работ по разбивке в сторону вынесенных штолен немногочисленны, т. к. германский способ разработки применяется довольно редко.

Наиболее замечательный случай имел место при постройке Трибитц (Triebitz) туннеля в Германии. Длина туннеля 3860 м. На черт. 80 изображено поперечное сечение этого туннеля и расположение опорного ядра и боковой штольни. Вся работа как по предварительной, так и по окончательной разбивке была сосредоточена в нижней боковой штольне (на черт. крепи показаны неразобранными). Пользовались отвесами „А“. Для разбивки туннеля в верхней штольне пришлось сделать выноску точек окончательной разбивки. Для этого, как это ясно из черт., сначала опустили отвес „В“ до полного совпадения с отвесом „А“, что проверялось теодолитом. Затем, зная расстояние от носа оси штольни от оси туннеля, нашли точку „С“ на оси туннеля и закрепили ее постановкой отвеса на скобе „С“. Выноска оси туннеля по высоте и нахождение точки „Д“ на верхней скобе уже не представляла затруднений. Всю работу, ради уточнения, проделали 8 раз и всякий раз на скобы наносили штрих напильником. Затем взяли среднее.

§ 4. **Разбивка туннелей с криволинейной осью.** Производство работ по разбивке туннельной оси под землей, в случае криволинейного расположения сооружения в плане, в сущности своей ничем не разнится от подобного рода работ на дневной поверхности, если, конечно, ввести соответствующую поправку на все особенности туннельных разбивок под землей: темноту, плохую видимость вследствие сырости, узкие пространства, тесные для производства геодезических работ и пр.

Аналогично тому, как и при разбивке прямолинейной оси туннеля, при разбивке криволинейной оси следует различать:

- а) предварительную разбивку и
- в) окончательную разбивку.

Предварительная разбивка, как обычно, и в случае криволинейной оси имеет целью дать направление исключительно для разработки направляющей штольни. Работа выполняется техником и требует рулетку или ленту.

Предварительную разбивку оси туннеля удобнее всего производить по „способу последовательных хорд“. Способ этот, как известно, состоит в том, что от тангенса А (черт. 81) на продолжении прямой АТ откладывают какую-либо длину S , каковую принимаем за хорду. Тогда имеем $y = \frac{S^2}{2R}$, откуда $y_1 = 2y = \frac{S^2}{R}$. А потому практически процесс работы сведется к следующим операциям: при заданном радиусе кривой R выбирают S и вычисляют y и y_1 . Затем на продолжении прямой откладывают S и забивают кол. От забитого кола натягивают рулетку с мерой y , а от А натягивают рулетку с мерой S . В том месте, где сойдутся натянутые рулетки, получают точку I кривой и забивают кол. Затем откладывают S на продолжении прямой АL. Натягивают рулетку с мерой y_1 и другую с мерой S получают точку II кривой и т. д.

В виду того, что предварительная разбивка производится в направляющей штольне, в пространствах тесных и узких, величина S ограничена по своему размеру.

$$\frac{S}{2} = R \sin \frac{\alpha}{2}$$

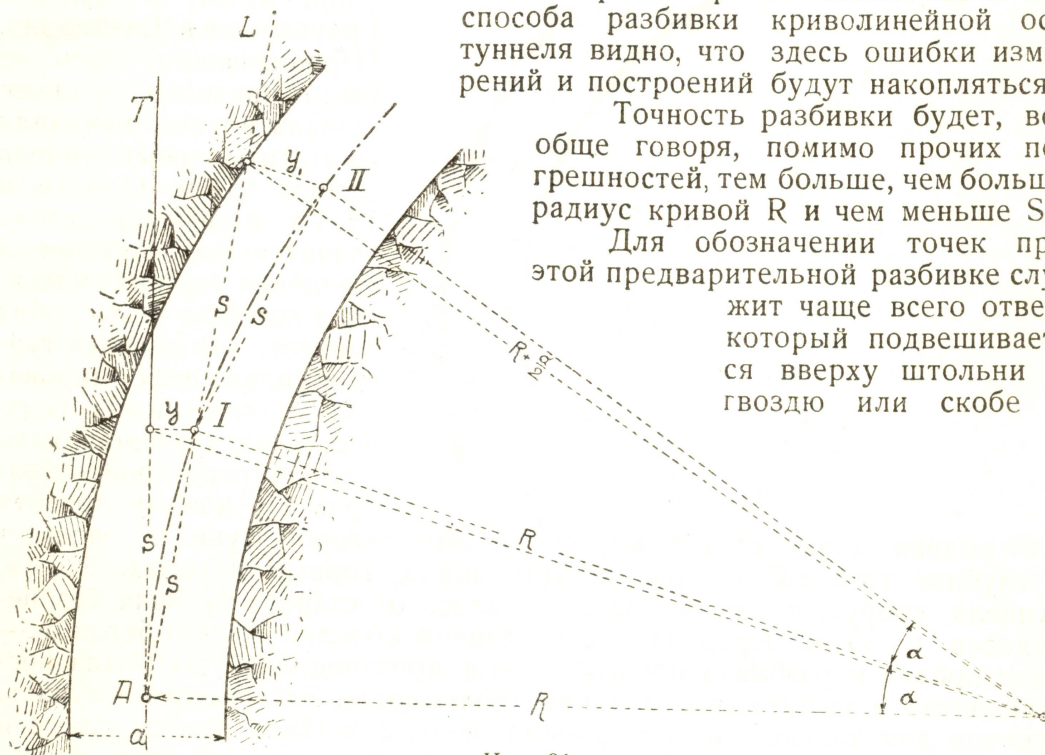
$$\frac{S}{2} = R \sin \frac{\alpha}{2}$$

и это должно быть меньше $\frac{a}{2}$,

$$S < \sqrt{\frac{R \cdot a}{2}}$$

Из рассмотрения вышеописанного способа разбивки криволинейной оси туннеля видно, что здесь ошибки измерений и построений будут накапливаться.

Для обозначения точек при этой предварительной разбивке служит чаще всего отвес, который подвешивается вверху штольни к гвоздю или скобе и



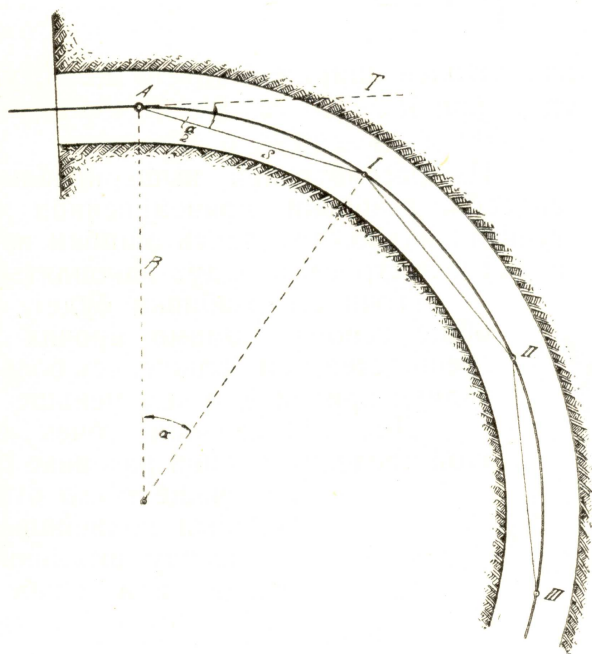
Чер. 81.

Окончательная разбивка. Для окончательной разбивки оси туннеля, расположенного на кривой, пользуются методом вписанного многоугольника.

Разбивка состоит в следующем (черт. 82): пусть точка А есть начало кривой. Точки I, II, III и т. д. необходимо наметить внутри тун-

неля. Допустим, что $\overline{A-I} = \overline{I-II} = \overline{II-III}$ и т. д. Вычислив угол α при радиусе кривой R и найдя по углу хорду S , становимся с теодолитом в точке A и направляем трубу вдоль по касательной AT . Сделав на лимбе отсчет, поворачиваем алидаду на угол $\frac{\alpha}{2}$ и ведем по трубе

на линию $\overline{A-I}$. На линии $A-I$ отмеряем длину S и получаем точку I , где и ставим знак. Таким образом, окончательно фиксируем первую точку I кривой. После этого переносим теодолит в точку I и направляем трубу на точку A , делаем на лимбе отсчет, придаем ему угол α , переводим трубу через зенит и ведем по трубе линию $I-II$, на ней откладываем S , получаем вторую точку II кривой и окончательно фиксируем ее. Так работа ведется и далее.

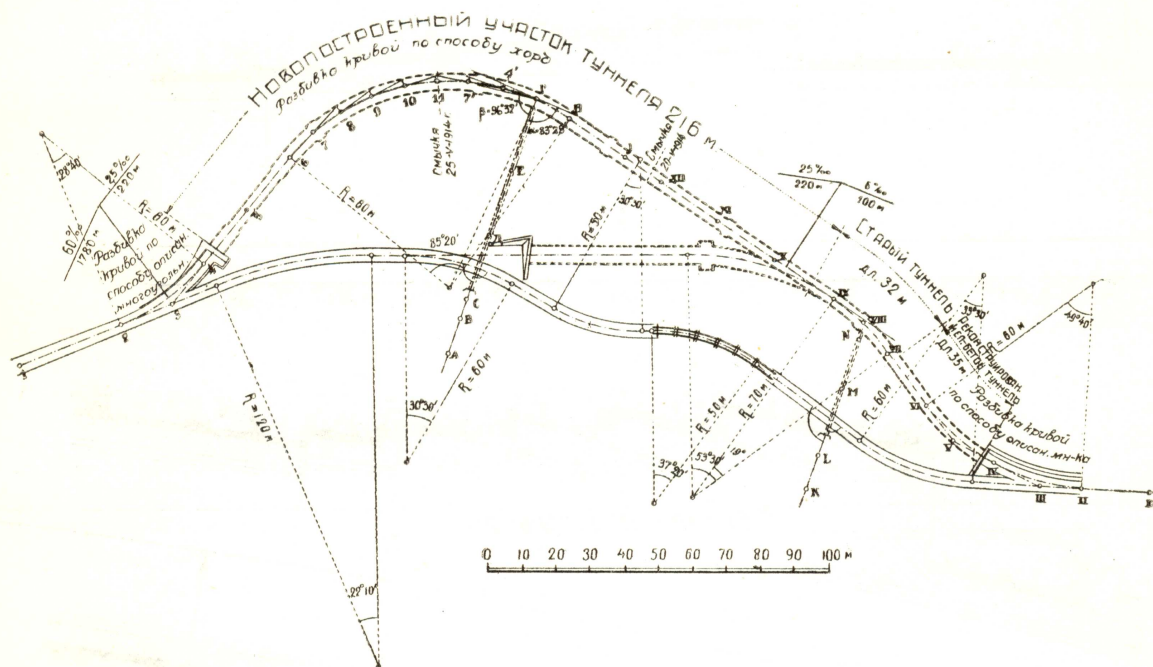


Чер. 82.

его полная длина составляет 283 м. Этот второй туннель залегает в глубине горного массива, в устойчивых горных породах. 216 м. туннеля сооружено вновь. 32 м. осталось от старого туннеля без переделки и 35 м. переделано с усилением обделки железо-бетоном. — Трассировка и разбивка нового туннеля производилась так: была восстановлена и заснята трасса линии вдоль шоссе. Эта трасса послужила основой для дальнейших построений (черт. 83). Имея трассу шоссе и план заснятого в горизонталях массива горы, нанесли на план проектируемую ось нового туннеля, наметили направления боковых штолен, — определили углы, образуемые направлением этих штолен с трассой линии по шоссе. Затем, приступили к разбивке боковых штолен при посредстве створов. Определив на трассе старого шоссе, дали теодолитом направление штольни и затем, наметили в натуре точки A, B, C и точки D, E и F . Затем, начали работу со стороны Хур. Восстановив точно ось старого шоссе и наметив тангенсы 2 и вершину угла поворота 3, соответствующую центральному углу $28^\circ 40'$, дали направление оси входной части туннеля. Со стороны Ароза также восстановили точно ось старого шоссе и по способу описанного многоугольника разбили кривую радиусом 60 м. при центральном угле $49^\circ 40'$. На

Поучительный и интересный пример разбивки оси криволинейного туннеля имеется на 5,0—5,3 клм. дороги Хур-Ароза (Chur-Arosa) в кантоне Граубюнден в Швейцарии. Первоначально здесь не было никакого туннеля. Обвалы в горах вынудили соорудить первый туннель длиной 154 м. Однако, в 1913 г. произошли столь значительные оползни и смещения горного массива, в котором был пробит туннель, что обделка туннеля сильно деформировалась. Озабочиваясь безопасностью движения, было решено перестроить туннель. По новому проекту

небольшом участке эта кривая входит в старый туннель. На этом протяжении кривую разбивали по способу описанного многоугольника, затем наметили прямую вставку со стороны Хур и дальше разбивали кривую радиуса 60 м. по хордам. Тем временем начались работы в боковых штольнях. Когда боковые штольни дошли до оси туннеля, то расширили штольню и, руководствуясь данными камеральной работы, наметили направление касательной к кривой оси туннеля. Это были углы $96^{\circ}32'4''$ и $83^{\circ}27'56''$. Имея эти точки, стали в туннеле разбивать кривую по хордам. Смычки произошли 29 мая и 25 мая 1914 г. После этого проверили окончательную разбивку туннеля. Невязка оказалась не превышающей 2 см.



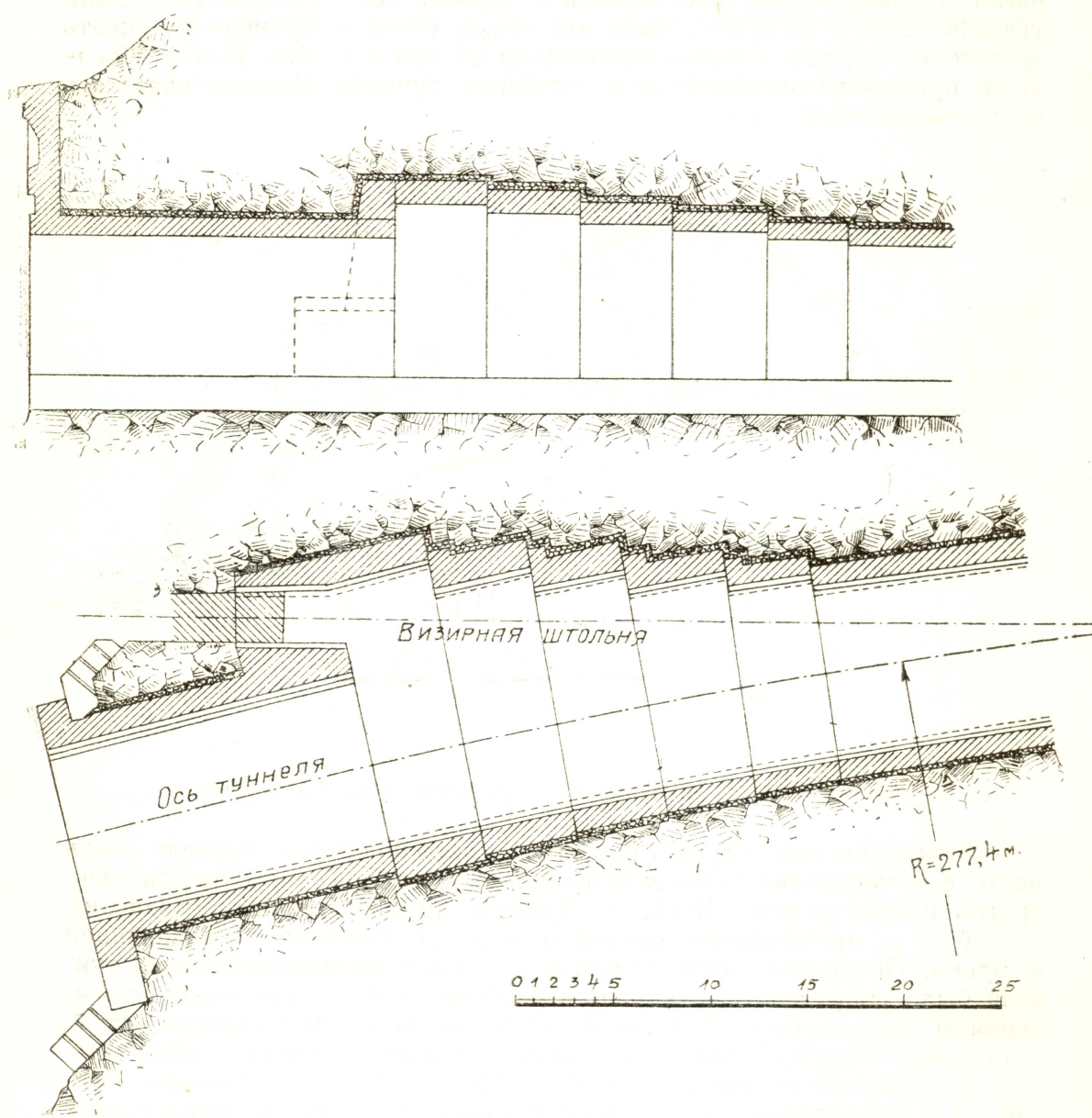
Чер. 83. Разбивка криволинейного туннеля на дороге Хур-Ароза.

Замечательный случай разбивки криволинейного туннеля имел место при постройке туннеля Веберкогель, расположенного на довольно крутой кривой радиуса 189,62 м. Туннель разрабатывался германским способом с применением опорного ядра и боковой направляющей штольни. Последнее обстоятельство в связи с криволинейностью туннеля было сопряжено в отношении разбивки работ с крупными осложнениями. Ось боковой штольни была расположена на удалении 3,26 м. в сторону, наружу кривой. Боковую штольню пришлось разбивать, как криволинейную, радиуса $189,62 + 3,26 = 192,88$ м. Установка отвесов „А“ (обозначение дано применительно к чер. 80) не представила трудностей. Не было трудностей и в выноске отвеса „В“, но когда пришлось определять ось туннеля и находить точки „С“, то всякий раз приходилось высчитывать и вводить поправки на уменьшение кривизны осевой продольной линии туннеля. Это оказалось делом хлопотливым и сопряженным в процессе работы по разбивке с погрешностями. Впрочем, небольшая длина туннеля—360 м.—значительно сократила объем хлопотливых работ и уменьшила неверность по разбивке.

Визирные штольни. Если туннель, хотя бы даже на незначительном своем протяжении, в своей входной части расположен на кривой, то это несколько усложняет трассировку туннеля. Поэтому в целях

более простой и удобной трассировки, а затем для облегчения разбивки оси туннеля под землей обращаются к способу так называемых „визирных штолен“. Обычно визирные штольни не имеют за собой иного технического оправдания, как только служить для более удобной и верной разбивки оси туннеля.

Примеры визирных штолен немногочисленны.



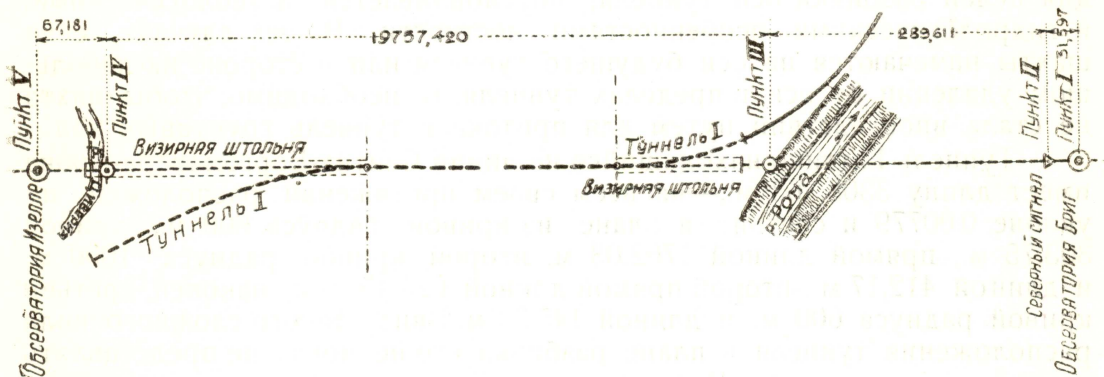
Чер. 84. Визирная штольня Сурамского туннеля. (Заснята в 1927 г.).

При постройке Сурамского туннеля на Кавказе длиной 3972,71 м. в западной части его, расположенной на кривой радиуса 277,4 м., была пробита „визирная штольня“ (чер. 84), ныне заделанная каменной кладкой и видимая снаружи туннеля со стороны ст. Ципа.

Симплонский туннель, как известно, состоит из двух однопутных туннелей, расположенных на расстоянии 17,0 м. ось от оси другого. В своей как южной, так и северной части, со стороны ст. Бриг и Изелле туннель разбит по кривой радиуса 300 м. В виду того, что трассировка

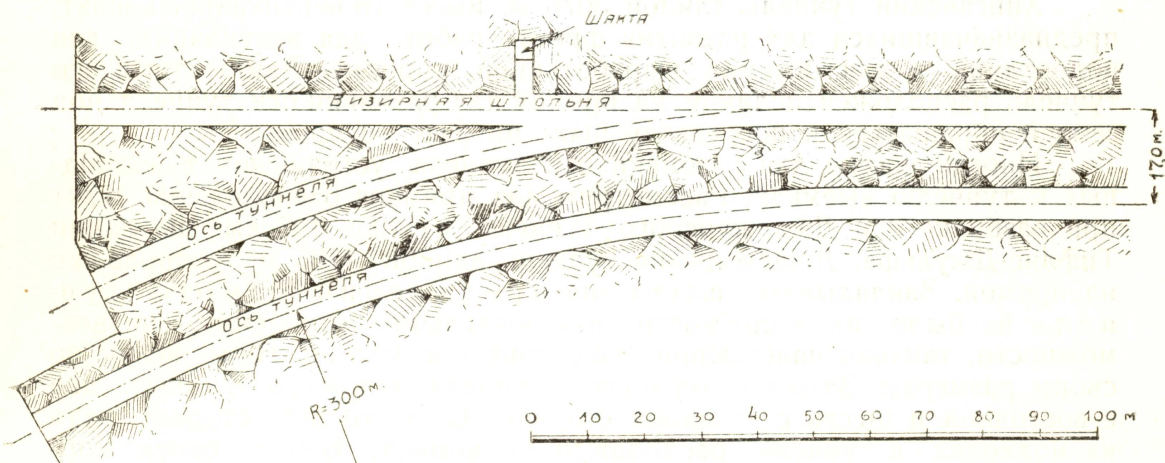
этого величайшего в мире железнодорожного туннеля—его длина 19,87 км.—представляла собой не мало трудностей—были пробиты „визирные штольни“ (чер. 85).

Сен-Готардский туннель в южной части в стороны Айроло разбит на кривой радиуса 300 м. Для того, чтобы в наибольшей мере обеспечить верность работ по разбивке оси туннеля под землей, была задана визирная штольня. Устройством ее открывалась возможность трассировать ось туннеля на поверхности земли по прямому направлению от северной обсерватории до южной обсерватории, при чем в северной части со стороны Гешенен пришлось пробить визирную штольню в небольшом отроге хребта. Таким образом, здесь образовалась еще и штольня, отдельно расположенная от главного туннеля.



Чер. 85. Общий план расположения визирных штолен Симплонского туннеля.

Иногда устройством визирной штольни достигается не только цель дать возможность верного производства работ по трассировке и разбивке оси туннеля, но так же и обеспечить наилучшую вентиляцию. Прекрасным примером сказанного может служить круговой туннель в Швейцарии, разбитый при посредстве визирной штольни.



Чер. 86. Визирная штольня Симплонского туннеля.

Таким образом устройством визирных штолен достигается упрощение и точность в разбивке криволинейных туннелей. Применение визирных штолен весьма целесообразно при криволинейных очертаниях входов длинных туннелей.

§ 4. Вертикальные и наклонные шахты. Горизонтально расположенные штольни (окна). Способ разбивки туннеля при посредстве

шахт весьма удобен и рационален. Применение шахт бывает возможно только тогда, если горный массив над туннелем не очень велик.

Весьма рационально пользоваться для работ по разбивке туннеля теми шахтами, которые предназначаются для увеличения фронта строительных работ и, таким образом, имеют свое экономическое оправдание, независимо от пользования ими для разбивки оси туннеля. Закладывать же шахты специально только для разбивки оси туннеля бывает обычно весьма дорого. К тому же надо заметить, что такие специальные шахты бывают нужны только в исключительных случаях при сложном криволинейном расположении туннеля в плане.

Выбор мест расположения шахт, независимо даже от того, предназначаются ли они для развития фронта работ или исключительно для целей разбивки оси туннеля, обуславливается и геологическими, и гидрологическими особенностями местности. В тех случаях, если шахты намечаются на оси будущего туннеля или в стороне на небольшом удалении от оси в пределах туннеля, то необходимо, чтобы шахта не стала впоследствии путем для притока в туннель грунтовых вод.

Туннель Гаттико находящийся на линии Сантья-Боргоманера-Арона имеет длину 3308, 63 м.,—на всем своем протяжении расположен на уклоне 0,00779 и состоит в плане из кривой радиуса 600 м., длиной 303,75 м., прямой длиной 1762,03 м. второй кривой радиуса 1000 м. и длиной 412,17 м., второй прямой длиной 625,45 м. и, наконец, третьей кривой радиуса 600 м. и длиной 145,23 м. Ввиду такого сложного вида расположения туннеля в плане разбивка его не могла не представлять известных трудностей. Вместе с тем Гаттико туннель представлял трудности не только для геодезических работ под землей, но и строительные: туннель односкатный. Поэтому пробивать его с обеих сторон обычным порядком не представлялось возможным ввиду водоносности грунтов. Для развития фронта работ было заложено 4 вертикальных шахты. Этими шахтами воспользовались и для разбивки туннелей под землей. Замечательно то, что эти шахты заложены не на оси туннеля, а несколько в стороне.

Хинганский туннель длиной 3078 м. имеет 18 вертикальных шахт, предназначавшихся для развития фронта работ, для вентиляции, для водоотлива и для выемки выработанной породы.—Ввиду того, что туннель расположен целиком на прямой для разбивки оси туннеля под землей обращаться к посредству шахт ни разу не пришлось.

Иногда шахты для разбивки оси туннеля устраивают в подходящих к туннелю выемках. Рассмотрим для примера расположение шахт при разбивке оси Джаджурского туннеля на 195—197 км. на линии Тифлис-Джюльфа. Джаджурский туннель длиной 1705 м. расположен на прямой. Закладывать шахты на протяжении самого туннеля не было ни надобности в строительном отношении, ни возможности, так как налегающий над туннелем массив горы велик по своим размерам. Зато на подходах к туннелю заложено 8 шахт: две с восточной и шесть с западной стороны. С восточной стороны путь на подходах к туннелю расположен по кривой. В 6 м. перед порталом расположена направляющая и рабочая шахта глубиной около 24 м. Эта шахта служила для разработки подходной выемки и для разбивки оси туннеля. Хотя Джаджурский туннель и расположен по прямой, однако подходы к нему расположены на кривых.—При разбивке туннеля с восточной стороны было признано необходимым для точности производства работ по разбивке оси туннеля задать визирную штольню в 56 м. Эта штольня должна была служить исключительно при разбивке оси туннеля внутри горного массива. Для разбивки этой

галереи потребовалось заложить 2 шахты глубиной 17 м. С западной стороны подход к туннелю так же расположен по кривой радиуса 600 м. как и на восточной стороне, но только кривая здесь идет в обратную сторону и образует букву S. Затем, идет прямая вставка длиной 1762,03 м., а далее опять обратная кривая радиуса 1000 м., что опять дает в плане букву S. Ввиду этих двух S-ов главным образом ввиду второго S'a в целях более точной разбивки подходов к туннелю заложили пять шахт на оси пути, из них 3 шахты в местах начала кривой (характерные точки) и две шахты на протяжении первой ближайшей к туннелю кривой, приблизительно на равном расстоянии друг от друга. Эти пять шахт глубиной последовательно 23,5 м., 21,5 м., 19,5 м., 16,0 м. и 12,0 м. дали возможность верно пробить штольную и разрабатывать выемку английским способом. В целях же точной разбивки самого туннеля пришлось задать визирную штольную длиной около 48 м., для чего по направлению линии туннеля 38 м. от портала пришлось заложить еще одну шахту,—глубиной 29,8 м.

Наклонные шахты. Наряду со способом производства туннельных работ при посредстве вертикальных шахт можно встретить применение шахт наклонных. Разбивка их без сомнения представляет большие трудности, нежели шахт вертикальных, но зато в строительном отношении устройство их обычно сопряжено со значительными выгодами в отношении вывозки горной породы из туннеля.

При постройке туннеля 521 вер. Сев. Донецкой жел. дор. в 75 м. от Родаковского портала на отмете 166,00 м. была заложена наклонная шахта и доведена до основания туннеля (до отм. 136,00 м.) Шахта расположена на оси туннеля и имела уклон 1:1,5. Ее длина около 55,5 м. размер 2,3 x 2,3 м.

Наклонные шахты имеют применение и в гидротехнических туннелях при постройке гидро-электрических станций. Так, напр., при постройке туннеля Штрубклам пробита шахта длиной 134,54 м. под углом 45°. Работа усложнилась тем, что начало шахты и конец ее лежат в массиве горы.

При постройке туннеля Мусконетконг в Сев. Америке длиной 1471,9 м. было применено две шахты: одна вертикальная глубиной около 35 м. и другая наклонная с уклоном 1:1,5 длиной около 82 м.

При постройке туннеля Нескехонинг была заложена наклонная шахта с уклоном 1:1,6 м. Длина шахты 160 м.

Горизонтально расположенные штольни (окна). В тех случаях, если туннель расположен в склоне горы, для производства геодезических работ для разбивки оси туннеля бывает возможно обратиться к посредству вспомогательных горизонтально расположенных штолен (окон). Применение горизонтальных штолен будет тем рациональнее, чем сложнее очертание туннелей в плане.

Наряду с удобством применения горизонтально расположенных штолен в отношении производства разбивки оси туннеля под землей, эти штольни довольно часто назначаются исключительно и по соображениям тех выгод, которые достигаются в самом производстве строительных работ: увеличивается фронт работ по разработке туннеля, удобно осуществляется удаление горной породы на коротком расстоянии ее вывозки. Таким образом применение горизонтальных штолен, при заложении туннелей в склонах горы довольно часто, независимо даже от соображений, связанных с разбивкой оси туннеля под землей.

После производства работ общерекогносцировочного характера намечаются пункты, откуда будут сделаны проработки штолен. Все выбранные места должны иметь за собой следующее оправдание:

1. Размер проработки штольни (окна) должен быть возможно незначителен. Практически, на основании ряда туннельных работ, можно считать, что проработка (окно) в среднем редко достигает длины 100 м. и обычно колеблется в пределах от 40 до 60 м. Сечение окна около $2,0 \times 2,0$ м.

2. Геологические условия должны быть достаточно благоприятны. Известно (см. мой труд „Основы геологии при проведении туннелей“ изд. 1928 г. стр. 10), что при заложении туннеля в склоне горы всегда бывает больше шансов встретить слабые сильно разрушенные горные породы.

3. Все места, выбранные для заложения штолен (окон), должны обладать доступностью и реальной возможностью производства разработки.

4. Все места, выбранные для заложения штолен, должны так же обладать хорошей видимостью и возможностью геометрической (полигонной) или тригонометрической (триангуляционной) увязки.

Прекрасный пример разбивки оси туннелей при посредстве боковых штолен дает участок жел. дор. линии Давос-Филизур (см. чер. 20).

Туннель Зильберберг длиной 964 м. имеет три боковых штольни протяжением 13,92 м., 21,69 м. и 66,47 м.

Следующие два туннеля—Бромбенц I и Бромбенц II ввиду их незначительной длины—113 м. и 232,5 м. удалось разбить без посредства боковых штолен.

Четвертый туннель Бэрентрит длиной 968 м. ввиду его криволинейности,—три кривых с двумя прямыми вставками,—пришлось разбивать при посредстве трех боковых штолен в 21,31 м., 45,34 м. и 31,86 м.

Пятый туннель Визенер I расположен на кривой радиуса 200 м. имеет прямую вставку, затем опять на кривой радиуса 250 м. и опять на прямой. Полная длина туннеля 450 м. Однако, фактически по ситуации местности представилось возможным заложить только лишь одну боковую штольню длиной 24,08 м. Другие боковые штольни получались длинными и слишком дорогими.

Что касается шестого туннеля Визенер II, то ввиду небольшой длины 96,5 м. разбивка его не представила затруднений.

Гидротехнические туннели, предназначенные для пропуска воды, в целях использования ее для гидро-электрических станций в большинстве случаев залегают в склонах горы и потому по своим естественным условиям имеют много благоприятных обстоятельств к тому, чтобы при разбивке их оси применялись боковые штольни.

Помимо того, что этим достигается удобство разбивки туннеля и открывается возможность развития фронта работ, в пользу применения именно боковых штолен предпочтительно перед вертикальными шахтами говорит еще и то, что гидротехнические напорные туннели испытывают значительное внутреннее давление и оказывают напор на горную породу, заделка же боковых штолен проще и надежнее, нежели вертикальных шахт.

Туннель Тейгич (Teigitsch) длиной 5256 м. имеет три боковых штольни 143 м., 140 м. и 95 м. На чер. 87 представлен план туннеля и показаны все три боковых штольни. Определение направления оси туннеля было произведено при посредстве политонной с'емки. Длина 1-го участка туннеля от головных сооружений до 1 боковой штольни Langmann составляет 1857 м. 2-ой участок туннеля от 1 штольни до 2 боковой штольни Raftler имеет протяжение 1455 м. 3-й участок

туннеля до 3 боковой штольни Leitenweber длиной 1415 м. и, наконец, 4-ый участок 1529 м. Обращают на себя внимание 1-ый и 3-ий участки туннеля: они не прямолинейны. Здесь сказалось влияние рельефа местности и геологических особенностей района. Желали остаться в благоприятном для сооружения гнейсе и не выходить с туннелем в слабые аллювальные отложения.

Направление боковой штольни дается или при помощи триангуляции, или же при посредстве работ, основанных на полигонной съемке. При этом не важно, чтобы направление боковой штольни образовывало с направлением оси туннеля обязательно прямой угол, как это рекомендовалось и практиковалось в конце прошлого века. В настоящее время имеется много прекрасных примеров, когда боковая штольня приходится на повороте (переломе) главного туннеля.

Как уже было сказано, применение боковых штолен в гидротехнических туннелях весьма значительно. В этом отношении, как на прекрасные примеры, возможно указать, помимо туннеля Тейгич, еще на следующие гидротехнические туннели.

Туннель Барберина длиной 2350 м. расположен на прямой и имеет одну боковую штольню длиной около 160 м.

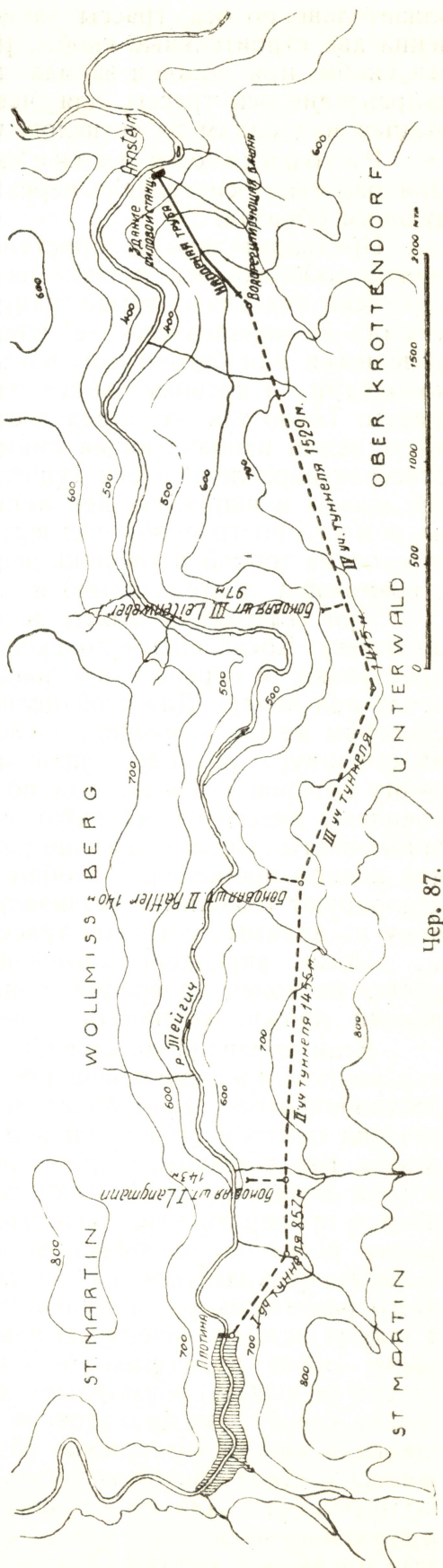
Туннель Амштег имеет в общей сложности 6 боковых штолен.

Туннель Партенштейн имеет 2 боковых штольни и одну шахту.

Разбивка вертикальных шахт. После выбора мест расположения шахт приступают к их разбивке. Впереди за шахтою на оси трассы устанавливают дополнительные сигналы вешки, для чего устанавливают и центрируют теодолит над одним из промежуточных пунктов трассы, лежащих ближе к шахте, берут направление по визирному знаку или по ближайшему сигналу и переносят направление возможно точнее на сигналы, установленные вблизи шахты.

Разбив точно центр шахты, приступают к установке первых венцов шахтной крепи.

Для проверки направления шахты при ее опускании поступают так: при-



Чер. 87.

близительно по оси трассы забивают с внутренней стороны верхнего венца две строительные скобы, располагая таковые горизонтально. На эти скобы, при помощи запила трехгранным напильником, переносят направление оси трассы, для чего пользуются теодолитом, центрированным над одним из сигналов, находящихся вблизи шахты.

Разбивка оси туннеля через вертикальные шахты. При разбивке оси туннеля через вертикальную шахту поступают следующим образом.

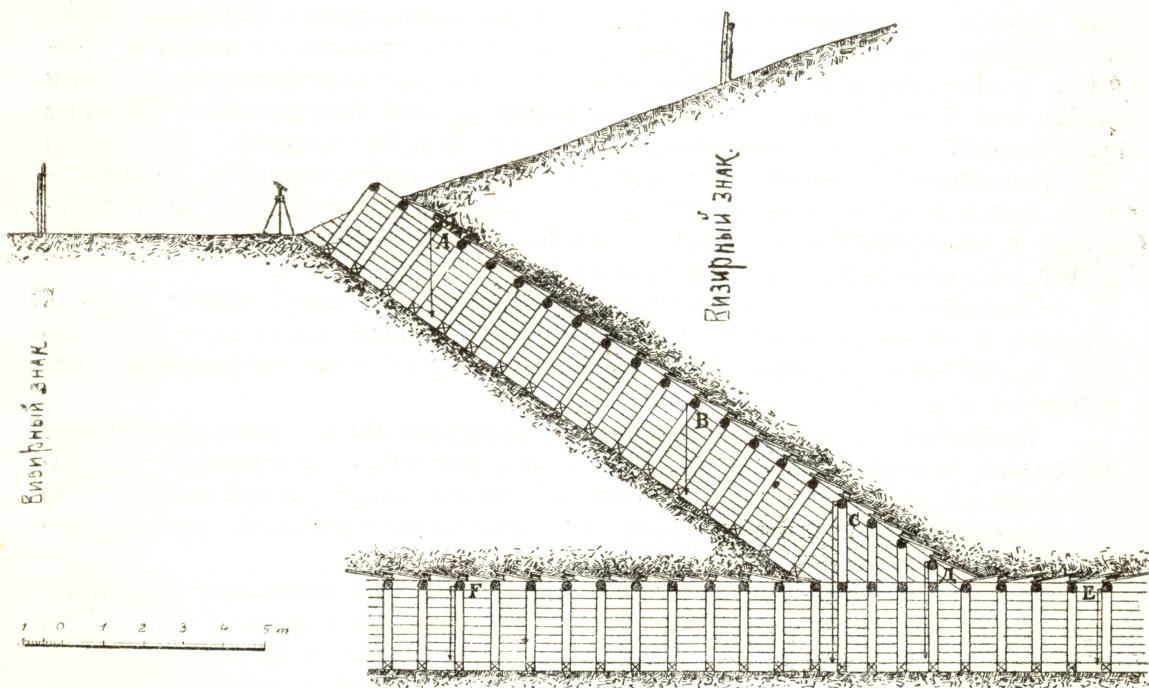
Предварительно до приступа к работам, после окончательной и точной разбивки оси туннеля на дневной поверхности земли одним из способов, описанных выше, намечается вертикальная ось шахты, причем ось ее определяется не менее, как тремя точками и закрепляется каменными или бетонными массивками с заделанными деревянными колодками, в которые забиваются гвозди, обозначающие точки оси шахты. Точно так же определяется и закрепляется на дневной поверхности земли направляющая линия туннеля в случае, когда ось шахты отнесена параллельно оси туннеля. После весьма тщательной разбивки оси шахты и направляющей линии точки оси отмечаются по теодолиту на помосте, построенном над вертикальной шахтой и затем, при помощи отвесов из тонкой проволоки переносятся на подошву шахты и туннеля с возможной тщательностью и там они закрепляются.

При углублении шахты направление оси туннеля определяется по отвесу. Когда шахта доведена до подошвы направляющей штольни, приступают к перенесению направления оси туннеля с поверхности земли под землю. Для этой цели вторично проверяют вышеуказанным способом метки на скобах, после чего к скобам у меток прикрепляют вместо шнура латунную проволоку толщиной в 1 мм., к нижнему концу которой невысоко над подошвой направляющей штольни, прикрепляют вместо отвеса гирию в 5 или 6 кг. в зависимости от глубины шахты. После того еще раз убеждаются в точности прикрепления концов проволоки к скобам против оси туннеля. Для этого вновь центрируют теодолит и устанавливают нитяный крест по самому дальнему из видимых сигналов трассы.

После закрепления лимба и алидады, труба переводится и визируется на конец проволоки, прикрепленной к скобе, причем ось проволоки должна совпадать с вертикальной нитью трубы теодолита.

Если конец проволоки из-за венца не виден в трубу, то точно над концом проволоки вешают к одной из перекладин надшахтной постройки отвес таким образом, чтобы острие отвеса находилось как раз над центром проволоки и направляют крест нитей уже на шнур отвеса. Все указанные приемы по центрировке верхних концов проволоки должны периодически повторяться всякий раз, когда намереваются проверить или продолжить ось направляющей штольни. Во время работ по разбивке всякие работы строительного характера должны прекратиться как в самой шахте, так и вблизи ее. После этого разбивщик со своими помощниками и инструментом спускается в шахту, оставив наверху сторожа, на обязанности которого лежит во время работ по разбивке никого не подпускать к шахте. Во время спуска в шахту, обязательно по лестнице, разбивщик должен тщательно следить за проволоками, чтобы они нигде не касались стен шахты и висели совершенно свободно. Если в некоторой точке проволока все-таки касается стенки, то дерево в месте касания должно подтесываться. Для того, чтобы гири, подвешенные к нижним концам проволоки, скорее успокоились, они погружаются в кадки, наполненные водой или нефтью. Когда гири совершенно успокоятся, вторично

проверяют, не касаются ли проволоки где либо стенок шахты и, окончательно убедившись в исправности произведенных работ, устанавливают в направляющей штольне теодолит, стараясь его установить так, чтобы задней (дальней) проволоки не было видно из-за передней (ближайшей), т. е. чтобы обе проволоки находились в одном створе. Лимб или алидада закрепляются. В верхних точках к потолку штольни подвешиваются отвесы, ось шнуров которых должна совпасть с вертикальной нитью трубы. Чтобы при этой работе проволоки шахтенных отвесов не мешали, их слегка отводят в сторону. Для прикрепления шнуров отвесов к потолку штольни употребляются специальные гвозди с отверстиями для продевания шнура отвеса. Гвоздь тоже вбивается в потолок направляющей штольни и при помощи теодолита устанавливается так, чтобы крест нитей совпадал с серединою ушка гвоздя. Если гвоздь окажется несовсем точно вбитым, то его центрируют легкими боковыми ударами.



Чер. 88.

В виду того, что во время работ гвозди и рамы в штольне могут быть сбиты с их первоначального положения, то поэтому под каждым отвесом располагают в горную породу ниже шпал вагонеточного пути, бетонные тумбочки с рельсовыми костылями так, чтобы центр головки костыля находился под острием отвеса. Во время производства строительных работ бетонные тумбочки засыпаются грунтом и прикрываются досками для предохранения от случайных повреждений. Такую разбивку, прежде чем ею пользоваться для направления штольни, следует повторить несколько раз и пользоваться средними точками для дальнейших работ под землей. Для предохранения скоб от ударов во время работы из шахты рекомендуется их зашить досками в виде ящика без дна, но с крышкой, запертою на замок.

Разбивка наклонных шахт вообще говоря трудна. Трудность работы состоит в том, что не только необходимо точно разбить центр шахты, как это делается в случае вертикальной шахты, но приходится

при посредстве теодолита все время вешить линию шахты, причем работа происходит в наклонном положении, что весьма неудобно. Трудность работы усугубляется еще тем, что перемещаться с инструментом по шахте обычно бывает крайне затруднительно. Ток воздуха вследствие обмена наружи весьма отзывается на видимости в трубе. Установка инструмента в наклонной шахте граничит с невозможностью. Приходится работать, имея теодолит все время на земной поверхности и направляя таковой в наклонное пространство иного освещения и состояния атмосферы.

Разбивка наклонных шахт производится так. Когда протрассирована линия и обозначен вход в наклонную шахту, то разбивают вход в шахту и отмечают кольями низ и верх будущей шахты, точки А и В (чер. 88). Затем устанавливают массивки. Место для инструментов так же обозначается геодезическим центром. Работы начинают с того, что дав первое направление шахты и после того, как будет начата разработка шахты и поставлены крепи, переносят направление трассы на верхний венец первой крепежной рамы. Вбивают скобу и опускают отвес. Весьма целесообразно неподалеко от входа в туннель в обе стороны от шахты вдоль трассы поставить визирные знаки дабы иметь постоянные точки для визирования направления. По мере углубления шахты дают направление ее вглубь массива. Для этого устанавливают теодолит на поверхности земли и наводят на визирные знаки и проверяют отвес С. Затем, наводят на отвесы, располагаемые в наклонной шахте через каждые 25 или 50 м. Работу повторяют несколько раз при различных положениях трубы.

Параллельно угломерным геодезическим работам должны вестись промер и нивелировка. В отношении наклонных шахт это требование является неразрывной частью основной разбивки направления наклонной шахты.

Разбивка оси туннеля через горизонтально расположенные штольни (окна). Как уже было сказано, все места, выбранные для заложения штолен, должны обладать доступностью, хорошей видимостью и геометрической (полигонной) или тригонометрической (триангуляционной) увязкой.

Когда направление штольни дано, то необходимо это направление точно и прочно закрепить на месте при посредстве створа. Для этого бывает достаточно и удобно пользоваться, в случае скальной породы, тремя вертикальными шпурами (бурками), в которые устанавливаются деревянные вехи. В случае слабого грунта, постановкой в грунт на глубину до 1,5 м. металлической газозой трубы, торчащей на высоту до 1,0 м. В нее устанавливается деревянная веха. При больших высоких вехах, во избежание опрокидывания ее и вырывания, ставят особый станок, представляющий собой металлическое кольцо, плотно обхватывающее веху на высоте 3 м. и подпираемое тремя упорами, распертыми, как тренога.

Расстояние до точки пересечения линии штольни с осью туннеля определяется вычислением согласно данных геодезических работ.

Когда штольня пробита и согласно промера найдена в натуре точка пересечения линии штольни с осью туннеля, то приступают к разбивке самой оси туннеля.

Для этого предстоит произвести некоторые подготовительные работы.

Во-первых, необходимо грубо задать направление оси туннеля и распорядиться разработать и убрать горную породу настолько, чтобы иметь простор для геодезических работ. Во-вторых, надо проделать

следующую кабинетную работу: вычислить угол, образуемый осью туннеля с направлением боковой штольни.

Когда обе эти работы закончены, то прежде всего тщательно еще раз проверяют направление штольни заново, проверяют все створы, по которым работалась штольня и заново промеряют в натуре расстояние вдоль штольни до точки пересечения ее с осью туннеля, окончательно точно определяют положение этой точки и закрепляют ее постановкой разбивочного знака в виде каменной или бетонной массивки.

Затем над центром этой точки на треножнике устанавливают теодолит и тщательно центрируют его и берут угол, под которым должна быть ось туннеля. На расстоянии около 20—30 м. в каждую сторону вдоль оси туннеля на скобах, забитых в верхняки крепей, устанавливаются отвесы. Эти отвесы устанавливаются точно, согласно указаний теодолита. В местах, где будут отвесы, устанавливаются массивки вышеописанного типа. Три массивки—две только что поставленные и третья в точке пересечения направления штольни с осью туннеля—дают створ, вполне обеспечивающий дальнейшую работу по предварительной разбивке туннеля, для нужд при разработке горной породы.

При окончательной разбивке надлежит вести работы инструментально, а не просто по одному створу, устанавливая для этого инструмент у начала штольни, в точке пересечения с осью туннеля.

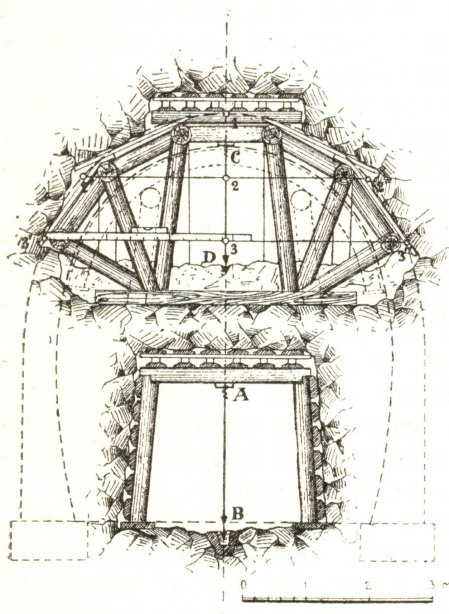
§ 5. Разбивка при разработке туннеля на полный профиль. Работа по разбивке туннеля в поперечном направлении, по существу своему трудностей не представляет. Приходится только указать на однообразную повторяемость одних и тех же операций, производимых повдоль туннеля, на незначительных друг от друга расстояниях. Это однообразие становится подчас столь утомительным и неинтересным, что приводит к уменьшению внимания в работе и к небрежному отношению. Между тем, разбивка туннеля в поперечном направлении, связанная с разработкой горной породы, не терпит ошибок, так как таковые приводят или к переборам горной породы, что требует заполнения кладкой и таким образом сопряжено с перерасходами, или к недоборам в выработке горной породы, а так как всякие недоборы породы оставлены быть не могут, то приходится в результате неверной разбивки возобновлять бурение шпуров, взрывные работы и т. д., что опять-таки удорожает постройку сооружения и может повлечь за собой переборы породы. Поэтому разбивка туннеля должна производиться так, чтобы при затрате возможно минимального количества времени и труда получались наиболее верные результаты. Поставленная перед нами задача, к сожалению, не может иметь одного общего решения и варьирует в своих деталях зависимо от различных обстоятельств, именно: от размера поперечного профиля туннеля, от общего вида этого профиля, от метода разработки горной породы и пр.

Рассматривая все способы разбивки поперечного профиля туннеля, можем различать два основных метода производства работ по разбивке: метод прямолинейных координат и метод полярных координат. В деталях своих, как сказано, эти методы могут иметь различные варианты, но сущность каждого из них в том или в другом случае остается вполне.

Метод прямолинейных координат. Сущность этого метода состоит в том, что вертикальная ось туннеля принимается за ось координат. Поперечный профиль по внешнему контуру обделки туннеля определяется прямолинейными координатами, перпендикулярными к вертикальной оси туннеля и расположенными в плоскости, нормаль-

ной к продольной оси туннеля. За начало координат (черт. 89) принимается точка пересечения оси туннеля с верхним контуром обделки. Таковой точкой на чертеже будет точка 1. Горизонтальные ординаты проводятся на равном друг от друга расстоянии, напр., через 1,0 или 1,5 мтр.

Производству работ в туннеле предшествует небольшая камеральная работа. Для данного типа обделки вычерчивается поперечный профиль обделки туннеля. Внешний контур обделки есть искомое очертание, которое нужно разбить на места работ. Наиболее удобным масштабом для чертежа можно рекомендовать 1:25. Графически определяется положение вышеуказанных координат на равном удалении друг от друга и по масштабу определяются величины этих ординат для точек 2, 3, 4 и т. д. Величину ординат возможно определять и аналитически. Когда известны ординаты внешнего контура обделки, то приступают к производству работ в самом туннеле.



Чер. 89. Разбивка поперечного профиля туннеля по методу прямолинейных координат.

Работы в туннеле начинаются с того, что выбирают участок от пикета до пикета длиной в 100 м. и находят в натуре массивки (центры) окончательной разбивки туннеля. Разбивка поперечного профиля должна быть осуществлена через каждые 20 м. Для этого пользуются вешками. Промерив расстояние от пикета до пикета и отметив точками расстояния через 20 м., выставляют вешки на протяжении пикета. Затем, при посредстве пантометра разбивают через каждые 20 м. поперечники и закрепляют положение поперечников вешками.

Одновременно с тем должна быть произведена нивелировка через каждые 20 м. верхних скоб, забитых в точке С.

Вышеописанная работа является общей для нескольких вариантов разбивки, не зависимо от размера поперечного профиля туннеля.

1 случай. Туннель незначительного поперечного профиля, причем туннель имеет меньшую ширину, нежели высоту, напр., однопутный жел.-дор. туннель. Когда сделана предварительная и окончательная разбивка оси туннеля, то для разработки туннеля поступают так (черт. 89): способом, уже описанным, устанавливается направление оси туннеля. Отвес С служит осью координат. Зная по нивелировке отметку скобы в точке С, определяют на отвесе положение точки 1, соответствующей верхнему очертанию свода и принимают эту точку за начало координат. Для этого можно поступать двояко: или путем нивелировки верхних скоб С, пользуясь для этого особыми подвесными рейками. Этот способ считается наиболее точным.

Или путем нивелировки по точкам, забитым под отвесом и уже затем при помощи реек переносят отметку на скобу С, пользуясь для этого рулеткой.

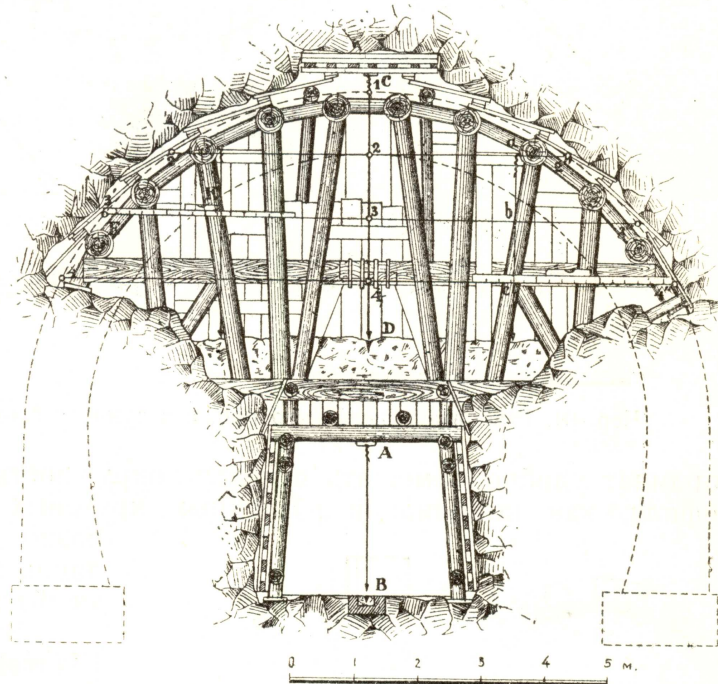
Когда определена точка 1, то по отвесу С откладывают какую-либо величину, напр., 1,0 или 1,5 мтр. Для этого пользуются рулеткой, а точки на проволоке отвеса отмечают особым зажимом или же

пользуются деревянной рейкой, разбитой на требуемые величины и на время производства работ держат эту рейку в вертикальном положении, упирая ее в точку 1.

Затем, при посредстве рейки и ватерпаса проводят в плоскости, перпендикулярной к продольной оси туннеля, ординаты 2—2, 3—3, 4—4. Эти расстояния откладываются на основании величин, предварительно найденных аналитически или графически. Таким образом определяют положение внешнего контура. Описанный способ, как сказано, удобен в случае небольшой сравнительно ширины туннеля, когда имеется возможность пользоваться рейками сравнительно небольшой длины (до 3,75 м.).

2 случай. Туннель значительной ширины, напр., двухпутный жел.-дор. туннель или туннель метрополитена. В данном случае ординаты получаются столь значительной длины, что пришлось бы пользоваться рейками длиной до 6,0 мтр. Это усложняло бы работу в темных и тесных пространствах туннельной разработки. Поэтому поступают так (черт. 90). На ряду с основной осью координат, проходящей через ось симметрии поперечного профиля туннеля, переносят систему координат сначала вправо, а затем влево так, чтобы иметь возможность уменьшить размер ординат, откладываемых в горизонтальном направлении до внешнего контура туннеля. Поэтому сущность этого способа в случае широкого туннеля не меняется.

3 случай. Туннель имеет сложное очертание поперечного профиля (черт. 91). Этот вид поперечного профиля туннеля встречается, как известно,

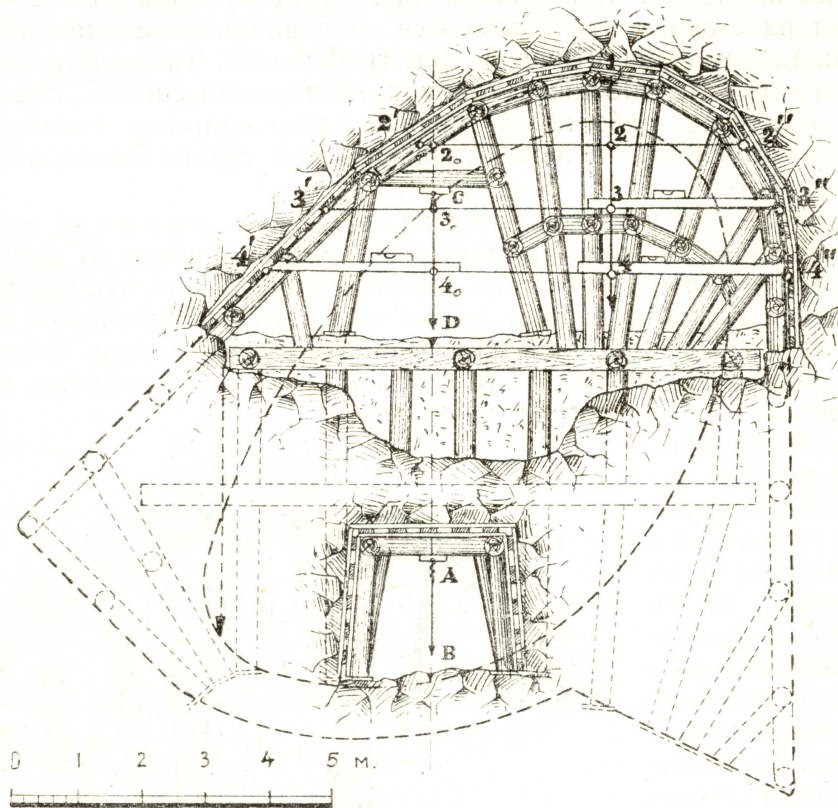


Чер. 90. Разбивка поперечного профиля туннеля значительной ширины по методу прямолинейных координат.

при расположении туннеля в косогоре, при сильном боковом горном давлении. Разбивка поперечного профиля подобного очертания производится так же по методу прямолинейных координат. Отличительной особенностью здесь будет то, что при таком сложном профиле приходится менять систему координат иногда несколько раз. За основную систему координат целесообразно принимать ось верхней направляющей штольни. Однако, в процессе разработки туннеля приходится отклоняться в сторону и разрабатывать горную породу выше верхней направляющей штольни. Это требует не только новой системы координат, но приходится путем рейки и ватерпаса определять еще и превышение этих отметок контура обделки туннеля в верхней части разработки.

Метод полярных координат. Сущность этого метода состоит в том, что берется на оси туннеля характерная для профиля точка. Та-

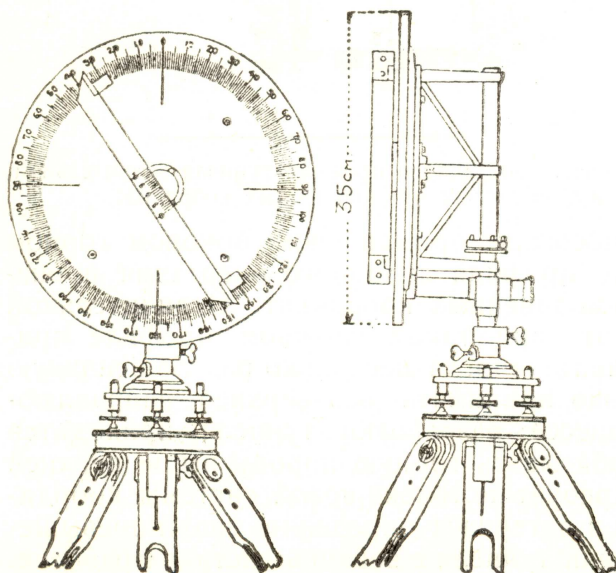
ковой точкой, принимаемой за начало полярных координат, может, вообще говоря, быть любая точка на оси туннеля, но целесообразно выбирать следующие: в случае кругового очертания туннеля, как это имеет место для многих напорных гидротехнических туннелей, начало



Чер. 91. Разбивка поперечного профиля туннеля сложного очертания.

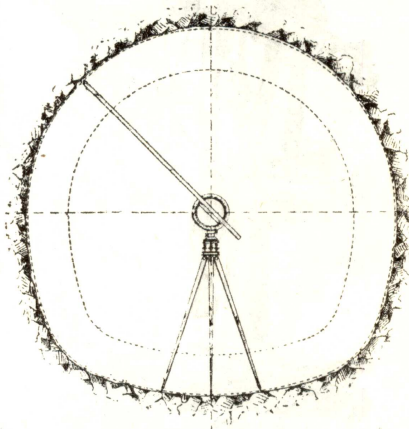
координат удобно помещать в центре окружности. В случае очертания профиля, как комбинации различных круговых очертаний, целесообразно брать за начало полярных координат центр хотя бы некоторых кривых.

В Сев.-Америк. Соед. Штатах для разбивки профиля некоторых гидротехнических туннелей с успехом применялся особый инструмент — „полярный транспортир“ „Polar Protractor“ (черт. 92). Он состоит из диска диаметром от 0,35 до 0,6 м., разделенного на градусы и укрепленного на треножнике так, что этот диск может быть путем нивелировки установлен точно на требуемой высоте. Прибор расположен на особом стержне, может подниматься по высоте и вращаться вокруг это-

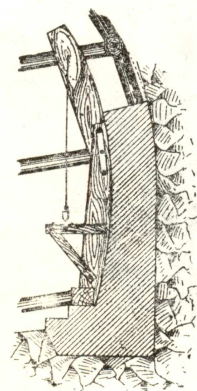


Чер. 92. Полярный транспортир для работ по разбивке поперечного профиля туннеля.

го стержня. На передней стороне диска расположена деревянная подпорка. Эта подпорка может быть установлена под любым углом и в таком положении закрепляется. Одна грань подпорки должна точно проходить через центр диска. При работе прибор устанавливается так (черт. 93), чтобы центр диска приходился не только точно на вертикальной оси туннеля, но совпадал бы с центром окружности очертания профиля туннеля. Когда прибор установлен и закреплен, то на расположенную с внешней грани диска подпорку накладывается длинная измерительная деревянная рейка, несколько суживающаяся к концу, окованная медью и разделенная на сантиметры. Стержень во время работы поддерживается рукой. Работа прибором не представляет затруднений и понятна из прилагаемого чертежа. Работе в туннеле предшествует камеральная работа по определению величины полярных координат для различных углов. При работе в туннеле после того, как будет установлен прибор точно в выбранном центре полярных координат, подпорку, вращающуюся на диске, попеременно ставят под различными углами и очертания выработки туннеля определяют, прикладывая рейку.



Чер. 93. Разбивка поперечного профиля туннеля по методу полярных координат.



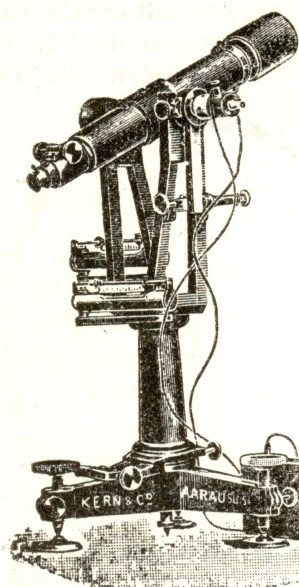
Чер. 94.

Контроль разбивки профиля по шаблонам. Этот контроль разбивки профиля может касаться в одинаковой мере как внешнего контура обделки, т. е. очертания горной выработки, так равно и внутреннего очертания обделки туннеля. В своем практическом осуществлении этот метод работы особенно удобен для небольших туннелей с малым поперечным профилем, каковы гидротехнические туннели. Здесь методом шаблонов весьма удобно получать очертания как для разработки породы, так, главным образом, для внутреннего контура. Что же касается до применения шаблонов при разбивке поперечного профиля больших горных туннелей, то практически здесь много неудобств. Потребовались бы большие шаблоны, а это недостижимо в виду тесноты разрабатываемых туннельных пространств, пользование же мелкими небольшого размера шаблонами может привести к ошибкам иногда весьма значительного размера. Все же нельзя не отметить, что при разработке больших туннелей иногда применение шаблонов может стать весьма целесообразным. На прилагаемом черт. 94 показан случай применения шаблона для обделки большого железнодорожного туннеля.

§ 6. Производство работ по разбивке оси туннеля. Инструменты для подземных геодезических работ. В отношении производства работ по разбивке оси туннеля под землей нужно различать разбивку прямолинейных туннелей или прямолинейных участков туннеля, во-первых, и криволинейных туннелей или криволинейных участков туннеля, во-вторых.

В первом случае для производства работ по разбивке оси прямолинейных туннелей применяются инструменты большей оптической силы и более простого устройства.

Во втором случае, для разбивки оси криволинейных участков туннеля нет надобности в значительной оптической силе теодолита, но зато требуется повышенная точность в отсчетах измеряемого угла.



Фиг. 95.

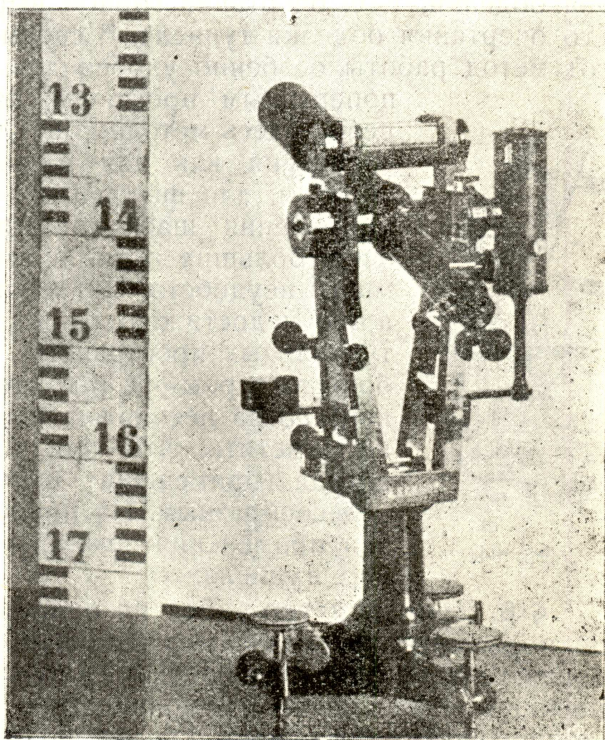
В обоих случаях теодолит для подземных туннельных работ должен отличаться портативностью, хорошей конструкцией и уравновешенностью частей.

Повторительный теодолит фирмы Керн (Kern) в Арау в Швейцарии (фиг. 95) весьма широко распространен для разбивки длинных прямолинейных туннелей. Этот инструмент применялся для разбивки оси туннелей Симплонского, Лечбергского, Хауэнштейнского (базисного II), Рикенского и многих других. Его характеристика такова:

Диаметр об'екта трубы . . .	40 мм.
Длина трубы	320 мм.
Увеличение	35 раз.

Ось вращения сделана полый для освещения нитей при посредстве небольшой электрической лампочки при двух сухих батареях, из которых одна запасная. Горизонтальный микрометрический винт. Солидный устойчивый треножник. Нет ни горизонтального, ни вертикального кругов. Эта простота конструкции ни в коем случае не является в ущерб достоинств теодолита, напротив, эта простота характерна для основного назначения инструмента служить для разбивки прямолинейных длинных туннелей.

Описываемый теодолит фирмы Керн имеет иногда некоторые отличительные детали. При разбивке оси Симплонского туннеля применялось по два теодолита фирмы Керн с каждой стороны пробиваемого туннеля, при чем один инструмент (фиг. 96) предназначался исключительно для внутренней разбивки оси туннеля, для чего устанавливался на треножнике, переносном внутри туннеля. Другой теодолит несколько большего размера был установлен на башне (обсерватории) и так же предназначался для разбивочных работ оси внутри туннеля. Нити окуляра освещались ацетиленовой лампой. Кроме того, были еще



Фиг. 96.

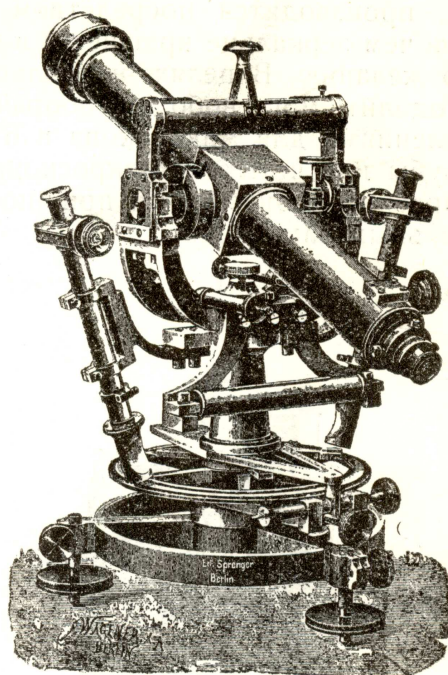
некоторые отличительные особенности. Как и у первого типа, у второго типа инструмента отсутствовали вертикальный и горизонтальный круги.

Теодолит фирмы Эд. Шпренгер (Sprenger) Берлин (фиг. 97). Для подземных туннельных разбивок этот инструмент довольно распространен. Его характеристика такова:

Горизонтальный круг диамет-
ром 17,5 см.
Отсчет по микроскопам произ-
водится с точностью до . . . 5"
Отверстие объекта трубы тео-
долита 30 мм.
Длина трубы 432 мм.
Увеличение 5, 45 и 60 раз.

Благодаря достаточной точности в отсчетах по кругам и в виду портативности этот инструмент рекомендуется многими специалистами практиками туннельного дела для разбивок криволинейных туннелей. Цена этого инструмента около 500 руб.

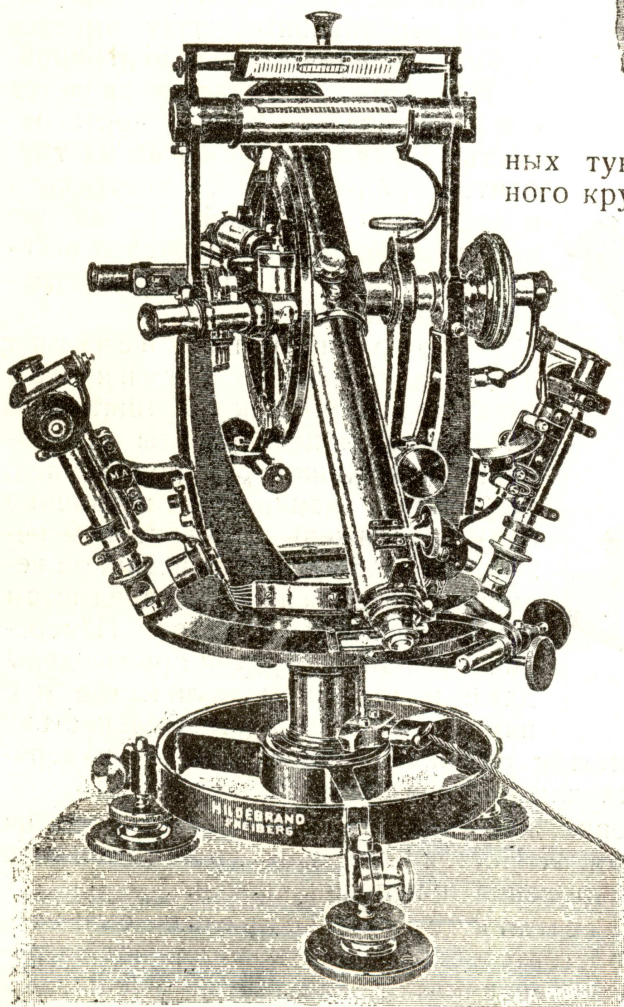
Такой же теодолит той же фирмы, но несколько меньшего размера так же пригоден для разбивок криволиней-



Фиг. 97.

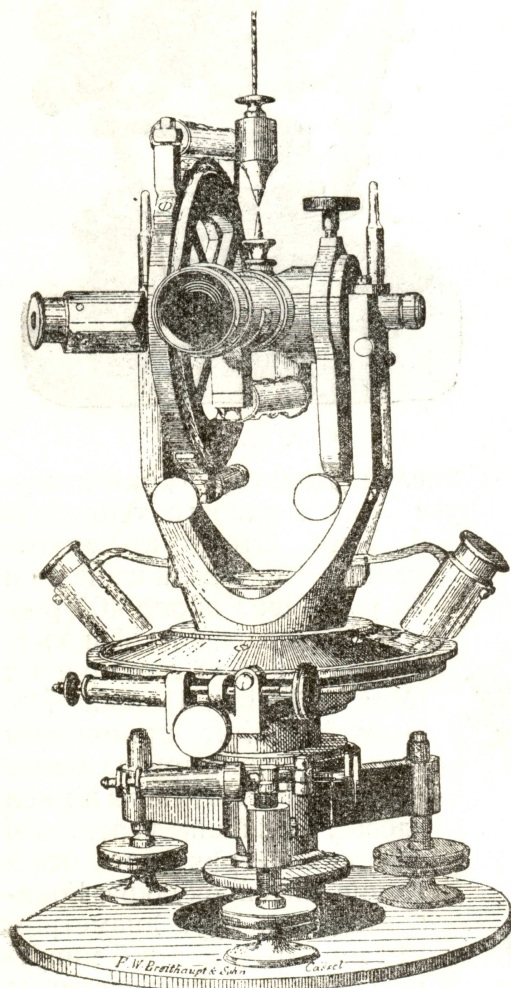
ных туннелей. Диаметр горизонтального круга этого меньшего теодолита 13,5 мм. Отсчет по микроскопам 10". Увеличение 24 и 35 раз. Цена около 400 руб.

Теодолит фирмы Макс Гильдебранд (Max Hildebrand) (фиг. 89). Этот теодолит применялся между прочим при разбивке Лечбергского туннеля и имел здесь большой успех. Он имеет электрическое освещение нитей окуляра. Горизонтальный круг диаметром 210 мм. Круг имеет 5 минутные деления, обозначенные цифрами. Оба микроскопа имеют 60 кратное увеличение. Вращение микрометричным винтом дает за один поворот движение обеих нитей на 2". Барабан разделен на 60 частей. Это дает возможность непосредственно делать отсчеты с точностью до 2". При помощи ноноуса оценка может делаться до 0,2". Три окуляра дают воз-



Фиг. 89.

можность достигать увеличений в 28, в 34 и в 42 раза. Состоящий из двух частей объектив имеет отверстие в 41 мм. и фокусное расстояние 380 мм. Освещение нитяного креста, кстати сказать, необычайно тонкого, производится посредством небольшого позолоченного зеркальца, при чем зеркальце вращается и это дает возможность изменять яркость по желанию. В целях наибольшего совершенства и для того, чтобы теодолит мог свободно оборачиваться, имеется вертикальный круг с делениями для микроскопа в 6". Освещение поля зрения в отверстии трубы и в четырех микроскопах равно как и в обоих микроскопах барабана производится при посредстве маленьких электрических ка-лильных лампочек.



Фиг. 99.

Теодолит фирмы Брейтгаупт (Breithaupt) в Касселе (фиг. 99). Так же нередко применяется для туннельных разбивок. Он имеет горизонтальный и вертикальный круги и таким образом универсален для разбивок криволинейных туннелей. Его особенность между прочим в том, что он приспособлен для центрировки при спущенных отвесах. В туннельном деле особенно при наличии вертикальных шахт имеется надобность в такого рода центрировке. Некоторым недостатком является его сравнительно малая портативность. Отзывы о работе этим инструментом при разбивке Джаджурского и некоторых Крымских, а так же многих швейцарских туннелей весьма благоприятны. Стоимость инструмента около 400 рублей.

Погрешности невязки при разбивке оси туннелей под землей. Как бы тщательно ни производились работы по разбивке туннельной оси под землей, результаты измерений неизменно будут сопряжены с уклонением результатов измерений от истинной величины, которая является предметом наших исканий и работ. Измерения и разбивки, будучи произведены даже в огромном количестве и с наивозможнейшей тщательностью,

неизбежно будут разниться между собой. Истинное значение измеряемой величины всегда остается для нас неизвестным.

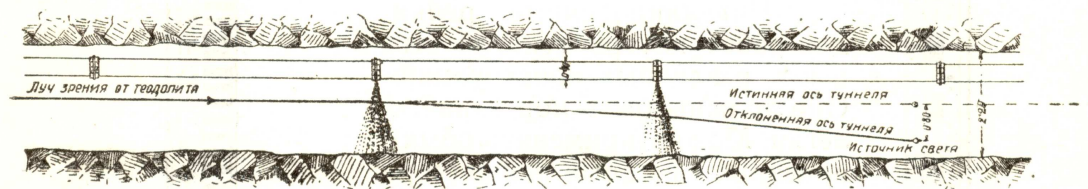
Все погрешности измерений, как известно, можно разбивать на три группы: 1. Грубые ошибки. 2. Постоянные или систематические погрешности. 3. Случайные отклонения и неправильности.

Постоянные или систематические погрешности есть те, которые при одинаковых обстоятельствах одинаково влияют на результаты измерений: или всегда увеличивают, или всегда уменьшают результат. Погрешности этого рода бывают теоретические, инструментальные и личные. Для сведения к минимуму влияния постоянных (си-

стематических) погрешностей измерения и как контроль над ранее произведенными наблюдениями производится ряд повторных наблюдений одной и той же величины при одинаковых условиях наблюдения. Это, как известно, есть задача теории ошибок наблюдений или уравнивания ошибок.

Случайные отклонения или неправильности наиболее трудно подвергаются учету. Причины их весьма разнообразны: колебания трубы теодолита током воздуха во время измерения углов. Неправильное освещение предмета (фаза предмета), напр. проволока освещена сбоку. Несовершенства наших чувств и т. д. все это дает случайные неправильности. Усвоением ряда навыков и устранением возможности впасть в случайную ошибку до некоторой степени можно парализовать некоторые случайные ошибки.

В процессе производства туннельных работ наблюдаются как деформации крепей, так равно и перемещения обнаженной горной породы. Под действие горного давления происходят не только нарушения в верхней части штольни, но и выпирание подошвы туннеля. Таким образом те места, где заложены разбивочные знаки (центры), оказываются не всегда неподвижными и поэтому не всегда надежны. Это, конечно, не может не отзываться на верности работ по разбивке оси туннеля подземлей. Вопрос обычно усложняется еще тем, что разбивка туннеля уходит вперед, а позади начинаются деформации горной породы и смещения заложенных центров. Иногда эти перемещения происходят в явно-различимой форме, в большинстве же случаев



Чер. 100.

плавно и едва уловимы на глаз. Последнее обстоятельство еще больше увеличивает риск впасть в заблуждение и дать неверную разбивку, так как по мере продолжения разбивки вглубь туннеля приходится основываться на предыдущих знаках („центрах“), а они то как раз и подвергаются перемещению.

Примеры далеко не единичны и по характеру своему поучительны и интересны.

В Лечбергском туннеле на удалении 2,2 км. от южного портала смещение наблюдалось до 0,07 мтр. В области горного давления на удалении 3,5 км. от северного портала положение центров менялось, что обнаруживалось всякий раз при проверке окончательной разбивки.

В Хауэнштейнском базисном туннеле неоднократно наблюдались случаи выпирания подошвы туннеля и нарушения целостности центров.

В туннеле возле ст. Дружинино Моск.-Каз. ж. д. выпирание подошвы происходило медленно, но достигло большой величины. При проверке окончательной разбивки были обнаружены смещения центров на 0,08 м. по высоте и до 0,04 м. в сторону.

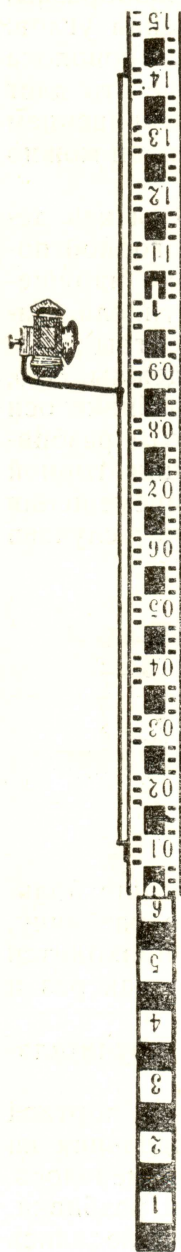
В туннелях иногда наблюдается очень интересное явление. Луч зрения из трубы теодолита отклоняется в сторону. Причиной бывает выход сжатого воздуха из фланцев воздухопровода. Как это видно из прилагаемого чертежа (чер. 100), источник света, видимый в трубе те-

одолита, фактически оказывается не на истинной оси туннеля. Понятно, что при таких обстоятельствах порождаются погрешности в наблюдениях и неверности в разбивке. Примером может служить Тауэрнский туннель, где наблюдалось описываемое явление и было обнаружено совершенно случайно. Величины, нанесенные на чертеж, относятся как раз к случаю в Тауэрнском туннеле.

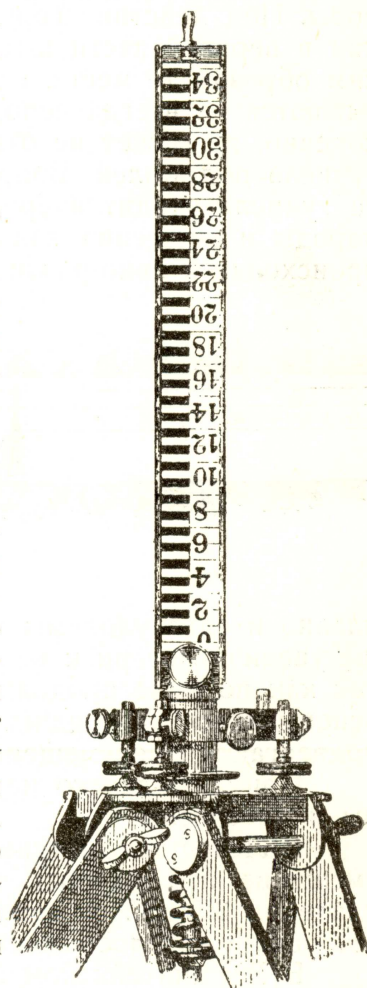
Нивелировочные работы. Во время пробивки туннеля надлежит одновременно с разбивкой оси вести нивелировку для того, чтобы иметь опорные точки для разбивки туннеля по вертикали и, затем, чтобы иметь опорные точки для разбивки поперечного профиля туннеля.

Для нивелировок внутри туннеля могут служить нивеллиры любых систем и конструкций, предпочтительно наиболее сильные и с перекладными трубами. Отличительной особенностью инструментов для работ внутри туннеля явится необходимость устроить приспособление для освещения нитей окуляра. Для этого весьма целесообразно пользоваться небольшими электрическими лампочками и переносной батареей.

Нивелировочные рейки для работ внутри туннеля бывают различных конструкций. Они должны быть портативны, легки. Можно применять обыкновенные складные рейки (чер. 101) с уровнем и с приспособлением для освещения делений в виде небольшого ацетиленового фонаря, перемещаемого по высоте на проволоке, укрепленной вдоль рейки. У фонаря имеется затенение, чтобы свет от него не направлялся в трубу нивеллира. Весьма удобный тип рейки представлен на чер. 102. Рейка устанавливается строго вертикально на треножник, причем когда отчет взят, то сюда же может быть установлен и инструмент.



Чер. 101.



Чер. 102.

В туннельном деле довольно часто приходится наталкиваться на необходимость пользоваться для нивелировки опорными точками, располагая таковые не внизу, в подошве туннеля, а вверху. Причины довольно разнообразны. Залитие подошвы водой, сильное загрязнение низа туннеля, слабый грунт, намокший от воды, выпирание подошвы туннеля вследствие горного давления снизу и т. д. Когда точки для нивелировки располагаются вверху, то применяются подвесные нивелировочные рейки (чер. 103).

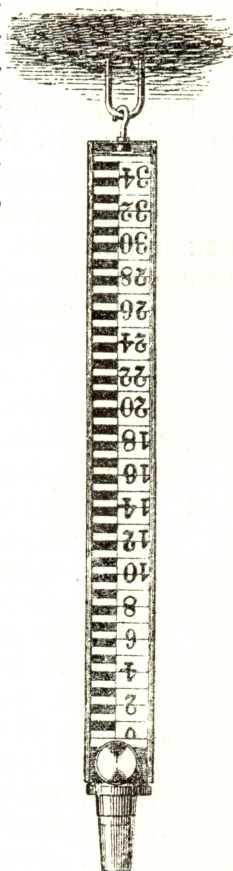
Обозначение и закрепление точек для нивелировки внутри туннеля обуславливается следующими требованиями. Удобнее всего, чтобы эти точки совпадали с пикетажем, т.е. располагались бы через сто метров. Иногда при значительных уклонах туннеля некоторые специалисты практики туннельного дела указывают на желательность постановки нивелировочных точек не менее, как через 50 м. Хотя подобного рода требования и вызывают лишнюю работу, однако, нельзя не признать, что во многих случаях это имеет за собой техническое оправдание.

Точки для нивелировки внутри туннеля обозначаются так: удобнее всего не устанавливать специальных точек, а пользоваться болтом или гвоздем в бетонной массивке, служащей геодезическим центром при разбивке оси туннеля. Если точка для нивелировки устанавливается самостоятельно, независимо от назначения обслуживать разбивку оси туннеля, то безразлично, где она будет помещена: на оси туннеля или в стороне. В этом отношении необходимо только выбирать место так, чтобы точка не подвергалась деформациям как со стороны горной породы, так и механическим повреждениям при перетаскивании тяжестей и т. п. Если имеем туннель в скальной горной породе, то достаточно бывает пробурить шпур и забить в него металлический стержень. Верх стержня может служить точкой для нивелировки. Весьма целесообразно окрашивать верх точки масляной краской и тогда всякого рода механические повреждения, нарушив цельность окраски, укажут на то, что не исключена возможность повреждения и нивелировочной точки. Этим несложным приемом удастся гарантировать себя от неожиданностей.

Если горная порода — мягкая податливая глина и т. п. грунт, то иногда удастся обеспечить верность работы забивкой в грунт деревянной свайки и завинтив в нее шуруп. Иногда возможно ожидать, что порода будет пучиться. К сожалению в практике туннельного дела в подобных случаях еще не выработан и не установлен какой-либо тип точки для нивелировки. Обычно приходится в таких случаях обращаться к реперам, расположенным вне туннеля, как к единственно надежным опорным точкам при нивелировке. Во всяком случае единственное и наиболее надежное, что можно рекомендовать в подобных случаях, это — повторение нивелировок на всем протяжении туннеля.

Производство работ по нивелировке ведется одинаково, как для предварительной, так и для окончательной разбивки оси туннеля. Самый процесс работы ничем существенным не отличается от производства подобного рода работ на поверхности земли. Единственное, на что нужно обращать внимание, это на то, что при подземных туннельных нивелировках совершенно не следует увлекаться значительными расстояниями от инструмента до рейки. Как уже указывалось в отношении производства работ по разбивке оси туннеля, видимость трубы зависит от разных причин и в первую очередь от состояния атмосферы. Поэтому, при нивелировках рекомендуется расстояние от инструмента до рейки в 50 метров и оно редко должно превосходить 75 метров.

Погрешности при подземной нивелировке. В виду насыщенного парами влаги воздуха, плохой видимости реек, плохого освеще-



Чер. 103.

щения и по некоторым другим причинам погрешность нивелировки при работе в туннеле во время его постройки будет довольно значительна.

Если принять, что при работе внутри туннеля инструмент имеет в среднем $n = 5$ стоянок на километр и если допустить, что отсчет по каждой рейке производится с точностью до 0,002 мтр., то согласно теории погрешностей разность уровней начальной и конечной точек сложной продольной нивелировки определяется в $0,002 \sqrt{2n}$ или $0,0063 \sqrt{K}$, где K число километров, пройденных нивелировкой.

Предельная ошибка нивелировки внутри туннеля будет равна устроенной средней ошибке, т. е. $0,0189 \sqrt{K}$. (в мтр.)

Германские авторы дают почти такую же цифру. Они считают, что при подземных работах погрешность нивелировки не должна превосходить 18 мм. на километр, причем в конечном итоге погрешность не должна быть более $f \leq 18 \sqrt{K}$. (в мм.)

Определение (промер) длины пробитого туннеля. После того, как произошла смычка двух направляющих ходов, весьма целесообразно определить действительную длину туннеля непосредственным промером в таком туннеле. Для этого надлежит воспользоваться праздничными перерывами в работе.

Иногда в виду важности предстоящей работы не останавливаются даже перед перерывом туннельных работ в рабочие дни. Промер длины туннеля производится различно зависимо от его протяжения.

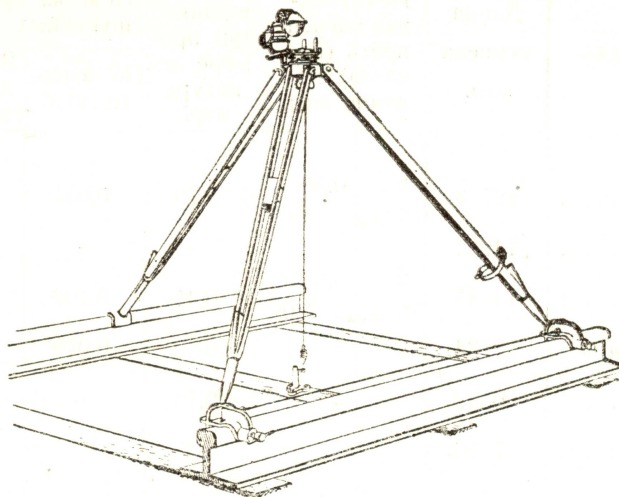
Малые туннели длиной до 2—3 клм. промеряются стальной лентой или цепью, иногда применяются жезлы.

Более длинные туннели следует промерять при помощи инварной проволоки. Впрочем иногда для промера длинных туннелей с успехом применяют также специальные мерные цепи.

Промер малых туннелей. Если пользуются жезлами, то таковых должно быть два. Жезл сечением $4,4 \times 2,5$ см. изготавливается из елового дерева, по возможности без сучков, проваренного в масле и выкрашенного белой краской. Длина жезла 5 м.; одна сторона жезла окывается медью с точным нанесением делений дециметров, сантиметров и миллиметров. Концы жезла обделываются медью в виде наконечников (башмаков). Для промера жезлы прикладываются друг к другу так, чтобы концы соприкасались. Для точности промер производится по крайней мере дважды в противоположном направлении и если результаты близки друг к другу, то берется среднее арифметическое. Направление жезлов определяется при посредстве шнура. Вся линия промера внутри туннеля обозначается посредством обыкновенного пенькового крученого шнура диаметром 2—3 мм., пропитанного деревянным маслом против сырости. Длина шнура 100 м. Шнур наматывается на барабан. Полезно иметь два барабана со шнурами. По вдоль туннеля выставляются отвесы и когда линия намечена по окончательной разбивке, то на участке, протяжением около 100 м., устанавливаются особые козлы (чер. 104). С большим успехом в этой работе могут применяться световые отвесы (чер. 105). Наверху козел имеются штыри, на них натягивается шнур. Необходимо убедиться в горизонтальности шнура, для чего пользуются висячим полукругом. Козлы устанавливаются на расстоянии приблизительно 15—20 м. друг от друга.

Применение стальных рулеток и лент для промера малых туннелей более удобно нежели жезлов. Их длина должна быть 20 м. При работе рулетками или лентами иногда натягивают шнур также, как и при работе жезлами, а обычно производят промер по укладываемым горизонтально доскам.

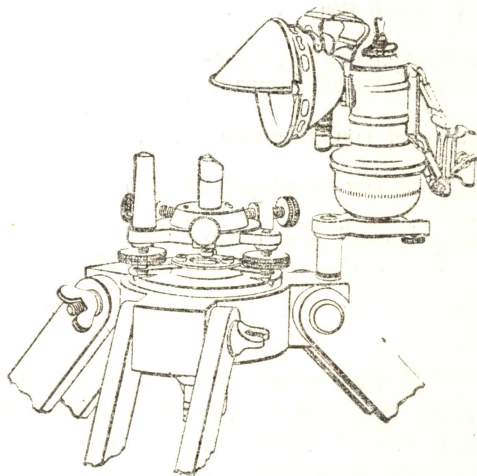
Точность промера жезлами много выше, нежели стальной рулеткой или лентой и выражается приблизительно 1:50000 от промеренной длины, тогда как при промере рулеткой или лентой внутри туннеля редко удается получить результаты с точностью, большей, нежели 1:10000.



Чер. 104.

Промер длинных туннелей. Применение инварной мерной проволоки для промера длинных туннелей обеспечивает точность от 1:500000 до 1:1000000 измеряемой длины. Эта огромная точность делает описываемый способ весьма желательным, хотя и сопряженным с большими затратами времени. Инварная проволока, т.е. проволока из сплава никкеля и железа, обладающая малым коэффициентом расширения, изготавливается толщиной 5 мм. и снабжается по концам особыми мерными рейками (см. чер. 53) длина проволоки от „0“ на мерной рейке с одного конца до „0“ на другом конце равна 25,000 м.

Точность промера длины туннеля (внутри туннеля) при разных способах измерения, в долях измеренной длины, такова:



Чер. 105.

Цепью	от 0,00045	до 0,0012.
Стальной лентой.	от 0,0003	до 0,00075.
Инварной проволокой	от 0,000001	до 0,000002.
Жезлами	от 0,0002	до 0,0005.

Для суждения о результатах производства всех геодезических работ по трассировке и разбивке туннелей производится определение невязок (погрешностей):

- а) по длине туннеля,
- б) по высоте,
- в) и отклонение в сторону оси туннеля в месте смычки обоих ходов от порталов (с противоположных сторон).

Только путем выяснения невязок удается судить о верности произведенной работы по трассировке и разбивке оси туннеля над землей.

Насколько точно производятся геодезические работы по разбивке туннелей видно из следующей таблицы:

Таблица III.

Название туннеля	Длина туннеля мтр.	Исчисленная погрешность (невязка), по длине мтр.	Невязка в длине при промере в натуре мтр.	Невязка противоположных ходов		Исчисленная погрешность (невязка) в гориз. направ. (в сторону) мтр.
				По высоте мтр.	В гориз. напр. (в стор.) мтр.	
Симплонский тун. . . .	19728	$\delta = 0,56$ $\delta_{\max} = 1,68$	0,79	0,087	0,202	$f = 0,05$
Сен-Готардский тун. . .	14984	—	—	—	0,30	—
Лечбергский тун. . . .	14535	$\delta = 0,36$ $\delta_{\max} = 1,08$	0,41	0,102	0,257	$f = 0,182$
Хауэнштейнский тун. . .	8134	—	0,50	0,010	0,05	$f = 0,546$
Вохеинский тун.	6339	—	0,76	—	0,05	—
Караванкенский тун. . .	7976	—	0,45	—	0,02	—
Босрукский тун.	4766	—	0,18	—	0,153	—
Тауэрнский тун.	8526	—	2,93	0,056	0,55	—
Вассерфлюсский тун. . .	3557	—	—	0,010	0,05	—
Сурамский тун.	3973	—	—	0, 40	0,13	—
Лагар-Аульский тун. (через Малый Хинган)	1250	—	0,80	0,080	0,100	—
Гоитский тун. (Кавказ) .	1399	—	1,18	0,090	0,195	—
Сонский тун. (Сибирь) .	785	—	0,65	0,110	0,145	—
Хадыженский тун. (Кавказ)	978	—	1,20	0,075	0,105	—

Заканчивая на этом свой труд по вопросу о трассировке и разбивке туннелей, считаю необходимым подчеркнуть, что для успеха геодезических туннельных работ, помимо знания изложенных здесь приемов производства работ и методов трассировки и разбивки, требуется, чтобы инженер, производящий работы, в полной мере обладал всеми необходимыми техническими навыками в производстве геодезических работ, был педантично аккуратен, внимателен и точен. Только сознание ответственности производимой работы при наличии соблюдения других условий может обеспечить верность ее выполнения.

ЛИТЕРАТУРА.

- Rosenmund.** Ueber die Absteckung des Simplontunnels. Schweiz. Bauzeitung. 1904. Bd. XXXVII.
- Baeschlin** Ueber die Absteckung des Lötschbergtunnels. Schweiz. Bauzeitung. 1911. Bd LVIII. II. S. 109.
- Tichy A.** Rationelle Vorgänge der Absteckung bedeutend langer Eisenbahn-Tunnels. Zeitschr. des Oester. Ing. und Archit. Vereines. 1914. S. 717 u 733.
- Schumann.** Lotstörungen und ihre Anwendungen bei Tunnelabsteckungen. Zeitschr. des Oester. Ing. und Archit. Vereines. 1915. S. 531.
- Rosenmund.** Die Ergebnisse der Basismessung durch den Simplon-Tunnel vom 18. bis 23. März 1906. Schweiz. Bauzeitung. 1908. I. S. 131.
- Gelpke O.** Die am Gotthard-Tunnel Vorgenommenen letzten Richtungsfeststellungen. Zeitschr. f. Vermessungswesen. 1880. S. 101.
- Rosenmund H.** Ueber einige Wahrnehmungen bei der Richtungskontrolle im Simplon-Tunnel. Schweiz. Bauz. 1902. II. S. 43.
- Henniugs F.** Denkschrift über die Albula-Bahn. Chur 1908. S. 40.
- Wiesmann E.** Der Bau des 8134 langen Hauenstein-Basis Tunnels Olten. 1917.
- F. Haller.** Ueber den Genauigkeitsgrad der Messungen für Anlage und Bau von Tunneln. Schweiz. Bauzeit. 1903. Bd. XLII. № 19. S. 219.
- F. R. Helmert.** „Mathematischen und physikalischen Theorien der höhern Geodäsie. II. Teil“. S. 368.
- Dolezalek.** Hilfsmittel für die Richtungsangaben im Gotthard tunnel. Zeitschr. d. Architekten und Ingenieur Vereins zu Hannover. 1878. S. 186; 1880. S. 317.
- G. Lucas.** „Der Tunnel“. B. II. 1926.
- A. Tichy.** Trigonometrische Längenbestimmung Geodätischer Grundlinien. Zeitschr. d. Oester. Ing. u. Arch. Ver. 1909. № 1—5.
- Dörflinger.** Absteckung der Kehrtunnel bei Wasen. Zeitschr. für Vermessungswesen. 1887. Bd. VI.
- C. Koppe.** Ueber die Bestimmung der Absteckungselemente für die sieben Kehrtunnel der Gotthardbahn. Die Eisenbahn. 1880. II. S. 34 u. 40.
- M. Rosenmund.** Bericht über den Simplon-Tunnel. Bern. 1901.
- C. Koppe.** Die Absteckung der Achse im Gotthard-Tunnel. Die Eisenbahn. 1877. S. 88. u. 97. 1880. I. S. 43.
- Gelpke.** Bestimmung der Tunnelachse der Gotthard-Tunnels. Civ. Ing. 1870. XVI.
- Dolezalek.** Vortrag über den Durchschlag und die Richtungsbestimmung des Gotthard-Tunnels. Zeitschr. d. Arch. u. Ing. Ver. zu Hannover. 1880. S. 317.
- Abendroth A.** Die Praxis des Vermessungsingenieurs. Berlin, 1923. Travaux astronomiques et géodésiques exécutés en Suisse, publiés par la Commission géodésique Suisse. Vol. XI, La mesure de la base du Simplon. Genève. 1908,
- Halden G.** Setting out of Tube Railways. The Engineer. 1906. P. 414 439, 468, 491.
- F. Simms and D. K. Clark.** Practical Tunnelling. London. 1896.
- H. Drinker.** Tunneling, explosive Compounds and rock drills. New York. 1893.
- Салин Н.** Разбивка оси Сурамского туннеля. Журн. Мин. Пут. Сообщ. 1889 г. № 33.
- Салин Н.** Триангуляция Сурамского туннеля. Киевский „Инженер“. 1888 г. № 7.