

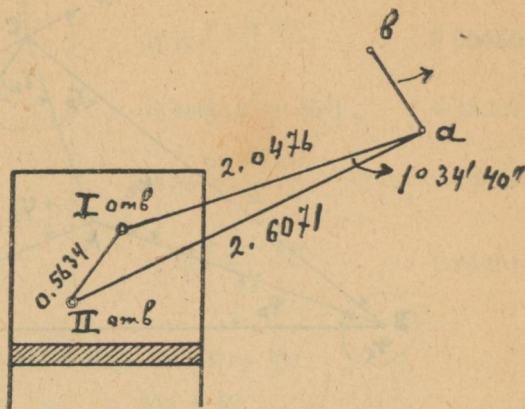
Ориентировка рудника по способу Вейсбаха.

Главную задачей ориентировки является возможно точное определение углов при отвесах.

Данными для вычисления служат угол α и все три стороны соединительного $\triangle$ -ка, что совершенно достаточно не только для определения углов, но и для проверки.

Из этих элементов измеряется более точно угол α и сторона между отвесами (I—II).

Наилучшими формулами для определения углов при надлежащей (остроугольной) форме треугольников служит формула Син'ов с уравниванием суммы углов на 180° .



Чер. 26.

Если же треугольник имеет форму, близкую к прямоугольной, то вычисление ведут по одной из формул для

$$\operatorname{tg} \frac{C-D}{2}, \cos \frac{C}{2} \text{ и } \operatorname{tg} \frac{C}{2};$$

контроль

$$a^2 = c^2 + d^2 - 2cd \cos A$$

(Верхний соединительный треугольник) (чер. 26).

$$\frac{\text{пр. } ba = 161^\circ 45' 56''}{(\text{на поверхности}).}$$

§ 25. Ориентировка рудника по способу Ганзена, с успехом заменяющая ориентировку по способу Вейсбаха, состоит в косвенном определении угла при отвесах — решением задачи о двух неприступных точках; применение его может быть тогда, когда расположение квершлага или других выработок около шахты не позволяет выбрать треугольник надлежащей формы, сделав в то же время расстояние между отвесами более длинным.

Особенно удобным представляется применение этого способа, когда к длинным бокам шахты примыкают с обеих сторон два квер-

Определение углов μ , μ'

$$\mu = 45^\circ \text{ и } \mu' = 45^\circ$$

$\lg \sin \gamma_B$	9.4645383
<i>Cpl.</i> $\lg \sin \delta_B$	0.4888745
$\lg \sin (\delta_B - \delta_A)$	9.1719152
<i>Cpl.</i> $\lg \sin (\gamma_B - \gamma_A)$	0.7554327
$\lg \sin \gamma_A$	9.0752163
<i>Cpl.</i> $\lg \sin \delta_A$	0.7439933
$\lg \tg \mu$	9.88076075n

$$\mu = 37^\circ 13' 53'', 3$$

$$\mu - 45^\circ = 82^\circ 13' 53'', 3$$

$$\lg \tg \mu' = 9.7465575n$$

$$\mu' = 29^\circ 9' 26''$$

$$\mu' - 45^\circ = 74^\circ 9' 26''$$

Определение углов $\varphi_D - \varphi_C$, $\frac{\psi_D + \psi_C}{2}$

$$\lg \cotg (\mu - 45^\circ) = 9.1348890$$

$$\lg \tg \frac{\varphi_D - \varphi_C}{2} = 0.8199184$$

$$\lg \tg \frac{\varphi_D + \varphi_C}{2} = \mathbf{9.9548074}$$

$$\lg \cotg (\mu' - 45^\circ) = 9.4529780$$

$$\lg \tg \frac{\psi_D - \psi_C}{2} = 0.4898383$$

$$\lg \tg \frac{\psi_D + \psi_C}{2} = 9.9428171$$

Определение углов φ_D , φ_C , ψ_D , ψ_C

$$\frac{\varphi_D + \varphi_C}{2} = 137^\circ 58' 32'', 6$$

$$\frac{\varphi_D - \varphi_C}{2} = 81^\circ 23' 30''$$

$$\varphi_D = 219^\circ 22' 2'', 6$$

$$\varphi_C = 56^\circ 35' 2'', 6$$

$$\frac{\psi_D + \psi_C}{2} = 138^\circ 45' 40''$$

$$\frac{\psi_D - \psi_C}{2} = 72^\circ 3' 45''$$

$$\psi_D = 30^\circ 49' 25''$$

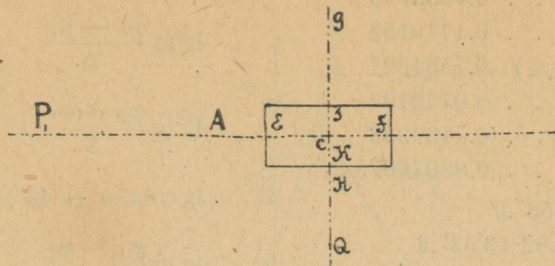
$$\psi_C = 240^\circ 41' 55''$$

§ 26. Способы оптического проектирования. Ввиду чрезвычайной важности правильного ориентирования рудничной съемки по отношению к дневной поверхности и к другим горизонтам рудника, а также ввиду зависимости точности ориентировки от правильности проектирования через шахту, были предложены самые разнообразные способы проектирования, из которых рассмотрим: 1) Оптический, 2) Способ Шмитта и 3) Фотографический.

Оптический способ Штампфера.

Профессор Штампфер предлагал пользоваться нивелирной трубой, на объективный конец которой надета преломляющая призма с углом преломления 45° ; став с таким инструментом над устьем шахты (чер. 28) перпендикулярно к данной на поверхности линии AP , таким образом, чтобы точка пересечения нитей покрыла точки A и P , мы, повернув трубу в ее цапфах, можем отметить на дне шахты точки E и G , лежащие с первыми в одной вертикальной плоскости, т. е.

перенести в рудник направление линии AP ; таким же образом можно перенести в рудник направление другой линии OHG и определить их пересечением проекции точки C .



Чер. 28.

Оптический способ Фиртеля.

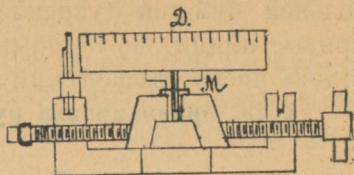
Профессор Фиртель для непосредственного проектирования точки советует применять теодолит с эксцентричной трубой, оптическая ось которой приводится в вертикальное положение совмещением точки пересечения нитей с ее изображением от искусственного горизонта, поставленного внизу под трубой. Этот способ неточен, вследствие чрезвычайной трудности точно центрировать теодолит над определенной точкой в устье шахты.

Оптический способ Нагеля.

Профессор Нагель усовершенствовал способ Фиртеля тем, что применил специально устроенный им прибор для визирования и пластинчатый сигнал. Прибор для визирования напоминает несколько теодолит; его треножник и алидадный круг имеют посредине отверстия, через которые можно свободно визировать при строго вертикальном положении трубы. Сигнал для визирования помещается горизонтально в глубине шахты и состоит из пластинки с черным крестом посредине, которая может передвигаться по двум взаимноперпендикулярным направлениям; величина передвижения отсчитывается на вонюсах с точностью до 0,1 мм.; пластинка помещена в раме из белой жести с чертами: 1, 2, 3 и 4 в двух взаимноперпендикулярных направлениях, по которым должна быть центрирована пластинка (чер. 29).

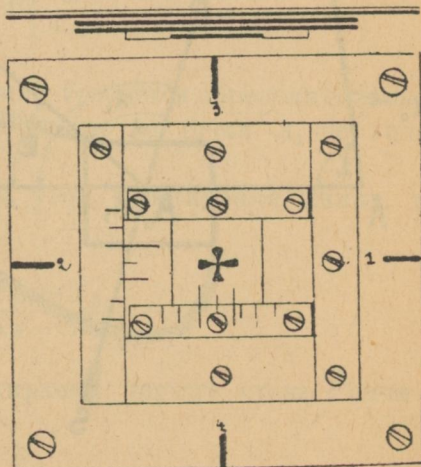
Самое проектирование производится таким образом: устанавливают прибор над верхней точкой, центрируют его под нею, приводят ось вращения прибора в вертикальное положение и производят наблюдение над нитью трубы, перпендикулярной к оси уровня, сначала в

направлении 1—2, а потом 3—4 рамы сигнала. При каждом таком наблюдении помощник, находящийся внизу, устанавливает пластинку, согласно с подаваемыми ему сигналами, таким образом, чтобы крест приходился на точке пересечения нитей и берет отсчет по соответствующему нониусу. Теоретически говоря, двух таких пар наблюдений достаточно для определения положения нижней точки, но обыкновенно их делают больше.



Чер. 29.

§ 27. Способ проектирования профессора Шмитта. Этот способ состоит в том, что среднее положение шахтных отвесов определяется при помощи наблюдения качаний их в двух взаимноперпендикулярных плоскостях. Для этих наблюдений Шмитт сделал особый прибор (чертеж 30), имеющий 2 взаимноперпендикулярные линейки с мелкими делениями; весь этот прибор напоминает вышеописанную платформу Юнге, только вместо установительного винта в нем имеется призма, служащая для ввертывания острия при центрировании; шахтный отвес пропускается через отверстие в середине прибора, где и колеблется свободно. При наблюдениях употребляются две взаимноперпендикулярные трубы, через которые и замечают амплитуды колебаний отвеса на той и другой линейке; когда по записям крайних положений отвеса определено среднее его положение в двух взаимноперпендикулярных плоскостях, то, установив центр призмы в этой точке, убирают прочь шахтный отвес и в призму вставляют вышеупомянутое острие, которое и служит потом для визирования его теодолитом; то-же делают и для второго отвеса.



Чер. 30.

Способ Шмитта есть самый точный из всех известных способов переноса точек в рудник.

§ 28. Фотографический способ проектирования. Идея этого способа принадлежит Вестфальскому маркшейдеру Фурману и состоит в следующем: к нижнему концу обыкновенного проволочного шахтного отвеса подвешивается, вместо простой гири, достаточно тяжелый

Работу начинают с определения координат начальной и конечной точки рудничной с'емки.

Из данных триангуляции нам известен азимут сторон, примыкающих к точкам A и B и координаты этих точек.

Центрируя теодолит в точках A и B , измеряют горизонтальные углы L и K между примыкающими сторонами триангуляции и направлениями на отвесы, вычисляют азимуты этих направлений, зная азимуты α_0 и α'_0 сторон триангуляции.

Из данных с'емки определяют координаты точек A_0 и B_0 прикрепления отвесов.

Координаты точек A_1 и B_1 в руднике будут, очевидно, равны соответствующим координатам точек A_0 и B_0 прикрепления отвесов.

Для определения азимута первого стана A_1A_2 с'емки решают задачу: даны две точки A_1B_1 , координаты которых

$$A_1 \begin{cases} Y_{A_1} \\ X_{A_1} \end{cases} \text{ и } B_1 \begin{cases} Y_{B_1} \\ X_{B_1} \end{cases}$$

между этими точками произведена с'емка; требуется определить азимут первого стана A_1A_2 с'емки, предполагая, что из точки A_1 не видно точки B_1 .

Зная координаты точек A_1 и B_1 угол простираения линии, их соединяющей, определим по формуле:

$$\alpha = \arctg = \frac{Y_{B_1} - Y_{A_1}}{X_{B_1} - X_{A_1}}.$$

Заметив, что угол α_1 угол простираения первого стана с'емки — равен

$$\alpha_1 = \alpha + E,$$

где E —угол полигона между первым станом A_1A_2 и линией A_1B_1 .

Теперь нужно определить угол E .

Спроектируем все угловые точки с'емки на продолженное направление первого стана и на линию, к нему перпендикулярную. Тогда, по известной теореме, что проекция замыкающей стороны равна алгебраической сумме проекций замыкающих боков, имеем:

$$A_0B_0 \cos E = l_1 + l_2 \cos E_2 + \dots + l_n \cos E_n = \sum l_n \cos E_n \quad \dots (1)$$

$$A_0B_0 \sin E = 0 + l_2 \sin E_2 + \dots + l_n \sin E_n = \sum l_n \sin E_n \quad \dots (2),$$

где $l_1, l_2, \dots, l_n$ длины горизонтальных проекций станом, известные из с'емки, $\alpha - E_1, E_2, \dots, E_n$ —углы, составленные

каждым станом с направлением первого стана, определяемые по формулам:

$$E_1 = 0; \quad E_2 = 180^\circ - \beta_1; \quad E_3 = E_2 + 180^\circ - \beta_2 = 2 \cdot 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2),$$

где β_1, β_2 — углы полигона, измеренные при с'емке.

Подставляя найденные величины углов $E_1, E_2 \dots E_n$ в выше-приведенные формулы, и, разделив формулу 2 на 1, найдем

$$\operatorname{tg} E = \frac{\sum l_n \operatorname{Sin} E_n}{\sum l_n \operatorname{Cos} E_n},$$

откуда угол E определится по величине и знаку, а тогда определится и угол α по формуле

$$\alpha_1 = \alpha + E.$$

Из формул

$$A_1 B_1 \operatorname{Cos} E = \sum l_n \operatorname{Cos} E_n$$

$$A_1 B_1 \operatorname{Sin} E = \sum l_n \operatorname{Sin} E_n$$

можно определить, зная величину угла E , длину $A_1 B_1$ горизонтальной проекции прямой, соединяющей отвесы.

Кроме того, та же длина может быть определена из координат точек $A_0 B_0$ прикрепления отвесов по формуле

$$A_0 B_0 = \sqrt{(X_{B_1} - X_{A_1})^2 + (Y_{B_1} - Y_{A_1})^2}.$$

Что служит проверкой правильности рудничной с'емки.

Наивыгоднейшая фигура полигона должна быть вытянута с наименьшим числом вершин, и в этом отношении наилучшим был бы случай, когда между шахтами имеется прямая выработка, позволяющая встать с инструментом посредине выработки, чем свести задачу ориентировки на решение соединительного треугольника $A_1 A_2 B_1$ по способу Вейсбаха. При этом все погрешности от неправильного проектирования точек, центрировки прибора будут уменьшены, вследствие большого расстояния между отвесами и большой длины сторон угла $A_1 A_2 B_1$.

Пример. Пусть $Y_A = +50^\circ$; $X_A = +104^\circ$; $Y_B = +60^\circ$; $X_B = +100^\circ$. Простирание $\alpha_0 = 200^\circ$; простирание $\alpha'_0 = 170^\circ$. При точках A и B замерены до отвесов углы—

$$MAA_0 = L = 210^\circ; \quad QBB_0 = K = 148^\circ;$$

горизонтальное расстояние $AA_0 = 6^\circ, 4$; $BB_0 = 4^\circ, 1$.

В руднике между отвесами произведена полигонная с'емка от A_1 до B_1 , при чем получено: длина стана $A_1 A_2 = l_1 = 8^\circ$; $A_2 A_3 = l_2 = 7^\circ$; $A_3 B_1 = l_3 = 4^\circ, 661$; угол $A_1 A_2 A_3 = \beta_1 = 155^\circ$; угол $A_2 A_3 B_1 = \beta_2 = 141^\circ 11' 15''$.

Из данных с'емки получены координаты:

$$A_0 = \begin{cases} Y_{A_0} = +45,097 \\ X_{A_0} = +99,886 \end{cases} \quad \text{и} \quad B_0 = \begin{cases} Y_{B_0} = +62,743 \\ X_{B_0} = +96,953. \end{cases}$$

По координатам точек A_0 и B_0 получено простирание $A_0B_0 = 99^\circ 26' 14''$ и длина $A_0B_0 = 17^c,888$.

Спроектированные все угловые точки рудничной с'емки на продолженное направление первого стана и на линию, к нему перпендикулярную, дают:

$$E_1 = 0^\circ; E_2 = 180^\circ - 155^\circ = 25^\circ;$$

$$E_3 = E_2 + 180^\circ - 141^\circ 11' 15'' = 63^\circ 48' 45'';$$

$$A_0B_0 \cos E = l_1 + l_2 \cos E_2 + l_3 \cos E_3 = 8 + 6,344 + 2,057 = 16^c,401;$$

$$A_0B_0 \sin E = 0 + l_2 \sin E_2 + l_3 \sin E_3 = 0 + 2,958 + 4,183 = 7^c,141;$$

$$\operatorname{Tg} E = \frac{\sum l_n \sin E_n}{\sum l_n \cos E_n} = \frac{7,141}{16,401} = 0,4354; \text{ откуда } E = 23^\circ 31' 42'',$$

следовательно,

$$\alpha_1 = \alpha + E = 99^\circ 26' 14'' + 23^\circ 31' 42'' = 122^\circ 57' 56''.$$

Из этого способа вытекают задачи:

а) продолжить с'емку, когда в штреке сохранились две, не рядом лежащие, точки;

б) когда встречными забоями проходится квершлаг или ходок полигонной с'емкой*).

§ 31. Приборы для магнитной ориентировки.

Ориентир-буссоль.

Ориентир-буссоль или магнит-теодолит представляют собой обыкновенный рудничный теодолит, к которому прикреплена узкая буссольная коробка с вращающейся на острие магнитной стрелкой. Буссольная коробка или насаживается помощью вилки на цапфы оси вращения трубы, или прикрепляется между стойками этой оси. На сегментах лимба коробки сделаны 2 противоположные черты, с которыми совмещаются концы магнитной стрелки, при измерении угла магнитного простирания линии помощью этого прибора. Против каждой из черт находится микроскоп для точного совмещения с ними концов стрелки.

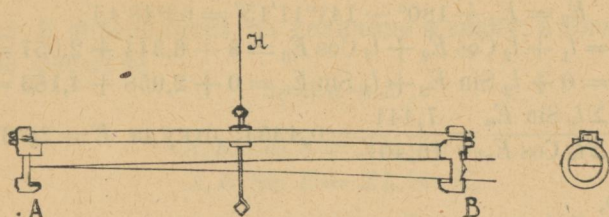
В правильно устроенном приборе плоскость лимба коробки должна быть перпендикулярна к коллимационной плоскости трубы теодолита, а линия индексов должна представлять собой диаметр лимба, параллельный этой плоскости.

*) Таким способом ориентированы все рудники Южно-Русского О-ва в Горловке, Донецкой губернии.

§ 32. Приборы с нитяным подвесом магнитной стрелки. Такие приборы отличаются весьма большой чувствительностью и поэтому позволяют весьма точно определять угол магнитного простирания. Мы упомянем о двух главных типах этих приборов.

А. Приборы коллимационного устройства.

В них магнит состоит из одной или двух стальных полосок, подвешенных на шелковой нити H (чертеж № 32), снабженных на концах



Чер. 32.

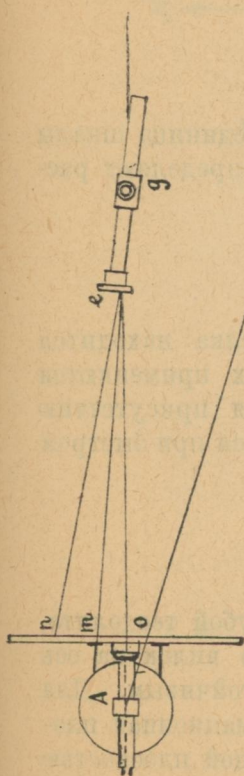
медными кольцами A и B ; в кольцо A на северном конце магнита помещена шкала с делениями, а в B —линза, фокусное расстояние которой равно расстоянию шкалы от стекла; 0 шкалы лежит на главной оптической оси системы и эта линия представляет собой коллимационную ось магнита. Для измерения угла магнитного простирания данной линии AB (чертеж № 33) помещают стрелку перед трубой, направленной по линии AB и наводят пересечение ее нитей на середину делений шкалы свободно вращающегося магнита. При этом коллимационная плоскость трубы совместится с коллимационной плоскостью магнита, т. е. с плоскостью магнитного меридиана. Самое определение угла простирания производится так же, как и в предыдущем случае.

Переносный коллиматор Борхерса.

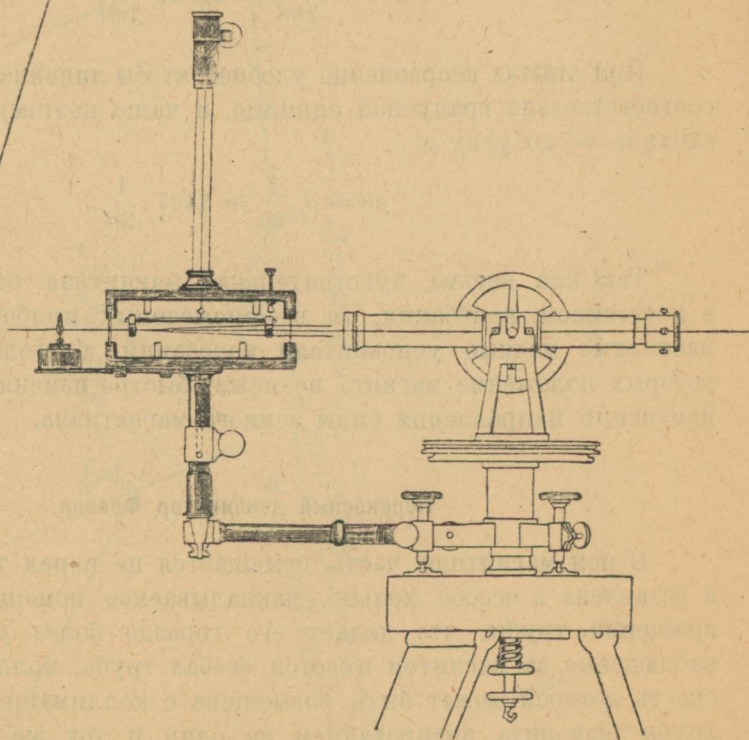
В нем коробка с магнитной стрелкой и нитяным подвесом представляет собой совершенно отдельную от теодолита систему, которая весьма легко может быть при помощи штанги либо прикреплена к теодолиту, либо отнята от него; нитяной подвес магнита заключен в длинную стеклянную трубку, имеющую наверху приспособление для подъема и опускания магнита: при производстве наблюдений магнит приподымается до высоты горизонтально установленной трубы теодолита. Измерение угла магнитного простирания производится, как было описано выше.

§ 33 Приборы с зеркалом и шкалой. Идея этих приборов состоит в следующем.

К магниту g прикреплено зеркало l , перпендикулярно его магнитной оси; над ним под трубой, а иногда и в самой трубе перпендикулярно к его оптической оси имеется шкала с делениями. Шкала и труба установлены таким образом, чтобы при некотором первоначальном положении магнита по направлению прямой AC в зеркале отражалось нулевое деление шкалы. Если прибор предназначен для постоянных наблюдений за ходом склонения, то на противоположной стене комнаты



Чер. 33.



Чер. 34.

помещают вертикальную черту C , чтобы иметь возможность проверять неизменность положения оптической оси трубы. При изменении склонения на угол $m\angle O$ наблюдатель увидит на пересечении нитей трубы отражение делений шкалы, соответствующее удвоенному углу отклонения магнита. Зная величину одного деления шкалы в градусах, легко определить и угол магнитного склонения. Величина одного деле-

ния шкалы определится, зная величину его в линейной мере и расстояние: Cm от магнита до шкалы по формуле:

$$tg mlo = \frac{on}{2ml},$$

а угол, соответствующий одному делению шкалы,

$$tg \alpha = \frac{on}{2ml \cdot on} = \frac{1}{2ml}$$

или, принимая по малости угла $\alpha = tg \alpha$, и переходя к градусной мере, найдем

$$\alpha = P'' \frac{1}{2ml} = 34.37' \frac{1}{2ml}.$$

При опытах несравненно удобнее, чтобы линейная единица шкалы соответствовала градусной единице, и чаще поэтому определяют расстояние ml по углу α'

$$ml = \beta \cdot \frac{1}{2\alpha} = 3437 \cdot \frac{1}{2\alpha}.$$

Так как весьма чувствительная магнитная стрелка находится в постоянном колебании, то в описываемых приборах применяются массивные медные успокоители колебаний, благодаря присутствию которых положение магнита не может быстро изменяться при быстром изменении направления силы земного магнетизма.

Переносный деклинатор Фенеля.

В нем магнитная часть помещается не перед трубой теодолита, а вставлена в особое кольцо, накладываемое помощью вилок на ось вращения трубы, что делает его гораздо более устойчивым. Для наблюдения за магнитом имеется особая труба, коллимационная плоскость которой может быть совмещена с коллимационной плоскостью трубы теодолита визированием на один и тот же предмет. Прибор этот принадлежит к типу приборов с зеркалом и шкалой, при чем шкала помещена внутри верхней трубы в том месте ее, где находится сетка нитей и освещается зеркалом. Для измерения угла магнитного простирания данной линии, магнитную часть прибора накладывают на теодолит, центрируют и приводят лимб теодолита в горизонтальное положение; далее прибор ориентируют грубо по направлению магнитного меридиана, приводят общую коллимационную плоскость обеих труб в направление меридиана, совмещая вращением лимба пересечение нитей

с нулевым делением шкалы. Во всем дальнейшем при определении угла простираения поступают по предыдущему.

Деклинатор Фенеля может быть применяем также и для наблюдения за ходом изменения склонения стрелки; для этого, вставив прибор в треножник, вращают его до совмещения пересечения нитей трубы с отражением нулевого деления шкалы, чем и приводят коллимационную плоскость трубы в плоскость магнитного меридиана в данный момент; закрепив затем прибор неподвижно, наблюдают за изменением склонения по делениям шкалы.

Но для определения хода изменений склонения лучше всего устраивать постоянные магнитные деклинатории. В них определяют абсолютное магнитное склонение, суточные изменения его, наклонения магнитной стрелки и степень напряжения силы земного магнетизма. Для маркшейдерских целей достаточно иметь только деклинаторий, в котором можно определять склонение стрелки и его изменения; остальные элементы земного магнетизма для маркшейдера неважны. Деклинаторий представляет собой маленький домик, изолированный от жилых помещений и построенный из материала, абсолютно не содержащего магнитных масс.

§ 34. Числовой пример магнитной ориентировки. На поверхности выбрана линия *AB* (черт. 35), истинный азимут которой известен из триангуляции и равен $65^{\circ}21'25''$.

В шахте выбран бок IX—X рудничной полигонной с'емки, истинный азимут которой требуется определить.

Колебания склонения относятся к $12^h10'$ —17 января 1922 г., для которого по контрольному деклинатору было отсчитано $22',6 = 22'36''$ (см. журнал).

Точка стояния *B* — на стороне треугольника *AB*.

Т а б л и ц а 1.

Первое положение трубы 17 января 1922 г.

Время	Число повторений	Среднее из двух нониусов	Показан. деклинат.	Привед. к перв. показан.	Вычисление простираения
$12^h10'$	1	$288^{\circ}21'30''$	$22'36''$	$0'$	$288^{\circ}21'30''$
$12^h15'$	2	$576^{\circ}43'24''$	$-48''$	$+12''$	$\frac{576^{\circ}43'24'' + 12''}{2} = 288^{\circ}21'48''$

(продолжение табл. 1).

Время	Число повторений	Среднее из двух нониусов	Показан. деklinат.	Привед. к перв. показан.	Вычисление простиранья
12 ^h 20'	3	865°05'57"	— 06"	— 30"	$\frac{865^{\circ}05'57'' + 12'' - 30''}{3} = 288^{\circ}21'53''$
12 ^h 25'	4	1153°28'20"	21'54"	— 42"	$\frac{1153^{\circ}28'20'' + 12'' - 30'' - 42''}{4} = 288^{\circ}21'50''$
12 ^h 30'	5	1441°50'45"	22'00"	— 36"	$\frac{1441^{\circ}50'45'' + 12'' - 30'' - 42'' - 36''}{5} = 288^{\circ}21'49''$
Сумма колебаний — 96					

Последний результат принимается за окончательный и промежуточных отсчетов по лимбу теодолита можно было не делать.

Т а б л и ц а 2.

Второе положение трубы 17/I—22 и.

Время	Число повторений	Среднее из двух нониусов	Показания деklinатов	приведение к первому показанию	Сумма колебаний	Вычисление простиранья
12 ^h 10'	—	—	22'36"	0		
12 ^h 35'	1	288°22'50"	— 06"	— 30"	— 30"	$288^{\circ}22'50'' - 30'' = 288^{\circ}22'20''$
12 ^h 40'	2	—	— 00"	— 36"	— 66"	"
12 ^h 45'	3	—	21'36"	— 60"	— 126"	"
12 ^h 50'	4	—	— 54"	— 42"	— 168"	"
12 ^h 55'	5	1441°53'23"	22'06"	— 30"	— 198"	$\frac{1441^{\circ}53'23'' - 198''}{5} = 228^{\circ}22'01''$

Среднее из двух положений трубы будет:

$$\frac{288^{\circ}21'49'' + 288^{\circ}22'01''}{2} = 288^{\circ}21'55''.$$

Для контроля был измерен в тот же день азимут линии *СА*, который при двух положениях трубы получен из таблицы 3-й

$$\frac{107^{\circ}54'24'' + 107^{\circ}54'32''}{2} = 107^{\circ}54'28''.$$

Угол *ВАС* был измерен точно и составлял $179^{\circ}32'30''$. Выводя из простиранья *АВ* простиранье *СА*, получим:

$$288^{\circ}21'55'' + 179^{\circ}32'30'' - 360^{\circ}0'0'' = 107^{\circ}54'25'',$$

величину, сходную с непосредственным определением этого угла с точностью до $3''$.

На третий день, 20-го января, были произведены измерения магнитного азимута стана IX-X рудничной полигонной с'емки (таблица 9, вследствие аналогичности таблицы 8, не показана).

Т а б л и ц а 4.

Время	Число повторений	Среднее из двух нонусов	Показания деklinатов	Приведение к первому показанию	Сумма колебаний	Вычисление простираний
12 ^h 10'	17/I	—	22'36"	0	—	
11 ^h 00'	1	—	23'48"	— 72"	—	
11 ^h 05'	2	—	— 06"	— 30"	—	
11 ^h 10'	3	—	— 06"	— 30"	—	
11 ^h 15'	4	—	22'54"	— 18"	—	
11 ^h 20'	5	1623°38'56"	— 30"	+ 06"	+ 144"	$\frac{1623^{\circ}38'56'' + 144''}{5} = 324^{\circ}44'16''$
12 ^h 10'	17/I	—	22'36"	0	—	
11 ^h 25'	1	—	22'06"	— 30"	—	
11 ^h 30'	2	—	— 06"	— 30"	—	
11 ^h 35'	3	—	21'48"	— 48"	—	
11 ^h 40'	4	—	21'48"	— 48"	—	
11 ^h 45'	5	1623°47'24"	20'48"	— 108"	— 264"	$\frac{1623^{\circ}47'24'' - 264''}{5} = 324^{\circ}44'36''$

Среднее из двух положений трубы.

$$\frac{324^{\circ}44'16'' + 324^{\circ}44'36''}{2} = 324^{\circ}44'26''.$$

В точке стояния IX обратный азимут этой линии при двух положениях трубы из 5-й таблицы получен:

$$\frac{144^{\circ}43'50'' + 144^{\circ}45'00''}{2} = 144^{\circ}45'25''.$$

Измерение на точке X дало величину $= 324^{\circ}44'26''$, откуда видно, что оба результата совершенно тождественны.

Угол полигона между линией AB на поверхности и станом IX—X рудничной с'емки получается равным:

$$B' = 144^{\circ}44'25'' - 288^{\circ}21'55'' + 180^{\circ} = 36^{\circ}22'30''.$$

Азимут прямой AB на поверхности известен из триангуляции и равняется $245^{\circ}21'25''$, следовательно, азимут стана IX—X рудничной с'емки равен

$$IX-X = \alpha = 245^{\circ}21'25'' + 36^{\circ}22'30'' - 180^{\circ} = 101^{\circ}43'55''$$

при наблюдениях контрольной деклинатором на станции при Новочеркасском М. Бюро отсчет времени производится по хронометру, установленному по среднему времени.

Для пользования бюллетенями станции всякий маркшейдер должен установить свои часы также по среднему времени для своего места и привести их к меридиану Новочеркасска, пользуясь для этого помещенными ниже таблицами. Если на месте нельзя сверить свои часы с точными часами, то лучше всего определить истинный полдень для своего меридиана, а затем перейти к среднему времени. Для определения истинного полдня достаточно совместить коллимационную плоскость трубы теодолита с плоскостью истинного меридиана и отметить по часам момент прохождения солнца через меридиан.

Таблица 6.
Среднее время в истинный полдень.

Месяц и число	Среднее время в ист. полд.	Месяц и число	Среднее время в ист. полд.	Месяц и число	Среднее время в ист. полд.
Январь { 1	12 ^h 03' 18"	Май { 1	11 ^h 57' 09"	Сент. { 8	11 ^h 57' 58"
{ 11	12 07 44	{ 11	11 56 16	{ 18	11 56 28
{ 21	12 11 14	{ 21	11 56 20	{ 28	11 51 00
{ 31	12 13 30	{ 31	11 57 19	{ 8	11 47 52
Февр. { 10	12 14 24	Июнь { 10	11 58 59	Окт. { 18	11 45 25
{ 20	12 14 00	{ 20	12 01 03	{ 28	11 43 58
Март { 2	12 12 31	{ 30	12 03 12	{ 7	11 43 44
{ 12	12 10 10	Июль { 10	12 04 58	Нояб. { 17	11 44 53
{ 22	12 07 17	{ 20	12 06 03	{ 27	11 47 26
Апрель { 1	12 04 15	{ 30	12 06 16	{ 7	11 51 10
{ 11	12 01 21	Август { 9	12 05 28	{ 17	11 55 46
{ 21	11 58 53	{ 19	12 03 43	{ 27	12 00 45
		{ 29	12 01 09	{ 31	12 02 42

Таблица 7.
Для приведения среднего времени к среднему полдню г. Новочеркасска.

Место	Время	Место	Время	Место	Время	Место	Время
Новочеркасск	12 ^h 00'	Горловка . .	11 ^h 52'	Криндачевка	11 ^h 55'	Бахмут . . .	11 ^h 55'
Ал. Грушевск.	12 00	Юзовка . . .	11 51	Должанская .	11 58	Ремейкино .	11 58
Алмазная . .	11 54	Гришино . .	11 49	Бел. Калитва	12 03		

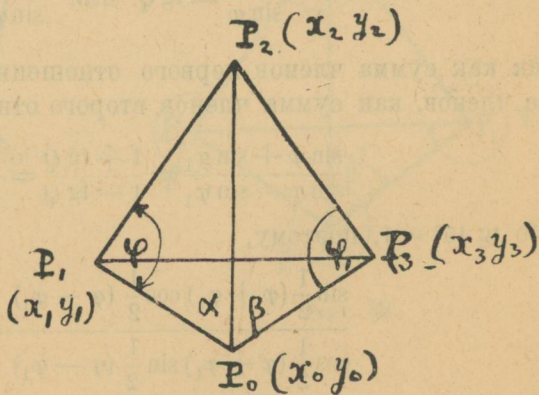
Таблица 8.
Новочеркасск. Деклинометрическая станция. Журнал наблюдений суточным скло-
нением магнитной стрелки, произведен. 17-го января 1922 года.

Время наблюдения	Показания деклинометра	Время наблюдения	Показания деклинометра	Время наблюдения	Показания деклинометра	Время наблюдения	Показания деклинометра	Время наблюдения	Показания деклинометра	Время наблюдения	Показания деклинометра
утра		утра		утра		утра		утра		утра	
8 ^h —	347°23'	9 ^h 45'	18',9	11 ^h 50'	22',6	1 ^h 35'	22',6	3 ^h 5'	22',0	4 ^h 45'	23',1
—15'	22',9	—50	20,1	—55	22,0	—40	22,5	—10	22,9	—50	23,1
—20	22,5	—55	19,7	12—	21,0	—45	22,5	—20	21,8	—55	23,6
—30	21,9	10—	20,5	— 5	22,5	—50	22,5	—30	22,0	5—	23,7
—35	22,0	—10	21,0	—10	22,6	—55	22,5	—35	22,5	— 5	23,5
—40	22,0	—15	21,0	—15	22,8	2—	22,5	—40	22,5	—10	23,1
—45	22,0	—50	21,7	—20	22,1	— 5	22,4	—45	22,5	—15	22,5
—50	20,9	—55	20,4	—25	21,9	—10	22,5	—50	23,5	—20	22,0
—55	20,0	11—	20,8	—30	22,0	—15	22,0	—55	23,2	—25	22,0
9—	20,1	— 5	21,1	—35	22,1	—20	21,0	4—	23,2	—30	21,4
— 5	20,5	—10	21,4	—40	22,0	—25	21,6	— 5	23,3	—35	21,8
—10	21,0	—15	21,4	—45	21,6	—30	20,8	—10	23,3	—40	22,1
—15	21,0	—20	21,4	—50	21,7	—35	21,0	—15	22,9	—45	22,1
—20	20,9	—25	22,4	—55	22,1	—40	21,4	—20	23,5	—50	22,2
—25	20,3	—30	22,4	1 15	22,2	—45	21,9	—25	23,5	6—	22,5
—30	20,0	—35	22,1	—20	22,3	—50	22,1	—30	22,8	— 5	23,4
—35	19,1	—40	21,9	—25	22,5	—55	22,0	—35	22,7	—10	24,4
—40	19,6	—45	22,5	—30	22,3	3—	22,1	—40	23,0	—15	25,0

Задачи триангуляции.

Для целей ориентировки рудничных съомок относительно друг друга необходимо иметь на поверхности точки, координаты которых относительно данной, общей для всех рудников, системы „координат“ были бы известны. Определение этих точек является, таким образом, одной из важнейших задач маркшейдерской практики, и так как точки эти представляются основными для всей последующей съемки, то необходимо употреблять наиболее точные приемы съемки. Таким приемом является триангуляционная съемка, так как углы на местности измеряются гораздо точнее, чем линии. В распоряжении маркшейдера всегда должно быть несколько точек, определенных общей съемкой страны, координаты которых ему известны, и его задача в этом случае заключается в определении координат нужных для него точек помощью прямой или обратной засечки с точек уже известных.

На местности все точки триангуляционной сети отмечаются или легко могут быть найдены из описания в абрисе. Благодаря значительной густоте такой сети, всегда есть возможность: 1) выбрать для определения новой точки большее число известных точек, нежели это требуется, и, таким образом, получить контроль точности своей работы и уравновесить получившиеся погрешности и 2) брать небольшую сторону треугольников, дабы сделать влияние кривизны земли неощутительным и все вычисления вести на плоскости.



Чер. 36.

При таком положении задача сводится к вставке новых точек в имеющуюся сеть, что достигается чаще всего или решением задачи Ганзена, или решением задачи Патенота.

§ 36. Задача Патенота. Если известны координаты трех точек $P_1P_2P_3$ (чер. 36), то, измерив углы α и β , можно вычислить координаты точки P_0 , чем и определить положение ее относительно трех данных точек.

Эта задача имеет 6 случаев. Аналитическое решение ее не требует чертежа, но во избежание ошибок—нужно его иметь. Будем всегда обозначать левую точку через P_1 , среднюю—через P_2 , правую—через P_3 ,

определяемую через P_0 угол $P_2P_1P_0$ — через φ и угол $P_2P_3P_0$ через φ_1 ; кроме того, положим, что длины сторон данного треугольника $P_1P_2P_3$ и их азимуты вычислены по данным координатам конечных точек. Из чертежа имеем:

$$\varphi + \varphi_1 = 360^\circ - (\alpha + \beta + P_1P_2P_3).$$

Здесь угол $P_1P_2P_3$ известен, ибо он равен разности $(P_2P_1) - (P_2P_3)$. Далее, из треугольников $P_2P_0P_1$ и $P_2P_0P_3$ можно написать:

$$P_2P_0 = \frac{P_1P_2 \sin \varphi}{\sin \alpha} = \frac{P_2P_3 \sin \varphi_1}{\sin \beta},$$

откуда, отделив известные величины в одну часть, а неизвестные в другую—

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi} = \frac{P_1P_2 \sin \beta}{P_2P_3 \sin \alpha}.$$

Вторую часть принимают равную $\operatorname{tg} Q$, а потому

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi} = \operatorname{tg} Q \quad \text{или} \quad \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi} = \frac{1}{\operatorname{tg} Q}.$$

Так как сумма членов первого отношения относится к разности тех же членов, как сумма членов второго отношения к своей разности, то

$$\frac{\sin \varphi + \sin \varphi_1}{\sin \varphi - \sin \varphi_1} = \frac{1 + \operatorname{tg} Q}{1 - \operatorname{tg} Q} = \frac{\operatorname{tg} 45^\circ + \operatorname{tg} Q}{1 - \operatorname{tg} 45^\circ \operatorname{tg} Q},$$

ибо $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$, поэтому,

$$\frac{\sin \frac{1}{2}(\varphi + \varphi_1) \cos \frac{1}{2}(\varphi - \varphi_1)}{\cos \frac{1}{2}(\varphi + \varphi_1) \sin \frac{1}{2}(\varphi - \varphi_1)} = \operatorname{tg}(45^\circ + Q)$$

или

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi - \varphi_1) = \operatorname{cotg}(45^\circ + Q) \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi + \varphi_1).$$

Таким образом, определится $\varphi - \varphi_1$, а $\varphi + \varphi_1$ известно уже было в начале. Следовательно, можно определить и каждый из углов φ и φ_1 , ибо, если

$$\frac{1}{2}(\varphi + \varphi_1) = m \quad \text{и} \quad \frac{1}{2}(\varphi - \varphi_1) = n$$

то

$$\varphi = m + n \quad \text{и} \quad \varphi_1 = m - n$$

по известным же углам φ и φ_1 будем иметь

$$(P_1P_0) = (P_1P_2) + \varphi \quad \text{и} \quad (P_3P_0) = P_3P_2 - \varphi_1,$$

после этого длины линий P_1P_0 и P_3P_0 будут

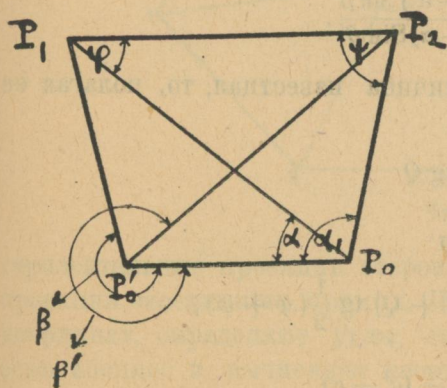
$$P_1P_0 = \frac{P_1I_2 \sin(\varphi + \alpha)}{\sin \alpha} \text{ и } P_3P_0 = \frac{P_3P_2 \sin(\varphi_1 + \beta)}{\sin \beta},$$

поэтому

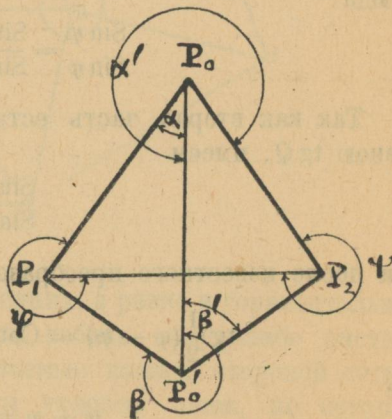
$$\begin{aligned} x_0 &= x_1 + P_1P_0 \cos(P_1P_0), & y_0 &= y_1 + P_1P_0 \sin(P_1P_0) \\ x_0 &= x_3 + P_3P_0 \cos(P_3P_0), & y_0 &= y_3 + P_3P_0 \sin(P_3P_0). \end{aligned}$$

Двойное вычисление координат x_0 и y_0 служит проверкою.

§ 37. Задача Ганзена состоит в определении двух точек по двум данным. Если координаты точек P_1 и P_2 (черт. 37) даны, то для определения координат точек P_0 и P'_0 измеряют при P_0 два угла, под



Черт. 37.



Черт. 38.

которыми видны с нее линии $P_1P'_0$ и $P_2P'_0$, а при P'_0 два угла, под которыми с нее видны линии P_1P_0 и P_2P_0 . Нужно различать два случая, когда искомые точки лежат по одну сторону линии P_1P_2 и когда по разным ее сторонам (черт. 38). Решение и выводы формул будет общим для обоих случаев, если примем некоторые условия, а именно: через P_1 будем называть ту точку, которую линия $I_0P'_0$ встречает сперва при поворачивании ее около P_0 слева направо; затем, считая углы также слева направо от линии $P_0P'_0$, введем обозначения

$$P'_0P_0P_1 = \alpha; P'_0P_0P_2 = \alpha'; P_0P'_0P_1 = \beta; P_0P'_0P_2 = \beta'.$$

Угол φ будем считать по тому же направлению от P_1P_2 до P_1P_0 , а угол ψ от P_2P_0 до P_2P_1 .

Известно, что

$$\operatorname{tg}(P_1 P_2) = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, \quad P_1 P_2 = \frac{Y_2 - Y_1}{\sin(P_1 P_2)} = \frac{X_2 - X_1}{\cos(P_1 P_2)}$$

а из чертежа имеем

$$P_0 P_1 = \frac{P_1 P_2 \sin \psi}{\sin(\alpha' - \alpha)}, \quad P_0 P_2 = \frac{P_1 P_2 \sin \varphi}{\sin(\alpha' - \alpha)}$$

но

$$P_0 P_0' = \frac{P_0 P_1 \sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} = \frac{P_0 P_2 \sin(\beta' - \alpha')}{\sin \beta'}$$

или, подставляя сюда предыдущие выражения для $P_0 P_1$ и $P_0 P_2$

$$\frac{\sin \psi \cdot \sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} = \frac{\sin \varphi \cdot \sin(\beta' - \alpha')}{\sin \beta'}$$

отсюда

$$\frac{\sin \psi}{\sin \varphi} = \frac{\sin(\beta' - \alpha') \sin \beta}{\sin(\beta - \alpha) \sin \beta'}$$

Так как вторая часть есть величина известная, то, полагая ее равною $\operatorname{tg} Q$, имеем

$$\frac{\sin \psi}{\sin \varphi} = \operatorname{tg} Q$$

или после известного преобразования

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi - \psi) = \operatorname{Cotg}(45^\circ + Q) \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi + \psi),$$

где

$$\varphi + \psi = 180^\circ - (\alpha' - \alpha)$$

после того, как φ и ψ определены, из чертежей имеем:

$$P_0' P_2 = \frac{P_1 P_2 \sin P_1 P_2 P_0'}{\sin(\beta' - \beta)} = \frac{P_1 P_2 \sin(\beta' - \alpha' - \psi)}{\sin(\beta' - \beta)}$$

$$P_0' P_1 = \frac{P_1 P_2 \sin P_2 P_1 P_0'}{\sin(\beta' - \beta)} = \frac{P_1 P_2 \sin(\beta - \alpha + \varphi \pm 180^\circ)}{\sin(\beta' - \beta)}$$

Кроме того:

$$(P_1 P_0) = (P_1 P_2) + \varphi, \quad P_1 P_0' = (P_1 P_0) + (\beta - \alpha) \pm 180^\circ$$

$$(P_2 P_0) = (P_2 P_1) - \psi, \quad P_2 P_0' = (P_2 P_0) + (\beta' - \alpha') \pm 180^\circ.$$

Имея азимуты и длины направлений, получим координаты точек P_0 и P_0' вдвойне, а именно:

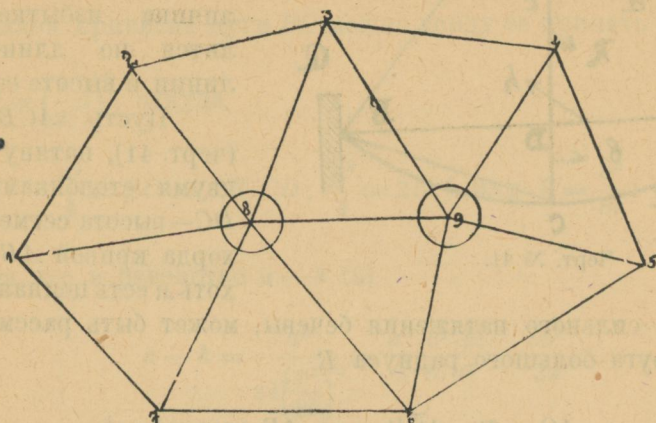
$$X_0 = X_1 + P_1 P_0 \cos(P_1 P_0) = X_2 + P_2 P_0 \cos(P_2 P_0)$$

$$Y_0 = Y_1 + P_1 P_0 \sin(P_1 P_0) = Y_2 + P_2 P_0 \sin(P_2 P_0)$$

$$X_0' = X_1 + P_1 P_0' \cos(P_1 P_0') = X_2 + P_2 P_0' \cos(P_2 P_0')$$

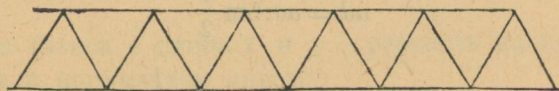
$$Y_0' = Y_1 + P_1 P_0' \sin(P_1 P_0') = Y_2 + P_2 P_0' \sin(P_2 P_0'),$$

§ 38. Триангуляционная с'емка. Она состоит в следующем: на местности выбирают ряд точек таким образом, чтобы линии, их соединяющие, представляли сеть треугольников, вершинами которых будут служить выбранные точки. Измеряют затем горизонтальную проекцию одной из сторон этих треугольников, называемую базисом, углы треугольников, и берут засечки на некоторых замечательных точках местности. Далее, решая последовательно треугольники, определяют



Черт. 39.

горизонтальные проекции сторон последних, а равно и горизонтальные проекции засекающих прямых. Наконец, избрав какую-либо систему координат, определяют углы, составляемые каждой стороной сети с осью абсцисс и вычисляют координаты угловых точек, по которым строят план с'емки.



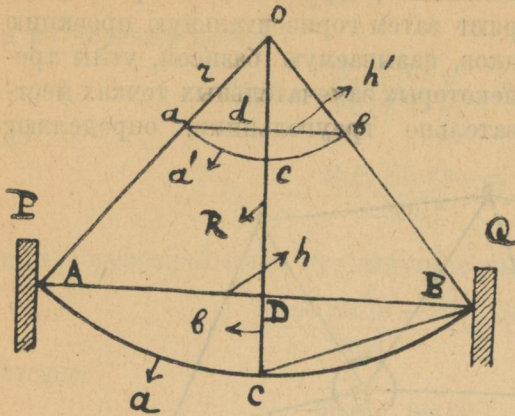
Черт. 40.

По общему расположению треугольников различают триангуляционные сети (черт. 39) и цепи (черт. 40).

Измерение базиса.

Так как от точности измерения базиса в значительной степени зависит точность триангуляции, то на производство этой работы должно быть обращено особенное внимание. Измерение это, в зависимости от местных условий и желанья точных результатов, производится различными способами.

§ 39. Измерение базиса по способу Струве. Для достижения большей точности, измерение базиса производится по натянутой бечеве



Черт. № 41.

между двумя столбиками. Длина базиса получится тогда, когда из длины бечевы вычтем избыток цепной линии над хордою, стягивающей ее концы. Величина избытка определится по длине цепной линии и высоте ее сегмента.

Пусть ACB — бечева (черт. 41), натянутая между двумя столбиками P и Q ; DC — высота сегмента; AB — хорда кривой ABC , которая хоть и есть цепная линия, но

вследствие сильного натяжения бечевы, может быть рассматриваема за дугу круга большого радиуса R

$$AO = R; \overset{\frown}{ACB} = a; \overline{AB} \text{ (хорда)} = h;$$

Опишем из O дугу acb радиусом, равным единице:

$$ao = r = 1; \overset{\frown}{acb} = a'; \frac{\text{хорда}}{ab} = h';$$

из $\triangle aod$, имеем:

$$ad = ao \cdot \sin \frac{a'}{2}$$

$$2ad = ab = h' = 2 \sin \frac{1}{2} a'$$

Разлагая $\sin$ в строку

$$h' = a' - \frac{a'^3}{2 \cdot 3 \cdot 2^2} + \frac{a'^5}{2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 2^4} - \dots \dots \dots (1)$$

Следовательно, можно написать по формуле (1) для

$$h = a - \frac{a^3}{2 \cdot 3 \cdot 2^2 \cdot R^2} + \frac{a^5}{2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 2^4 \cdot R^4} \dots \dots \dots (2)$$

Вследствие значительной величины R сравнительно с « a » последний член и все остальное могут быть отброшены, будем иметь из (2)

$$a - h = \frac{a^3}{24R^2} \dots \dots \dots (3)$$

определим R

$$BC^2 = 2 \cdot OC \cdot DC \text{ (стрелка)} = 2 \cdot R \cdot DC \dots \dots \dots (4)$$

По малой кривизне дуги BC можно хорду ее принять равною $\frac{1}{2}a$,

тогда $BC^2 = \left(\frac{1}{2}a\right)^2$, откуда

$$\frac{a^2}{4} = BC^2 = 2R \cdot CD; \quad \frac{a^2}{4} = 2R \cdot b \text{ или } R = \frac{a^2}{8b};$$

подставляя это в равенство $a - h$ (3)

$$a - h = \frac{a^3}{24\left(\frac{a^2}{8b}\right)^2} = \frac{a^3 \cdot 8^2 \cdot b^2}{3 \cdot 8 \cdot a^4} = \frac{8b^2}{3a} \dots \dots \dots (5)$$

Вот формула для избытка дуги цепной линии над соответственной хордою.

В результат измерения базиса вводятся поправки:

1) За неверность жезла, по формуле:

$$+ \frac{L}{42} \cdot g,$$

где L — длина базиса в дюймах и g — разность на половину сажени между жезлом и нормальной мерою;

2) За температуру, по формуле:

$$+ L \cdot k(t - t_0),$$

где L — длина базиса, k — коэффициент расширения нормальной меры, t — температура во время сравнения и t_0 — нормальная температура меры;

3) За провес бечевы, который должен быть не более 0,03 саж., по формуле:

$$x = \frac{8b^2}{3a},$$

где a есть расстояние между концами бечевы, b — стрелка;

4) За наклонность базиса, по формуле:

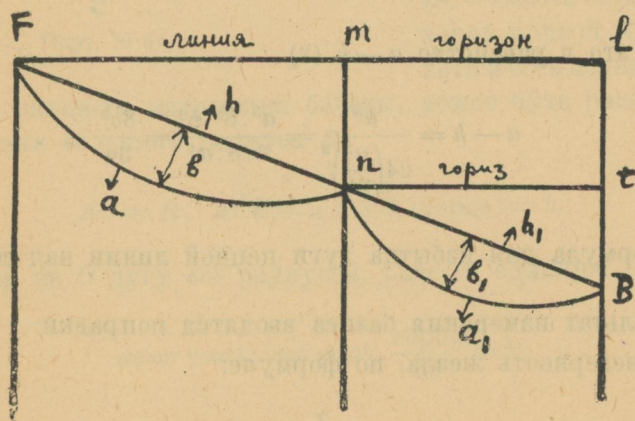
$$-\frac{\sin^2 1'}{2} \cdot \sum u \cdot i'^2,$$

где u — отрезки базиса, имеющие углы наклона; углы наклона выражены через i' минут;

5) За приведение к уровню моря, по формуле:

$$t = \frac{L \cdot H}{R}$$

где L — длина базиса, H — средняя высота базиса над уровнем моря и R — радиус кривизны нормального сечения.



Черт. 42.

Окончательно длина базиса в дюймах равна:

$$L_0 = L + \frac{L}{42} g + L \cdot k(t - t_0) - \frac{8}{3a} \sum b^2 - \frac{\sin^2 1'}{2} \sum u \cdot i'^2 - \frac{L \cdot H}{R}$$

Прибор Струве даст относительную ошибку

$$\frac{1}{1.000.000}, \text{ а Едерина } - \frac{1}{5.000.000}$$

Пример. Измерение базиса произведено два раза стальной десяти-саженной лентой между двумя триангуляционными точками B и F по стальному канату в полдюйма толщины, натянутому при помощи талии, при чем он, вследствие местных условий, был посредине приподнят стойкой (чер. 42).

При чем получено:

$$a = 37^{\circ},9965;$$

$$b = 0^{\circ},149;$$

$$mn = 0^{\circ},344;$$

$$a_1 = 37^{\circ},679$$

$$b_1 = 0^{\circ},251$$

$$tB = 1^{\circ},096$$

Зная, что

$$a - h = \frac{8b^2}{3a};$$

$$a_1 - h_1 = \frac{8b_1^2}{3a_1}$$

$$\lg b \dots\dots\dots 9.1731863$$

$$\lg b^2 \dots\dots\dots 8.3463726$$

$$\lg 8 \dots\dots\dots 0.9030900$$

$$\lg \text{числ.} \dots\dots\dots 9.2494626$$

$$\lg \text{знам.} \dots\dots\dots 2.0568649$$

$$\lg(a - h) \dots\dots 7.1925977 \dots\dots a - h = 0.001558, \text{ откуда}$$

$$h = 37,9965 - 0,0015 = 37^{\circ},995$$

$$\lg a \dots\dots\dots 1.5797436$$

$$\lg 3 \dots\dots\dots 0.4771213$$

$$\lg \text{знам.} \dots\dots\dots 2.0568649$$

из $\triangle Fmn$

$$\sin F = \frac{mn}{h};$$

$$Fm = \frac{mn}{\lg F};$$

$$\lg mn \dots\dots\dots 9.5365584$$

$$\lg Fn \dots\dots\dots 1.5797264$$

$$\lg \sin F \dots\dots\dots 7.9568320$$

$$\lg mn \dots\dots\dots 9.5365584$$

$$\lg \lg F \dots\dots\dots 7.9568473$$

$$\lg mF \dots\dots\dots 1.5797111$$

$$F = 0^{\circ}31'7'',5$$

$$Fm = 37^{\circ},9937$$

$$\lg b_1 \dots\dots\dots 9.3996737$$

$$\lg b_1^2 \dots\dots\dots 8.7993474$$

$$\lg 8 \dots\dots\dots 0.9030900$$

$$\lg \text{числ.} \dots\dots\dots 9.7024374$$

$$\lg \text{знам.} \dots\dots\dots 2.0532207$$

$$\lg(a_1 - h_1) \dots\dots 7.6492167 \dots\dots a_1 - h_1 = 0,0045, \text{ откуда}$$

$$h_1 = 37^{\circ},679 - 0^{\circ},0045 = 37^{\circ},6745$$

$$\lg a_1 \dots\dots\dots 1.5760994$$

$$\lg 3 \dots\dots\dots 0.4771213$$

$$\lg \text{знам.} \dots\dots\dots 2.0532207$$

из $\triangle ntB$

$$\sin n = \frac{tB}{h_1};$$

$$nt = \frac{tB}{\lg n};$$

$$\lg tB \dots\dots\dots 0.0398106$$

$$\lg nB \dots\dots\dots 1.5760475$$

$$\lg \sin n \dots\dots\dots 8.4637631$$

$$\lg tB \dots\dots\dots 0.0398106$$

$$\lg \lg n \dots\dots\dots 8.4637631$$

$$\lg tn \dots\dots\dots 1.5758635$$

$$n = 1^{\circ}40'1'',36$$

$$nt = 37^{\circ},6586$$

Горизонтальная линия базиса

$$Fl = 37^{\circ},9937 + 37^{\circ},6586 = 75^{\circ},6523$$

§ 40. Измерение базиса по способу Böhler'a. Местность между обоими концами базиса должна быть ровной, ничем не пересеченной и почти горизонтальной.

Положение базиса по отношению к тригонометрической сети должно быть, по возможности, центральным.

Оба конечных пункта базиса должны быть так расположены, чтобы горизонтальное расстояние между ними можно было определить полигонным ходом. Длина сторон полигона хотя могла быть измерена особыми приборами непосредственно, но Белер предложил определять их вычислением, устанавливая почти точно в середине стороны полигона базисную рейку перпендикулярно к самой стороне, и так, чтобы ее середина приходилась, по возможности, на середине стороны; у обоих концов каждой стороны измеряются углы $\alpha, \beta, \gamma, \delta$.

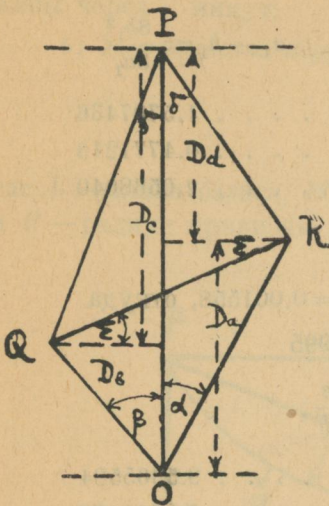
Величина рейки 4^м, а полной стороны полигона 40^м.

Измерение производится жезлами по шнуру.

Для визирования применяются сигналы пр. Эгерта.

Для установки теодолита, на голове штатива укрепляется особая подкладка с гильзой; в нижнюю часть треножника ввинчивается шаровая втулка; центрировка гильзы подкладки производится прибором Нагеля.

Вычисление стороны полигона $OP = D$ производится по способу Курцома (черт. 43) из наблюдений: $\alpha, \beta, \gamma, \delta \dots QR = l$



Черт. 43.

$$D = D_a + D_b + D_c + D_d \dots \dots \dots (1)$$

$$D_a = y \cotg \alpha \dots \dots \dots (l_a)$$

$$D_b = y \cotg \delta \dots \dots \dots (l_b)$$

$$D_c = x \cotg \beta \dots \dots \dots (l_c)$$

$$D_d = x \cotg \gamma \dots \dots \dots (l_d)$$

Откуда

$$\frac{x}{y} = \frac{\cotg \alpha + \cotg \delta}{\cotg \beta + \cotg \gamma} \dots \dots \dots (2)$$

имеем

$$x + y = l \cos \epsilon \dots \dots \dots (3)$$

$$D_a - D_b = D_c - D_d = l \sin \epsilon \dots \dots \dots (4)$$

Из 3 и 2 получаем

$$y = l \cdot \cos \varepsilon \cdot \frac{\cotg \alpha + \cotg \delta}{\cotg \alpha + \cotg \beta + \cotg \gamma + \cotg \delta} \dots \dots \dots (5)$$

Аналогично этому

$$x = l \cdot \cos \varepsilon \cdot \frac{\cotg \alpha + \cotg \delta}{\cotg \alpha + \cotg \beta + \cotg \gamma + \cotg \delta} \dots \dots \dots (6)$$

Если подставить (5) и (6) в (l_a) до (l_d) , а найденные значения в (4), получим

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\cotg \alpha \cdot \cotg \gamma \cotg \beta \cdot \cotg \delta}{[\cotg]} \dots \dots \dots (7)$$

где $[\cotg]$ означает сумму котангенсов.

Если выражения (5) и (6) подставить в (l_a) до (l_d) , а результаты подстановки в (1), то получим формулу для определения длины D

$$D = l \cdot \cos \varepsilon \cdot \frac{(\cotg \beta + \cotg \gamma) (\cotg \alpha + \cotg \delta)}{[\cotg]} \dots \dots \dots (8)$$

В формуле (8) все величины известны, кроме ε , которое можно определить из (7). Для удобства преобразуем формулу (7), прибавив и вычтя к числителю правой части по

$$\cotg \alpha \cdot \cotg \beta - \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\cotg \alpha (\cotg \beta - \cotg \gamma) + \cotg \beta (\cotg \delta - \cotg \alpha)}{[\cotg]} \dots \dots (7a)$$

Знак тангенса практического значения не имеет и его можно отбросить.

Для удобства вычислений в (7) и (8) формуле вводятся обозначения

$$m = \cotg \alpha; n = \cotg \beta; o = \cotg \gamma; p = \cotg \delta,$$

после чего формулы принимают вид:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{m(n - o) + n(p - m)}{[\cotg]}$$

$$D = l \cdot \cos \varepsilon \cdot \frac{(p + m)(n + o)}{[\cotg]}.$$

После определения длины сторон полигона вычисляются координаты концов базиса, а из них получают его длину до $\frac{1}{200.000}$, вводя поправку $x = \frac{bh}{R}$, где b есть сторона полигона, h — превышение одной точки над другой, R — радиус земли.

Пример: Сторона полигона № 6, рейка № 2.

$$\left. \begin{aligned} \delta &= 5^{\circ}37'58'',5 \dots \cotg = 10,1388 = p \\ \alpha &= 5^{\circ}35'47'',0 \dots \cotg = 10,2054 = m \end{aligned} \right\} (p-m) \cdot n = -0,0666 \cdot 9,4722 = -0,630$$

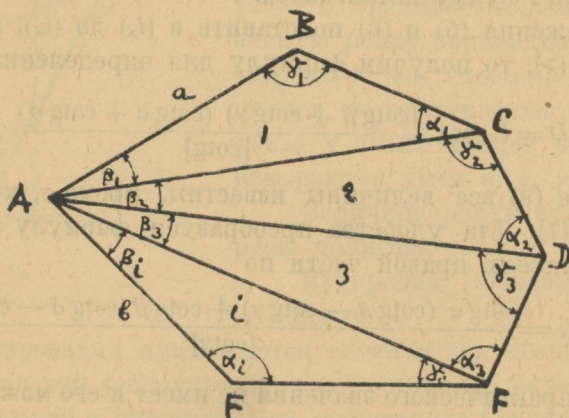
$$\left. \begin{aligned} \beta &= 6^{\circ}01'35'',5 \dots \cotg = 9,4722 = n \\ \gamma &= 6^{\circ}02'22'',5 \dots \cotg = 9,4516 = o \end{aligned} \right\} (n-o)m = +0,0206 \cdot 10,2054 = +0,210$$

$$\begin{aligned} p + m &= 20,3442 \\ n + o &= 18,9238 \\ \hline [\cotg] &= 39,2680 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lg &= 1,308441 \\ \lg &= 1,277008 \\ \lg 1 : [\cotg] &= 8,405961 \\ \lg l &= 0,604590 \\ \lg \cos \varepsilon &= -25 \\ \hline \lg D &= 1,595975 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{числитель} &= -0,420 \\ D &= 39,44345 \end{aligned}$$

§ 41. Уравновешивание триангуляции малых (рудничных) участков
слагается из условий:



Черт. 44.

1) *Условие горизонта*—сумма углов вокруг одной точки должна быть $= 360^{\circ}$

2) *Условие треугольников*—сумма углов в каждом треугольнике должна быть $= 180^{\circ}$.

3) *Условие сторон*—каким бы порядком не вычислялись они, всегда должен получиться один и тот же результат.

4) *Условие базисов*—если было непосредственно измерено несколько базисов, то вычисленная из треугольников длина каждого из них должна согласоваться с результатом непосредственного измерения.

Условие сторон и базисов выражается при помощи теоремы синусов. Сокращенность достигается разбиванием сети на отдельные группы треугольников и, произведя уравновешивание одной из них, присоединяют к ней следующую и т. д.

Пусть между пунктами A, B, C, D, E, F есть часть сети (черт. 44) состоящая из треугольников под номерами 1, 2, ..., i; их углы

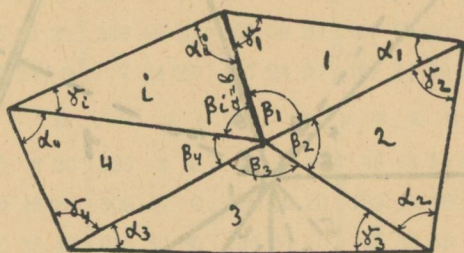
3) вовсе не войдут длины начальной и конечной сторон взятого участка.

§ 42. Сокращенный способ уравнивания триангуляции малых (рудничных) участков.

(Пример).

I.

Теодолит репетиционный, т. е. такой, в котором зрительная труба может быть переведима через зенит, и лимб может вращаться вокруг вертикальной оси. Измерение углов производится „по способу

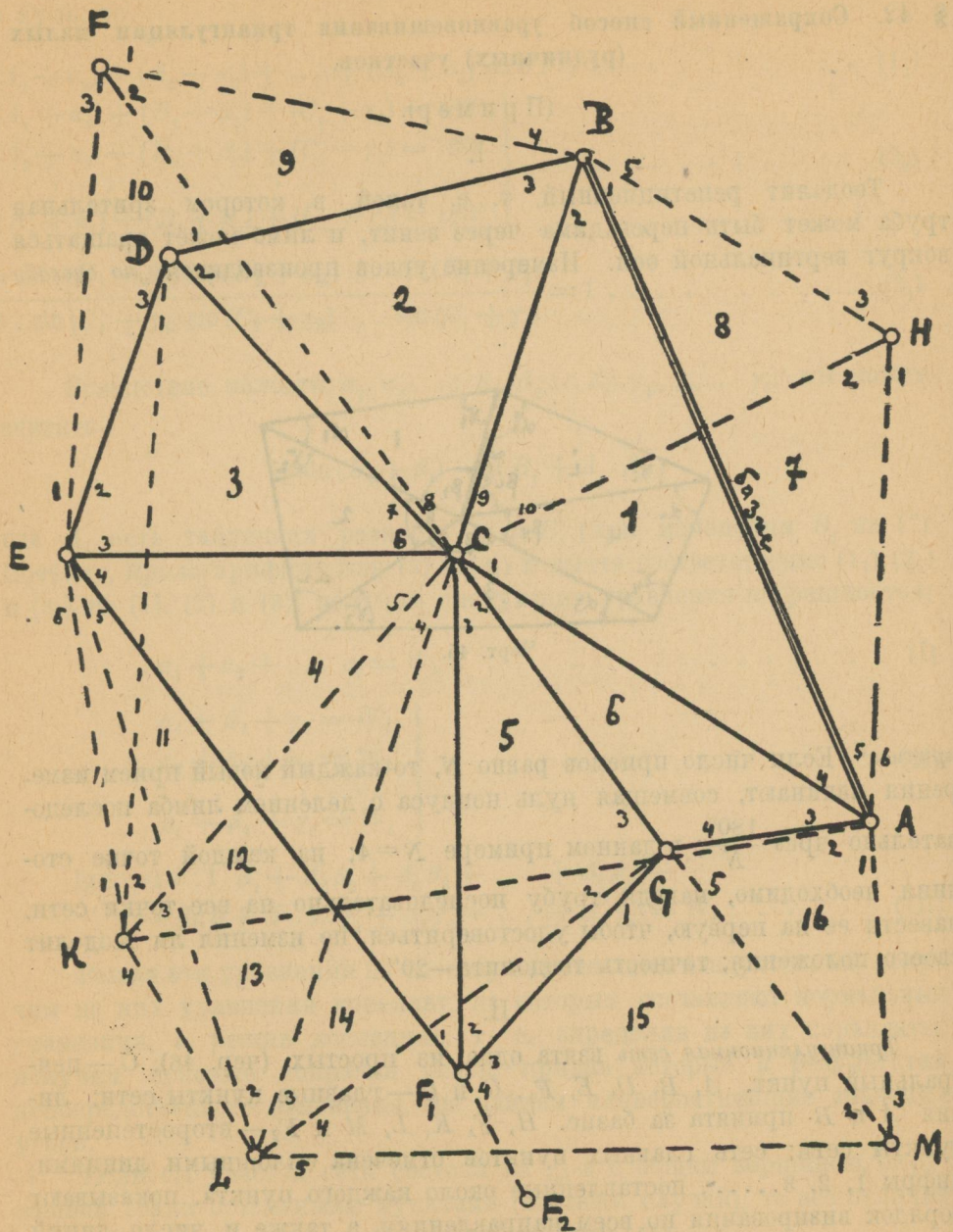


Черт. 45.

приемов“. Если число приемов равно N , то каждый новый прием измерения начинают, совмещая нуль нониуса с делением лимба последовательно чрез $\frac{180^\circ}{N}$; в данном примере $N=4$; на каждой точке стояния необходимо, наведя трубу последовательно на все точки сети, навести ее на первую, чтобы удостовериться, не изменил ли теодолит своего положения; точность теодолита— $20''$.

II.

Триангуляционная сеть взята одна из простых (чер. 46); C — центральный пункт. A, B, D, E, F_1, G и C — главные пункты сети; линия A и B принята за базис. H, F, K, L, M и F_2 — второстепенные пункты сети; сеть главных пунктов отмечена сплошными линиями; цифры 1, 2, 3....., поставленные около каждого пункта, показывают порядок визирования по всем направлениям, а также и число линий визирования. Цифры 1, 2, 3.....дают порядок вычисления треугольников. Треугольники 7, 8.....16 составляют сеть второстепенных пунктов, определенных засечками с главных пунктов.



Черт. 46.

Измерение углов и окончательные результаты этих измерений.

Точка стояния А.

Точка визиров.	1-е полож. трубы		2-е полож. трубы		Простое	Привед.	Среднее
	Нониус А	Нониус В	Нониус А	Нониус В	среднее	средн.	из всех
П е р в ы й п р и е м							
М	0° 3' 40"	180° 3' 20"	180° 3' 20"	0° 3' 40"	0° 3' 30"	0° 0' 0"	0° 0' 0"
К	84 46 40	264 46 20	264 46 20	84 46 60	84 46 35	84 43 5	84 43 2,5
Г	90 53 60	270 53 40	270 53 40	90 54 20	90 53 55	90 50 25	90 50 22,5
С	116 57 40	296 57 40	296 57 40	116 57 40	116 57 44	116 54 10	116 54 5
В	156 59 20	336 59 20	336 59 20	156 59 20	156 59 20	156 55 50	156 55 47,5
Н	187 24 0	7 24 0	7 24 20	187 24 20	187 24 10	187 20 40	187 20 36,2
В т о р о й п р и е м							
М	45 3 0	225 3 20	225 3 0	45 3 40	45 3 15	0 0 0	
К	129 46 0	309 46 20	309 46 0	129 46 20	129 46 10	84 42 55	
Г	135 53 20	315 53 40	315 53 20	135 54 0	135 53 35	90 50 20	
С	161 57 0	341 57 20	341 57 0	161 57 40	161 57 15	116 54 0	
В	201 59 0	21 59 0	21 59 0	201 59 0	201 59 0	156 55 45	
Н	232 23 40	52 23 40	51 24 0	232 23 40	232 23 45	187 20 30	
Т р е т и й п р и е м							
М	90 5 40	270 5 40	270 5 40	90 5 40	90 5 40	0 0 0	
К	174 48 40	354 48 40	354 48 40	174 48 40	174 48 40	84 43 0	
Г	180 56 0	360 56 0	360 56 0	180 56 0	180 56 0	90 50 20	
С	206 59 40	26 59 40	26 59 40	206 59 40	206 59 40	116 54 0	
В	247 1 20	67 1 20	67 1 20	247 1 40	247 1 25	156 55 45	
Н	277 26 20	97 26 20	97 26 0	277 26 20	277 26 15	187 20 35	
Ч е т в е р т ы й п р и е м							
М	135 3 40	315 3 40	315 3 20	135 3 40	135 3 25	0 0 0	
К	219 46 40	39 47 0	39 46 40	219 46 40	219 46 45	84 43 10	
Г	225 54 0	45 54 0	45 54 0	225 54 0	225 54 0	90 50 25	
С	251 57 40	71 58 0	71 57 40	251 57 40	251 57 45	116 54 10	
В	291 59 20	111 59 40	111 59 20	291 59 20	291 59 25	156 55 50	
Н	322 24 20	142 24 20	142 24 0	322 24 20	322 24 15	187 20 40	

Окончательные результаты измерения углов.

Точка визи- рования	Приведен. среднее	Среднее из всех	Точка визи- рования	Приведен. среднее	Среднее из всех	Точка визи- рования	Приведен. среднее	Среднее из всех	Точка визи- рования	Приведен. среднее	Среднее из всех
Точка стояния А			Третий прием			Четвертый прием			Второй прием		
Первый прием			A	0° 0' 0"		A	0° 0' 0"		F	0° 0' 0"	
M	0° 0' 0"	0° 0' 0"	C	57 49 10		G	30 5 2		D	33 34 0	
K	84 43 5	84 43 2,5	D	105 39 15		F ₁	62 23 32		C	104 34 40	
G	90 50 25	90 50 22,5	F	110 25 20		L	90 44 2		F ₁	156 25 35	
C	116 54 10	116 54 5	H	329 6 40		K	113 7 57		L	188 44 10	
B	156 55 50	156 55 47,5	Четвертый прием			E	147 18 2		K	203 56 20	
H	187 20 40	187 20 36,2	A	0 0 0		F	184 33 30		Третий прием		
Второй прием			C	57 49 10		D	195 4 52		F	0 0 0	
M	0 0 0		D	105 39 10		B	277 50 37		D	33 34 0	
K	84 42 55		F	110 25 10		H	320 2 57		C	104 34 30	
G	90 50 20		H	329 6 40		Точка стояния D			F ₁	156 25 15	
C	116 54 0		Точка стояния С			Первый прием			L	188 44 10	
B	156 55 45		Первый прием			B	0 0 0	0° 0' 0"	K	203 56 5	
H	187 20 30		A	0 0 0		C	49 24 0	49 24 0	Четвертый прием		
Третий прием			G	30 4 55		K	106 0 40	106 0 45	F	0 0 0	
M	0 0 0		F ₁	62 23 40		E	110 37 5	110 37 5	D	33 34 5	
K	84 43 0		L	90 44 3		Второй прием			C	104 34 45	
G	90 50 20		K	113 7 45		B	0 0 0		F ₁	156 25 35	
C	116 54 0		E	147 18 0		C	49 24 0		L	188 44 20	
B	156 55 45		F	184 33 20		K	106 0 45		K	203 56 15	
H	187 20 35		D	195 4 45		E	110 37 0		Точка стояния F ₁		
Четвертый прием			B	277 50 30		Третий прием			Первый прием		
M	0 0 0		H	320 2 50		B	0 0 0		E	0 0 0	0° 0' 0"
K	84 43 10		Второй прием			C	49 24 5		C	43 14 30	43 14 39
G	90 50 25		A	0 0 0		K	106 0 55		B	60 37 10	60 37 25
C	116 54 10		G	30 4 55		E	110 37 15		G	82 49 25	82 49 31
B	156 55 50		F ₁	62 23 35		Четвертый прием			F ₂	223 31 0	223 31 10
H	187 20 40		L	90 43 55		Третий прием			Второй прием		
Точка стояния В			K	113 7 45		B	0 0 0		E	0 0 0	
Первый прием			E	147 18 0		C	49 23 55		C	43 14 15	
A	0 0 0	0 0 0	F	184 33 30		K	106 0 40		B	60 37 10	
C	57 49 0	57 49 6	D	195 4 50		E	110 37 0		G	82 49 10	
D	105 39 5	105 39 10	B	277 50 45		Четвертый прием			F ₂	223 30 55	
F	110 25 5	110 25 11	H	320 3 4		Точка стояния Е			Третий прием		
H	329 6 45	329 6 41	Третий прием			Первый прием			E	0 0 0	
Второй прием			A	0 0 0	0° 0' 0"	D	33 34 10	33 34 4	C	43 14 45	
A	0 0 0		G	30 4 50	30 4 56	F	0 0 0	0 0 0	B	60 37 40	
C	57 49 5		F ₁	62 23 30	62 23 34	D	33 34 10	33 34 4	G	82 49 50	
D	105 39 10		L	90 43 55	90 43 59	C	104 34 30	104 34 36	F ₂	223 31 20	
F	110 25 10		K	113 7 45	113 7 48	F ₁	156 25 15	156 25 25	Четвертый прием		
H	323 6 40		E	147 18 0	147 18 0	L	188 44 0	188 44 10	E	0 0 0	
			F	184 33 20	184 33 25	K	203 56 10	203 56 13	C	43 15 5	
			D	195 4 40	195 4 47				B	60 37 40	
			B	277 50 40	277 50 38				G	82 49 40	
			H	320 3 0	320 2 58				F ₂	223 31 25	

Окончательные результаты измерения углов.

Точка визи-рования	Приведен. среднее	Среднее из всех	Точка визи-рования	Приведен. среднее	Среднее из всех	Точка визи-рования	Приведен. среднее	Среднее из всех	Точка визи-рования	Приведен. среднее	Среднее из всех
Точка стояния G			Второй прием			Точка стояния K			Третий прием		
Первый прием			A	0° 0' 0"		Первый прием			E	0° 0' 0"	
F ₁	0° 0' 0"	0° 0' 0"	C	69 36 5		D	0° 0' 0"		C	39 15 50	
L	18 5 35	18 5 29	B	118 41 35		C	41 26 45		G	68 34 45	
C	108 7 20	108 7 23	Третий прием			A	76 8 20		M	136 3 30	
A	231 58 10	231 58 11	A	0 0 0		Второй прием			Четвертый прием		
M	298 48 45	298 48 46	C	69 36 5		D	0 0 0		E	0 0 0	
Второй прием			B	118 41 46		C	41 26 40		C	39 15 45	
F ₁	0 0 0		Четвертый прием			A	76 8 15		G	68 34 45	
L	18 5 30		A	0 0 0		Третий прием			M	136 3 30	
C	108 7 25		C	69 36 10		Четвертый прием			Точка стояния M		
A	231 58 15		B	118 41 40		D	0 0 0		Первый прием		
M	298 48 45		Точка стояния F			C	41 26 35		L	0 0 0	0° 0' 0"
Третий прием			Первый прием			A	76 8 15		G	33 13 45	33 13
F ₁	0 0 0		B	0 0 0	0° 0' 0"	Четвертый прием			A	55 33 20	55 33 19
L	18 5 25		C	34 7 50	34 7 29	D	0 0 0		Второй прием		
C	108 7 25		E	72 18 35	72 17 18	C	41 26 15		L	0 0 0	
A	231 58 10		Второй прием			A	76 7 50		G	33 13 45	
M	298 48 50		B	0 0 0		Точка стояния L			A	55 33 25	
Четвертый прием			C	34 7 30		Первый прием			Третий прием		
F ₁	0 0 0		E	72 17 10		E	0 0 0	0° 0' 0"	L	0 0 0	
L	18 5 25		Третий прием			C	39 15 40	39 15 45	G	33 13 35	
C	108 7 20		B	0 0 0		G	68 34 45	68 34 46	A	55 33 15	
A	231 58 10		C	34 7 15		M	136 3 20	136 3 28	Четвертый прием		
M	298 48 45		E	72 17 20		Второй прием			L	0 0 0	
Точка стояния H			Четвертый прием			E	0 0 0		G	33 13 45	
Первый прием			B	0 0 0		C	39 15 45		A	55 33 15	
A	0 0 0	0 0 0	C	34 7 20		G	68 34 50				
C	69 36 15	69 36 9	E	72 17 5		M	136 3 30				
B	118 42 0	118 41 45									

Вычисление средней ошибки одного направления визирования из каждой точки стояния производится по формуле:

$$Mr = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{(S-1)(G-1)'}}$$

где

$$[VV] = [VV] - \frac{1}{S}[V][V],$$

при чем

$G = 4 =$ число приемов.

$S =$ число направлений визирования из каждой точки стояния.

$V =$ отклонения от среднего арифметического (среднего из всех) каждого направления при каждом приеме. (Для V_1 графы не отделено, так как эти величины везде равны нулю).

Т о ч к а А.

Прием	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	$[V]$	$[V]^2$
I	- 2,5	- 2,5	- 5	- 2,5	- 3,8	- 16,3	265,69
II	+ 7,5	+ 2,5	+ 5	+ 2,5	+ 6,2	+ 23,7	561,69
III	+ 2,5	+ 2,5	+ 5	+ 2,5	+ 1,2	+ 13,7	187,69
IV	- 7,5	- 2,5	- 5	- 2,5	- 3,8	- 21,3	453,69
Сумма	0,0	0,0	0,0	0,0	- 0,2	0,2	$\sum = 1468,76 = [V][V]$
Квадраты	6,25	6,25	25	6,25	14,44	$\frac{1}{S}[V][V] = \frac{1468,76}{6} = 244,80$	
	56,25	6,25	25	6,25	38,44		
	6,25	6,25	25	6,25	1,44	$[V][V] = 343,76$	
	56,25	6,25	25	6,25	14,44	$[VV] = 343,76 - 244,80 = 98,96$	
Сумма	125,00	25,00	100,00	25,00	68,76	$Mr = \pm \sqrt{\frac{98,96}{(6-1)(4-1)}}$	
Сумма = 343,76 = $[VV]$						$Mr = \pm 2'',57$	

Т о ч к а В.

Прием	V_2	V_3	V_4	V_5	$[V]$	$[V]^2$
I	+ 6	+ 5	+ 6	- 4	+ 13	169
II	+ 1	0	+ 1	+ 1	+ 3	9
III	- 4	- 5	- 9	+ 1	- 17	289
IV	- 4	0	+ 1	+ 1	- 2	4
Сумма . .	- 1	- 0	- 1	- 1	- 3	$\sum = 471 = [V][V]$

$S = 5$
 $G = 4$

Квадраты	36	25	36	16	$\frac{1}{S} [V] [V] = \frac{471}{5} = 94,2$ $[VV] = 257$ $[VV] = 257 - 94,2 = 162,8$
	1	0	1	1	
	16	25	81	1	
	16	0	1	1	
Сумма ...	69	50	119	19	$Mr = \pm \sqrt{\frac{162,8}{(5-1)(4-1)}}$ $Mr = \pm 3'',70$

Сумма = $[VV] = 257$

Т о ч к а С.

Прием	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	$[V]$	$[V]^2$
I	+1	-6	-4	+3	0	+5	+2	+8	+8	+17	289
II	+1	-1	+4	+3	0	-5	-3	-7	-6	-14	196
III	+6	+4	+4	+3	0	+5	+7	-2	-2	+25	625
IV	-6	+2	-3	-9	-2	-5	-5	+1	+1	-26	676
Сумма . .	+2	-1	+1	0	-2	0	+1	0	1	+2	$\sum=1786=[V][V]$
Квадраты	1	36	16	9	0	25	4	64	64	$S=10$ $G=4$	
	1	1	16	9	0	25	9	49	36		
	36	16	16	9	0	25	49	4	4		
	36	4	9	81	4	25	25	1	1		
Сумма . .	74	57	57	108	4	100	87	118	105		

Сумма = 710 = $[VV]$

$$\frac{1}{S} [V] [V] = \frac{1786}{10} = 178,6$$

$$[VV] = 710 - 178,6 = 531,4$$

$$Mr = \pm \sqrt{\frac{531,4}{(10-1)(4-1)}}$$

$$Mr = \pm 4'',40$$

Точка D.

Прием	V_2	V_3	V_4	$[V]$	$[V][V]$
I	0	+5	0	+5	25
II	0	0	+5	+5	25
III	-5	-10	-10	-25	625
IV	+5	+5	+5	+15	225
Сумма	0	0	0	0	$\Sigma = 900 = [V][V]$
Квадраты	0	25	0		
	0	0	25		
	25	100	100		
	25	25	25		
	50	150	150		
Сумма = <u>350</u> = $[VV]$					

$S = 4; G = 4;$
 $\frac{1}{S}[V][V] = \frac{900}{4} = 225$
 $[VV] = 350 - 225 = 125$
 $M_2 = \pm \sqrt{\frac{125}{(4-1)(4-1)}}$
 $M_2 = \pm 3",73.$

Точка E.

Прием	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	$[V]$	$[V]^2$	$S=6$ $G=4$
I . .	-6	+6	+10	+10	+3	+23	529	$\frac{1}{S}[V][V]=\frac{2626}{6}=438$
II . .	+4	-4	-10	0	-7	-17	289	
III . .	+4	+6	+10	0	+8	+28	784	
IV . .	-1	-9	-10	-10	-2	-32	1024	
Сумма	+1	-1	0	0	+2	+2	$\Sigma = 2622 = [V][V]$	
Квадраты	36	36	100	100	9	$[VV] = 964 - 438 = 526$		
	16	16	100	0	49	$Mr = \pm \sqrt{\frac{526}{(6-1)(4-1)}}$		
	16	36	100	0	64			
	1	81	100	100	4			
Сумма = <u>964</u> = $[VV]$								$Mr = \pm 5",92$

Точка F_1 .

Прием	V_2	V_3	V_4	V_5	$[V]$	$[V]^2$	$S=5$ $G=4$
I . . .	+ 9	+ 15	+ 6	+ 10	+ 40	1600	$\frac{1}{S}[V][V] = \frac{13950}{5} = 2790$
II . . .	+ 24	+ 15	+ 21	+ 15	+ 75	5625	
III . . .	- 6	- 15	- 19	- 10	- 50	2500	
IV . . .	- 26	- 15	- 9	- 15	- 65	4225	
Сумма	+ 1	0	- 1	0	0	$\Sigma = 13950 = [V][V]$	
Квадраты	81	225	36	100	$[VV] = 3838 - 2790 = 1048$		
	576	225	441	225	$Mr = \pm \sqrt{\frac{1048}{(5-1)(4-1)}}$		
	36	225	361	100			
	676	225	81	225			
Сумма = 3838 = $[VV]$						$Mr = \pm 9'',34$	

Точка G .

Прием	V_2	V_3	V_4	V_5	$[V]$	$[V][V]$	$S=5$ $G=4$
I . . .	- 6	+ 3	+ 1	+ 1	- 1	1	$\frac{1}{S} [V][V] = \frac{119}{5} = 23,8$
II . . .	- 1	- 2	- 4	+ 1	- 6	36	
III . . .	+ 4	- 2	+ 1	- 4	- 1	1	
IV . . .	- 4	+ 3	+ 1	+ 1	+ 9	81	
Сумма	+ 1	+ 2	- 1	- 1	+ 1	$\Sigma = 119 = [V][V]$	
Квадраты	36	9	1	1	$[VV] = 133 - 23,8 = 109,2$		
	1	4	16	1	$Mr = \pm \sqrt{\frac{109,2}{(5-1)(4-1)}}$		
	16	4	1	16			
	16	9	1	1			
Сумма = 133 = $[VV]$							$Mr = \pm 3'',02$

Средняя ошибка одного направления, вычисленная как среднеарифметическое из всех величин Mr , полученных для точек стояния A, B, C, D, E, F_1, G_1 , оказывается равною:

$$M_0 = \frac{[Mr]}{n} = \frac{2,57 + 3,70 + 4,40 + 3,73 + 5,92 + 9,34 + 3,02}{7} = \frac{32,68}{7}$$

$$M_0 = \pm 4",67.$$

Окончательные средние арифметические значения углов из всех измерений.

Точка		Среднее арифметич. значение углов	Точка		Среднее арифметич. значение углов	Точка		Среднее арифметич. значение углов	Точка		Среднее арифметич. значение углов
Стояния	Визи-рования		Стояния	Визи-рования		Стояния	Визи-рования		Стояния	Визи-рования	
А	М	00 0' 0"		К	113° 7' 48"	F ₁	К	203° 56' 13"		С	34° 7' 29"
	К	84 43 2,5		Е	147 18 0		Е	0 0 0		Е	72 17 18
	Г	90 50 22,5		F	184 33 25		С	43 14 39		К	0 0 0
	С	116 54 5		Д	195 4 47		В	60 37 25		С	41 26 34
	В	156 55 47,5		В	277 50 38		Г	82 49 31		А	76 8 10
	Н	187 20 36,2		Н	320 2 58		F ₂	223 31 10		Л	0 0 0
В	А	0 0 0	Д	В	0 0 0	Г	Г	0 0 0		С	39 15 45
	С	57 49 6		С	49 24 0		Л	18 5 29		Г	68 34 46
	Д	105 39 10		К	106 0 45		С	108 7 23		М	136 3 28
	F	110 25 11		Е	110 37 5		А	231 58 11		М	0 0 0
	Н	329 6 41		Е	0 0 0		М	298 48 46		Г	33 13 43
С	А	0 0 0		Д	33 34 4	Н	А	0 0 0		А	55 33 19
	Г	30 4 56		С	104 34 46		С	69 36 9			
	F	62 23 34		F ₁	156 25 25		В	118 41 45			
	Л	90 43 59		Л	188 44 10		F	0 0 0			

Вычисление главной сети треугольников.

Главную сеть составляют треугольники вокруг центрального пункта С (см. чер. 46), т. е. треугольники 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Из предыдущей таблицы средних значений измеренных углов, через соответственное сочетание их друг с другом, находим углы каждого треугольника:

(1) *ABC*

$$A = 40^{\circ} 1' 42'',5$$

$$B = 57^{\circ} 49' 6''$$

$$C = 82^{\circ} 9' 22''$$

$$\hline 180^{\circ} 0' 10'',5$$

$$\text{Невязка } f_1 = +10'',5$$

(2) *BDC*

$$B = 47^{\circ} 50' 4''$$

$$D = 49^{\circ} 24' 0''$$

$$C = 82^{\circ} 45' 51''$$

$$\hline 179^{\circ} 59' 55''$$

$$f_2 = -5''$$

(3) *DEC*

$$D = 61^{\circ} 13' 5''$$

$$E = 71^{\circ} 0' 32''$$

$$C = 47^{\circ} 46' 47''$$

$$\hline 180^{\circ} 0' 24''$$

$$f_3 = +24''$$

(4) EF_1C	(5) F_1GC	(6) GAC
$E = 51^\circ 50' 49''$	$F_1 = 39^\circ 34' 52''$	$G = 123^\circ 50' 48''$
$F_1 = 43^\circ 14' 39''$	$G_1 = 108^\circ 7' 23''$	$A = 26^\circ 3' 42'',5$
$C = 84^\circ 54' 26''$	$C = 32^\circ 18' 38''$	$C = 30^\circ 4' 56''$
$179^\circ 59' 54''$	$180^\circ 0' 53''$	$179^\circ 59' 26'',5$
$f_4 = -6''$	$f_5 = +53''$	$f_6 = -33'',5$

Из 6 треугольников средняя ошибка невязки суммы углов M одного треугольника вычисляется по известной формуле:

$$M = \pm \sqrt{\frac{[ff]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 + f_5^2 + f_6^2}{6}} = \pm \sqrt{\frac{4678,5}{6}} = \pm 27'',9$$

Средняя ошибка угла

$$M_n = \sqrt{\frac{[ff]}{3n}} = \pm \frac{M}{\sqrt{3}} = \pm \frac{27,9}{\sqrt{3}} = \pm 16'',1$$

и средняя ошибка направления

$$M_r = \pm \sqrt{\frac{[ff]}{6n}} = \pm \frac{M_n}{\sqrt{2}} = \pm \frac{16,1}{\sqrt{2}} = \pm 11'',4.$$

Сумма углов вокруг пункта C (условия горизонта)

$$\begin{array}{r} 82^\circ 9' 22'' \\ 82^\circ 45' 51'' \\ 47^\circ 46' 47'' \\ 84^\circ 54' 26'' \\ 32^\circ 18' 38'' \\ 30^\circ 4' 56'' \\ \hline \Sigma c = 360^\circ 0' 0'' \end{array}$$

Невязка $f_s = 0'',0$.

Поправки углов вычисляются по формуле, где

$$[f] = (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_6);$$

$$(S) = \frac{[f] - 3f_s}{2n} = + \frac{43}{12} = + 3'',6$$

$$(1) = -\frac{1}{3} [f_1 + (s)] = -\frac{1}{3} (10,5 + 3'',5) = -4,7$$

$$(2) = -\frac{1}{3} [f_2 + (s)] = -\frac{1}{3} (3'',5 - 5) = +0,5$$

$$(3) = -\frac{1}{3} [f_3 + (s)] = -\frac{1}{3} (24 + 3'',5) = -9,2$$

$$(4) = -\frac{1}{3} [f_4 + (s)] = -\frac{1}{3} (3'',5 - 6) = +0,8$$

$$(5) = -\frac{1}{3} [f_5 + (s)] = -\frac{1}{3} (53 + 3'',5) = -18,8$$

$$(6) = -\frac{1}{3} [f_6 + (s)] = -\frac{1}{3} (3'',5 - 33,5) = +10,0$$

Итак, мы должны ввести следующие поправки:

1) К углам A и B треугольника ABC придать по

$$(1) = -4'',7 = \infty - 5'',$$

а к углу его C величину:

$$(s) + (1) = +3'',6 - 4'',7 = -1'',1 = \infty - 1''.$$

2) К углам B и D треугольника BDC придать по

$$(2) = +0'',5 = \infty + 1'',$$

а к углу его C придать:

$$(S) + (2) = +3'',6 + 0'',5 = +4'',1 = \infty + 4''.$$

3) К углам D и E треугольника DEC придать по

$$(3) = -9'',2 = \infty - 9'',$$

а к углу его C придать:

$$(S) + (3) = +3'',6 - 9'',2 = -5'',6 = \infty - 6''.$$

4) К углам E и F_1 треугольника EF_1C придать по

$$(4) = +0'',8 = \infty + 1'',$$

а к углу его C придать:

$$(S) + (4) = +3'',6 + 0'',8 = +4'',4 = \infty + 4''.$$

5) К углам F_1 и G треугольника F_1GC придать по

$$(5) = -18'',8 = \infty - 19'',$$

а к углу его C придать:

$$(S) + (5) = +3'',6 - 18'',8 = -15'',2 = \infty - 15''.$$

6) К углам G и A треугольника GAC придать по

$$(6) = +10'', 0 = \infty + 10'',$$

а к углу его C придать:

$$(S) + (6) = 3'', 6 + 10'', 0 = +13'', 6 = \infty + 14''.$$

Округляя, таким образом, эти поправки до целых секунд и вводя эти поправки в вышеприведенные значения углов, мы получим следующие их исправленные значения:

$\triangle ABC$	$\triangle BDC$	$\triangle DEC$
$A = 40^\circ 1' 37'', 5$	$B = 47^\circ 50' 5''$	$D = 61^\circ 12' 56''$
$B = 57^\circ 49' 1''$	$D = 49^\circ 24' 1''$	$E = 71^\circ 0' 23''$
$C = 82^\circ 9' 21''$	$C = 82^\circ 45' 55''$	$C = 47^\circ 46' 41''$
$179^\circ 59' 59'', 5$	$180^\circ 0' 1''$	$180^\circ 0' 0''$
$\triangle EF_1C$	$\triangle F_1GC$	$\triangle GAC$
$E = 51^\circ 50' 50''$	$F_1 = 39^\circ 34' 33''$	$G = 123^\circ 50' 58''$
$F_1 = 43^\circ 14' 40''$	$G = 108^\circ 7' 4''$	$A = 26^\circ 3' 52'', 5$
$C = 84^\circ 54' 30''$	$C = 32^\circ 18' 23''$	$C = 30^\circ 5' 10''$
$180^\circ 0' 0''$	$180^\circ 0' 0''$	$180^\circ 0' 0''$

Теперь сумма углов вокруг пункта C равна

$$\Sigma C = 360^\circ 0' 0''.$$

Невязки произошли вследствие округления ∞ в поправках углов.

Условие сторон:

$$\frac{\sin A_1 \sin B_2 \sin D_3 \sin E_4 \sin F_{1(5)} \sin G_{(6)}}{\sin B_1 \sin D_2 \sin E_3 \sin F_{1(4)} \sin G_{(5)} \sin A_{(6)}} = 1.$$

Поэтому составим таблицу:

	Разность lg на 1" угла*)
$\lg \sin A_1 = 40^\circ 1' 37'', 5 = 9.8083120$	+ 25,1
$\lg \sin B_2 = 47^\circ 50' 5'' = 9.8699422$	+ 19,1
$\lg \sin D_3 = 61^\circ 12' 56'' = 9.9427209$	+ 11,5
$\lg \sin E_4 = 51^\circ 50' 50'' = 9.8956249$	+ 16,5
$\lg \sin F_{1(5)} = 39^\circ 34' 33'' = 9.8042069$	+ 25,5
$\lg \sin G_{(6)} = 123^\circ 50' 58'' = 9.9193418$	- 14,1
9.2401487	+ 83,6

*) Эти цифры получаются из табличной разности логарифмов.

		Разность lg на 1" угла*)
$\lg \sin B_1 = 57^\circ 49' 1''$	$= 9.9275503$	+ 13,3
$\lg \sin D_2 = 49^\circ 24' 1''$	$= 9.8803988$	+ 18,0
$\lg \sin E_3 = 71^\circ 0' 23''$	$= 9.9756868$	+ 7,2
$\lg \sin F_{1(4)} = 43^\circ 14' 40''$	$= 9.8357618$	+ 22,4
$\lg \sin G_{(5)} = 108^\circ 7' 40''$	$= 9.9779152$	— 6,9
$\lg \sin A_{(6)} = 26^\circ 3' 52'',5$	$= 9.6428443$	+ 43,1
9.2401572		+ 97,1

Разность lg числителя и lg знаменателя: $c = 85$ единицам последнего знака.

$$[d] = + 83,6 + 97,1 = + 180,7.$$

Поэтому угловая поправка

$$\frac{c}{[d]} = \frac{85}{180,7} = 0'',47$$

распределяет величину этой погрешности пропорционально разностям lg на 1" вышеприведенной таблицы

$0,47 \times 25,1 = + 12$	$0,47 \times 13,3 = + 6$
$0,47 \times 19,1 = + 9$	$0,47 \times 18,0 = + 8$
$0,47 \times 11,5 = + 5$	$0,47 \times 7,2 = + 3$
$0,47 \times 16,5 = + 8$	$0,47 \times 22,4 = + 11$
$0,47 \times 25,5 = + 12$	$0,47 \times 6,9 = - 3$
$0,47 \times 14,1 = - 7$	$0,47 \times 43,1 = + 20$
+ 39	+ 43

и полученные поправки вводим в lg Sinus'ов надписями „мелкого шрифта“ углов, что показано в таблице (А).

Примечание. Здесь говорится о введении только что полученных поправок „логарифмы“ синусов углов, но самих углов исправлять

*) Эти цифры получаются из табличной разности логарифмов.

в данном случае не нужно, так как поправки углов, соответствующие поправкам логарифмов; можно считать ничтожными, ибо выразятся лишь в немногих десятых и сотых долях секунд.

Если же эти поправки оказались бы более значительными, то их нужно было бы ввести и в значения самих углов, так что окончательные величины углов в треугольниках сети получились бы только после этого исправления.

Вычисление средних ошибок углов и направлений после окончательного исправления их.

Для определения этих ошибок нужно из окончательных значений углов (после всех исправлений) вычесть их первоначальные значения, полученные из журнала измерений.

Тогда получим:

$\lambda_1 = -5$	$\lambda_4 = +1$	$\lambda_7 = -9$	$\lambda_{10} = +1$	$\lambda_{13} = -19$	$\lambda_{16} = +10$
$\lambda_2 = -5$	$\lambda_5 = +1$	$\lambda_8 = -9$	$\lambda_{11} = +1$	$\lambda_{14} = -19$	$\lambda_{17} = +10$
$\lambda_3 = -1$	$\lambda_6 = +4$	$\lambda_9 = -6$	$\lambda_{12} = +4$	$\lambda_{15} = -15$	$\lambda_{18} = +14$

Сумма их квадратов

$$[\lambda\lambda] = 1628.$$

Ошибка угла

$$M_w = \pm \sqrt{\frac{1628}{(18-1)}} = \pm 9'',8.$$

Ошибка направления

$$M_r = \frac{M_w}{\sqrt{2}} = \pm 6'',9.$$

Примечание. Приведенные здесь величины $\lambda_1 \dots \lambda_{18}$ есть округленные до целых секунд поправки, данные на предыдущих страницах, так как „условие сторон“ не ввело новых заметных поправок (см. предыдущее примечание). Можно было бы взять и неокругленные значения $\lambda_1 \dots \lambda_{18}$, но результат для M_w и M_r получится тот же самый.

Вычисление простираия и длины базиса.

Сторона AB принята за базис триангуляции; ее длина оказалась равною:

$$AB = 131^m, 136$$

$$\lg AB = 2.117\ 7220.$$

Астрономический азимут базиса оказался:

$$(AB) = 279^\circ 59' 27''$$

$$\lg \sin(AB) = 9.9933637$$

$$\lg \cos(AB) = 9.2382760.$$

Вычисление главных треугольников сети.

(1) $\triangle ABC$

(2) $\triangle BCD$

$m = \frac{AB}{\sin C}$	$\lg AB = 2.1177220$ $\lg \sin C = 9.9959172$ $\lg m = 2.1218048$	$m = \frac{BC}{\sin D}$	$\lg BC = 1.9301180$ $\lg \sin D = 9.8803996$ $\lg m = 2.0497184$
$BC = m \sin A$	$\lg m = 2.1218048$ $\lg \sin A = 9.8083132$ $\lg BC = 1.9301180$	$CD = m \sin B$	$\lg m = 2.0497184$ $\lg \sin B = 9.8698431$ $\lg CD = 1.9196615$
$AC = m \sin B$	$\lg m = 2.1218048$ $\lg \sin B = 9.9275509$ $\lg AC = 2.0493557$	$BD = m \sin C$	$\lg m = 2.0497184$ $\lg \sin C = 9.9965286$ $\lg BD = 2.0462770$

(3) CDE

(4) EF_1C

(5) FGC

(6) GAC

$m = \frac{CD}{\sin E}$ $\lg m = 1.9439744$	$m = \frac{CE}{\sin F_1}$ $\lg m = 2.0509340$	$m = \frac{CF_1}{\sin G}$ $\lg m = 1.9686440$	$m = \frac{CG}{\sin A}$ $\lg m = 2.1300058$
$CE = m \sin D$ $\lg CE = 1.8866958$	$CF_1 = m \sin E$ $\lg CF_1 = 1.9465589$	$CG = m \sin F_1$ $\lg CG = 1.7728521$	$AC = m \sin G$ $\lg AC = 2.0493469$
$DE = m \sin C$ $\lg DE = 1.8135272$	$EF_1 = m \sin C$ $\lg EF_1 = 2.0492169$	$F_1E_1 = m \sin C$ $\lg F_1G = 1.6965483$	$AC_1 = m \sin C$ $\lg AC_1 = 1.8301044$

Таблица вычислений координат точек B, C, D, E, F_1, G и A .

Стороны S_n	Углы полигона	Углы про- стирания V_n	$\lg \sin V_n \lg S_n$ $\lg \cos V_n$	$\lg S_n \cdot \sin V_n$ $\lg S_n \cdot \cos V_n$	Разность ординат	Разность абсцисс	Ордината Y	Абсцисса X	Пункты
AB	—	$279^\circ 59' 27''$	—	—	—	—	+ 2348,462	+ 1524,979	B
BC	$57^\circ 49' 1''$	$157^\circ 48' 28''$	9.5771643 1.9301180 9.9665744 n	1.5072823 1.8966924	+ 32,158	— 78,830	+ 2380,620	+ 1446,149	C
CD	$277^\circ 14' 5''$	$255^\circ 2' 33''$	9.9850300 n 1.9196615 9.4117922 n	1.9046915 1.3314537	— 80,296	— 21,451	+ 2300,324	+ 1424,698	D
DE	$61^\circ 12' 56''$	$136^\circ 15' 29''$	9.8397366 1.8135272 9.8588145 n	1.6532638 1.6723417	+ 45,005	— 47,027	+ 2345,329	+ 1377,671	E
EF_1	$122^\circ 51' 13''$	$79^\circ 6' 42''$	9.9921102 2.0492169 9.2762217	2.0413271 1.3254386	+ 109,984	+ 21,156	+ 2455,313	+ 1398,827	F_1
F_1G	$82^\circ 49' 13''$	$341^\circ 55' 55''$	9.4915668 1.6965483 9.9780383	1.1881151 1.6745866	— 15,421	+ 47,270	+ 2439,892	+ 1446,097	G
GA	$231^\circ 58' 2''$	$33^\circ 53' 57''$	9.7464264 1.301044 9.9190888	1.5765308 1.7491932	+ 37,717	+ 56,130	+ 2477,609	+ 1502,227	A
AB	$66^\circ 5' 30''$	$279^\circ 59' 27''$	—	—	—	—	—	—	

* 7

Вычисление соседних пунктов H, F, K, L и M .

Вставка треугольников AHC и HBC

(7) AHC	(8) HBC	
$A = 70^\circ 26' 31'',2$	$H = 49^\circ 5' 36''$	$C_7 = 39^\circ 57' 2''$
$H = 69^\circ 36' 9''$	$B = 88^\circ 42' 25''$	$C_8 = 42^\circ 12' 20''$
$C = 39^\circ 57' 2''$	$C = 42^\circ 12' 20''$	
		$82^\circ 9' 22''$
$179^\circ 59' 42'',2$	$180^\circ 0' 21''$	Должно быть $82^\circ 9' 21''$
$f_7 = -17'',8$	$f_8 = +21'',0$	$f_s = +1''$

Поправка углов:

$$(S) = -\frac{[f] - 3f_s}{2n} = \frac{3,2 - 3}{4} = +0'',05$$

$$(7) = -\frac{1}{3}[f_7 + (S)] = -\frac{1}{3}[-17,8 + 0,05] = +5'',92$$

$$(8) = -\frac{1}{3}[f_8 + (S)] = -\frac{1}{3}[+21,0 + 0,05] = -7'',02.$$

Следовательно, исправленные углы будут

(7) AHC	(8) HBC	
$A = 70^\circ 26' 37'',12$	$H = 49^\circ 5' 29'',03$	$C_7 = 39^\circ 57' 7'',97$
$H = 69^\circ 36' 14'',92$	$B = 88^\circ 42' 18'',03$	$C_8 = 42^\circ 12' 13'',03$
$C = 39^\circ 57' 7'',97$	$C = 42^\circ 12' 13'',03$	
		$82^\circ 9' 21''$
$180^\circ 0' 0'',01$	$180^\circ 0' 0'',09$	Должно быть $82^\circ 9' 21''$

Условие сторон:

$$AC = \sin A_7 \sin H_8 = BC \cdot \sin H_7 \sin B_8$$

		Табличная разность lg на 1''
$\lg AC$	2.0493557	
$\lg BC$	1.9301180	
	— 95	
$\lg \sin 70^\circ 26' 37'',12$	9.9741950	+ 7,5
	+ 99	
$\lg \sin 69^\circ 36' 14'',92$	9.9718819	+ 7,8
	— 232	
$\lg \sin 49^\circ 5' 29'',03$	9.8783811	+ 18,3
	+ 6	
$\lg \sin 88^\circ 42' 18'',03$	9.9998887	+ 0,5
	1.9019318 1.9018886	+ 34,1
	$C = 432$	

Поправка углов: $= \frac{c}{[d]} = \frac{432}{34,1} = 12'',67.$

Вычисление $\triangle$ -ков (7) (8).

(7) AHC .

$m = \frac{AC}{\sin H}$ $\lg m = 2.0774639$	$CH = m \sin A$ $\lg CH = 2.0516494$	$AH = m \cdot \sin C$ $\lg AH = 1.8850993$
(8) HBC $m = \frac{HC}{\sin B}$ $\lg m = 2.0517601$	$BC = m \cdot \sin H$ $\lg BC = 1.9301180$	$BH = m \cdot \sin C$ $\lg BH = 1.8789790$