

П. А. БОЛОТОВ, С. В. ШУБИН, И. А. РЕЙМАН

ПРАКТИКУМ ПО ОСНОВНЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ РАБОТАМ

*Допущено
Главным управлением геодезии и картографии
при Совете Министров СССР
в качестве учебного пособия
для учащихся топографических техникумов*



МОСКВА, «И. Е. Д. Р. А.», 1977

П. А. Болотов, С. В. Шубин, И. А. Рейман. Практикум по основным геодезическим работам. М., «Недра», 1977. 336 с.

В книге даются краткие сведения об основных геодезических сетях, о погрешностях, возникающих при построении триангуляции. Рассматривается пример составления предварительного проекта ряда триангуляции, приводятся краткие сведения о базисных сетях и полигонометрии. Более подробно описаны современные оптические теодолиты, применяемые в триангуляции, их поверки и исследования, методика измерений углов этими приборами, а также весь комплекс работ, выполняемых при создании геодезической сети методом триангуляции. Дается описание высокоточных нивелиров, их поверки, исследования, рассматривается производство полевых работ при нивелировании II класса.

В учебном пособии приводятся примеры предварительной обработки наблюдений на пунктах триангуляции и геодезического нивелирования. Решается задача на переход от геодезических координат к плоским прямоугольным координатам Гаусса — Крюгера. Даются примеры решения прямой и обратной геодезических задач на эллипсоиде и примеры на привязку полигонометрических ходов.

В каждой главе пособия приводятся краткие сведения из теории вопроса, а также практические примеры, схемы, таблицы с текстом, поясняющим их заполнение и обработку.

Учебное пособие предназначено для учащихся очного и заочного обучения топографических техникумов, а также может быть использовано работниками топографо-геодезического производства, занимающимися созданием основных геодезических сетей.

Табл. 100, ил. 165, список лит. — 28 назв.

Рецензенты: Ю. С. КЛИМОВ,
В. К. ПАНКРУШИН

Учебное пособие предназначено для учащихся очного и заочного обучения топографических техникумов Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Практикум может быть использован и другими родственными специальными учебными заведениями, а также работниками ведомств и организаций, занимающимися созданием основных геодезических сетей. Поэтому авторы стремились по каждой теме изложить необходимый теоретический минимум в доступной для самостоятельного изучения форме. В начале каждой главы приводятся краткие теоретические положения, необходимые формулы и типовые схемы.

Пособие состоит из 12 глав. В главах I и II даются краткие сведения о методах создания основных геодезических сетей, приводятся типовые схемы их построения. Излагаются основы теории погрешностей триангуляции и приводится ряд задач на предвычисление погрешностей при проектировании триангуляции.

Пример составления предварительного проекта ряда триангуляции 2 класса и необходимые пояснения и расчеты приводятся в главе III.

В главе IV приводятся краткие сведения о базисных сетях и методы измерений базисных сторон светодальномерами.

В главах V и VI достаточно подробно описываются современные оптические теодолиты, применяемые для измерения углов и направлений в разных классах триангуляции. Поверки и исследования теодолитов сопровождаются краткими теоретическими пояснениями и наглядными примерами заполнения схем и обработки результатов исследования.

Так как полевые наблюдения в триангуляции занимают в производственной деятельности техника-геодезиста ведущее место, в главе VI подробно разбирается весь комплекс работ на пункте: наблюдения, их полевая обработка, а также оформление соответствующей документации.

Глава VII и VIII посвящены предварительной обработке наблюдений триангуляции и геодезического нивелирования. Приведены схемы как логарифмического, так и нелогарифмического методов вычислений.

В главе IX рассмотрены классификация сетей полигонометрии и схемы их построения, особенности угловых и линейных измерений, привязка полигонометрических ходов к опорным пунктам, главным образом, применительно к полигонометрии 3 и 4 классов и 1 и 2 разрядов.

В главе X приведены необходимые сведения о высокоточных нивелирах, их поверках и исследованиях, а также описаны методы проложения нивелирных ходов II класса.

Глава XI освещает теорию и практику вычисления пунктов триангуляции на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера. Основы теории проекции авторы стремились изложить в форме, доступной для самостоятельного изучения заочниками и производственниками.

В главе XII дается понятие о прямой и обратной геодезических задачах и приводятся методы решения их на эллипсоиде.

Главы VI и IX написаны П. А. Болотовым, главы III, VII, XII — И. А. Рейман, главы I, II, IV, V, VIII, X и XI — С. В. Шубинным.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРИАНГУЛЯЦИИ, ТРИЛАТЕРАЦИИ И ПОЛИГОНОМЕТРИИ

Государственная геодезическая сеть СССР является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов и должна удовлетворять требованиям народного хозяйства и обороны страны при решении соответствующих научных и инженерно-технических задач [11]. Геодезические сети бывают плановые и высотные.

Государственные геодезические сети создаются методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии и их сочетаниями.

§ 1. МЕТОД ТРИАНГУЛЯЦИИ

Сущность метода заключается в построении на местности сети треугольников, в которых измеряются все углы и только некоторые стороны (базисы). В результате решения треугольников вычисляются координаты их вершин.

Сети государственной триангуляции подразделяются на сети 1, 2, 3 и 4 классов, которые различаются между собой точностью измерений углов и расстояний, длиной сторон. Такое подразделение предусматривает построение сети по ступеням, начиная от треугольников высшего класса со сторонами от 20 до 25 км с постепенным переходом к треугольникам низших классов со сторонами от 5 до 8 км. Это позволяет в более сжатые сроки развить сеть триангуляции по всей громадной территории нашей страны, притом с высокой точностью, а сети низших классов развивать по мере надобности в любом районе.

Сеть 1 класса. Государственная геодезическая сеть триангуляции 1 класса как астрономо-геодезическая сеть предназначена для научных исследований и для распространения единой системы координат на всю территорию СССР.

Строится триангуляция 1 класса в виде рядов треугольников, близких к равносторонним, располагаемых по возможности вдоль меридианов и параллелей и отстоящих друг от друга на расстоянии 200—250 км. Пересекаясь между собой, эти ряды треугольников образуют замкнутые полигоны периметром 800—1000 км. Длины сторон треугольников, как правило, должны быть не менее 20 км, а общее число треугольников в звене, образующем сторону полигона, не более 20. В треугольниках углы измеряются со средней квадратической погрешностью, не превышающей 0,7".

На концах звеньев светодальномерами измеряются базисные стороны со средней квадратической погрешностью не более



Рис. 1

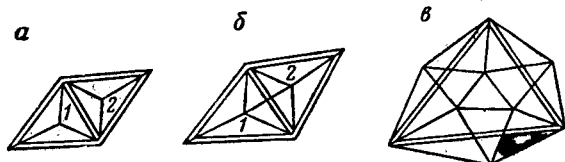


Рис. 2

1 : 400 000. На концах базисных сторон определяются пункты Лапласа, т. е. производятся астрономические определения широт со средней квадратической погрешностью $\pm 0,3''$, долгот с ошибкой $\pm 0,03'' = 0,45''$ и азимутов с погрешностью $\pm 0,5''$.

Сеть 2 класса. Триангуляция 2 класса строится в виде сплошной сети треугольников, заполняющих полигоны 1 класса. Стороны треугольников могут иметь длину от 7 до 20 км, в зависимости от условий местности. Средняя квадратическая погрешность измерения углов на пунктах не должна превышать $1,0''$. Базисные стороны в сплошных сетях 2 класса должны располагаться равномерно не реже чем через каждые 25 треугольников; при этом одна базисная сторона должна находиться, примерно, в середине полигона. Средняя квадратическая погрешность измерения базисных сторон должна быть не более 1 : 300 000. На концах базисной стороны, расположенной в середине полигона, определяют пункты Лапласа с той же точностью, что и для пунктов 1 класса.

По всему контуру полигона сеть треугольников 2 класса должна быть надежно связана с пунктами 1 класса (рис. 1). Такая привязка к более длинным сторонам треугольников 1 класса в зависимости от условий местности и соблюдения соотношений длин сторон может быть осуществлена: привязкой к стороне (рис. 1, а), геодезическим четырехугольником (рис. 1, б); центральной системой (рис. 1, в), веером треугольников (рис. 1, г), цепочкой треугольников (рис. 1, д).

Сеть 3 класса. Сеть 3 класса, являясь дальнейшим сгущением заполняющей сети 2 класса, строится или вставкой отдельных пунктов (рис. 2, а, б), или вставкой систем треугольников (рис. 2, в). Длины сторон в сетях триангуляции 3 класса 5—8 км. Средняя квадратическая погрешность измерения углов не более $\pm 1,5''$.

Сеть 4 класса. Наличие пунктов триангуляции 1, 2, 3 классов по своей густоте размещения обеспечивает производство топографических съемок в масштабе 1 : 25 000 и 1 : 10 000. Для обоснования съемок в масштабе 1 : 5000 и крупнее создаются сети 4 класса. Схемы построения сетей 4 класса аналогичны сетям 3 класса, т. е. строятся также вставками систем треугольников или отдельных пунктов. Длины сторон в среднем 2—5 км. Средняя квадратическая погрешность измерения угла не превышает $\pm 2,0''$.

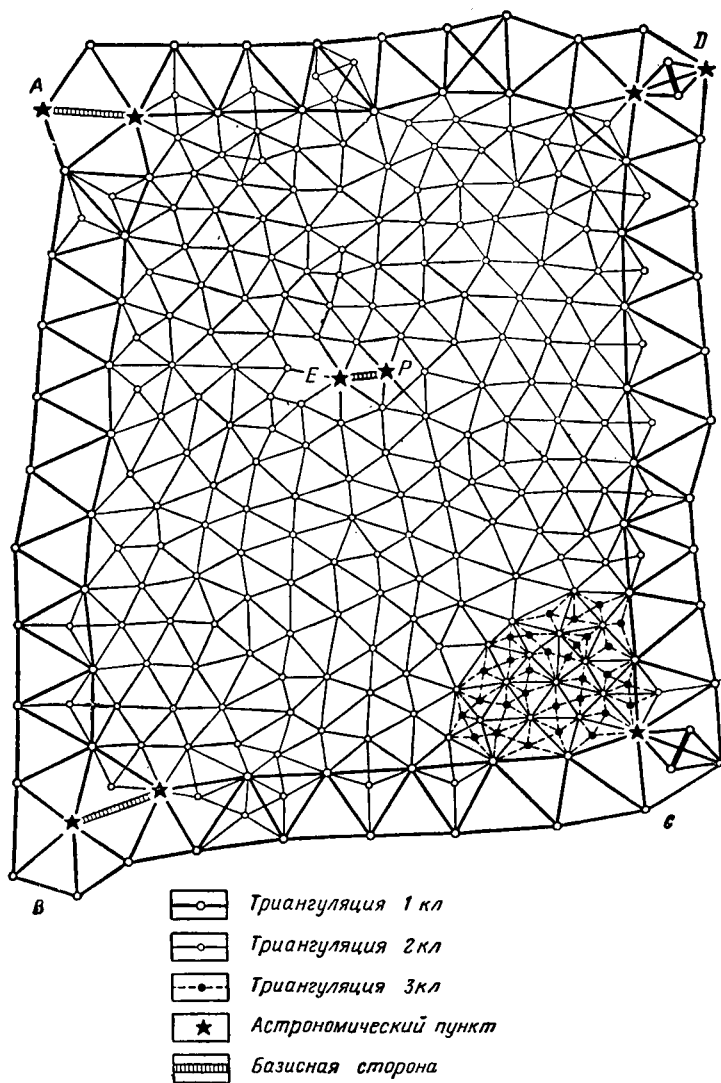


Рис. 3

Работы по развитию государственных геодезических сетей 1, 2 и 3 классов выполняет Главное управление геодезии и картографии. Сети 4 класса, по мере их необходимости, могут развивать ведомственные организации, занимающиеся крупномасштабными съемками. Для наглядности приводится примерная схема развития сетей триангуляции разных классов (рис. 3).

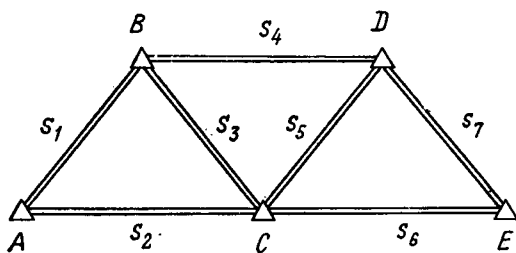


Рис. 4

§ 2. МЕТОД ТРИЛАТЕРАЦИИ

При этом методе в сети треугольников, создаваемой на местности, вместо углов измеряют длины сторон, при помощи которых производят решение треугольников и вычисляют координаты их вершин (рис. 4). Воз-

можность построения геодезических сетей методом трилатерации появилась лишь после изобретения свето- и радиодальномеров.

При развитии или сгущении государственной геодезической сети 3 и 4 классов методом трилатерации [13] схема сети (длина сторон, наименьшие и наибольшие углы треугольников) должна быть такой же, как и в триангуляции соответствующего класса. Стороны сети трилатерации должны быть измерены с относительными средними квадратическими погрешностями m_s/s 3 класса 1 : 100 000, 4 класса — 1 : 40 000.

При сгущении геодезической сети 2 класса методом трилатерации 3 и 4 классов с каждого вновь определяемого пункта должны быть измерены расстояния не менее чем до трех пунктов, два из которых обязательно должны быть пунктами существующей сети высшего класса.

§ 3. МЕТОД ПОЛИГОНОМЕТРИИ

На местности прокладывают ходы, в вершинах которых измеряются горизонтальные углы, а затем расстояния между этими точками, необходимые для вычисления координат пунктов полигонометрии.

В недавнем прошлом полигонометрия как метод создания плановой геодезической основы применялась ограниченно в силу трудоемкости работ по измерению длин сторон проволоками. В настоящее время светодальномерная техника точных измерений расстояний открыла большие возможности для развития полигонометрии. Это нашло свое отражение в инструкции о построении государственной геодезической сети в СССР [11], в которой государственная полигонометрия по точности построения приравнивается к триангуляции и может заменять соответствующие классы последней, если по организационным и экономическим соображениям такая замена будет выгодной.

Государственная полигонометрия по точности и геометрической сущности близка к соответствующим классам триангуляции. Так, полигонометрические ходы 1 класса, вытянутые по форме, прокладываются по направлениям меридианов и параллелей, образуя в пересечениях замкнутые полигоны, как и ряды треугольников

триангуляции 1 класса. Полигон (звено) состоит из 10 сторон, каждая длиной 20—25 км. Таким образом, периметр замкнутого полигона равен 800—1000 км. На обоих концах звена (в вершинах полигонов) определяются пункты Лапласа с той же точностью, как и в триангуляции 1 класса. Длины сторон измеряются со средней квадратической погрешностью 1 : 300 000, а горизонтальные углы со средней квадратической погрешностью не более 0,4".

Полигоны, образованные звеньями триангуляции или полигонометрии 1 класса, могут внутри заполняться полигонометрической сетью 2 класса. Углы на пунктах 2 класса измеряются со средней квадратической погрешностью, не превышающей 1,0", а расстояния между пунктами с относительной погрешностью не более 1 : 250 000.

Развитие полигонометрических сетей 2 класса в каждом отдельном случае производится по особо разрабатываемой программе.

Дальнейшее сгущение сетей 2 класса может производиться методом полигонометрии, путем проложения или системы ходов или одиночных ходов, опирающихся на пункты высшего класса. Ходы между узловыми точками или исходными пунктами должны состоять не более чем из двух точек поворота. Наименьшая сторона хода 3 класса — 3 км, 4 класса — 2 км. Углы поворота измеряются в полигонометрии 3 класса со средней квадратической погрешностью не более 1,5", в 4 классе — 2,0", а стороны соответственно с погрешностью 1 : 200 000 и 1 : 150 000.

Детальные схемы построения полигонометрии так же, как и трилатерации, будут рассмотрены позднее. В качестве иллюстрации построения полигонометрических сетей дается рис. 5, на котором 1 обозначены стороны триангуляции и полигонометрии 1 класса; 2 — стороны полигонометрического хода 2 класса; 3 — пункты Лапласа; 4 — стороны полигонометрического хода 3 класса.

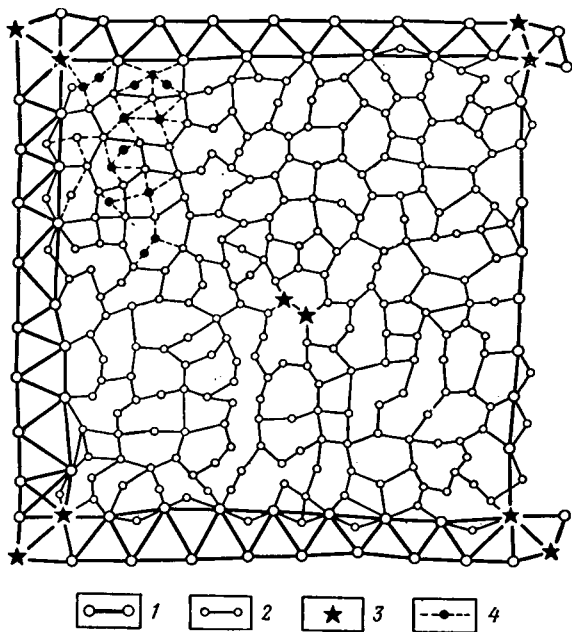


Рис. 5

ДЕЙСТВИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ТРИАНГУЛЯЦИИ

§ 4. ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ТРИАНГУЛЯЦИИ

Некоторые сведения из теории погрешностей

Всякие измерения неизбежно сопровождаются погрешностями. Таким образом, произведя несколько измерений практически неизменной величины, мы получаем хотя и близкие, но различные результаты, что свидетельствует о наличии погрешностей в измерениях. Следовательно, результаты измерений являются приближенными значениями измеренных величин, т. е. величины угла или длины линии могут быть измерены с той или иной степенью точности.

Точность зависит от целого ряда условий: от точности применяемых приборов, способов измерений, опытности наблюдателя, наконец, от правильности построения самой системы триангуляции.

В теории измерений различают три группы погрешностей:

- 1) грубые, как результат недосмотра, просчета, недоучета;
- 2) систематические погрешности носят закономерный характер, могут быть постоянными или переменными и порядок их появления можно заранее предсказать, так как вызываются они определенным источником: недостаточно выверенным прибором, отклонением мерной ленты от створа, неточно определенным коэффициентом расширения и др.;

- 3) случайные погрешности возникают в результате воздействия многих источников погрешностей, причем влияние этих источников непрерывно изменяется, поэтому они бывают различны как по величине, так и по знаку. При одинаково повторяющихся измерениях они чередуются без определенной последовательности, и заранее предсказать, какая появится погрешность по величине и по знаку, нельзя. В этом смысле ее появление для нас случайно.

Знать причины появления погрешностей, характер их влияния на измерения и уметь их подсчитать — это значит работать не вслепую. Знание источников погрешностей позволит геодезисту рационально использовать время наблюдений и правильно приме-

нять методы измерений, чтобы при наименьших затратах сил и средств выполнить работу с наилучшим качеством.

Качество измерений определяется точностью, с которой они проведены.

Погрешности и их предвычисление

В триангуляции преимущественно измеряются углы. Поэтому будем рассматривать погрешности, возникающие при измерении углов, их свойства, причины возникновения, методы исключения и др. По своему характеру эти погрешности в основном случайного порядка. Грубые погрешности вообще недопустимы, они легко выявляются при повторных измерениях. Результаты, содержащие такие погрешности, отбрасывают как негодные.

Систематические погрешности, во всяком случае инструментальные, достаточно изучены и, как правило, исключаются или ослабляются в процессе самих измерений, например, погрешности эксцентриситета алидады, коллимации, делений лимба, наклона оси вращения трубы и др.

Случайные погрешности обладают рядом свойств, важным из которых является их тенденция к компенсации при неограниченном возрастании числа измерений, т. е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0.$$

Применительно к триангуляции, измерения в которой выполняются высокоточными приборами и многократно (большим числом приемов), случайные погрешности по величине малы. Но как бы малы они не были, в своей совокупности они будут определять качество выполненной триангуляции. Не надо забывать, что в триангуляции пункты расположены на большом расстоянии друг от друга, поэтому даже малые погрешности в измеренных углах заметно исказят положение точки.

Так, например, погрешность направления в $\pm 1''$ вызывает смещение точки при длине линии в 20 км около $\pm 0,1$ м, как видно на рис. 6.

$$\frac{x}{S} = \frac{1}{206\,265}; \quad x = \frac{20 \cdot 1000}{206\,265} \approx 0,1 \text{ м.}$$

Точность измерений определяет средняя квадратическая погрешность, которая наиболее полно характеризует весь ряд погрешностей и вычисляется по формуле

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

где n — число измерений,
 Δ — погрешность измерения.

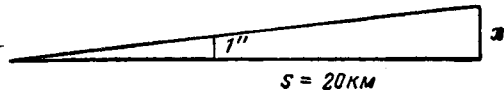


Рис. 6

Пусть угол был измерен пять раз с такими случайными погрешностями: $\Delta_1 = \pm 5''$, $\Delta_2 = \pm 2''$, $\Delta_3 = \pm 6''$, $\Delta_4 = \pm 4''$ и $\Delta_5 = \pm 1''$. Тогда средняя квадратическая погрешность одного измерения угла будет

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{5^2 + 2^2 + 6^2 + 4^2 + 1^2}{5}} \approx \pm 4,0'',$$

а средняя квадратическая погрешность пятикратного измерения угла

$$M_{\beta} = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{4,0''}{\sqrt{5}} \approx \pm 1,8''.$$

Как видим, действует закон компенсации случайных погрешностей.

Средние квадратические погрешности измерений имеют особые законы возникновения, повторения, роста и убывания. Эти вопросы рассматриваются в общей теории погрешностей измерений. Сейчас же укажем на одно свойство, которое потребуется в дальнейших рассуждениях. Если измеряемая величина получается как функция $y = x_1 \pm x_2 \pm x_3 \pm \dots \pm x_n$, то ее средняя квадратическая погрешность подсчитывается по формуле

$$m_y = \sqrt{m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2 + m_{x_3}^2 + \dots + m_{x_n}^2}. \quad (1)$$

Если положить, что $m_{x_1} = m_{x_2} = \dots = m_{x_n} = m$, то

$$m_y = m \sqrt{n}. \quad (1, a)$$

Пример. В треугольнике углы измерены со средними квадратическими погрешностями $m_1 = \pm 5''$, $m_2 = \pm 4''$ и $m_3 = \pm 3''$, погрешность суммы этих углов найдем по формуле

$$m_{\Sigma\beta}^2 = 5^2 + 4^2 + 3^2 = 50'',$$

$$m_{\Sigma\beta} = \sqrt{50} \approx \pm 7''.$$

Геодезическим измерениям в триангуляции предшествует составление технического проекта. Для этого необходимо уметь рассчитать точность предстоящих измерений. В результате расчета точности устанавливается, какими приборами и методами следует производить измерения, чтобы получить результаты определенной точности. Технический проект составляют на карте, строго выдерживая форму треугольника и длину сторон, соответствующие проектируемому классу, стремясь найти самый выгодный по точности и затратам вариант.

§ 5. ФОРМУЛЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СТОРОН ТРИАНГУЛЯЦИИ

На рис. 7 приведен простой ряд треугольников, где b — исходная сторона (базис), $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{n-1}, a_n$ — связующие стороны, лежащие против связующих углов $A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3, \dots, B_{n-1}, A_n, B_n$ и $c_1, c_2, c_3, \dots, c_{n-1}, c_n$ — промежуточные стороны, а

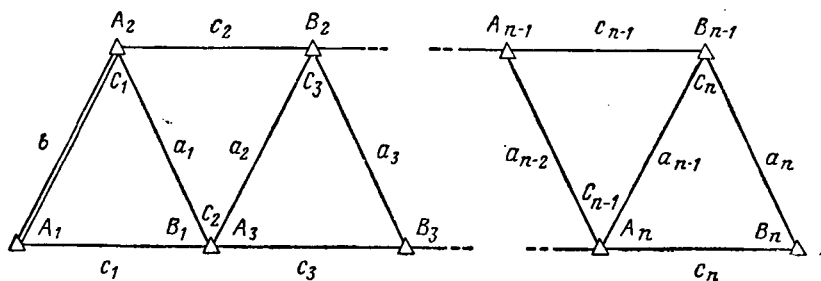


Рис. 7

противолежащие углы соответственно называются промежуточными $C_1, C_2, C_3, \dots, C_{n-1}$ и C_n .

Для каждого треугольника напомним ряд отношений, из которых найдем стороны.

Из треугольника 1

$$\frac{b}{\sin B_1} = \frac{a_1}{\sin A_1} = \frac{c_1}{\sin C_1},$$

откуда

$$a_1 = b \frac{\sin A_1}{\sin B_1}; \quad c_1 = b \frac{\sin C_1}{\sin B_1}.$$

Из треугольника 2

$$\frac{a_1}{\sin B_2} = \frac{a_2}{\sin A_2} = \frac{c_2}{\sin C_2},$$

откуда

$$\begin{aligned} a_2 &= a_1 \frac{\sin A_2}{\sin B_2} = b \frac{\sin A_1 \sin A_2}{\sin B_1 \sin B_2}, \\ c_2 &= a_1 \frac{\sin C_2}{\sin B_2} = b \frac{\sin A_1 \sin C_2}{\sin B_1 \sin B_2}, \\ &\vdots \end{aligned}$$

Из n треугольника

$$\frac{a_{n-1}}{\sin B_n} = \frac{a_n}{\sin A_n} = \frac{c_n}{\sin C_n},$$

откуда

$$a_n = a_{n-1} \frac{\sin A_n}{\sin B_n}; \quad (2)$$

$$c_n = a_{n-1} \frac{\sin C_n}{\sin B_n}. \quad (2, a)$$

Теперь найдем значения сторон a_n и c_n через всю цепочку треугольников

$$a_n = b \frac{\sin A_1 \sin A_2 \sin A_3 \dots \sin A_{n-1} \sin A_n}{\sin B_1 \sin B_2 \sin B_3 \dots \sin B_{n-1} \sin B_n} \quad (3)$$

и

$$c_n = b \frac{\sin A_1 \sin A_2 \sin A_3 \dots \sin A_{n-1} \sin C_n}{\sin B_1 \sin B_2 \sin B_3 \dots \sin B_{n-1} \sin B_n}. \quad (3, a)$$

Из сравнения формул (2) и (2, a) и (3) и (3, a) следует, что как связующие, так и промежуточные стороны вычисляются через одни и те же углы. Это дает возможность в дальнейшем вычислить точность какой-либо одной стороны, например связующей a_n .

§ 6. ПОГРЕШНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ СТОРОН ТРЕУГОЛЬНИКА. ПОГРЕШНОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Подсчитаем погрешности в длинах сторон a и c , вычисленных по измеренным углам A , B и C и стороне b (рис. 8). Известно, что

$$a = b \frac{\sin A}{\sin B}; \quad c = b \frac{\sin C}{\sin B}. \quad (a)$$

Нетрудно видеть, что точность вычисления сторон a и c зависит от точности измерения базисной стороны b и углов A , B и C .

Прологарифмируем выражения (a):

$$\left. \begin{aligned} \lg a &= \lg b + \lg \sin A - \lg \sin B \\ \lg c &= \lg b + \lg \sin C - \lg \sin B \end{aligned} \right\}. \quad (б)$$

Допустим, что все три угла треугольника измерены с одинаковой точностью $\pm 1''$. Выясним, с одинаковой ли ошибкой будут получены логарифмы сторон. Для этого обозначим изменение $\lg \sin$ угла, соответствующее изменению самого угла на $1''$, через δ , а погрешность в измерении стороны через Δ .

Для простоты вывода предположим, что базис измерен без погрешностей. Тогда выражения (б) переписутся:

$$\left. \begin{aligned} \lg a + \Delta_{\lg a} &= \lg b + \lg \sin A + \delta_A - \lg \sin B - \delta_B \\ \lg c + \Delta_{\lg c} &= \lg b + \lg \sin C + \delta_C - \lg \sin B - \delta_B \end{aligned} \right\}. \quad (в)$$

После вычитания равенств (б) из (в) найдем, что

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{\lg a} &= \delta_A - \delta_B \\ \Delta_{\lg c} &= \delta_C - \delta_B \end{aligned} \right\}. \quad (г)$$

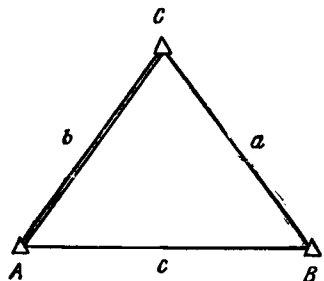


Рис. 8

Следовательно, погрешности в логарифмах вычисленных сторон будут зависеть от величины δ измеренных углов. Обратимся к таблицам логарифмов и посмотрим, как изменяются δ (приращение $\lg \sin$ углов) в соответствии с изменением угла на одну секунду.

Возьмем 7-значные таблицы логарифмов Вега и посмотрим как будет изменяться δ с изменением угла (значения даны в ед. 7-го знака логарифма).

Угол	δ
0°01'	66946,8
1°	1204,6
10°	119,4
30°	36,5
60°	12,2
80°	3,7
89°	0,4

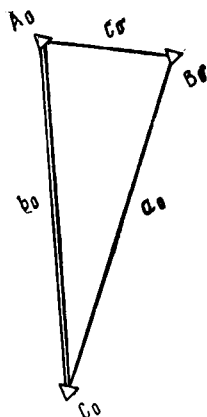


Рис. 9

Отсюда видно, что величины δ зависят от величин угла.

Таким образом, при одной и той же точности измерения углов в треугольнике стороны его будут вычисляться с разной точностью. Чем острее угол, тем с большей погрешностью будет вычислена противолежащая этому углу сторона, и наоборот, сторона, противолежащая углу, близкому к 90°, найдется с минимальной погрешностью. Проиллюстрируем выводы.

Задача 1. Допустим, что истинные значения углов были (рис. 9): $A_0 = 80^\circ 25'$; $B_0 = 78^\circ 40'$; $C_0 = 20^\circ 55'$, а стороны $b_0 = 5000$ м.

Вычислим истинные значения сторон a_0 и c_0 . При вычислении сторон по формулам (а) общее отношение обозначим

$$\frac{b_0}{\sin B_0} = K_0,$$

тогда

$$a_0 = K_0 \sin A_0; \quad c_0 = K_0 \sin C_0$$

$\lg 5000$	3.6989700
$\lg \sin 78^\circ 40'$	9.9914478
$\lg K_0$	3.7075222

a_0	5028,27
$\lg a_0$	3.7014187
$\lg \sin 80^\circ 25'$	9.9938965
$\lg K_0$	3.7075222
$\lg \sin 20^\circ 55'$	9.5526801
$\lg c_0$	3.2602023
c_0	1820,55

Допустим, что углы A и C измерены с одной и той же погрешностью $\Delta_A = \Delta_C = +10''$, тогда измеренные углы будут:

$$A = A_0 + \Delta_A = 80^\circ 25' 10''; \quad C = C_0 + \Delta_C = 20^\circ 55' 10''.$$

Угол B_0 для упрощения вычислений будем считать измеренным без погрешности, тогда и K_0 останется прежним. Вычислим стороны при новом значении углов A и C .

a	5028,31
$\lg a$	3.7014223
$\lg \sin 80^\circ 25' 10''$	9.9939001
$\lg K_0$	3.7075222
$\lg \sin 20^\circ 55' 10''$	9.5527351
$\lg c$	3.2602573
c	1820,78

$$\delta_A = -3,6$$

$$\delta_C = -55,0$$

Подсчитаем, с какой погрешностью вычислили длины сторон a и c :

$$\Delta_a = 5028,31 - 5028,27 = +0,04 \text{ м}$$

$$\Delta_c = 1820,78 - 1820,55 = +0,23 \text{ м.}$$

Перейдем от линейных погрешностей к относительным, тогда найдем, что сторона a вычислена с погрешностью

$$\frac{\Delta_a}{a_0} = \frac{0,04}{5028,27} \approx \frac{1}{125\,700},$$

а сторона c

$$\frac{\Delta_c}{c_0} = \frac{0,23}{1820,55} \approx \frac{1}{7900}.$$

Это произошло от того, что в треугольнике были разные по величине углы, вызвавшие разные погрешности в $\lg \sin$ углов, хотя сами углы, как оговаривалось, были измерены с одинаковой погрешностью $+10''$.

Угол $A_0 = 80^\circ 25'$, где $\delta_A = 3,6$ единиц 6-го знака логарифма внес погрешность в $\lg$ стороны $\delta_A \times \Delta_A = 3,5 \times 10 = 35$ ед., тогда как угол $C_0 = 20^\circ 55'$, где $\delta_C = 55,1$ единицы дал погрешность в $\lg$ стороны $55,1 \times 10 = 551$ ед. Об этом следует всегда помнить и при построении треугольников на местности избегать слишком острых или тупых углов.

Если предварительно уравнивать углы в треугольнике, введя поправку, равную $1/3$ угловой невязки, в каждый, то, применяя принцип средней квадратической погрешности, получим:

для связующей стороны

$$m_{lg a}^2 = m_{lg b}^2 + \frac{2}{3} m''^2 (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B); \quad (d)$$

для промежуточной

$$m_{lg c}^2 = m_{lg b}^2 + \frac{2}{3} m''^2 (\delta_C^2 + \delta_B^2 + \delta_C \delta_B),$$

где $m_{lg b}$ и m'' — соответственно средние квадратические погрешности $\lg$ базисной стороны и измерения угла, а выражения

$$\left. \begin{aligned} \sigma_A &= \frac{2}{3} (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B) \\ \sigma_C &= \frac{2}{3} (\delta_C^2 + \delta_B^2 + \delta_C \delta_B) \end{aligned} \right\} \quad (e)$$

принято называть погрешностью геометрической связи треугольника.

Изменения δ пропорциональны ctg измеренных углов треугольника, поэтому погрешность геометрической связи можно представить в таком виде:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_A &= \frac{2}{3} (\text{ctg}^2 A + \text{ctg}^2 B + \text{ctg} A \text{ctg} B) \\ \sigma_C &= \frac{2}{3} (\text{ctg}^2 C + \text{ctg}^2 B + \text{ctg} C \text{ctg} B) \end{aligned} \right\}. \quad (ж)$$

В формулы (е) и (ж) входят значения только δ и ctg углов, величины которых зависят от величин самих углов, иначе говоря, от формы треугольников. Если треугольник равносторонний, то $A = B = 60^\circ$ и тогда

$$\sigma_{60^\circ} = \frac{2}{3} (\text{ctg}^2 60^\circ + \text{ctg}^2 60^\circ + \text{ctg}^2 60^\circ \text{ctg}^2 60^\circ) = \frac{2}{3}.$$

Если же взять равнобедренный треугольник, в котором $A = C = 45^\circ$,

$$\sigma_{45^\circ} = 2.$$

Чем острее углы в треугольниках, тем больше в них погрешность геометрической связи.

Анализируя формулы (д), можно заключить, что точность вычисления сторон треугольника зависит:

- 1) от точности вычисления базисной стороны;
- 2) от точности измерения углов в треугольнике;
- 3) от формы треугольника.

Принято выражения $\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B$ и $\delta_C^2 + \delta_B^2 + \delta_C \delta_B$ обозначать соответственно через R_A и R_C . В шестом знаке логарифма R выбираются из специальных таблиц по данным значениям углов, округленных до целых градусов [28].

Найдем величины R для треугольника, приведенного на рис. 9:

$$\begin{array}{llll} A_0 = 80^\circ & C_0 = 27^\circ & & \\ B_0 = 79^\circ & R_A = 0,2 & B_0 = 79^\circ & R_C = 18,7. \end{array}$$

На рис. 10 приведена таблица значений R . Если значения углов треугольника, для которого находят R , будут больше или меньше значений, указанных в таблице, то интерполируют по общеизвестному принципу.

Воспользуемся формулами (д) для подсчета погрешности в логарифме сторон треугольника (см. рис. 9). Предположим, что базисная сторона измерена без погрешности, а среднюю квадратическую погрешность измерения угла примем равной $m'' = \pm 10''$. Тогда (вычисляется в ед. 6-го знака логарифма)

$$m_{\lg a}^2 = \frac{2}{3} \times 10^2 \times 0,2 \approx 13$$

или

$$m_{\lg a} = \pm \sqrt{13} \approx \pm 3,6;$$

$$m_{\lg c}^2 = \frac{2}{3} \times 10^2 \times 18,7 \approx 1247$$

или

$$m_{\lg c} = \pm \sqrt{1247} \approx \pm 35,5.$$

Для подсчета относительной погрешности воспользуемся формулой

$$\frac{m_S}{S} = \frac{m_{\lg S}}{434\,294}, \quad (4)$$

	26°	27°	28°
75°	21		18
79°	20,2	18,7	17,2
80°	20		17

Рис. 10

где 434 294 — модуль натуральных логарифмов, если $m_{lg s}$ выражена в единицах шестого знака логарифма.

Перейдя к нашему примеру, найдем

$$\frac{m_a}{a} = \frac{3,6}{434\,294} \approx \frac{1}{121\,000};$$

$$\frac{m_c}{c} = \frac{35,3}{434\,294} \approx \frac{1}{12\,000}.$$

Если треугольник, изображенный на рис. 9, принять за равно-
сторонний, то $R_A = R_C = 4,0$ ед. 6 знака lg , и тогда

$$m_{lga}^2 = m_{lgc}^2 = 2/3 \times 10^2 \times 4,0 \approx 26,7$$

или

$$m_{lga} = m_{lgc} = \pm \sqrt{26,7} \approx \pm 5,2,$$

что дает относительную погрешность

$$\frac{m_a}{a} = \frac{m_c}{c} = \frac{5,2}{434\,294} = \frac{1}{84\,000}.$$

В равностороннем треугольнике обе стороны будут вычислены с одинаковой высокой точностью.

§ 7. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ЛОГАРИФМА СВЯЗУЮЩЕЙ СТОРОНЫ РЯДА ТРИАНГУЛЯЦИИ

В § 5 была выведена формула вычисления связующей стороны n -го треугольника ряда триангуляции [см. формулу (3)], а в § 6 дана формула (д) подсчета средней квадратической погрешности логарифма стороны в одном треугольнике. Погрешность логарифма стороны n -го треугольника складывается из погрешностей логарифмов сторон каждого треугольника, входящего в ряд от исходной до определяемой стороны.

Пользуясь формулой (1) (см. § 4), можно подсчитать среднюю квадратическую погрешность логарифма стороны n -го треугольника как суммы погрешностей треугольников, входящих в данный ряд. При этом следует учесть, что:

- а) погрешность исходной стороны войдет один раз;
- б) углы в треугольниках триангуляции измеряются равноточно, поэтому каждый из них измеряется с погрешностью m'' ;
- в) погрешность геометрической связи возникает в каждом треугольнике и для n -ой связующей стороны выразится как

$$2/3 \left[\sum_1^n (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B) \right].$$

Таким образом, формула имеет вид

$$m_{lga_n} = \sqrt{m_{lgb}^2 + \frac{2}{3} m''^2 \sum_1^n (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B)} \quad (5)$$

или

$$m_{lg a_n} = \sqrt{m_{lg b}^2 + \frac{2}{3} m''^2 \sum_1^n R_A}. \quad (5, a)$$

Для промежуточной стороны формула будет такой же, за исключением последнего треугольника, где вместо связующего угла A войдет промежуточный угол C .

Если взять ряд равносторонних треугольников, где $R_{A_1} = R_{A_2} = \dots = R_{A_n} = 4,0$ ед., и пренебречь $m_{lg b}^2$, то формула (5, a) переписывается

$$m_{lg a_n} = m'' \sqrt{\frac{2}{3} \times 4,0 \times n} = \pm 1,6 m'' \sqrt{n}. \quad (6)$$

Средняя квадратическая погрешность логарифма стороны n -го треугольника возрастает пропорционально корню квадратному из числа треугольников, отделяющих определяемую сторону от исходной.

Задача 2. Дан ряд триангуляции 1 класса, состоящий из восьми равносторонних треугольников (рис. 11).

Необходимо подсчитать, с какой погрешностью вычислится связующая сторона восьмого треугольника ряда a_8 . Базисная сторона в триангуляции 1 класса измеряется с относительной погрешностью не более 1 : 400 000.

Пользуясь формулой (4), находим

$$m_{lg b} = \frac{434\ 294}{400\ 000} \approx 1,1 \text{ ед. 6 знака lg.}$$

Углы в триангуляции 1 класса измеряются со средней квадратической погрешностью не более $\pm 0,7''$, $R_A = 4,0$. Теперь по формуле (5) найдем

$$m_{lg a_8} = \sqrt{1,1^2 + \frac{2}{3} \times 0,7^2 \times 4,0 \times 8} = \sqrt{1,21 + \frac{2}{3} \times 0,5 \times 32} \approx \approx \pm 3,4 \text{ ед. 6-го знака lg.}$$

Следовательно,

$$\frac{m_{a_8}}{a_8} = \frac{3,4}{434\ 294} \approx \frac{1}{127\ 000}.$$

Задача 3. В звене триангуляции 1 класса, состоящего из 19 треугольников, определить точность вычисления наиболее слабой стороны в ряде (рис. 12).

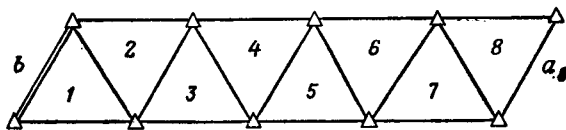


Рис. 11

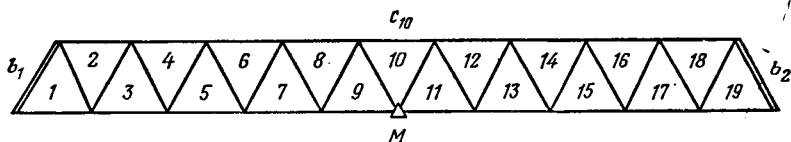


Рис. 12

Наиболее слабой стороной в ряде будет a_{10} , как наиболее удаленная от базисов b_1 и b_2 .

Принимая треугольники за равносторонние, по формуле (5) найдем

$$m_{lg c_{10}} = \sqrt{1,1^2 + \frac{2}{3} \times 0,7^2 \times 4,0 \times 10} \approx \pm 3,6 \text{ ед. 6-го знака } lg.$$

Однако после уравнивания за условия базисов и дирекционных углов ошибка этой стороны уменьшится в $\sqrt{2}$ раз, т. е. будет равна

$$m_{lg c_{10}} = \pm \frac{3,6}{\sqrt{2}} \approx \pm 2,6.$$

Перейдя к относительным ошибкам, найдем

$$\frac{m_{c_{10}}}{c_{10}} = \frac{2,6}{434\,294} \approx \frac{1}{167\,000}.$$

Чтобы слабые стороны в ряде или сети треугольников вычислялись с заранее заданной точностью, необходимо обеспечить надлежащую точность определения:

- 1) исходных (базисных) сторон;
- 2) углов;
- 3) построением таких по форме треугольников, в которых погрешности геометрической связи были бы по возможности наименьшими;
- 4) число треугольников между базисными сторонами было заранее ограничено.

Рассмотрим немного подробнее каждый из перечисленных факторов. Для расчета воспользуемся формулой (5). Базисные стороны, как известно, в триангуляции 1 класса измеряются с относительной погрешностью не более $1 : 400\,000$, во 2 классе не ниже $1 : 300\,000$. Если воспользоваться формулой (4), то погрешность в логарифме базисной стороны 1 класса получим равной $m_{lg b} = \pm 1,1$, 2-го класса $m_{lg b} = \pm 1,4$.

Средние квадратические погрешности измерения углов в триангуляции также невелики: в 1 классе $\pm 0,7''$, во 2 классе $\pm 1,0''$. По-другому обстоит дело с погрешностью геометрической связи. Во-первых, даже в лучших по форме равносторонних треугольниках $\sigma_A = \frac{2}{3} \cdot R_A = 2,7$, и во-вторых, при увеличении числа треугольников до n она возрастает в $\sqrt{n}$ раз.

Таким образом, напрашивается вывод, что погрешности базисной стороны и измерения углов малы по сравнению с суммарной

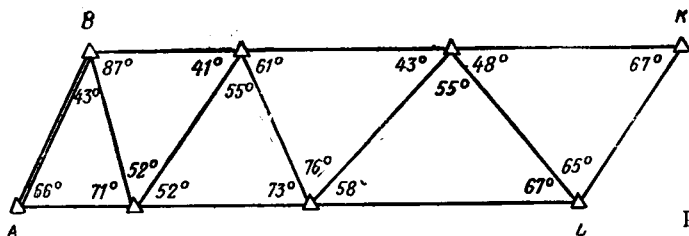


Рис. 13

погрешностью геометрической связи. Иными словами, качество триангуляции главным образом зависит от формы треугольников и от их числа между базисными сторонами.

По этим соображениям в инструкции [11] предусматривается, чтобы в треугольниках звена 1 класса углы были не менее 40° , а общее число углов не превышало, как правило, двадцати.

Задача 4. Определить относительную погрешность связующей стороны KL , если относительная ошибка исходной стороны $1 : 200\,000$, а $m'' = \pm 1,0''$ (рис. 13).

Вычисление R			
№ треугольника	Связующие углы		R
	A°	B°	
1	66	71	2,0
2	87	41	6,2
3	52	73	4,0
4	61	43	9,0
5	58	67	4,0
6	48	67	5,8
			$\Sigma = 31,0$

$$\frac{m_{lg b}}{434\,294} = \frac{1}{200\,000}; \quad m_{lg b} = 2,2;$$

$$m_{lg KL} = \sqrt{2,2^2 + \frac{2}{3} \times 1,0^2 \times 31,0} \approx \pm 5,0.$$

Следовательно,

$$\frac{m_{KL}}{KL} = \frac{5,0}{434\,294} \cong \frac{1}{87\,000}.$$

Задача 5. Определить относительную погрешность промежуточной стороны DK , приняв погрешность исходной стороны $1 : 100\,000$. 3-й класс триангуляции (рис. 14).

Пользуясь формулой (4), найдем, что погрешности $1 : 100\,000$ соответствует $m_{lg b} = 4,3$; а точность измерения угла в триангуляции 3 класса $m'' = 1,5''$.

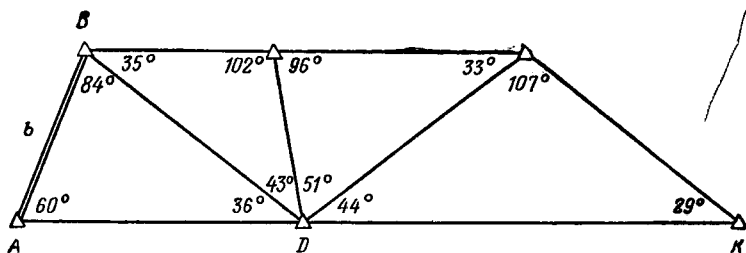


Рис. 14

Вычисление R

№ треуголь- ника	Связующие углы		R
	A°	B°	
1	60	36	13,4
2	35	102	8,0
3	96	33	10,4
	Промежуточный угол C	Связующий угол B	
4	107	29	10,8
			$\Sigma = 42,6$

Тогда по формуле (5) найдем

$$m_{lg DK} = 4,3^2 + \frac{2}{3} \times 1,5^2 \times 42,6 \approx 9,1 \text{ ед. 6-го знака } lg,$$

$$\frac{m_{DK}}{DK} = \frac{9,1}{434\,294} \approx \frac{1}{48\,000}.$$

Задача 6. Дан ряд равносторонних треугольников триангуляции 2 класса. Определить, связующая сторона какого треугольника, считая от исходной, будет получена с относительной погрешностью 1 : 100 000 (погрешностью исходной стороны пренебречь).

Нами было подсчитано, что относительной погрешности 1 : 100 000 соответствует $m_{lg a_n} = 4,3$. Воспользуемся формулой (6) и, подставив, найдем $4,3 = \pm 1,6 \times 1,0 \sqrt{n}$, откуда

$$\sqrt{n} = \frac{4,3}{1,6}; \quad n = \left(\frac{4,3}{1,6}\right)^2 \approx 7 \text{ треугольникам.}$$

Задача 7. На рис. 15 дан ряд треугольников триангуляции, в котором исходная сторона определена с относительной погрешностью 1 : 150 000. С какой точностью надо измерить углы в тре-

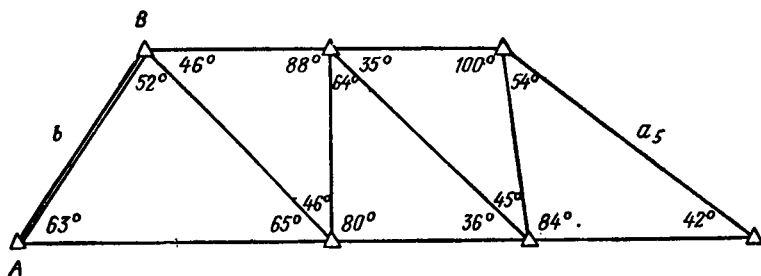


Рис. 15

угольниках, чтобы вычислить сторону a_5 с погрешностью 1 : 100 000?

Подсчитав, найдем, что погрешности 1 : 150 000 соответствует $m_{lg b} = 2,9$, а 1 : 100 000 $m_{lg a_5} = 4,3$. Формулу (5, а) запишем в виде

$$m_{lg a_5}^2 = m_{lg b}^2 + 2/3 \left(m^{n2} \sum_1^5 R_A \right),$$

откуда

$$m^{n2} = \frac{3 (m_{lg a_5}^2 - m_{lg b}^2)}{2 \sum_1^5 R_A}.$$

Подсчитаем $\sum_1^5 R_A$

Вычисление R			
№ треуголь- ника	Связующие углы		R
	A°	B°	
1	63	65	3,4
2	46	88	4,2
3	80	36	9,4
4	35	100	8,0
5	84	42	6,2
			$\Sigma = 31,2$

После подстановки получим

$$m^{n2} = \frac{3 \times [4,3^2 - 2,9^2]}{2 \times 31,2} = 0,48''$$

или

$$m'' = \sqrt{0,48} \approx \pm 0,7''.$$

§ 8. ПОНЯТИЕ О ВЫГОДНЕЙШЕЙ ФОРМЕ ТРЕУГОЛЬНИКА

При выборе выгоднейшей формы треугольника триангуляции приходится учитывать ряд факторов.

При построении триангуляции соблюдается принцип перехода от общего к частному, т. е. вначале развивается триангуляция 1 класса, на ее основе сеть 2 класса, а затем, опираясь на стороны треугольников 2 класса, строятся заполняющие сети 3 и 4 классов.

На рис. 16 имеем исходную сторону 1 класса b . На ней построен треугольник 2 класса со сторонами a и c , опираясь на которые, в дальнейшем будет развиваться сеть 3 класса.

Заранее нельзя знать, от какой стороны — связующей или промежуточной — будет отходить сеть треугольников 3 класса, поэтому необходимо обеспечить одинаковую точность вычисления сторон a и c . Эти равные возможности будут при условии, что $R_A = R_C$ или

$$(\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B) = (\delta_C^2 + \delta_B^2 + \delta_C \delta_B).$$

Это возможно, когда $\delta_A = \delta_C$, или $A = C$. Таким образом, чтобы связующие и промежуточные стороны определялись с одинаковой точностью, необходимо строить равнобедренные треугольники с равными углами при основании, т. е. $A = C$.

Чтобы качество триангуляции было высоким по точности, необходимо поставить второе условие: значения углов A и C должны быть такими, при которых погрешность геометрической связи была бы наименьшей.

Расчеты показывают, что этого можно добиться, если в равнобедренном треугольнике углы $A = C = 52^\circ 46'$ и $B \approx 74^\circ 28'$.

Такой равнобедренный треугольник является выгоднейшей формой в триангуляции (рис. 17).

В нем $R_A = R_C = 3,6$ ед. 6-го знака логарифма. Построим ряд из таких треугольников (рис. 18) и подсчитаем стороны треугольников, приняв исходную $b = 5000$ м. Решая приближенно, найдем, что $a_1 = c_1 = 4132$ м, т. е. в 1,45 раза меньше исходной. Решая

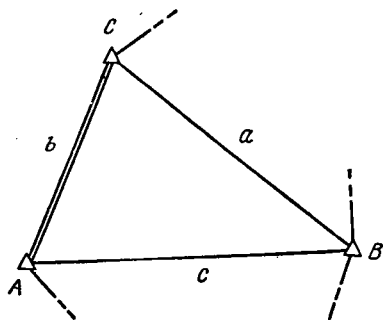


Рис. 16

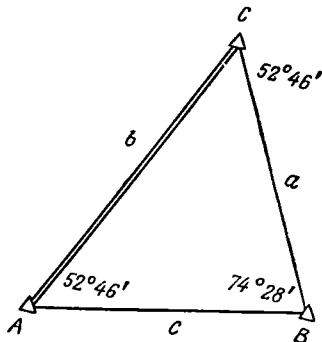


Рис. 17

аналогично второй треугольник, от вычисленной $a_1 = 4132$ м найдем стороны a_2 и c_2 , которые уже будут в $1,42^2$ раза меньше исходной b .

Продолжая вычисления, увидим, что, например, в восьмом треугольнике ряда его стороны уменьшатся в $(1,45)^8$ раза, т. е. в 19,5 раз против исходной, что соответствует длине сторон $a_8 = c_8 = \frac{5000}{19,5} \approx 250$ м.

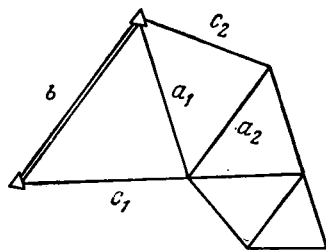


Рис. 18

Следовательно, в ряде, построенном из таких равнобедренных треугольников, стороны будут быстро уменьшаться, а сам ряд будет иметь криволинейное направление. Кроме того, в ряде из треугольников с убывающими сторонами значительно увеличится общее число треугольников в сети.

Казалось бы, если исходить из требования наименьшего числа треугольников на данном протяжении, то выгодно иметь такой ряд треугольников, как показан на рис. 19.

Но слишком острые связующие углы A и B и тупые углы C , близкие к 180° , дадут недопустимое накопление суммарной погрешности геометрической связи треугольников.

Какая же форма треугольника будет наиболее оптимальной, если учитывать все факторы, рассмотренные ранее? Нетрудно заключить, что такой наивыгоднейшей формой будет равносторонний треугольник, потому что:

1) обеспечивает одинаковую точность вычисления всех его сторон;

2) величина $R_A = R_C = 4,0$, то совсем немного превышает значение погрешности геометрической связи в выгоднейшем равнобедренном треугольнике;

3) ряд из равносторонних треугольников прямолинеен, с равномерным распределением пунктов, что выгодно с точки зрения размещения пунктов на местности;

4) ряд из равносторонних треугольников занимает наибольшую площадь. Следовательно, на данной площади число треугольников будет наименьшим, что экономически выгодно.

§ 9. ПОНЯТИЕ ОБ ОБРАТНОМ ВЕСЕ ЛОГАРИФМА СТОРОНЫ

Для предварительных расчетов (при проектировании геодезических сетей, рекогносцировке) обычно погрешностями базисных

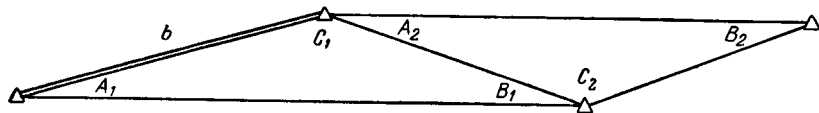


Рис. 19

сторон пренебрегают и формулу (5) используют в таком виде:

$$m_{lg a_n}^2 = \frac{2}{3} m''^2 \sum_1^n (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B). \quad (a)$$

В теории погрешностей для сравнительной характеристики точности измерений введено понятие веса измерений. Веса измерений можно находить по средним квадратическим погрешностям этих измерений.

Применительно к выражению (a) напомним

$$\frac{m_{lg a_n}^2}{m''^2} = \frac{1}{P_{lg a_n}}. \quad (б)$$

Из сравнения (a) и (б) следует, что

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{P_{lg a_n}} &= \frac{2}{3} \sum_1^n (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B) \\ \frac{1}{P_{lg a_n}} &= \frac{2}{3} \sum_1^n R \end{aligned} \right\}. \quad (в)$$

Полученное выражение принято называть обратным весом логарифма стороны. Величина обратного веса, зависящая только от формы треугольников, характеризует собой геометрическое достоинство ряда, его качество и устанавливается заранее. Так, для звена 1 класса, прокладываемого между двумя базисными сторонами, величина обратного веса должна быть не более 100 единиц 6-го знака логарифма. В базисной сети предвычисленный обратный вес выходной стороны не должен превышать 10 единиц 6-го знака логарифма.

Рабочую формулу для предвычисления ошибок в логарифмах определяемых сторон найдем из равенства (б)

$$m_{lg a_n} = m'' \sqrt{\frac{1}{P_{lg a_n}}}. \quad (7)$$

В действующей инструкции о построении государственной геодезической сети СССР даются следующие коэффициенты при подсчете обратного веса отдельных фигур:

для треугольников

$$\frac{1}{P} = \frac{4}{3} (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B); \quad (8)$$

для геодезических четырехугольников и центральных систем

$$\frac{1}{P} = \sum (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \delta_B). \quad (9)$$

В формуле (9) для подсчета $\sum R$ геометрической связи надо брать треугольники, которые дадут лучшую передачу для вычисления длины связующей стороны,

Задача 8. В звене 1 класса 18 равносторонних треугольников. Чему равен обратный вес этого звена?

$$\frac{1}{P} = \frac{4}{3} \sum_1^n R_A = 4/3 \times 4,0 \times 18 = 96 \text{ ед. 6-го знака lg.}$$

Задача 9. Дан геодезический четырехугольник. Каким путем точнее вычислится сторона DC (рис. 20)?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо рассчитать, в каком случае получим наименьшее значение обратного веса логарифма стороны DC , вычисленной от исходной стороны AB .

I вариант

$$\triangle ABC: \text{связующие углы } A = 109^\circ, B = 29^\circ, R_A = 12,2$$

$$\triangle ACD \quad \text{,} \quad \text{,} \quad A = 37^\circ, B = 105^\circ, R_A = 6,8$$

$$\Sigma R_A = 19,0$$

II вариант

$$\triangle ABD: \text{связующие углы } A = 79^\circ, B = 31^\circ, R_A = 14,2$$

$$\triangle DBC \quad \text{,} \quad \text{,} \quad A = 39^\circ, B = 67^\circ, R_A = 10,2$$

$$\Sigma R_A = 24,4$$

Из вычислений видно, что точнее сторона DC будет получена из первого варианта, так как обратный вес ее, согласно формуле (9),

$$\frac{1}{P_{lgDC}} = 19,0.$$

Применительно к 3 классу триангуляции по формуле (7) найдем

$$m_{lgCD} = \pm 1,5 \sqrt{19,0} \approx \pm 6,6 \text{ ед. 6-го знака lg,}$$

что дает относительную погрешность

$$\frac{6,6}{434\,294} \approx \frac{1}{66\,000}.$$

Задача 10. Найти выгодный вариант определения стороны DE и ее относительную погрешность. 3 класс триангуляции (рис. 21).

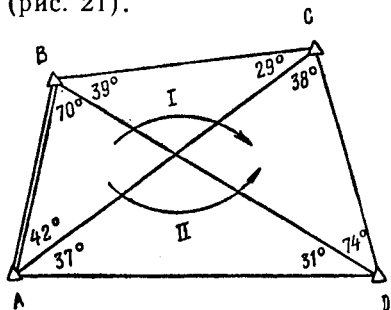


Рис. 20

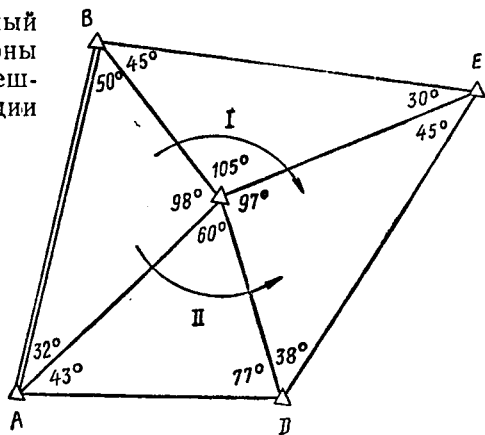


Рис. 21

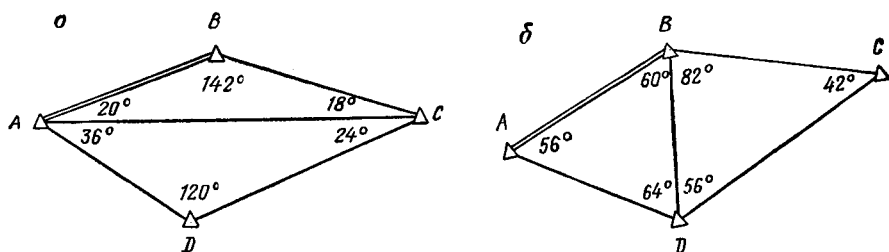


Рис. 22

Как и в задаче 9, подсчитаем погрешность геометрической связи, затем, применяя формулу (9), вычислим величину обратного веса и относительную погрешность по формуле (7).

Ответ: $\sum R_I = 42,8$; $\sum R_{II} = 13,4$; 1:77 600.

Задача 11. Триангуляция 3 класса. Даны два одинаковых четырехугольника (рис. 22). Первый (рис. 22, а) разбит на два треугольника длинной диагональю, второй (рис. 22, б) — короткой. Найти выгодный вариант вычисления стороны DC и ее относительную ошибку.

Ответ: а) $\sum R = 38,8$; б) $\sum R = 11,4$; 1:85 000.

§ 10. О ТОЧНОСТИ ПЕРЕДАЧИ АЗИМУТОВ В ТРИАНГУЛЯЦИИ

Дан ряд из n треугольников (рис. 23). Найдем среднюю квадратическую погрешность азимута конечной стороны ряда A_n . Пунктиром показана ходовая линия для передачи азимутов

$$A_n = A_1 + 180^\circ - C_1 - 180^\circ + C_2 + 180^\circ - C_3 - \\ - 180^\circ + \dots - 180^\circ + C_n.$$

Заменим измеренные углы их погрешностями

$$\Delta A_n = \Delta A_1 - \Delta C_1 + \Delta C_2 - \Delta C_3 + \dots + \Delta C_n.$$

Переходя к средним квадратическим погрешностям, согласно формуле (1), находим

$$m_{A_n} = \sqrt{m_{A_1}^2 + m_{C_1}^2 + m_{C_2}^2 + \dots + m_{C_n}^2}.$$

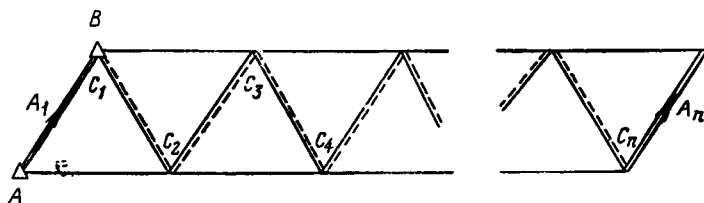


Рис. 23

Полагая, что $m_{C_1} = m_{C_2} = \dots = m_{C_n} = m''$, выражение перепишется

$$m_{A_n} = \sqrt{m_{A_1}^2 + m''^2 n}. \quad (10)$$

При уравнивании ряда по углам за условия фигур формула примет вид

$$m_{A_n} = \sqrt{m_{A_1}^2 + \frac{2}{3} n m''^2}. \quad (10, a)$$

Из формулы (10) следует, что точность передачи азимута от формы треугольников не зависит, а определяется точностью исходного азимута и измеренных углов. Если в формуле (10, a) пренебречь погрешностью азимута исходной стороны, получим

$$m_{A_n} = m'' \sqrt{n}. \quad (10, б)$$

Погрешность в азимуте стороны увеличивается в корень из числа треугольников, отделяющих азимут определяемой стороны от исходной.

Задача 12. Подсчитать ожидаемую погрешность в азимуте стороны девятого треугольника ряда триангуляции 1 класса.

Средняя квадратическая погрешность азимута исходной стороны $+0,5''$, $m'' = 0,7''$. По формуле (10, a) найдем

$$m_{A_9} = \sqrt{0,5^2 + \frac{2}{3} \times 9 \times 0,7^2} \approx \pm 3,0''.$$

Если азимут связующей стороны определяется в ряде, имеющем твердые начальный и конечный азимуты, то средняя квадратическая погрешность азимута стороны определяется по формуле

$$m_{A_k}^2 = m_{A_1}^2 + m_{A_n}^2 + \frac{2}{3} m''^2 \frac{k(n-k)}{n}, \quad (11)$$

где n — общее число треугольников в ряде; k — число углов, участвующих в вычислении азимута.

Задача 13. Подсчитать среднюю квадратическую погрешность азимута той же стороны, что и в предыдущей задаче, если ряд триангуляции проложен между твердыми азимутами сторон и состоит из 19 треугольников. Дано: $m'' = 0,7''$; $k = 9$; $n = 19$; $m_{A_1} = m_{A_n} = 0,5''$.

Пользуясь формулой (11), получим

$$m_{A_9}^2 = 2 \times 0,5^2 + \frac{2}{3} \times 0,7^2 \times \frac{9(19-9)}{19} \approx 2,08'';$$

$$m_{A_9} = \sqrt{2,08} \approx \pm 1,4''.$$

§ 11. ПОНЯТИЕ О ПРОДОЛЬНОМ И ПОПЕРЕЧНОМ СДВИГАХ РЯДА

Пусть ряд из равносторонних треугольников проложен от базисной стороны AB до пункта M (рис. 24). Неизбежные погрешности в длине и азимуте исходной стороны, в измерении углов приведут

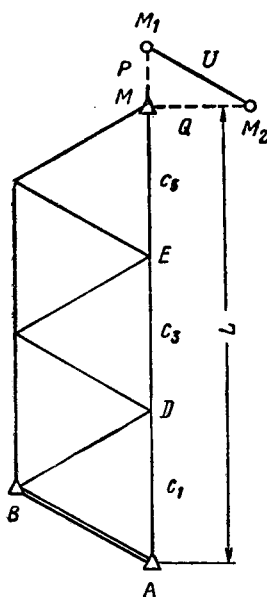


Рис. 24

к тому, что промежуточные стороны c_1, c_3, c_5 будут вычислены с погрешностями, которые вызовут продольный сдвиг диагонали L на некоторую величину $MM_1 = P$. С другой стороны погрешности измерения углов на точках A, D, E, M вызовут суммарное смещение точки M перпендикулярно к диагонали на некоторый отрезок $MM_2 = Q$.

Если ряд будет расположен по меридиану, как на рис. 24, то продольный сдвиг выразит погрешность в абсиссе пункта M ($P = \Delta x$), а поперечный сдвиг — погрешность в ординате ($Q = \Delta y$). Полное смещение пункта M будет

$$U = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (a)$$

Следовательно, продольный и поперечный сдвиги конечной точки хода относительно исходных точек можно рассматривать как точность передачи координат между этими точками.

Обычно величины продольного и поперечного сдвигов характеризуют их средними квадратическими погрешностями и тогда вместо (a) можно написать

$$m_U = \sqrt{m_P^2 + m_Q^2}. \quad (б)$$

Напишем формулы для ряда из равносторонних треугольников, в котором даны исходная сторона (длина стороны и ее азимут) только на одном конце ряда. Формулы предложены проф. Ф. Н. Кра-совским

$$m_P = L \sqrt{\frac{m_b^2}{b^2} + \frac{4k^2 \mp 3k + 5}{9k} \cdot \frac{m''^2}{\rho''^2}}. \quad (12)$$

Знак минус перед $3k$ берется при подсчете сдвига вершины нечетного треугольника в ряде, а плюс — для вершины четного треугольника.

Для ряда, состоящего из нечетного числа треугольников,

$$m_Q = \frac{L}{\rho''} \sqrt{m_{A_1}^2 + \frac{2m''^2}{15} \cdot \frac{k^2 + k + 3}{k}}. \quad (13)$$

Для ряда, состоящего из четного числа треугольников,

$$m_Q = \frac{L}{\rho''} \sqrt{m_{A_1}^2 + \frac{m''^2}{15} \cdot \frac{2k^2 + 5k + 5}{k}}. \quad (13,a)$$

Здесь k — число промежуточных сторон в диагонали ряда L , а m'', m_{A_1} — соответственно погрешности измерения угла и азимута исходной стороны ряда, L — длина диагонали ряда в км.

Задача 14. В задаче будем считать, что в звене имеется только одна исходная сторона. Определим продольный и поперечный сдвиги в середине звена, т. е. в вершине 10-го треугольника M .

Дано: $\frac{m_b}{b} = 1:400\,000$; $k = 5$; $m'' = 0,7''$, принимая сторону в среднем $c = 20$ км, $L = 5 \times 20 = 100$ км; $m_{A_1} = \pm 0,5''$.

Для упрощения вычисления пренебрегаем погрешностью исходной стороны.

Определим продольный сдвиг:

$$\begin{aligned} m_P &= \pm 100 \sqrt{\frac{4 \times 5^2 + 3 \times 5 + 5}{9 \times 5} \times \frac{m''^2}{\rho''^2}} = \pm 100 \sqrt{\frac{8}{3} \times \frac{m''^2}{\rho''^2}} = \\ &= \pm \frac{100 \times 0,7}{\rho''} \sqrt{\frac{8}{3}} = \pm \frac{70 \times 1000}{206\,265} \times 1,6 \approx \pm 0,5 \text{ м.} \end{aligned}$$

Поперечный сдвиг. Ряд состоит из четного числа треугольников:

$$\begin{aligned} m_Q &= \pm \frac{100}{\rho''} \sqrt{0,5^2 + \frac{0,7^2}{15} \times \frac{2 \times 5^2 + 5 \times 5 + 5}{5}} = \\ &= \pm \frac{100}{\rho''} \sqrt{0,78} \approx \frac{100 \times 1000 \times 0,9}{206\,265} \approx \pm 0,4 \text{ м.} \end{aligned}$$

Полный сдвиг

$$m_U = \sqrt{0,5^2 + 0,4^2} \approx \pm 0,6 \text{ м.}$$

Если на обоих концах звена имеются твердые стороны, то это позволяет уравнивать углы не только за условие фигур, но и за условия базисов и азимутов. В этом случае величина продольного сдвига уменьшится, примерно, в два раза, а поперечного — в 1,5 раза.

В нашей задаче величины сдвигов соответственно выразятся:

$$m_P = \pm \frac{0,5}{2} = \pm 0,25 \text{ м;}$$

$$m_Q = \pm \frac{0,4}{1,5} = \pm 0,30 \text{ м.}$$

Из рассмотренного видно, какое важное значение имеют базисные стороны и азимуты Лапласа при построении астрономо-геодезической сети. Наличие базисных сторон на концах звеньев 1 класса или в сетях 2 класса позволяет значительно уменьшить продольные сдвиги. Определение пунктов Лапласа на концах базисных сторон уменьшает поперечные сдвиги в положении определяемых пунктов, иными словами, уменьшает ошибки в определении координат пунктов триангуляции. Независимое определение пунктов Лапласа обеспечивает на всей территории страны сохранность ориентирования триангуляции с высокой точностью.

СОСТАВЛЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА ТРИАНГУЛЯЦИИ И РЕКОГНОСЦИРОВКА ПУНКТОВ

§ 12. ПОДГОТОВКА К СОСТАВЛЕНИЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

Триангуляционные сети создаются по заранее разработанным техническим проектам, составленным в соответствии с действующей «Инструкцией о построении государственной геодезической сети СССР».

Утвержденный технический проект является основным документом для производства полевых и камеральных работ и составления производственно-финансовых планов.

Разработке технического проекта триангуляции, который обязательно сопровождается сметами, определяющими стоимость за проектированных работ, предшествует составление предварительного проекта.

Перед составлением предварительного проекта триангуляции выполняются подготовительные работы.

1. Изучение производственного задания на проектирование сети. В задании должно быть указано: назначение проектируемых сетей, географические границы объекта, площадь, плотность пунктов триангуляционной сети, основные технические требования, сроки выполнения работы, особые требования для данного объекта, которые должны быть учтены при развитии триангуляции.

2. Сбор материалов и изучение района работ. Качество, экономичность проекта зависит от того, насколько хорошо изучен район предстоящих работ в физико-географическом и экономическом отношениях.

Для изучения района работ собирают и изучают следующие материалы:

а) топографические карты от 1 : 10 000 до 1 : 1 000 000 масштабов, а также карты специальные (тематические);

б) схемы всех исполненных ранее триангуляций, полигонометрии, нивелирования;

в) материалы оценки качества ранее выполненных работ органами геонадзора;

г) каталоги координат пунктов и их высот над уровнем моря, характер и высота знаков; описание мест расположения пунктов и чертежи центров;

д) каталоги высот пунктов с описанием расположения реперов нивелирования;

е) опубликованные материалы, освещающие геоморфологию, географию, климатологию и экономику района работ.

При обследовании на местности собирают недостающие сведения, необходимые для составления проекта, для чего посещаются метеостанции, административные, дорожные, лесные и другие организации. Попутно с этим осматриваются пункты триангуляции (полигонометрии) и реперы нивелирования прежних лет для установления степени их сохранности.

В результате изучения района работ составляется объяснительная записка, в которой приводятся сведения и даются рекомендации по следующим вопросам.

1. Административное деление района работ.

2. Рельеф: типы рельефа, расчлененность поверхности, типичные формы рельефа по участкам (горы, холмы, увалы, долины). Наиболее удобные пути движения — по гребням, склонам, долинам.

3. Гидрография: характеристика рек, озер, каналов; характеристика режима географических объектов, даты вскрытия и замерзания водоемов, возможность использования их для передвижения, переправы, проходимость в различное время года.

4. Грунты: общая характеристика (каменный, песчаный и т. д.), наличие болот и солончаков, наличие и характеристика строительных материалов (камень, песок и др.); сведения о наибольшей глубине промерзания грунта, наличие многолетней мерзлоты и ее тип (сплошная, островная и др.); мощность мерзлотного слоя, глубина наибольшего оттаивания. Рекомендации о типах центров и реперов. Категории трудности для земляных работ.

5. Растительность (древесная, кустарниковая, травянистая), расположение ее относительно рельефа, водных объектов, населенных пунктов. Высота леса для характерных участков, возможность использования его для строительства геодезических знаков.

6. Дорожная сеть: общая характеристика сухопутных и водных путей сообщения; соображения об условиях передвижения бригад и в процессе работы по доставке грузов.

7. Населенные пункты: характеристика населенных пунктов, состояние водосточников, качество воды; наиболее распространенные болезни, места и периоды их распространения.

8. Климат: тип и местные особенности климата. Сведения метеостанции о температуре, осадках, облачности и ветрах. Календарь сезонных явлений — начало и конец устойчивых морозов, начало и конец санного пути. Наличие дымки, туманов.

9. Местные особенности: затяжные лесные пожары, паводки, наличие гнуса, клещей и т. п. Для горных районов — наличие труднодоступных вершин, время для восхождения на них, продолжительность закрытия вершин облаками и т. д.

10. Рекомендации о расположении баз экспедиции и партии, об организации транспорта, о возможности найма на месте рабочей силы. Соображения о продовольственном снабжении, необходимости организации продовольственных баз, их размещении;

о снабжении горючим, о необходимости найма проводников, инструкторов-альпинистов, лоцманов, приобретения специального оборудования.

11. Соображения о наиболее рациональном технологическом цикле топографо-геодезических работ, категориях трудности по характерным участкам района работ. Целесообразная методика создания главной и рабочей плановой и высотной основ (аналитические сети, засечки и т. д.).

12. Общие рекомендации по организации топографо-геодезических работ в данном районе. К объяснительной записке прилагаются карты района работ в масштабе 1 : 300 000 со всеми данными и характеристиками, собранными и полученными в результате обследования.

§ 13. СОБСТВЕННО ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Проектирование начинается с нанесения на карты исполненных ранее пунктов триангуляции. Степень их пригодности для использования устанавливается при изучении материалов. Затем на карту наносят ряды триангуляции 1 класса, а также ранее отнаблюдаемые сети, которые будут границами объекта. Создаваемая триангуляция 2 класса должна примыкать к сторонам 1 класса. Наилучшая форма привязки, которая обеспечивает быстрый переход к необходимому по длине сторонам триангуляции 2 класса, — геодезический четырехугольник (рис. 25, а) (длинная диагональ AB — сторона 1 класса) или вставка пункта 2 класса в треугольник 1 класса ABC (рис. 25, б).

В целях снижения высот знаков разрешается осуществлять привязку к пунктам 1 класса посредством построения цепей треугольников 2 класса с нормальными длинами сторон, опирающихся на два пункта 1 класса, например между пунктами A и B , B и C (рис. 26).

Перед составлением проекта необходимо хорошо изучить рельеф, так как от умелого использования его зависит максимальное снижение высоты знаков, а следовательно, достигается экономичность проекта. Пункты триангуляции должны располагаться на господствующих высотах — водоразделах и на высотах этих водоразделов.

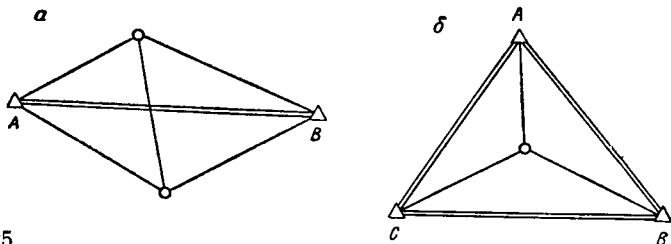


Рис. 25

Поэтому при изучении рельефа нужно прежде всего выделить водоразделы, которые разделяются на главные, расположенные между значительными реками; 2-го порядка, расположенные между притоками значительных рек, и 3-го порядка, расположенные между водоразделами 2-го порядка.

Пункты триангуляции 1 класса располагаются на главных водоразделах и нередко на водоразделах 2-го порядка. Пункты триангуляции 2 класса размещают на водоразделах 2-го и 3-го порядков. Пункты триангуляции 2 класса проектируют в соответствии с установленной плотностью пунктов.

При проектировании пунктов сетей триангуляции 2, 3 и 4 классов нужно руководствоваться требованиями инструкции [12].

1. Длины сторон треугольников должны соответствовать для сети триангуляции 2 класса от 7 до 20 км, для сети 3 класса от 5 до 8 км, для 4 класса от 2 до 5 км.

2. Углы в треугольниках не должны быть менее 30° в триангуляции 2 класса (между направлениями 2 класса) и менее 25° в триангуляциях 3 и 4 классов (между направлениями данного класса). В отдельных случаях в сплошных сетях триангуляции 2—4 классов величина углов (между направлениями данного класса) может доходить до 20° , если это ведет к снижению высоты знаков.

3. Учитывать топографические требования к геодезической сети 2—4 классов в отношении примерной равномерности расположения пунктов.

4. В рядах и сетях триангуляции проектируются базисные стороны (в исключительных случаях базисные сети). В сплошных сетях триангуляции 2 класса базисные стороны должны располагаться не реже, чем через 25 треугольников. Если сети 3 и 4 классов развиваются на малых участках как изолированные сплошные триангуляционные сети, в них предусматриваются базисные стороны через 20—25 треугольников, но не менее двух базисных сторон.

5. В сплошных сетях триангуляции диагональные направления не проектируются, так как при заметном увеличении объема работ дают слишком небольшой выигрыш в точности уравниваемых элементов (на 10%).

6. Предусматривать возможность дальнейшего развития сети. Пункты сети должны быть видимы на возможно большей площади, а не только по направлениям сети.

7. Высоты знаков на пунктах должны быть наименьшими; для сетей 2—4 классов должна обеспечиваться взаимная видимость

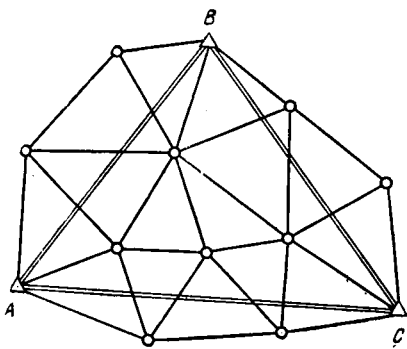


Рис. 26

по линии: визирная цель — место установки угломерного прибора.

8. Для ослабления действия боковой рефракции на результаты наблюдений необходимо при проектировании избегать направлений вдоль крупных рек, озер, склонов, а также над городами и заводами. Реки стремиться пересекать под прямым углом, поверхности озер и больших болот — симметрично.

9. В зависимости от условий района работ необходимо выбрать соответствующий тип геодезических знаков. В безлесных районах предпочтительнее металлические или деревянные разборные знаки. В залесенных и ползузакрытых районах с наличием местного строительного леса выгодней строить постоянные деревянные знаки.

10. В зависимости от климатических условий и характера грунта (глубина промерзания, наличие многолетней мерзлоты) выбирают типы центров, подлежащие закладке.

11. При наличии в районе работ ранее исполненных геодезических сетей по основным положениям 1939 г. необходимо предусмотреть связь с ними проектируемой сети. Эта связь осуществляется путем совмещения старых и новых пунктов триангуляций старших классов (нового и старого 2 класса или нового 2 со старым пунктом 1 класса).

§ 14. РАСЧЕТ ВЫСОТЫ ЗНАКА

Проектировщик обязан сделать расчет высот знаков на запроektированных пунктах триангуляции. Для этого используется рельеф, изображенный на картах, сведения, полученные в результате геодезического обследования (высота леса, высоты знаков прежних триангуляций и т. д.).

Вычисленные высоты знаков будут предварительными, так как рельеф на карте изображен обобщенно. Погрешность в изображении рельефа зависит от величины сечения. Так, при сечении в 20 м (масштаб 1 : 100 000) ошибка в плановом положении горизонтали может достигать 7 м.

Фактическая высота деревьев может также отличаться от той, что показана на картах. Поэтому в процессе рекогносцировки предварительные высоты знаков должны быть уточнены.

Чтобы надежно определить высоты знаков, необходимо на местности установить непосредственно видимость между пунктами. Если видимость установить непосредственно с земли нельзя, нужно подниматься на соответствующую высоту, для этого используются высокие деревья, местные сооружения, мачты, лестницы. Если непосредственную видимость между пунктами установить не удастся, высоту знака рассчитывают аналитически.

Для расчета высоты знака на одном из концов какой-либо стороны триангуляции нужно знать отметки этих пунктов и препятствия между ними. Кроме того, нужно знать расстояния от каждого знака до препятствия и установленную для данного класса высоту визирного луча над препятствием. Отметки этих точек

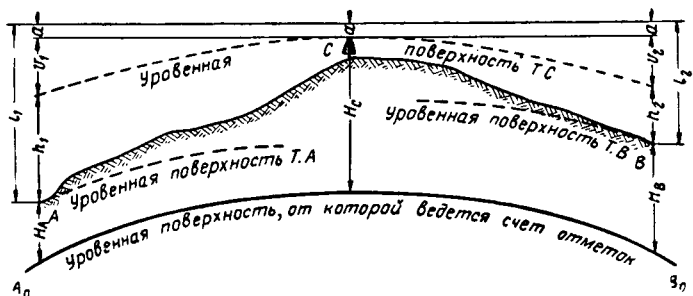


Рис. 27

можно взять с карты или определить из геодезического или геометрического нивелирования. Высоты знаков желательно получать с ошибкой в 2—3 м, следовательно, нужно иметь карты масштаба 1 : 25 000 и крупнее. Если таковых нет, лучше определить превышение из геодезического нивелирования по формуле

$$h = S \operatorname{ctg} z + i - l + v.$$

Расчет высот знаков удобно вести по формулам, предложенным В. Н. Шишкиным (рис. 27),

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= h_1 + a + v_1 \\ l_2 &= h_2 + a + v_2 \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

где l_1 и l_2 — высоты первого и второго знаков; h — превышения вершины препятствия над основаниями первого и второго знаков; a — установленная для данного класса триангуляции высота визирного луча над препятствием; v — поправка за кривизну Земли и рефракцию.

Если обозначим пункты A и B , а препятствие C , то отметки земли и вершины препятствия будут соответственно: H_A , H_B , H_C .

В отметку точки C включается и высота леса. Тогда превышения будут

$$h_1 = H_C - H_A, \quad h_2 = H_C - H_B.$$

Так, для триангуляции 1 класса в южных и степных районах высота визирного луча над препятствием должна быть не менее 4—6 м, в северных и восточных — не менее 2 м. В сетях 2—4 класса должна обеспечиваться взаимная видимость по линии: визирная цель — место установки угломерного прибора, т. е. $a=0$. Поправка за кривизну Земли и рефракцию может быть вычислена по формуле

$$v = \frac{1-k}{2R} S^2,$$

где S — расстояние между точками в километрах; R — радиус Земли, 6400 км; $k=0,14$ — коэффициент земного преломления, или выбрана из специальных таблиц по известному расстоянию, выраженному в километрах [27, см. прил. 5]. Определение высот знаков может быть выполнено графически (рис. 28). Это удобно делать

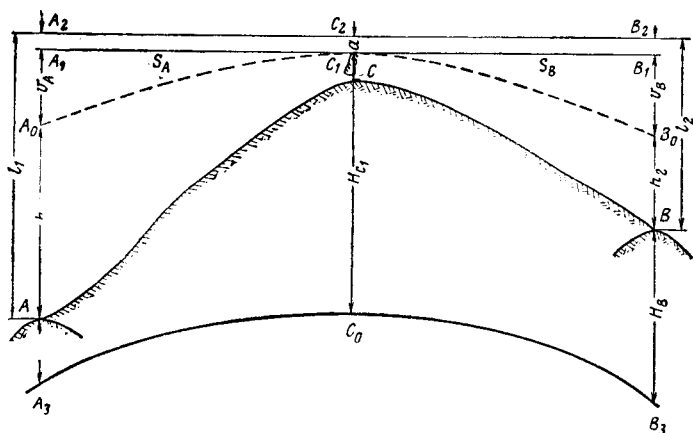


Рис. 28

на миллиметровой бумаге. Горизонтальный масштаб чертежа может соответствовать масштабу карты, с которой берутся отметки точек A , B и C и расстояния S_A и S_B . Вертикальный масштаб выбирается крупный, так чтобы чертеж получился наглядный. На листе бумаги намечаем точку C_1 , проводим через нее горизонтальную линию и откладываем на ней расстояния S_A — влево, S_B — вправо. По расстояниям S_A и S_B из таблиц [28] выбираем v_A , v_B , откладываем их вниз по вертикальным линиям от точек A_1 и B_1 и получаем соответственно точки A_0 и B_0 . Кривая $A_0C_1B_0$ параллельна уровенной поверхности, от которой ведется счет высот точек (на чертеже это $A_3C_0B_3$). От точек A_0 и B_0 откладываем по вертикали превышения $h_1 = H_C - H_A$ и $h_2 = H_C - H_B$ вниз, если со знаком плюс (точка A или B ниже точки C). Полученные точки являются местами, где будут стоять знаки на пунктах A и B . Тогда линия ACB будет являться действительной поверхностью Земли. Проведем горизонтальную линию на расстоянии a над точкой C_1 , получим точку C_2 . Отрезки на чертеже $l_1 = AA_2 = h_1 + v_A + a$ и $l_2 = BB_2 = h_2 + v_B + a$, взятые в масштабе чертежа, и будут высотами знаков на пунктах A и B соответственно.

Если по данной линии имеется несколько препятствий, то расчет знаков делают для каждого препятствия, и в дальнейшем берется максимальная высота знаков.

Высоты знаков, вычисленные по формулам (14), не являются окончательными, нужно найти наиболее выгодные высоты. Выгоднейшими высотами двух (пары) пунктов по направлению, если не учитывать стоимости лесовывозки, будут высоты пунктов, сумма высот которых будет наименьшей. Чтобы получить такую сумму, поступают следующим образом. Предположим, что l_2 — высота знака на пункте B , наиболее удаленном от препятствия; l_1 — на пункте A , ближайшем к препятствию (рис. 29).

Уменьшим высоту знака наиболее удаленного пункта B до высоты, необходимой для всех других направлений с данного пункта. Для этой цели делаются предварительные расчеты высоты знака

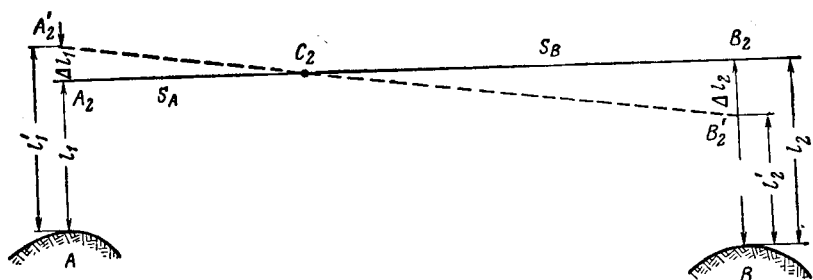


Рис. 29

на данном пункте по всем направлениям. Обозначим уменьшение Δl_2 . Высота знака на пункте A увеличивается на величину Δl_1 . Из подобия треугольников на рис. 29 запишем.

$$\frac{\Delta l_1}{\Delta l_2} = \frac{S_A}{S_B},$$

откуда

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 \frac{S_A}{S_B} \quad (15)$$

т. е. увеличение высоты знака на точке A будет во столько раз меньше уменьшения знака на точке B , во сколько расстояние S_A меньше S_B .

Например, $S_A = 3$ км, $S_B = 9$ км, $\Delta l_2 = 6$ м.

Увеличение высоты знака на точке A будет

$$\Delta l_1 = 6 \times \frac{3}{9} = 2 \text{ м.}$$

При определении выгоднейшей высоты знаков необходимо учитывать еще расстояния лесовывозок от мест постройки знаков. Кроме того, помнить, что средняя стоимость 1 м высокого знака выше средней стоимости 1 м низкого знака. Эти факторы учитываются в таблице В. Н. Шишкина [28, прил. 5]. По высоте знака и расстоянию до лесовывозки из таблицы выбирается сумма показателей затрат. Выбор наивыгоднейших высот проще всего проводить методом подбора. Достаточно подсчитать четыре варианта:

1) для высот l_1 и l_2 , вычисленных по формулам

$$l_1 = h_1 + v_1 + a; \quad l_2 = h_2 + v_2 + a;$$

2) для высот l'_1 и l'_2 , где l'_1 — минимальная высота первого знака, обеспечивающая видимость по всем направлениям с данного пункта;

3) для высот l'_1 и l'_2 , где l'_2 — минимальная высота второго знака;

4) для примерно равных высот l'_1 и l'_2 обоих знаков.

Выгоднейшими высотами пары знаков по направлению будут высоты, дающие меньшую сумму показателей затрат.

Для равнинной открытой местности высота знака на концах линии вычисляется по формуле

$$l_1 = l_2 = v + a; \quad (16)$$

для сетей 2—4 классов, где $a = 0$.

$$l_1 = l_2 = v = \frac{1-k}{2R} S^2. \quad (17)$$

Для равнинной залесенной местности к высотам знаков, вычисленным по формуле (17), нужно прибавить высоту леса.

Примеры: 1. Расстояние между пунктами A и $B = 8$ км, местность открытая. Рассчитываем высоты знаков, пользуясь формулой (17),

$$l_1 = l_2 = \frac{1-0,14}{2 \times 6400} \left(\frac{8}{2}\right)^2 = \frac{0,86}{12800} \times 16 = 1,1 \text{ м.}$$

Для нормального прохождения визирного луча примем

$$l_1 = l_2 = 2 \text{ м.}$$

2. $S = 20$ км, высоты знаков будут

$$l_1 = l_2 = \frac{1-0,14}{2 \times 6400} \left(\frac{20}{2}\right)^2 \approx 7 \text{ м.}$$

Для закрытой местности к этим высотам нужно было бы прибавить высоту леса.

3. Определить наимыгоднейшие высоты пары знаков, если отметки точек A, C, B соответственно равны:

$$H_A = 208 \text{ м, } H_C = 200 \text{ м, } H_B = 196 \text{ м.}$$

Высота леса на точке $C = 15$ м. Расстояния $S_A = 4,3$ км, $S_B = 17,0$. Триангуляция 2 класса. Расстояния до лесовывозок для $A - 30$ км, для $B - 2$ км.

Для расчетов воспользуемся табл. 1.

В первом варианте высоты знаков вычислены по формулам:

$$l_1 = h_1 + v_1;$$

$$l_2 = h_2 + v_2.$$

Во втором варианте предположили, что на пункте A высота знака $l'_1 = 10$ м является минимальной высотой для всех других

Таблица 1

Расчет высоты знаков

Направление	Высоты над уровнем моря, м	Расстояния до препятствия, км	h	v	Варианты вычисления высоты знака				Расстояние лесовывозок, км	Окончательная высота знаков
					Вычисленные l	l^{II}	l^{III}	l^{IV}		
A	208	4,3	+7	1,3	8,3	10,0	16,2	14,3	30	14,3
C	200+15	17,0	+19	19,3	38,3	31,5	12,0	14,3	2	14,3
B	196									
Сумма высот					46,6	41,5	28,2	28,6		

направлений с пункта A . Рассчитываем изменение высоты знака на точке B , если $\Delta l_1 = 10 - 8,3 = 1,7$ м:

$$\Delta l_2 = \Delta l_1 \frac{S_B}{S_A} = 1,7 \cdot \frac{17,0}{4,3} = 6,8 \text{ м};$$

высота знака на точке B будет

$$l'_2 = l_2 - \Delta l_2 = 38,3 - 6,8 = 31,5 \text{ м.}$$

В третьем варианте предположим, что $l''_2 = 12$ есть высота знака на пункте B , минимальная для всех направлений с пункта B . Рассчитаем изменение высоты знака на пункте A

$$\Delta l'_2 = l_2 - l''_2 = 38,3 - 12 = 26,3 \text{ м};$$

$$\Delta l'_1 = \Delta l'_2 \frac{S_A}{S_B} = 26,3 \cdot \frac{4,3}{17,0} = 7,9 \text{ м}$$

и высота знака на пункт A будет

$$l'_1 = l_1 + \Delta l'_1 = 8,3 + 7,9 = 16,2 \text{ м.}$$

Таким же образом рассчитаем высоты знаков на пунктах в четвертом варианте, они примерно одинаковые и будут равны 14,3 м. По сумме высот (см. табл. 1) знаков наимыгоднейшей парой высот является третий вариант. Выберем показатели затрат по каждому варианту из таблиц В. Н. Шишкина (см. прил. 5):

1-й вариант	$1,5 + 9,6 = 11,1$ ед.
2-й »	$2,1 + 7,0 = 9,0$ »
3-й »	$3,0 + 2,5 = 5,5$ »
4-й »	$3,0 + 1,9 = 4,9$ »

По наименьшей сумме показателей затрат выгоднейшим является четвертый вариант, поэтому окончательными высотами знаков нужно считать высоты этого варианта.

§ 15. СОСТАВЛЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА ТРИАНГУЛЯЦИИ 2 КЛАССА

Задача 15. Составить предварительный проект триангуляции 2 класса.

Для составления проекта берем карту. Устанавливаем, где расположены пункты 1 класса на данный район. Затем, стремясь строго соблюдать требования инструкции и руководствуясь рельефом данного района, намечаем пункты триангуляции 2 класса.

Когда пункты триангуляции будут нанесены на карту, соединим их прямыми.

Приступим к составлению объяснительной записки. Для примера составления объяснительной записки нами была использована учебная карта с номенклатурой У-32-61 (Ланген). На рис. 30 приведена упрощенная схема листа карты.

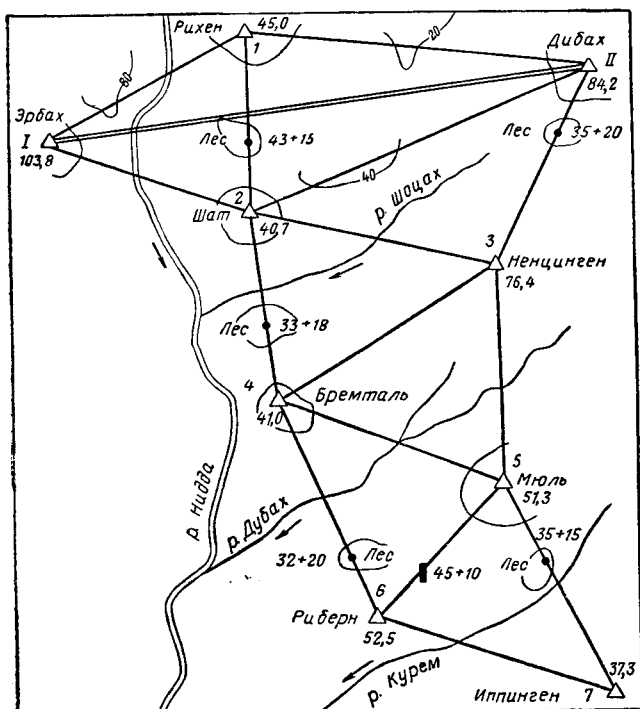


Рис. 30

Объяснительная записка к предварительному проекту триангуляции 2 класса

1. Характеристика района работ. На район работ имеется учебная карта масштаба 1 : 100 000 с номенклатурой У-32-61 (Ланген).

Рельеф. Местность всхолмленная. Наибольшие высоты располагаются на правом берегу р. Нидды и равны 111,8; 104,2; 100,3; 101,3. На левом берегу реки высоты на водоразделах колеблются в пределах от 20,5 до 84,2 м.

Гидрография. С севера на юг района работ в западной его части протекает река Нидда. Ее характеристики: скорость течения 0,1—0,2 м/с, ширина и глубина в северной части 130 и 2,7 м; в средней части 150 и 3,0 м; в южной части 180 и 3,5 м. Река судоходна, имеются пристани Пинах, Ланген, Брюккенау и Брюль (с необорудованным причалом). Через р. Нидду есть каменные мосты в населенных пунктах Бергена, Эшау, Ланген и Брюккенау; железнодорожный мост в Эшау, перевоз в населенном пункте Каль и паром в населенном пункте Вейнберг. Пойма реки в некоторых местах заболочена. В пойме между населенными пунктами Тюнген—Берген на левом берегу проведены мелиоративные работы.

Р. Нидда имеет 6 притоков на правом и 8 на левом берегах. Наиболее значительные из них Шоцах, Аубах и Курем. Поймы притоков в большей части заболочены. Характеристика притоков:

р. Шоцах — в устье ширина 15 и глубина 2 м, в среднем течении 14 и 1,2 м;

р. Аубах — в нижнем течении 15 и 2,3 м, в верхнем — 6 и 1,5 м;

р. Курем — в среднем течении 15 и 1,7 м.

Мосты через эти реки деревянные. Кроме этих рек имеются еще ряд рек и ручьев.

Грунты. В районе работ преобладают песчаные и суглинистые грунты. Наибольшая глубина промерзания 1,5 м. Для пунктов триангуляции рекомендуются типы центров для сезонного промерзания грунта. Из строительных материалов имеются песок, гравий.

Растительность. Местность полузакрытая. Имеется несколько массивов леса, площадь наибольшего из них 10—11 км². Леса располагаются как в поймах рек, так и на водоразделах — леса Бергвальд, Тоддин. Породы леса: сосна, ель, дуб, береза, ольха. Высота деревьев не превышает 20 м. Для строительства знаков лес использовать нельзя, так как он не подложит вырубке. В поймах рек имеется травяная и кустарниковая растительность.

Дорожная сеть. В районе работ она достаточно развита. Имеются железные дороги Вейсбах—Ахим и Аурих—Минхоф. Кроме того, много шоссейных дорог с асфальтовым, бетонным, цементным и щебеночным покрытием. Много грунтовых, проселочных дорог.

Передвижение бригад в процессе работы, доставку личного состава и грузов на базы отрядов рациональнее производить автотранспортом.

Населенные пункты. Район работ густо населен. Наиболее крупным является г. Ланген, насчитывающий до 10 тыс. жителей. Остальные населенные пункты относятся к поселкам городского и сельского типа. Располагаются населенные пункты по берегам рек, из которых и снабжаются водой. Там, где нет рек, пользуются колодезной водой.

Климат. Район работ имеет умеренный климат с мягкой зимой и теплым летом. Реки вскрываются во второй половине апреля, ледостав наступает в первой половине ноября. Видимость для наблюдений для большей части полевого сезона устойчивая, хорошая. Туманы редки, дымка возможна в жаркие месяцы.

Экономическое развитие. Крупной промышленности в районе нет. Из промышленных предприятий имеются кирпичные, мукомольные и винодельческие заводы, каменные и глиняные карьеры. Развито сельское хозяйство — полеводство, животноводство.

Сведения о прежних триангуляциях. Имеются триангуляции 3 и 4 классов. Состояние знаков и центров ее неудовлетворительное.

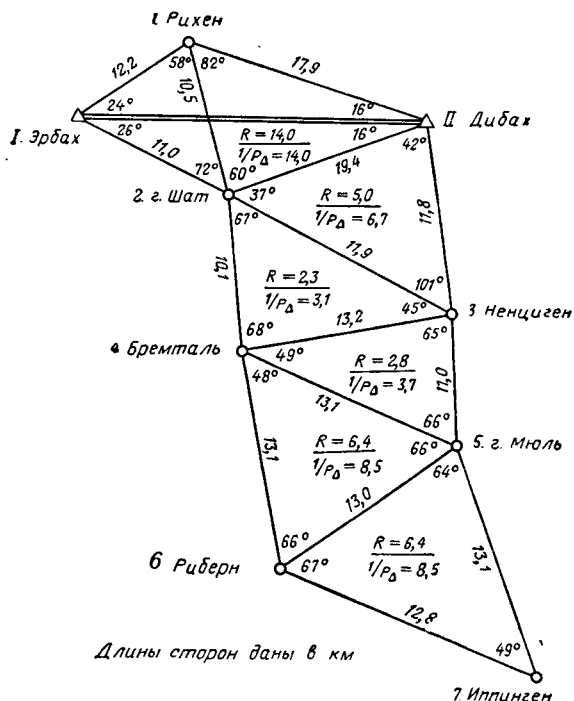


Рис. 31

Сведения о запроектированной триангуляции 2 класса. 1. Исходными пунктами для проектирования послужили пункты триангуляции 1 класса Эрбах и Дибак, расположенные в северной части листа карты. Привязка ряда 2 класса выполнена геодезическим четырехугольником. Далее ряд идет на юг и в пределах листа карты состоит из семи треугольников (см. рис. 30). Всего запроектировано 7 пунктов 2 класса. Три из них — г. Шат, Ненциген и г. Мюль — запроектированы на местах пунктов старой триангуляции. Все пункты располагаются на господствующих высотах местности и имеют отметки:

1. Эрбах	1 класс — 103,8 м
11. Дибак	1 » — 84,2 »
1. Рихен	2 » — 45,0 »
2. г. Шат	2 » — 40,7 »
3. Ненциген	2 » — 76,4 »
4. Бремталь	2 » — 41,0 »
5. г. Мюль	2 » — 51,3 »
6. Рибери	2 » — 52,5 »
7. Иппинген	2 » — 37,3 »

2. Оценка качества построения ряда (рис. 31). На чертеже запроектированного ряда показаны: величины углов, длины сторон, величины R для каждого треугольника (числитель), обратный вес фигуры $\frac{1}{P_{\Delta}}$ (знаменатель). Подсчет обратного веса ряда выполнен

Таблица 2

Вычисление обратного веса ряда

Вид фигуры	R	$\frac{1}{P_{\Delta}}$
Геометрический четырехугольник	14,0	14,0
Треугольник	5,0	6,7
То же	2,3	3,1
»	2,8	3,7
»	6,4	8,5
»	6,4	8,5

Обратный ряд	$\frac{1}{P_{\text{ряда}}} = 44,5$ ед. 6-го знака логарифма

в табл. 2. Величины R , обратные веса фигур и обратный вес ряда подсчитаны по формулам (7) и (4), см. гл. II. По полученному обратному весу ряда, равному $\frac{1}{P_{\text{ряда}}} = 44,5$ единиц 6-го знака логарифма, подсчитаем среднюю квадратическую погрешность логарифма стороны, наиболее удаленной от исходной, т. е. стороны a_6 Рибберн—Иппинген:

$$m_{\lg a_6} = m_{\beta} \sqrt{\frac{1}{P_{\lg a_6}}} = \pm 1'' \times 44,5 = 6,6 \text{ ед. 6-го знака логарифма.}$$

Относительная погрешность ее будет

$$\frac{m_{a_6}}{a_6} = \frac{6,6}{434\,294} \approx \frac{1}{100\,000}.$$

Полученная относительная погрешность является допустимой для неуравненного ряда триангуляции 2 класса.

3. Расчет высот знаков приведен в табл. 3, где через C обозначено препятствие. В первом варианте (см. табл. 3) вычислены высоты знаков по всем направлениям ряда по формуле (14), см. § 14.

Во втором и третьем вариантах вычислены выгоднейшие высоты знаков с учетом высот знаков на пунктах 1 класса и минимальных высот знаков, обеспечивающих видимость по всем направлениям, например по направлениям II — 3, II — 4, 3—4 и т. д. В последней графе табл. 3 даны окончательные высоты знаков по направлениям ряда.

Так как в районе работ леса вырубке не подлежат, знаки рекомендуется строить металлические. Поэтому при проектировании показатели затрат в зависимости от дальности вывозки учтены не были.

4. Характеристика ряда. Ряд триангуляции 2 класса состоит из семи треугольников, по форме близких к равносторонним.

Таблица 3

Расчет высоты знака

Названия пунктов	Отметки, м	S, км	h, м	v, м	a=0	Варианты вычисления высоты знака			
						1	2	3	4
I C II									13,6
I C I	Нет	12,2	—	2,5		2,5			13,6
						2,5			5,4
I C 2	Нет	11,0	—	2,0		2,0			13,6
						2,0			12,0
I C 2	45,0	6,7	+10	2,9		3,9			5,4
	31+15,0	3,8	+5,3	1,0					
2	40,7					6,3			12,0
II C I	Нет	17,9	—	5,4		5,4			15,0
						5,4			5,4
2 C II	Нет	19,4		6,3		6,3			12,0
						6,3			15,0
II C 3	32,7	2,3	+22,3	0,4		22,7		15,0	15,0
	35+20	9,5	—21,4	6,0					
3	76,4					—15,4		15,3	15,3
		Сумма высот знаков				38,1		30,3	30,3
2 C 3	Нет	11,9		2,4		2,4			12,0
						2,4			15,3
2 C 4	40,7	6,0	+10,3	2,4		12,7	12,0		12,0
	33+18	4,1	+10,0	1,2					
4	41,0					11,2	11,5		14,8
		Сумма высот знаков				25,9	23,5		26,8
3 C 4	76,4	7,0	—6,4	3,3		—3,1	19,3	15,3	15,3
	50+20	6,2	+29,0	2,6					
4	41,0					31,6	11,2	14,8	14,8

Названия пунктов	Отметки, м	S, км	h, м	v, м	a=0	Варианты вычисления высоты знака			
						1	2	3	4
		Сумма высот знаков				34,7	30,5	30,1	30,1
3	Нет	11,0		2,0		2,0			15,3
C				2,0		2,0			5,1
5									
		Сумма высот знаков							20,4
4	Нет	13,1		2,6		2,6			14,8
C				2,6		2,6			5,1
5									
4	41,0	9,8	+11,0	6,4		17,4	11,2		14,8
C	32+20								
6	52,5	3,3	-0,5	0,8		+0,3	2,4		7,6
		Сумма высот знаков				17,7	13,6		22,4
6	52,5	5,0	+2,5	1,7		4,2	6,0		7,6
C	45+10								
5	51,3	8,0	+3,7	4,3		8,0	5,1		5,1
		Сумма высот знаков				12,2	11,1		12,7
6	52,5	1,1	15,5	0,1		5,6	7,6		7,6
C	38+20								
7	37,3	11,7	20,7	9,2		29,9	8,5		8,5
		Сумма высот знаков				35,5	16,1		16,1
5	51,3	4,0	-1,3	1,1		-0,2	4,1		5,1
C	35+15								
7	37,3	9,1	+12,6	5,5		18,2	8,5		8,5
		Сумма высот знаков				18,0	12,6		13,6

Вычислял А. В. Попов

15 сентября 1973 г.

Наименьший угол между направлениями 2 класса равен 32° (п. Дибак). Длины сторон в километрах:

наименьшая (2—4) — 10,1
 наибольшая (2—11) — 19,4
 средняя (из всех) — 12,9.

Относительная ошибка слабой стороны (6—7) 1 : 100 000. Предварительные высоты знаков на пунктах ряда получились (в метрах)

1. Рихен	5,4
2. г. Шат	12,0
3. Ненциген	15,6
4. Бремталь	14,8
5. г. Мюль	5,1
6. Риберн	7,6
7. Иппинген	8,5

§ 16. РЕКОГНОСЦИРОВКА ПУНКТОВ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Рекогносцировка заключается в выборе места расположения пунктов триангуляции. Пункты выбираются таким образом, чтобы обеспечить наилучшую форму треугольников, необходимую высоту визирного луча по всем запроектированным направлениям при минимальных высотах знаков и минимальных затратах средств на проведение работ.

Методы проведения рекогносцировки, средства, используемые при этом, особенности работы при различных физико-географических условиях достаточно полно изложены в руководствах В. Н. Шишкина [27], В. Л. Ассура, М. Н. Кутузова, М. М. Муравина [2], С. Г. Судакова [25]. В настоящем учебном пособии рассматривается только несколько видов задач, которые приходится решать при выполнении этого вида работ.

Инструментальное определение расстояния до препятствия производится в том случае, когда препятствие между пунктами на карте четко не выражено, т. е. расстояние по карте нельзя точно определить (рис. 32). В этом случае на пункте разбивается и измеряется короткий базис b таким образом, чтобы один угол при базисе был равен 90° . Угол β измеряют теодолитом. Тогда расстояние от пункта A до препятствия (точка C) из прямоугольного треугольника AKC определится как

$$S = \frac{3400 \cdot b}{\gamma'}, \quad (18)$$

где b — длина базиса; $\gamma = 180^\circ - 90^\circ - \beta$ — горизонтальный угол при точке C , выраженный в минутах.

Примеры. Определить расстояние от пункта A до препятствия C , если длина базиса $b = 80$ м и угол $\beta = 88^\circ 37'$. Базис разбит таким образом, что угол при точке K равен 90° , тогда

$$\gamma = 180^\circ - 90^\circ - 88^\circ 37' = 1^\circ 23'; \quad \gamma = 83';$$

$$S = \frac{3400 \cdot b}{\gamma'} = \frac{3400 \cdot 80}{83} = 3,3 \text{ км.}$$

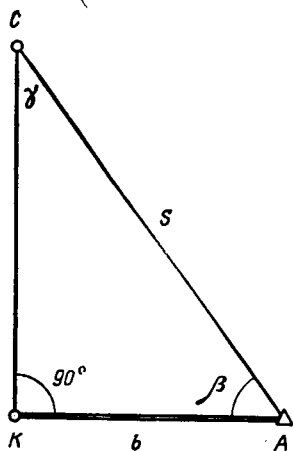


Рис. 32

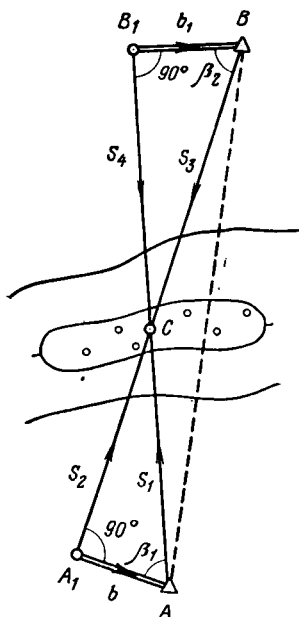


Рис. 33

Часто возникает необходимость в уточнении профиля, по направлению которого отсутствует непосредственная видимость.

В этом случае превышение определяется методом геодезического нивелирования, при котором углы наклона измеряются теодолитом, имеющим хороший уровень при алидаде вертикального круга и точность отсчета по вертикальному кругу порядка $0,1'$.

Рассмотрим схемы определения расстояний и превышений геодезическим нивелированием по направлениям, имеющим препятствия.

1. С обоих пунктов триангуляции препятствие видно непосредственно с земли (рис. 33). На препятствии выбираем вблизи створа AB наиболее заметную точку C (например, высокое дерево), которая хорошо была бы видна с пунктов A и B . Разбиваем на пунктах короткие базисы b и b_1 , измеряем горизонтальные углы β_1 и β_2 (см. рис. 32) и по формуле (18) вычисляем расстояния до препятствия S_1, S_2, S_3, S_4 .

Затем измеряем углы наклона α по направлениям, указанным стрелками, и вычисляем превышения h по формуле

$$h = S \operatorname{tg} \alpha + i - l + v.$$

Контролем определения превышений будет равенство нулю суммы превышений в треугольниках AA_1C и BB_1C .

2. Оба пункта и препятствие расположены в характерных местах, легко опознаваемых на карте. В этом случае расстояния от пунктов до препятствия берутся с карты. Для определения превышений на препятствии выбирается точка C , видимая с пунктов A

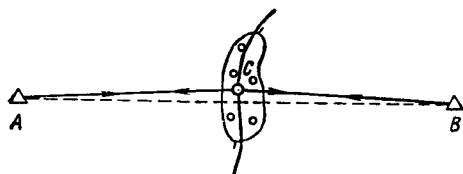


Рис. 34

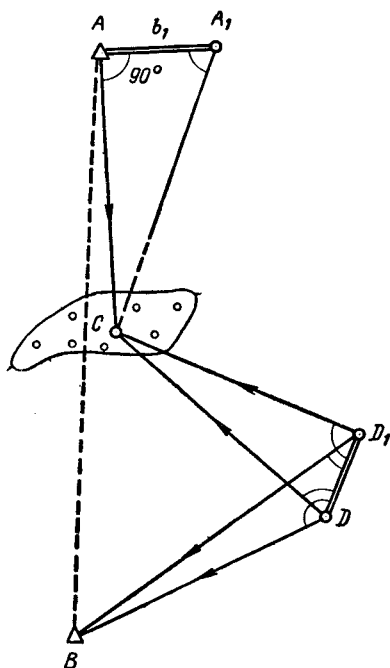


Рис. 35

и B , на которую и измеряются вертикальные углы α прямо и обратно (рис. 34).

3. С одного пункта B с земли не видно препятствия, но в стороне можно найти точку D , с которой видно препятствие и один пункт B (рис. 35). На точке D разбиваем короткий базис таким образом, чтобы определить расстояния DB и DC . Измеряем горизонтальные углы на точках D и D_1 , отмеченные на чертеже скобками; по направлениям, указанным стрелками, измеряем вертикальные углы. Из решения треугольников BDD_1 и DD_1C находим расстояния BD , BD_1 , CD , CD_1 , затем по направлениям, указанным стрелками, вычисляем превышения.

Контроль: сумма превышений в треугольниках должна равняться нулю.

Для определения расстояния AC на точке A разбиваем базис b_1 и измеряем соответствующие горизонтальные углы (см. рис. 35). Решая треугольник AA_1C , находим расстояние AC и по нему превышение. Превышение по линии BC будет равно сумме превышений по линиям BD и DC .

§ 17. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О БАЗИСНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

В главе I было сказано, что на концах звеньев триангуляции I класса измеряются базисные стороны с относительной погрешностью $1:400\,000$. В настоящее время базисные стороны измеряются светодальномерами. В недавнем прошлом, почти в течение полувека, единственным точным прибором для измерения расстояний были инварные проволоки. Да и сейчас так называемый прибор Едерина (БП-1) дает наивысшую точность измерения расстояний с относительной погрешностью $1:1\,000\,000$. Чтобы достичь такой точности, требуются очень благоприятные условия для измерения линий проволоками. Местность должна быть исключительно ровной, встречающиеся препятствия (овраги, реки) должны быть шириной не более 20 м. Когда непосредственно измерить сторону треугольника триангуляции I класса не представлялось возможным, приходилось прибегать к построению базисных сетей.

Наиболее распространенной из них является простая ромбическая сеть (рис. 36). В ней сторона ab является базисом длиной 6 км, который непосредственно измеряется проволоками с относительной погрешностью $1:1\,000\,000$. Сторона треугольника триангуляции AB , называемая выходной стороной, вычисляется по измеренным базису и углам с относительной погрешностью не ниже $1:400\,000$.

§ 18. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СВЕТОДАЛЬНОМЕРАХ

За последние годы конструирование новых и усовершенствование действующих светодальномеров получило широкое развитие. По дальности действия и точности измерения расстояний существующие геодезические светодальномеры можно разбить на три группы.

Первая группа — это высокоточные светодальномеры, позволяющие в хорошую видимость измерить расстояния ночью до 50—60 км, днем до 30—40 км с погрешностью $1:400\,000$. Светодальномеры этой группы соответствуют тре-

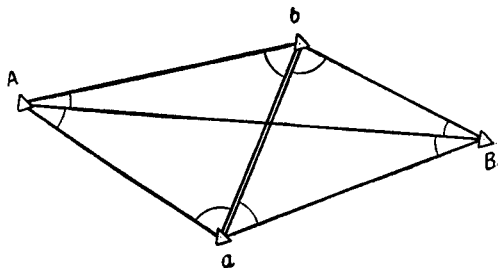


Рис. 36

бованиям, установленным для измерения базисных сторон в триангуляции 1 и 2 классов.

Из современных светодальномеров, нашедших применение в отечественной геодезической практике, к первой группе следует отнести светодальномер «Кварц», серийно выпускаемый нашей промышленностью. Из зарубежных светодальномеров того же класса применяется шведский Геодиметр 8.

Вторая группа — светодальномеры, имеющие дальность действия ночью до 10—15 км, днем до 5—10 км, погрешность измерения расстояний не более 1 : 200 000, что обеспечивает требования, предъявляемые к сетям 3 и 4 классов.

Сюда относятся светодальномеры EOS (ГДР), Геодиметр 6А (Швеция).

Третья группа — приборы, имеющие дальность действия до 2 км и точность измерения расстояния 1 : 1000. Применяются для измерения линий в геодезических сетях сгущения. Светодальномеры, относимые к этой группе, СМ-3 (СССР), ЕОК-2000 (ГДР).

Программа измерений расстояний светодальномерами зависит от типа дальномера и длины измеряемой линии и устанавливается в техническом проекте в соответствии с требованиями к длине и точности измерения сторон в соответствующих классах государственной геодезической сети.

§ 19. УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТА ОТ-02

Наша промышленность приступила к выпуску новых типов оптических теодолитов. Для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 1 и 2 классов установлены стандартом высокоточные теодолиты Т05 и Т1, а в 3 и 4 классах точные теодолиты Т2. Здесь числовые характеристики выражают средние квадратические погрешности измерения углов одним приемом соответственно $\pm 0,5$; 1,0 и 2,0". Однако в настоящее время в производстве и в учебных заведениях еще широко применяют теодолит ОТ-02 и его модернизированный вид ОТ-02М для измерения углов на пунктах триангуляции и полигонометрии 2 и 3 классов.

На рис. 37 дан общий вид теодолита ОТ-02. Треножник теодолита 5 (трегер) (рис. 37, а) в виде усеченного полого внутри конуса опирается на три подъемных винта 3, основанием которым служат подпятники установочной пластины 2. Во время наблюдений со столика знака теодолит устанавливается, на массивную металлическую плиту 1. Треножник имеет трубку-отверстие 4 для освеще-

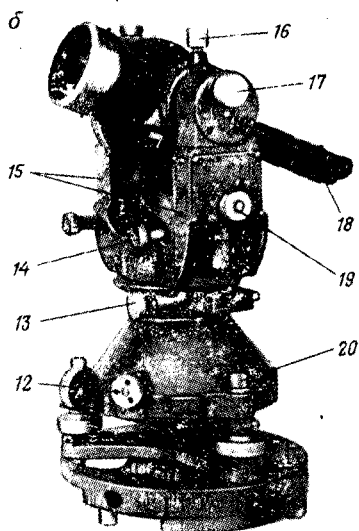
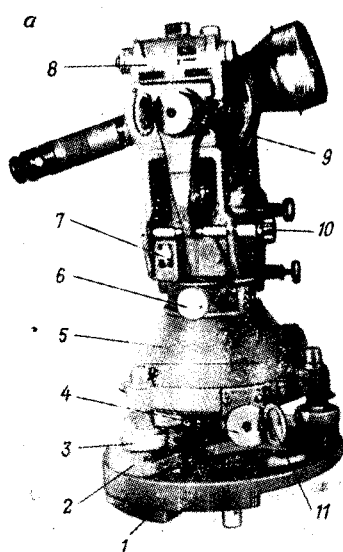


Рис. 37

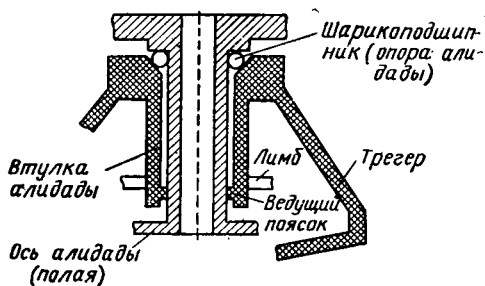


Рис. 38

щения делений стеклянного горизонтального круга. Используется или дневной свет, для подачи которого в отверстие трубки служит зеркало 11, или электрический, для чего в трубку вставляется патрон с электрической лампочкой. Поворот горизонтального круга на любой угол осуществляется вращением рукоятки 12, связанной зубчатой передачей с оправой круга.

Алидадная часть имеет закрепительный 6 и наводящий 13 винты и представляет собой две массивные подставки трубы 15, полые внутри, в верхней части которых на горизонтальной оси вращаются зрительная труба и вертикальный круг. В нижней их части находится цилиндрический уровень с ценой деления 6—7", служащий для приведения вертикальной оси теодолита в отвесное положение. Исправляется уровень исправительными винтами 7.

Зрительная труба прямая, центральная, с внутренней фокусировкой. Имеет три сменных окуляра, дающих увеличения 24, 30, 40×. Сетка нитей нарезная. Для освещения делений вертикального круга имеется в оси вращения трубы отверстие 9, через которое проходит дневной свет или электрическое освещение. Алидада вертикального круга перед каждым отсчетом приводится всегда в горизонтальное положение при помощи контактного уровня 8 с ценой деления 10—12" и установочного винта 10. Труба имеет зажимной 16 и наводящий 14 винты (рис. 37, б).

Система вертикальных осей цилиндрическая. Изоляция осей лимба и алидады друг от друга достигается тем, что лимб вращается с внешней стороны втулки вертикальной оси теодолита, а алидада вращается с внутренней ее стороны на шарикоподшипниках (рис. 38).

Отличительной чертой оптического теодолита является наличие стеклянных кругов (горизонтального и вертикального), для отсчетов по которым используется один и тот же оптический микрометр 18 (см. рис. 37, б). Чтобы уяснить себе принцип работы микрометра, рассмотрим вначале оптическую схему горизонтального круга (рис. 39). Луч от осветителя, пройдя через призму 1 и собирательную линзу 2, попадает на грани алидадных призм 3—3 и, разделившись, падает на противоположные части лимба. Отразившись от верхней амальгамированной поверхности лимба пучки лучей несут изображения штрихов лимба и снова возвращаются в алидадные призмы, где, отразившись от граней призмы 4, направляются в объектив микроскопа горизонтального круга. Далее смещающая призма 5 передает пучки лучей в подставку трубы, которые, минуя призму переключателя 19 (см. рис. 37, б),

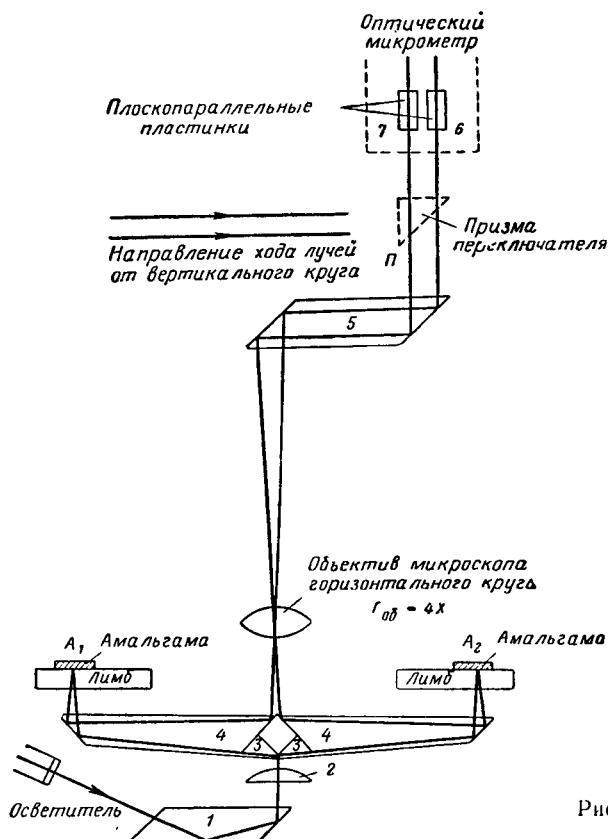


Рис. 39

если она выключена, падают на плоскопараллельные пластинки оптического микрометра 6 и 7.

Оптическая схема вертикального круга в принципе аналогична только что рассмотренной схеме и поэтому не приводится. Принцип действия плоскопараллельной пластинки понятен из рис. 40.

Плоскопараллельная пластинка играет роль измерительного прибора линейно смещенных на малые отрезки h лучей, несущих изображения штрихов лимба.

Рассмотрим схему действия оптического микрометра.

Различают поворотную и измерительную части механизма. Поворотная часть представляет собой металлический диск, вращающийся на горизонтальной оси (рис. 41). На диске имеется желобок в виде спирали Архимеда, в который своими кулачками входят два рычага a_1 и a_2 , несущих на других концах плоскопараллельные пластинки. При вращении диска (например, против хода часовой стрелки) кулачки рычагов, скользя по спирали, будут сближаться и после полного оборота займут положение b_1 и b_2 . Так как неподвижными осями вращений рычагов служат точки c_1 и c_2 ,

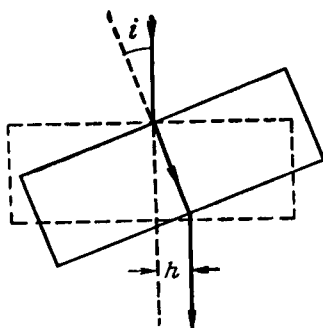


Рис. 40

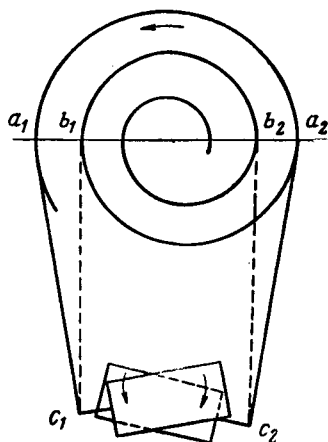


Рис. 41

плоскопараллельные пластинки будут поворачиваться в противоположные стороны (на рис. 41 это показано стрелками). Происходит непрерывное изменение малого угла i падения лучей (см. рис. 40), вызывающее изменение величины h линейного смещения луча. Зрительно оно воспринимается как перемещение противоположных штрихов лимба навстречу друг другу.

Для оценки видимых линейных перемещений штрихов в градусной мере, служит измерительный механизм оптического микрометра. Вместе с металлическим диском на ту же горизонтальную ось наглухо укреплен стеклянный диск, на котором нанесена шкала в 600 делений. Заметим, что наименьшее деление горизонтального круга $4'$, т. е. каждый градус поделен на 15 частей. Конструктивно предусмотрено, что если шкалу микрометра повернуть на все 600 делений, то плоскопараллельные пластинки линейно сместят изображения штрихов лимба на один интервал между ними. Так как штрихи будут двигаться навстречу друг другу с одинаковой скоростью, фактически перемещение штрихов произойдет на половину интервала, т. е. на $2'$. Отсюда цена деления шкалы оптического микрометра будет

$$\mu = \frac{2'}{600} = \frac{120''}{600} = 0,2''.$$

Для одновременного приведения во вращение металлического и стеклянного дисков служит барабан оптического микрометра 18 (см. рис. 37).

Размеры вертикального круга меньше горизонтального, а для отсчетов используется один и тот же оптический микрометр. Чтобы оба круга привести в соответствие, пришлось вертикальный круг поделить на 180, а не на 360 частей, т. е. на двухградусные интервалы. Для удобства отсчитывания оцифровали их обычными по-

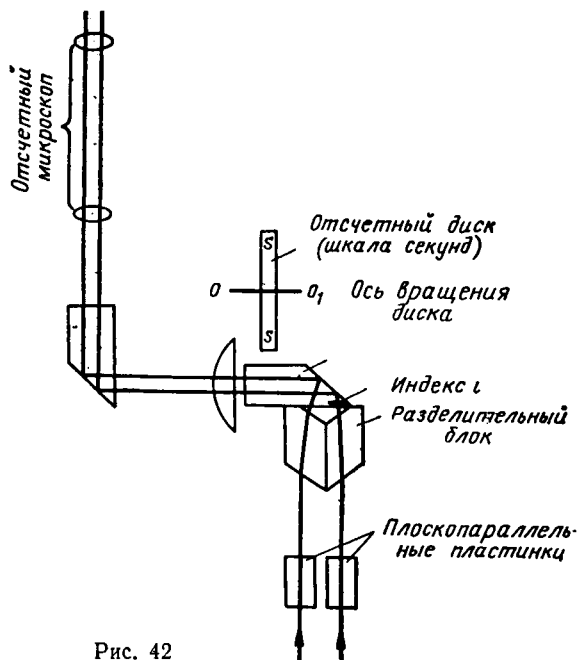


Рис. 42

рядковыми числами: 0, 1, 2, 3 и т. д. Каждый интервал (2°) поделен на 15 частей. Отсюда следует, что

- 1) все отсчеты по вертикальному кругу уменьшены в два раза;
- 2) наименьшее деление на вертикальном круге $8'$, а следовательно, цена деления микрометра $\mu = 0,4''$.

Кроме плоскопараллельных пластинок и дисков в систему оптического микрометра входит разделительный блок (рис. 42). Пройдя плоскопараллельные пластинки, лучи попадают в разделительный блок, в котором изображения противоположных штрихов лимба сближаются и располагаются в виде двух шкал (верхней и нижней), четко разграниченных горизонтальной линией. Часть лучей из разделительного блока падает на стеклянный диск — этим снимается соответствующая часть изображения деления шкалы микрометра, которое затем через систему линз и призм передается в поле зрения отсчетного микроскопа. В фокальной плоскости отсчетного микроскопа (рис. 43) видно одновременно изображения штрихов лимба и делений шкалы микрометра. Для подачи в поле зрения отсчетного микроскопа изображений штрихов горизонтального или вертикального кругов служит переключатель призмы 19 (см. рис. 37).

На призме (см. рис. 42) нанесен неподвижный штрих, служащий индексом для отсчитывания по шкалам лимба и микрометра (на рис. 43 вертикальный штрих p). Каждый десятый штрих шкалы микрометра оцифрован порядковыми цифрами 0, 1, 2, 3, ..., 60.

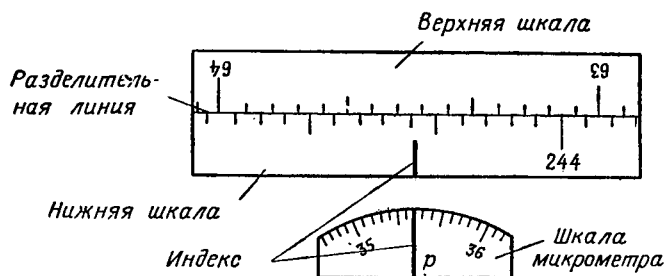


Рис. 43

Чтобы отсчет, взятый в делениях шкалы микрометра, перевести в секунды, надо увеличить его в 10 раз и умножить еще на $0,2''$, т. е. всего увеличить в $10 \times 0,2 = 2$ раза. Например, отсчет $52,3^d \times 10 \times 0,2 = 52,3^d \times 2 = 104,6'' = 1'44,6''$.

§ 20. ОТСЧИТЫВАНИЕ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ И ВЕРТИКАЛЬНОМУ КРУГАМ ТЕОДОЛИТА ОТ-02

Рассмотрим принцип отсчета по лимбу с помощью оптического микрометра.

Конструктивно рассчитано, что если шкалы занимают положение, указанное на рис. 44, плоскопараллельные пластинки установятся взаимно параллельно, а их плоскости будут перпендикулярны к падающим на них лучам. В таком исходном положении действие плоскопараллельных пластинок будет исключено. При некотором повороте алидады одноименные штрихи (отстоящие друг от друга на 180°), расходясь в разные стороны и с одинаковой скоростью, расположатся симметрично относительно индекса p . Так, например, штрихи 0° и 180° или a и b (рис. 45).

Заметим, что штрих p , относительно которого одноименные штрихи отстоят на равном расстоянии, называется нульпунктом микрометра, и индекс обычно с ним не совпадает (в нашем случае будем считать их совпадающими). Отсчет по горизонтальному кругу N (см. рис. 45) выразит угол поворота алидады относительно нульпункта. То же самое случится, если будем вращать барабан микрометра (рис. 46). В этом случае отсчет по шкале микрометра n выразит малый угол смещения изображения ближайшего штриха лимба (a или b) относительно нульпункта.

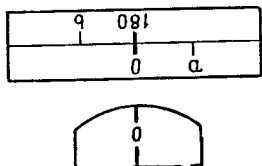


Рис. 44

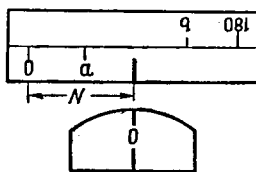


Рис. 45

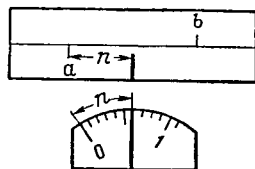


Рис. 46

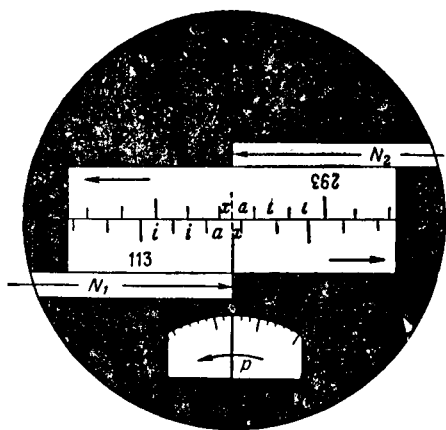


Рис. 47

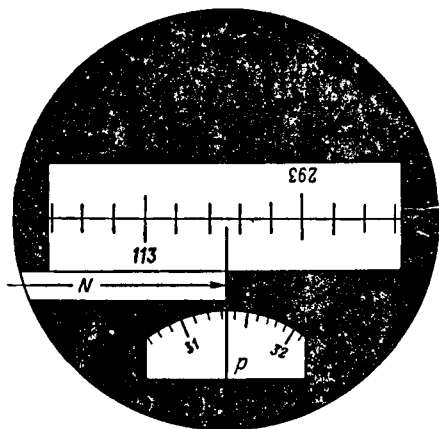


Рис. 48

Представим, что труба теодолита наведена на точку и в поле зрения отсчетного микроскопа имеем такую картину, которая показана на рис. 47.

Так как одноименные штрихи шкал симметричны относительно индекса, то отсчет N , характеризующий поворот алидады относительно p при наведении трубы теодолита на точку, можно взять по нижней и по верхней шкалам

$$\left. \begin{aligned} \text{По нижней } N_1 &= 113^\circ + 2i + a \\ \text{По верхней } N_2 &= 293^\circ + 2i + a \end{aligned} \right\}$$

где $2i = 2 \times 4' = 8'$.

Рассмотрим отрезок a , представляющий часть интервала i . Известно, что шкалой микрометра в 600 делений можно измерить интервал в $2'$. На глаз всегда можно определить, отстоит ли младший штрих (ближайший слева) относительно индекса больше или меньше, чем на половину интервала. Если предположить, что больше, то отсчет будет

$$a = \frac{i}{2} + x = 2' + x.$$

Чтобы измерить отрезок x , надо, вращая барабан микрометра, совместить штрихи верхней и нижней шкал. В этом случае отсчет по шкале микрометра n выразит поворот алидады относительно индекса на малый угол x , меньше $2'$.

Таким образом, чтобы получить полный отсчет (рис. 48), надо сначала барабаном микрометра совместить штрихи и взять отсчеты:

1. По лимбу относительно младшего штриха. Удобней этот отсчет брать по нижней шкале. Запишем градусы — 113° . Чтобы отсчитать минуты, замечаем, что от 113° до младшего штриха прошло целых интервалов

$$2i = 2 \times 4' = 8'.$$

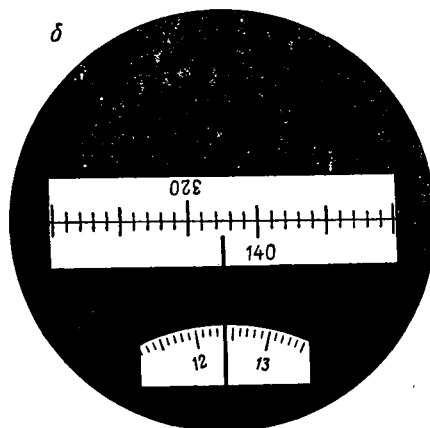
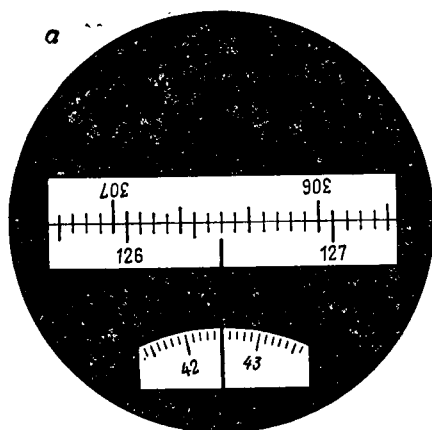


Рис. 49

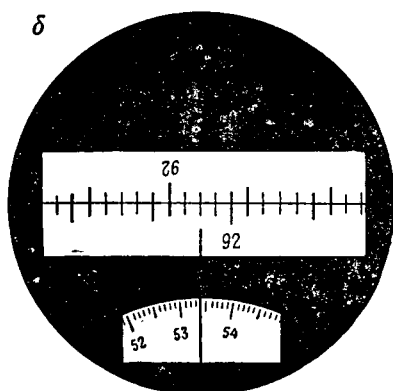
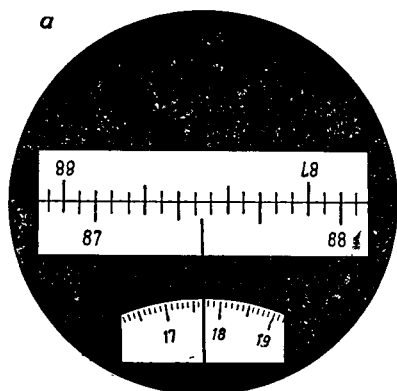


Рис. 50

Кроме того, если индекс не совпал со штрихами, а расположился посередине между ними, то надо прибавить еще $2'$. Итак, $8' + 2' = 10'$. Так как обычно индекс с нульпунктом не совпадает, чтобы избежать просчета в две минуты, надо подсчитать число интервалов между одноименными подписанными градусными штрихами и умножить это число на два. У нас между оцифрованными 113° и 293° пять интервалов, следовательно, $5 \times 2' = 10'$.

2. По шкале микрометра относительно индекса p , он будет равен $31,3$ (округляем до целых делений шкалы микрометра). Выше сказано, что для перевода отсчета, выраженного в делениях шкалы микрометра, в секунды надо его удвоить. Для уточнения отсчета рекомендуется не удваивать, а делать два последовательных совмещения штрихов лимба и суммировать взятые два отсчета. В нашем примере:

Совмещение	Отсчет
Первое	— 31,3
Второе	— 31,5
Средний отсчет	— $62,8'' = 1'02,8''$

Полный отсчет

$$N = 113^{\circ}10' + 1^{\circ}02,8'' = 113^{\circ}11^{\circ}02,8''.$$

Принцип отсчета по вертикальному кругу такой же.

При взятии отсчетов следует придерживаться рекомендаций:

а) вращением зеркала или патрона с электролампочкой добиться равномерного освещения шкал;

б) вращением диоптрийного кольца окуляра отсчетного микроскопа добиться четкого изображения штрихов лимба и микрометра;

в) совмещение штрихов, близких к индексу, заканчивать вращением барабана микрометра по ходу часовой стрелки (барабан справа — от себя, барабан слева — на себя);

г) при повторном совмещении тех же штрихов лимба отсчет по шкале микрометра не должен отличаться от первого более чем на 5 делений шкалы.

Для тренировки на отсчитывание приводятся примеры: горизонтальный круг (рис. 49)

$$\text{а) } N = \begin{matrix} 126^{\circ}28' & 42,5^{\circ} \\ & 42,8 \end{matrix} \quad 126^{\circ}29' 25,3'' \text{ (рис. 49, а),}$$

$$\text{б) } N = \begin{matrix} 139^{\circ}50' & 12,4^{\circ} \\ & 12,2 \end{matrix} \quad 139^{\circ}50' 24,6'' \text{ (рис. 49, б);}$$

вертикальный круг (рис. 50)

$$\text{а) } N = \begin{matrix} 87^{\circ}26' & 17,7^{\circ} \\ & 17,4 \end{matrix} \quad 87^{\circ}26' 35,1'' \text{ (рис. 50, а),}$$

$$\text{б) } N = \begin{matrix} 91^{\circ}52' & 53,4^{\circ} \\ & 53,0 \end{matrix} \quad 91^{\circ}53' 46,4'' \text{ (рис. 50, б).}$$

§ 21. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ТЕОДОЛИТА ОТ-02М

Модернизация теодолита ОТ-02 произошла главным образом за счет изменения деления кругов. В теодолите ОТ-02М каждый градус на горизонтальном круге поделен на 6 частей, что дает цену деления $10'$, на вертикальном круге — два градуса поделены тоже на 6 частей и цена деления равна $20'$. Шкала оптического микрометра состоит из 600 делений, но они соответствуют теперь $\frac{i}{2} = 5'$. Стало быть, цена деления шкалы микрометра будет $\mu = \frac{300''}{600} = 0,5''$ для горизонтального круга и соответственно для вертикального $\mu = 1,0''$.

Шкала оптического микрометра имеет оцифровку, позволяющую брать отсчеты, выраженные не в делениях шкалы, как у ОТ-02, а сразу в минутах и секундах. Как показала практика, увеличение

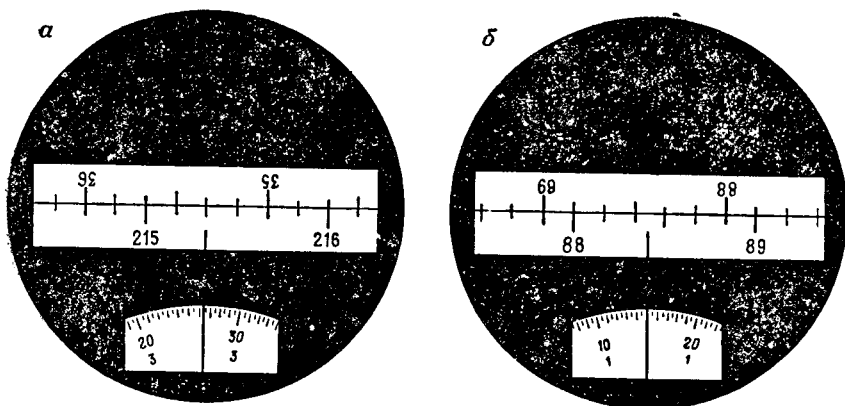


Рис. 51

цены деления микрометра с $0,2''$ до $0,5''$ и выражения отсчетов в градусной мере не понизили точности измерений углов, зато облегчили работу с теодолитом. По своему качеству теодолит ОТ-02М соответствует утвержденному по стандарту теодолиту Т1, предназначенному для угловых измерений в триангуляции и полигонометрии 2 класса.

Каждый второй штрих шкалы микрометра удлинен и соответствует целым секундам. Каждый двадцатый штрих оцифрован двойными цифрами: верхние означают десятки секунд 0, 10, 20 ... нижние выражают минуты 0, 1, 2, 3, ... Из отсчетов, взятых при двух совмещениях штрихов шкал, берется арифметическое среднее.

Ниже приводятся два примера отсчетов по кругам ОТ-02М: горизонтальный круг (рис. 51)

$$а) N = 215^{\circ}23'26,5'' \quad 215^{\circ}23'26,6'' \text{ (рис. 51, а);}$$

вертикальный круг

$$б) N = 88^{\circ}26'15,0'' \quad 88^{\circ}26'15,2'' \text{ (рис. 51, б)}$$

§ 22. ОПТИЧЕСКИЙ ТЕОДОЛИТ Т2

Точный теодолит Т2 предназначен для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов. Он выпускается в настоящее время взамен теодолитов ОТС и ТБ-1. Общий вид Т2 представлен на рис. 52. Основанием теодолита служит треножник 1 с тремя подъемными винтами. Треножник съемный, что позволяет применять в полигонометрии трехштативную систему измерений углов.

Система вертикальных цилиндрических осей в принципе такая же, как у ОТ-02. Для приведения вертикальной оси теодолита в

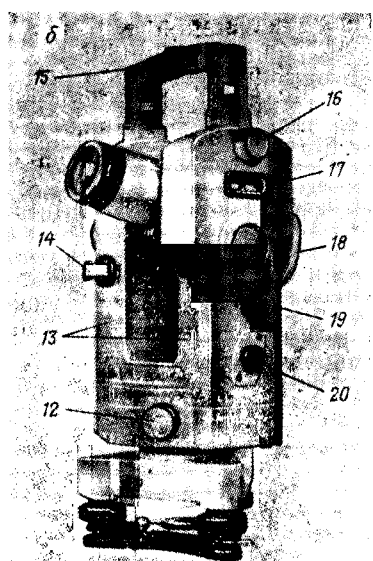
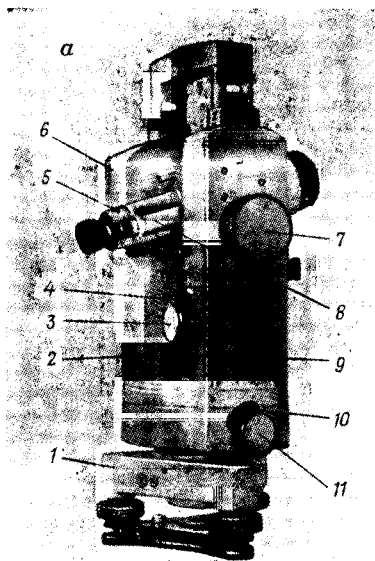


Рис. 52

отвесное положение служит цилиндрический уровень 2 (рис. 52, а) на алидаде горизонтального круга с ценой деления 15". Исправительный винт уровня находится на колонке, ниже системы зажимного и наводящего винтов трубы 9. Стекланный лимб может переставляться на любой угол поворота при помощи рукоятки 12. Прежде чем вращать рукоятку, надо вначале нажать на нее вдоль оси.

Алидадная часть имеет закрепительный 10 и наводящий 11 винты, оси которых соосны, т. е. совмещены. Подставки трубы 13 (рис. 52, б), в виде двух колонок имеют сверху ручку 15, которая служит для переноски теодолита и для установки на ней визира при работе по трехштативному методу. Зрительная труба закреплена на горизонтальной оси, установленной во втулках колонок, и имеет также соосные закрепительный 4 и наводящий 3 винты. Зрительная труба прямая, центральная, с внутренней фокусировкой, увеличением 25 $\times$.

На горизонтальной оси трубы укреплен вертикальный стеклянный лимб. Контактный уровень при алидаде вертикального круга расположен внутри колонки. Исправительные винты контактного уровня закрыты крышкой 6. Для наблюдений за изображением концов пузырька уровня служат призма-лупа 16 и окно-подсветка 17. Концы пузырька уровня совмещаются установочным винтом 19. У зрительной трубы имеется предохранительный колпачок 5.

§ 23. ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТЕОДОЛИТА Т2

Для точных отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам служит оптический микрометр, расположенный внутри колонки, противоположной вертикальному кругу. В действие оптический микрометр приводится при помощи барабана 7 (см. рис. 52), а для взятия отсчетов служит отсчетный микроскоп 8, расположенный рядом с окуляром зрительной трубы. Для освещения и подачи в поле зрения отсчетного микроскопа изображений шкал горизонтального или вертикального кругов служат подсветка-зеркало или электролампочка 18 и рукоятка переключателя 14. Для взятия отсчетов по горизонтальному кругу надо рукоятку переключателя установить горизонтально. При этом поле зрения отсчетного микроскопа будет иметь белый фон. Для взятия отсчета по вертикальному кругу рукоятку следует установить вертикально до щелчка. Фон поля зрения будет желто-зеленый.

Рассмотрим ход лучей в оптической схеме горизонтального круга (рис. 53). Лучи, отразившись от зеркала 12, направляются внутрь подставки трубы, и, преломившись под прямым углом в призме 11, поступают в призму подсветки 8, откуда, дважды преломившись, падают на стеклянный лимб 9. Поверхность лимба не амальгамирована, поэтому лучи проходят насквозь и после выхода попадают на прямоугольные призмы 10, после двойного преломления снова возвращаются в лимб, но уже в противоположной его части. По выходе лучи попадают в другую призму подсветки 8 и после двойного преломления поступают в объектив отсчетного

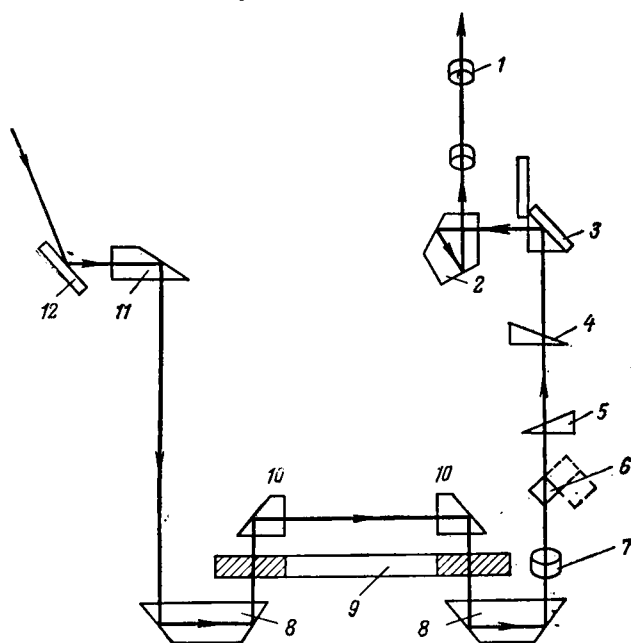


Рис. 53.

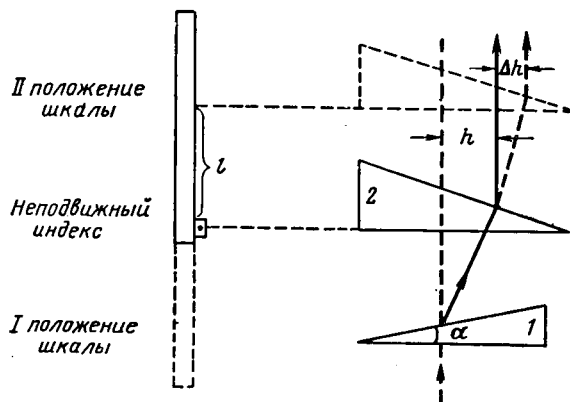


Рис. 54

микроскопа 7. Минуя призму переключателя 6, лучи входят в систему оптического микрометра, состоящего из неподвижных 5 и подвижных 4 клиньев и разделительного блока 3. Здесь поступившие изображения штрихов лимба от противоположных его участков четко разграничиваются на две шкалы (верхнюю и нижнюю), а также в особом окне передаются изображения штрихов шкалы микроскопа. Из блока лучи проходят пентапризму 2, в которой, отразившись под прямым углом к падающему лучу, через окуляр микроскопа 1 поступают в глаз наблюдателя. В оптическом микрометре для совмещения штрихов лимба и тем самым для измерения малых углов поворота алидады использованы оптические клинья, обладающие свойством отклонять падающие на них световые лучи.

Световой луч (рис. 54), падая перпендикулярно к грани неподвижного клина 1, отклоняется в сторону противоположной грани относительно преломляющего угла α . Если на пути преломленного луча поместить подвижный клин 2, направленный преломляющим углом в противоположную сторону, то произойдет второе преломление луча, и он займет положение, параллельное начальному, но линейно смещенное на отрезок h . Если теперь клин 2 перемещать по направлению падающего луча, то дважды преломленный луч будет смещаться параллельно самому себе на отрезок Δh . Чтобы одновременно смещать в противоположных направлениях штрихи шкал лимба, клиновой микрометр имеет две пары клиньев подвижных и неподвижных, расположенных так, чтобы неподвижная пара отклоняла изображения штрихов в разные стороны, а подвижная пара восстанавливала параллельность световых лучей, но линейно их смещала на малые отрезки Δh .

Смещение штрихов Δh пропорционально перемещению подвижных клиньев на величину l показано на рис. 54. Это дает возможность измерить отрезок Δh по шкале микрометра, жестко соединенной с клиньями.

При вращении барабана микрометра 7 (см. рис. 52) пара оптических клиньев 2 (см. рис. 54) вместе со шкалой минут и секунд перемещаются вдоль направления падающих лучей и смещают оба

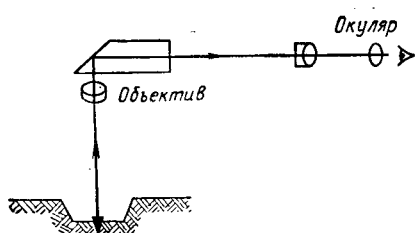


Рис. 55

изображения штрихов шкал навстречу друг другу. Величину смещения этих изображений в угловой мере можно определить по шкале микрометра. Таким образом, оптические клинья производят ту же работу, что и плоскопараллельные пластинки в теодолите ОТ-02.

Преимущество клинового микрометра состоит в том, что он по конструкции проще, чем микрометр

ОТ-02, и что в работе механизма отсутствует мертвый ход, так как клинья и шкала жестко соединены между собой. Разделительный блок микрометра Т2 выполняет в принципе ту же роль, что и в микрометре теодолита ОТ-02.

Для точного центрирования над точкой Т2 имеется оптический центрир. Оптическая схема центрира показана на рис. 55. На рис. 52 окуляр оптического центрира 20 находится сбоку колонки.

§ 24. ОТСЧИТЫВАНИЕ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ И ВЕРТИКАЛЬНОМУ КРУГАМ ТЕОДОЛИТА ОТ-02

Стеклянные круги горизонтальный и вертикальный имеют цену деления $i=20'$. Штрихи шкал горизонтального круга двойные (для более точного совмещения штрихов), вертикального — одинарные. Шкала микрометра имеет 600 делений, соответствующих $10' = 600''$. Следовательно, цена деления шкалы микрометра $\mu=1''$. Каждый десятый штрих шкалы, соответствующий $10''$, подписан двумя цифрами: слева минуты, справа десятки секунд. Например, 3—40, т. е. $3'40''$. Отсчеты по микрометру можно брать до $0,1''$.

Отсчитывание по кругам выполняется в следующем порядке:

а) вращением барабана микрометра совмещают штрихи верхней и нижней шкал лимба; для точности надо совмещать штрихи, расположенные в центре поля зрения отсчетного микроскопа;

б) градусы отсчитываются по верхней шкале слева от центра или в самом центре большого окна (индекса нет);

в) число десятков минут равно числу интервалов, расположенных между отсчитанным верхним оцифрованным штрихом (например, 331°) и нижним подписанным штрихом, отличающимся от верхнего на 180° (151°). Это число интервалов увеличивается в 10 раз (в нашем примере 2 интервала, умноженные на 10, дают $20'$). Нижний штрих всегда будет справа от верхнего или точно под ним;

г) единицы минут и секунды берутся по шкале микрометра дважды при двухкратном совмещении штрихов шкал.

Приведем примеры отсчетов:

горизонтальный круг (рис. 56)

$$\text{а) } N = 331^\circ 29' 02,2'' \quad 331^\circ 29' 02,4'' \text{ (рис. 56, а)}$$

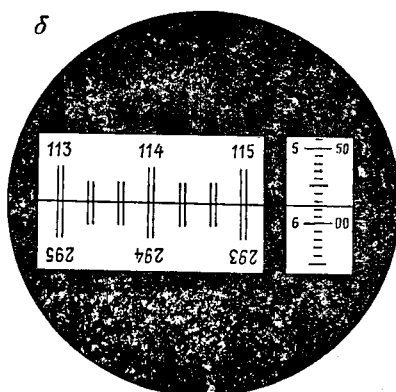
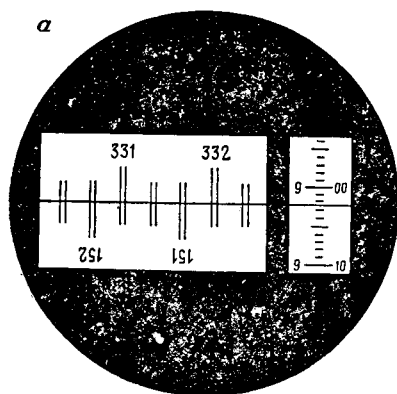


Рис. 56

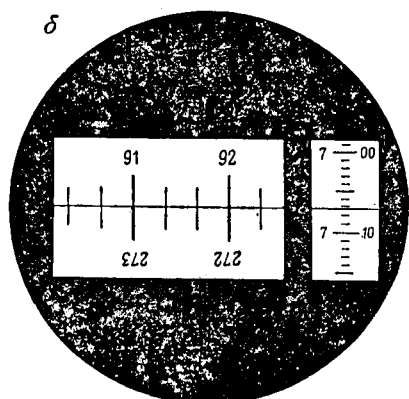
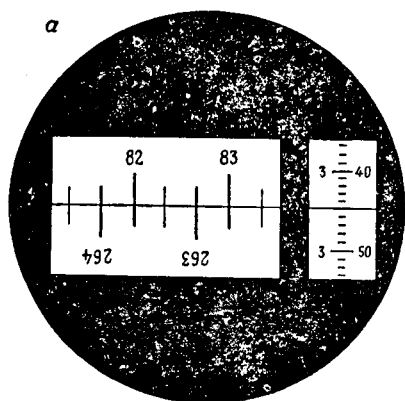


Рис. 57

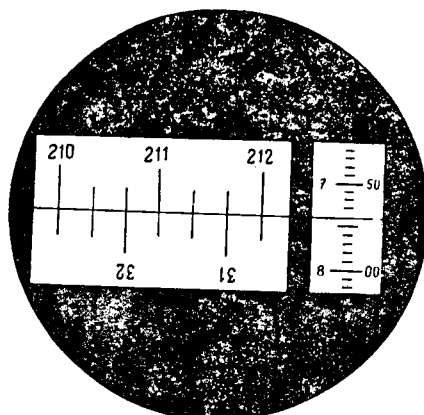


Рис. 58

$$6) N = 114^{\circ}05'57,6'' \quad 114^{\circ}05'57,7'' \text{ (рис. 56, б)}$$

вертикальный круг (рис. 57)

$$а) N = 82^{\circ}53'44,9'' \quad 82^{\circ}53'45,0'' \text{ (рис. 57, а)}$$

$$б) N = 92^{\circ}07'07,3'' \quad 92^{\circ}07'07,4'' \text{ (рис. 57, б)}$$

§ 25. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ОПТИЧЕСКИХ ТЕОДОЛИТОВ ТБ-1 И Т1

Теодолит ТБ-1 предназначен, как и Т2, для угловых измерений в триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов и в геодезических сетях специального назначения. Принцип устройства отсчетного механизма такой же, как у Т2. Пример отсчета приведен на рис. 58.

$$N = 211^{\circ}27'54,0'' \quad 211^{\circ}27'54,2''$$

Теодолит Т1, разработанный в ЦНИИГАиК, предназначен для угловых измерений на пунктах триангуляции и полигонометрии 2 класса.

Основные технические характеристики:

1. Увеличение зрительной трубы	40 и 30×
2. Диаметр свободного отверстия объектива	60 мм
3. Диаметр кольца делений кругов:	
а) горизонтального	135 мм
б) вертикального	90 мм
4. Цена деления уровней:	
а) при алидаде горизонтального круга	7"
б) при алидаде вертикального круга	12"
в) накладного на горизонтальную ось вращения трубы	5"
5. Точность отсчитывания по шкалам отсчетного микроскопа и окулярного микрометра	—0,1".

В комплект теодолита входят два сменных окуляра. Круги теодолита горизонтальный и вертикальный имеют наименьшее деление 10'. Шкала микрометра состоит из 300 делений, которые соответствуют 5'. Отсюда цена делений 1".

Для повышения точности визирования в окулярной части трубы теодолита установлен окулярный микрометр. Шкала микрометра для удобства отсчитывания введена в поле зрения отсчетного микроскопа. Шкала позволяет измерить угол в пределах $\pm 25''$. Цена деления шкалы 1".

§ 26. ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТА ОТ-02

В задачу поверок теодолита входит выявление отступлений от геометрических и оптико-механических требований, положенных в основу конструкции инструмента и возможно полное устранение этих отступлений. Поверки теодолита следует выполнять в определенной последовательности.

1. *Внешний осмотр теодолита.* Вначале следует ознакомиться с паспортом инструмента и результатами его лабораторных исследований. Далее установить:

а) наличие и исправность всех винтов;

б) убедиться в плавности вращения алидады, трубы, подъемных, наводящих и зажимных винтов и барабана оптического микрометра;

в) проверить качество оптики, фокусировки: изображения штрихов шкал должны быть резкими и одинаковой длины, их разделительная линия тонкой, без зазора;

г) убедиться в наличии запасных частей и принадлежностей, согласно прилагаемой к теодолиту описи.

2. *Плавность вращения подъемных винтов.* Подъемные винты должны вращаться не слишком туго или слабо. Плавность хода регулируется специальными винтами 20 (см. рис. 37).

3. *Установка цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга.* Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

Устанавливают уровень параллельно двум подъемным винтам, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня в нульпункт и берут отсчет по лимбу. Потом следует повернуть алидаду точно на 180° (проверяют по отсчету). Если пузырек уровня отклонился от нульпункта более чем на одно деление, то на половину дуги отклонения пузырек перемещают подъемными винтами, а в нульпункт приводят его исправительными винтами уровня 7 (см. рис. 37). Чтобы убедиться в правильной установке оси уровня, следует алидаду вновь повернуть точно на 180° и в случае отклонения пузырька повторить юстировку, как сказано выше.

После юстировки цилиндрического уровня необходимо теодолит привести в рабочее положение, т. е. установить ось вращения теодолита в отвесное положение. Поступают так: располагают уровень параллельно двум подъемным винтам и вращением их в разные стороны приводят пузырек уровня в нульпункт. Затем, повернув алидаду на 90° , третьим подъемным винтом вновь перемещают пузырек уровня в нульпункт.

Юстировка уровня и приведение теодолита в рабочее положение считаются выполненными, если при любом повороте алидады пузырек уровня не будет отклоняться от нульпункта более чем на одно деление ампулы уровня. Дальнейшие проверки выполняются при условии, что теодолит находится в рабочем положении.

4. *Проверка плавности вращения алидады.* Алидада должна вращаться плавно, без заметных колебаний. Для проверки этого условия наводят зрительную трубу на удаленную точку и берут средний отсчет по концам пузырька уровня на алидаде горизонтального круга. Затем делают поочередно повороты алидады на 360° по ходу и против хода часовой стрелки, т. е. наводят трубу после каждого поворота на одну и ту же точку и берут средние отсчеты по концам пузырька уровня. Разности средних отсчетов, относи-

тельно начального, характеризующие смещение середины пузырька уровня, не должны превышать 0,5 деления шкалы ампулы уровня (5—6"). Неправильное вращение алидады устраняется в мастерской.

5. *Установка нитей сетки.* Биссектор вертикальных нитей сетки должен совпадать с отвесной линией. В 10—15 м от теодолита подвешивают отвес и, наблюдая в трубу, проверяют, совпадает ли вертикальная линия биссектора с нитью отвеса. При необходимости положение сетки юстируется ее исправительными винтами.

6. *Проверка правильности вращения трубы вокруг горизонтальной оси.* Введя в биссектор сетки нить отвеса, наводящим винтом трубы перемещают ее вверх и вниз. Нить отвеса не должна выходить из биссектора сетки нитей. Неисправность устраняется в мастерской.

7. *Проверка коллимационной ошибки.* Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы (коллимационная ошибка трубы должна быть равна нулю). На практике добиваются, чтобы

$$2C = L - R \leq 20''.$$

Наводят биссектор зрительной трубы на удаленную хорошо видимую точку и берут отсчеты при круге L и R . Вычисляют $2C$. Если $2C > 20''$, то находят правильный отсчет по формулам

$$L_0 = L - C$$

или

$$R_0 = R + C.$$

Далее поступают так:

а) округляют правильный отсчет до ближайшего меньшего четного числа минут, а остаток, выраженный в секундах, делят пополам;

б) вращением барабана устанавливают на шкале микрометра найденную половину остатка, а разошедшиеся изображения штрихов шкал лимба совмещают наводящим винтом алидады;

в) исправительными винтами сетки нитей биссектор наводят на точку.

Полная юстировка достигается в несколько приемов. После исправления коллимационной ошибки следует убедиться, что установка сетки нитей не нарушена.

П р и м е р. При наведении на одну и ту же точку были получены отсчеты:

$$L = 113^\circ 24' 12,3'' \quad 12,5'' \quad 24' 24,8''$$

$$R = 293^\circ 44' 46,7'' \quad 46,4'' \quad 23' 33,1'' \quad \begin{array}{l} 2C = + 51,7'' \\ C = + 25,8'' \end{array}$$

Правильный отсчет

$$R_0 = 293^\circ 23' 33,1'' + 25,8'' = 293^\circ 23' 58,9''.$$

Округленный отсчет по лимбу $293^{\circ}22'$. Остаток $1'58,9'' = 118,9''$

$$118,9 : 2 = 59,4^{\circ}.$$

Итак, должно быть установлено для правильного отсчета:

$$R_0 = 293^{\circ}22'59^{\circ},4 \quad 59^{\circ},4 \quad (23'58,9'').$$

8. *Проверка равенства подставок трубы.* Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита. Наклон оси вращения трубы допускается в пределах $5''$. Для определения допустимости угла наклона практически можно поступить так: примерно на расстоянии 25 м от вертикального предмета устанавливают теодолит и, выбрав возможно высокую точку на предмете, проектируют ее вниз при двух кругах до горизонта инструмента. Допускается, чтобы две проекции точки не выходили за пределы биссектора нитей сетки. Правильное положение оси вращения зрительной трубы регулируется только в специальной мастерской.

9. *Проверка хода фокусирующей линзы зрительной трубы.* При изменении фокусировки положение визирной оси трубы должно оставаться неизменным. На высоте горизонта инструмента в створе линии визирования выбирают две точки: одну на расстоянии 4—5 м, другую на расстоянии 1—2 км. При круге лево наводят на удаленную точку и берут отсчет L_1 , а затем на близкую и тоже берут отсчет L_2 . Переводят трубу через зенит и в такой же последовательности получают отсчеты R_1 и R_2 . Колебания $2C_1 = L_1 - R_1$ и $2C_2 = L_2 - R_2$ должны оставаться в пределах двух делений шкалы микрометра. Обнаруженный дефект может быть устранен в мастерской.

10. *Проверка постоянства места зенита.* При двух положениях круга измеряется зенитное расстояние на какую-либо точку. Перед каждым отсчетом совмещают концы пузырька уровня на алидаде вертикального круга. По формуле

$$M_z = КЛ + КП - 180^{\circ}$$

вычисляют место зенита. Чтобы убедиться в правильности определения величины M_z и в его постоянстве, следует отнаблюдать таким же образом еще две точки, расположенные на разных высотах. Найденные значения M_z не должны различаться более чем на $15''$. Из трех значений выводится среднее, и если его абсолютная величина превышает $10''$, то находят правильный отсчет по формулам

$$КЛ_0 = КЛ - \frac{M_z}{2}$$

или

$$КП_0 = КП - \frac{M_z}{2},$$

который и устанавливается на вертикальном круге. При этом следует руководствоваться правилами, указанными при исправлении коллимационной ошибки зрительной трубы (см. проверку 7).

Пример. При наведении на три точки получены следующие значения M_z :

1.	КЛ = $89^{\circ}56'40''$	41°	$57'21''$	$M_z = -48''$
	КП = $90^{\circ}00'56''$	55	01 51	
2.	КЛ = $90^{\circ}08'14''$	14	08 28	
	КП = $89^{\circ}50'28''$	27	50 55	$M_z = -37''$
3.	КЛ = $88^{\circ}05'24''$	25	05 49	
	КП = $91^{\circ}52'40''$	40	53 20	$M_z = -51''$
	$M_z = 51'' - 37'' = 14'' < 15''$.			

В этом теодолите M_z можно считать постоянным. Среднее значение $M_z = -45''$. Правильный отсчет на третью точку

$$КП_0 = 91^{\circ}53'20'' - (-22'') = 91^{\circ}53'42''.$$

Место зенита не должно быть более $10''$. Чтобы получить M_z менее $10''$ необходимо:

а) вращением барабана установить на шкале микрометра отсчет $2'' = 102'' - 51^{\circ}$:

б) установочным винтом алидады вертикального круга совместить штрихи шкал, чтобы установка соответствовала правильному отсчету $КП_0 = 91^{\circ}52'51''$;

в) исправительными винтами контактного уровня совмещают концы пузырька уровня.

После исправления для контроля определение повторить.

11. Предварительное определение рена оптического микрометра, величина которого не должна превышать $0,6''$. По конструкции шкала микрометра должна точно соответствовать половине цены деления лимба горизонтального круга, т. е. $2'$.

Иными словами, при повороте шкалы микрометра на все 600 делений штрихи шкал лимба должны сместиться на один интервал.

Разность между номинальной величиной полуделения круга и его величиной, измеренной при помощи оптического микрометра, называется реном оптического микрометра. На рис. 59 показан пример определения рена, где отсчет $a = 60,0^{\circ}$ (рис. 59, а), а $b = 59,5^{\circ}$ (рис. 59, б). Отсюда

$$r = (a - b) = 60,0^{\circ} - 59,5^{\circ} = +0,5^{\circ}.$$

Обычно рен выражают в секундах, тогда $r = +0,5^{\circ} = +1,0''$.

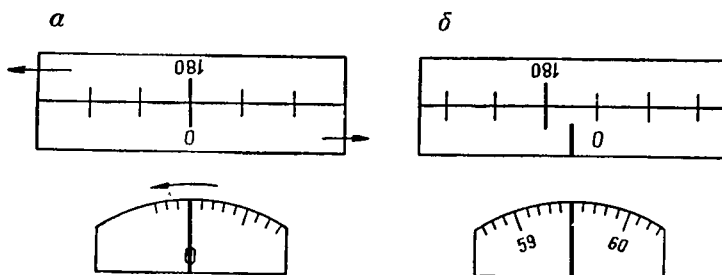


Рис. 59

Предварительное определение рена выполняют на четырех установках алидады, близких к 0, 90, 180 и 270°.

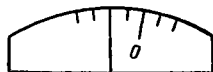


Рис. 60

При каждой установке соблюдают следующий порядок.

1. Вращением алидады устанавливают соответствующий отсчет на лимбе.

2. Барабаном на шкале микрометра ставят отсчет меньше 0, для чего совмещают с индексом один из добавочных штрихов, расположенных левее нуля. Например, на рис. 60 отсчет 0,2. Отсчеты влево от нуля сопровождаются знаком минус.

3. Наводящим винтом алидады горизонтального круга совмещают штрихи шкал лимба. На этом заканчиваются подготовительные операции.

Теперь производят измерение рена.

4. Барабаном микрометра точно совмещают штрихи шкал лимба и берут отсчет по микрометру. Пусть $a = -0,26^{\circ}$.

5. Вращением барабана смещают штрихи шкал на один интервал, точно их совмещают и берут отсчет $b = 59,54^{\circ}$ (см. рис. 59, б).

6. Приближенное значение рена находят по формуле

$$r = a - b + 60^{\circ}, 0 = -0,26^{\circ} - 59,54^{\circ} + 60^{\circ}, 0 = +0,20^{\circ} = +0,40''.$$

Так поступают на всех установках алидады и из четырех результатов выводят среднее значение рена. Если величина рена превышает $\pm 0,6''$, то теодолит следует передать в мастерскую для юстировки.

§ 27. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРОК ТЕОДОЛИТОВ ОТ-02М, Т2, ТБ-1

Поверки указанных теодолитов аналогичны поверкам ОТ-02. Укажем только на некоторые особенности отдельных поверок.

Теодолит ОТ-02М. Так как оптический микрометр ОТ-02М позволяет брать отсчет сразу в минутах и секундах, то при проведении 7-й поверки минуты и секунды правильного отсчета непосредственно устанавливаются на шкале микрометра.

Величина предварительного значения рена не должна превышать $\pm 0,8''$ (11-я поверка).

Теодолит Т2. Для регулирования хода подъемных винтов (2-я поверка) имеется гайка. Чтобы ее повернуть, надо вывинтить подъемный винт настолько, чтобы имеющееся на его стержне отверстие установилось против углубления внутренней гайки. Вставив в отверстие шпильку, можно регулировочную гайку повернуть в нужную сторону.

Юстировка нитей сетки (5-я поверка) производится поворотом окулярной части трубы, если предварительно вывинтить предохранительный колпачок 5 (см. рис. 52) и ослабить четыре крепежных винта окуляра.

Для исправления коллимационной ошибки (7-я поверка) вращением барабана устанавливают на шкале микрометра (в малом

окне) правильное число минут и секунд. В остальном порядок проверки сохраняется тот же, что и при юстировке ОТ-02.

Значение места зенита (10-я поверка) и зенитного расстояния определяют по формулам:

$$Mz = \frac{КЛ + КП - 360^\circ}{2};$$

$$z = \frac{КЛ - КП + 360^\circ}{2}.$$

Пример. $КЛ = 87^\circ 59' 44,6''$;
 $КП = 272^\circ 00' 58,8''$;

$$Mz = \frac{87^\circ 59' 44,6'' + 272^\circ 00' 58,8'' - 360^\circ}{2} = +21,7'';$$

$$z = \frac{87^\circ 59' 44,6'' - 272^\circ 00' 58,8'' + 360^\circ}{2} = 87^\circ 59' 22,9''.$$

Контрольными формулами будут

$$z = КЛ - Mz$$

или

$$z = Mz - КП + 360^\circ;$$

$$z = 87^\circ 59' 44,6'' - (+21,7'') = 87^\circ 59' 22,9'';$$

$$z = +21,7'' - 272^\circ 00' 58,8'' = 87^\circ 59' 22,9'';$$

$$КЛ = 91^\circ 46' 32,5'', Mz = -15,8'';$$

$$КП = 268^\circ 12' 55,8'', z = 91^\circ 46' 48,4''.$$

По контрольным формулам

$$z = 91^\circ 46' 32,5'' - (-15,8'') = 91^\circ 46' 48,3'';$$

$$z = -15,8'' - 268^\circ 12' 55,8'' + 360^\circ = 91^\circ 46' 48,4''.$$

Место зенита, если его значение превышает $\pm 10''$, исправляют аналогично, как в теодолите ОТ-02 (см. § 26 поверка 10-я). Правильный отсчет находится по формулам

$$КЛ_0 = КЛ - Mz$$

или

$$КП_0 = КП - Mz.$$

Применительно к последнему примеру:

$$КЛ_0 = 91^\circ 46' 32,5'' - (-15,8'') = 91^\circ 46' 48,3'';$$

$$КП_0 = 268^\circ 12' 55,8'' - (-15,8'') = 268^\circ 13' 11,6''.$$

В сумме $КЛ_0 + КП_0 = 360^\circ$.

Исправительные винты контактного уровня на алидаде вертикального круга находятся под крышкой 6 (см. рис. 52), которую необходимо отвинтить.

Предварительное значение рена (11-я поверка) не должно превышать $\pm 1,5''$.

Так как у теодолита Т2 имеется оптический центрир, то появляется дополнительная поверка.

12. *Поверка установки оптического центрира.* Визирная ось центрира должна совпадать с осью вращения теодолита.

Для проведения поверки устанавливают теодолит над выбранной на местности точкой. Для ускорения центрирования рекомендуется использовать отвес. Точное центрирование достигается путем перестановки теодолита на головке штатива до тех пор, пока изображение точки не совместится с центром кружочка оптического центрира. Чтобы при перемещении теодолита пузырек уровня на алидаде горизонтального круга не отклонялся от нульпункта, надо стараться головку штатива устанавливать на глаз горизонтально.

Отцентрировав теодолит и убедившись, что ось вращения теодолита отвесна, надо повернуть алидаду по ходу часовой стрелки на 120° . Поворот фиксировать отсчетами по горизонтальному кругу. Если центр кружочка сетки центрира не совместится с изображением точки, то юстировку выполняют перемещением окуляра центрира. Для этого надо отвинтить крышку окуляра 20 (см. рис. 52) и снять ее. Внутри будут видны два винта, которые следует ослабить, затем передвинуть окуляр в сторону точки на половину смещения ее относительно центра кружочка. После первой юстировки надо снова точно отцентрировать теодолит над точкой и, убедившись, что ось вращения теодолита отвесна, опять повернуть алидаду по ходу часовой стрелки на 120° и повторить те же действия. Поверка заканчивается, если при вращении алидады центр кружочка сетки центрира не будет сходить с изображения точки местности.

Дополнительная поверка. Когда теодолит Т2 используется при работе на штативе, перед началом поверок (после поверки уровня) следует проверить устойчивость штатива и треножника.

Теодолит устанавливается на штативе, ножки которого прочно вдавлены в твердый грунт, и тщательно приводится в рабочее положение.

Выбирается удаленная хорошо видимая точка, на которую наводят перекрестие нитей сетки трубы. Затем, взявшись руками за головку штатива, слегка поворачивают штатив то в одну, то в другую стороны. Если после этого будет замечено смещение изображения выбранной точки с перекрестия нитей сетки трубы, то надо потуже затянуть винты шарнира ножек штатива. Для поверки устойчивости треножника надо, как и в предыдущем случае, наведя перекрестие нитей сетки трубы на точку, слегка поворачивать корпус треножника в одну и другую стороны.

В случае отклонения изображения точки с перекрестия сетки нитей надо несколько подтянуть гайки регулировки хода подъемных винтов.

Теодолит ТБ-1. Поверки этого теодолита остаются такими же, как и теодолита Т2, за исключением 12-й поверки.

Если у Т2 установки оптического центрира через 120° производятся путем вращения алидады, то у ТБ-1 приходится поворачивать весь теодолит. Делается это так. После установки теодолита над точкой карандашом очерчивают установочную (соединительную) пластину подставки теодолита. Чтобы сделать поворот теодолита на 120° , надо ослабить немного становой винт и повернуть подставку вместе с теодолитом на 120° и в этом положении точно совместить пластину с очерченным ее контуром на головке штатива. Приводят ось вращения теодолита в отвесное положение и проверяют, совпадает или нет перекрестие нитей сети с изображением точки. Юстировка выполняется двумя парами исправительных винтов, находящихся в оправе окуляра оптического центрира.

§ 28. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ТЕОДОЛИТА ОТ-02

В задачу исследований входит:

- а) испытание работы отдельных механизмов с целью установления их влияний на точность угловых измерений;
- б) определение отклонений с целью введения соответствующих поправок;
- в) определение необходимых постоянных инструмента.

Все теодолиты, направляемые для измерения углов на пунктах триангуляции и полигонометрии, должны обязательно подвергнуться испытаниям. В своей совокупности исследования позволяют установить качественную пригодность инструмента для производства работ данного класса точности.

Исследования бывают полные — лабораторные, которые выполняются в специальных лабораториях перед выпуском теодолита с завода или после капитального ремонта в предприятии. Результаты исследований вносятся в паспорт инструмента. Перед выездом на полевые работы производятся неполные исследования непосредственно исполнителем работ. Они проводятся согласно действующей инструкции о построении государственной геодезической сети СССР [11, стр. 22, § 63]. Исследуются:

- 1) правильность работы оптического микрометра и его погрешности;
- 2) правильность вращения алидады вокруг вертикальной оси, исследование эксцентриситета алидады;
- 3) эксцентриситет горизонтального круга лимба;
- 4) систематические ошибки измерения углов, связанные с люфтом подъемных винтов и смещением горизонтального круга при вращении алидады;
- 5) определение рена оптического микрометра.

1. *Исследование правильности работы оптического микрометра и определение погрешности.* Это исследование разделяется на определения:

- а) систематических погрешностей оптического микрометра;
- б) погрешности совмещения изображений штрихов горизонтального и вертикального кругов;

в) мертвого хода оптического микрометра.

Исследование систематических погрешностей оптического микрометра. Перемещение делений шкалы микрометра и видимых перемещений изображений штрихов лимба должны быть строго синхронны, т. е. поворот шкалы микрометра на n делений должен всегда соответствовать вполне определенному перемещению изображений штрихов лимба. Например, если шкалу микрометра переместить на 15 делений, то, согласно теоретическим расчетам, штрихи лимба должны сместиться на $15^{\circ} \times 10 \times 0,2'' = 30''$. Несоблюдение этой закономерности и вызывает систематические погрешности.

Исследование правильности работы оптического микрометра строится на измерении одного и того же малого угла на различных частях его шкалы. Для ОТ-02 обычно берут угол $\beta = 30''$, укладываемый в 15 делениях шкалы микрометра. Марку для измерения угла изготавливают в виде двух параллельных штрихов толщиной 0,2—0,3 мм, нанесенных на листе чертежной бумаги тушью. Расстояние между штрихами l можно подсчитать по приближенной формуле

$$l = 0,145 \cdot S \text{ м.}$$

Если, например, $S = 10$ м, то $l = 1,4$ мм.

Теодолит перед исследованием устанавливается или на деревянном столбе, прочно вкопанном в землю, или на штативе, ножки которого опираются на забитые в землю колья. На расстоянии 10—15 м от теодолита на высоте теодолита укрепляют заранее заготовленную марку (для гарантии можно заготовить несколько пар штрихов с интервалами немного больше или меньше расчетного).

Выбранный угол измеряют четырьмя приемами, смещая шкалы микрометра между приемами, согласно прилагаемому расчету:

№ установки	Левое направление	Правое направление
1	0°	15°
2	15	30
3	30	45
4	45	60

Один прием выполняется в следующем порядке.

1. На шкале микрометра устанавливается отсчет 0° . Зрительная труба наводится на левый штрих марки и рукояткой перестановки горизонтального круга совмещается изображение любых двух подписанных штрихов лимба, расположенных вблизи нуль-пункта.

2. Наводящим винтом алидады точно наводят биссектор нитей сетки зрительной трубы на левый штрих марки (рис. 61).

3. Вращением барабана микрометра совмещают выбранные штрихи шкал лимба и берут отсчеты a_1, b_1 .

4. Теперь наводящим винтом алидады переводят биссектор на правый штрих марки и снова делают отсчеты a_2, b_2 .

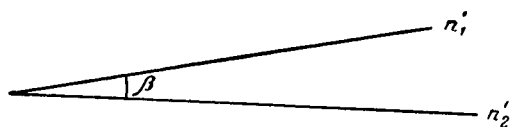


Рис. 61

Из рис. 61 следует, что $\beta = n'_2 - n'_1$,
где

$$n'_1 = \frac{a_1 + b_1}{2};$$

$$n'_2 = \frac{a_2 + b_2}{2}.$$

Этим завершается полуприем. Чтобы уменьшить погрешность визирования, при этой же установке выполняют второй полуприем.

5. Для этого наводящим винтом алидады, сместив несколько вправо биссектор нитей сетки, снова наводят его на правый штрих марки и берут два отсчета n''_2 .

6. Наводят биссектор на левый штрих марки и дважды отсчитывают n''_1 . Находят второе значение угла $\beta'' = n''_2 - n''_1$ и среднее

$$\beta = \frac{\beta' + \beta''}{2}.$$

Так повторяют и остальные три приема с предварительной установкой на шкале микрометра соответственно 15, 30, 45°. Во всех приемах совмещают изображения одних и тех же выбранных штрихов лимба, а отсчеты берут с точностью до 0,1° шкалы микрометра.

Выполненные таким образом четыре приема составляют прямой ход. Обработка его заключается в выводе вероятнейшего значения из всех приемов β_0 и в вычислении отклонений от него отдельных измерений угла по формуле

$$v = \beta - \beta_0.$$

Эти отклонения v являются систематическими погрешностями исследуемых интервалов шкалы микрометра. Так же выполняется обратный ход, только установки шкалы микрометра от приема к приему меняются в обратной последовательности — 45, 30, 15, 0°.

Полная программа исследований предусматривает два прямых и два обратных хода. Окончательная обработка результатов исследования систематических погрешностей микрометра заключается в составлении сводной таблицы, в которой записываются вычисленные отклонения в ходах прямо и обратно для каждой установки, и в выводе средних значений отклонений, характеризующих систематическую погрешность данных интервалов шкалы. Величины этих погрешностей не должны превышать $\pm 1''$, в противном случае теодолит следует направить в мастерскую.

Ниже приводится программа исследования (табл. 4).

Исследование систематических погрешностей оптического микрометра
Теодолит ОТ-02 № 9529

5 августа 1970 г.

№ установ- ки	№ направ- ления	Отсчет по микрометру	Направле- ние	Углы из I полуприема	Отсчет по микрометру	Направ- ление	Углы из II полу- приема	Средние углы	Уклоне- ние среднего

I. Прямой ход

1	1	0,7 ^d 0,7 15,4	1,4"	29,5"	1,3 ^d 1,5 15,9	2,8"	29,2"	29,4"	—0,4"
	2	15,5 15,0			16,1 16,4				
	1	15,1 30,2			16,3 31,2				
2	2	30,4 30,1	60,6	30,5	31,0 30,1	62,2	29,5	30,0	+0,2
	1	30,4 46,1			30,1 44,8				
	2	46,0 41,9			44,9 41,3				
3	1	42,1 56,2	84,0	31,6	41,3 56,5	82,6	29,5	30,6	+0,8
	2	56,3 112,5			56,2				
	1	56,3 112,5			56,2				
4	2	56,3 112,5	28,5	56,2	112,7	30,1	29,3	—0,5	
	1	56,3 112,5							56,2
Среднее								29,8	$\Sigma = +0,1$

II. Обратный ход

4	2	58,1 58,1 43,1	116,2	30,2	59,9 59,8 44,3	119,7	31,0	30,6	+1,6
	1	42,9 43,1			44,4 43,3				
	2	43,3			43,5				
	3	29,2			28,7				
3	1	29,5 30,3	58,7	27,7	28,4 29,1	57,1	29,7	28,7	—0,3
	2	30,4			28,9				
	2	16,4			15,3				
	1	16,3			15,3				
2	1	14,7 14,9	32,7	28,0	15,2 15,4	30,6	27,4	27,7	—1,3
	2	29,6			30,6				
	1	0,6			0,4				
	1	0,4			0,3				
1	1	0,4	1,0	28,6	0,7	29,9	29,2	+0,2	
	1	0,4			0,3				
	1	0,4			0,3				
	1	0,4			0,3				
Среднее								29,0	$\Sigma = +0,2$

III прямой и IV обратный ходы не приводятся.

Сводка						
№ п. п.	Установ- ка, °	Приемы				Среднее
		I	II	III	IV	
1	0	-0,4"	+0,2"	+0,2"	+0,1"	+0,02"
2	15	+0,2	-1,3	-1,6	+0,4	-0,58 < ±1,0"
3	30	+0,8	-0,3	+0,7	-0,6	+0,15
4	45	-0,5	+1,6	+0,6	0	+0,42

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

Определение погрешностей совмещения изображений штрихов шкал. Перед каждым отсчетом по шкале оптического микрометра производится совмещение изображений штрихов шкал лимба. От точности совмещения этих штрихов зависит и точность отсчета по шкале микрометра. Надо заметить, что поскольку изображения штрихов совмещаются на глаз, то погрешности совмещения будут выражать не только степень правильности работы микрометра, но и личные погрешности наблюдателя. Поэтому перед исследованиями необходима предварительная тренировка.

Исследование сводится к нахождению разности отсчетов при двукратном совмещении одних и тех же штрихов. Работу микрометра следует исследовать по всей его рабочей части. Чтобы исключить влияние мертвого хода, надо совмещение штрихов делать только поворотом барабана микрометра по ходу часовой стрелки.

Для исследования горизонтального круга алидаду устанавливают через 15° на отсчетах 0, 15, 30, ..., 330, 345°, всего 24 установок. После каждой установки перемещают шкалу микрометра через $\frac{60^\circ}{24} = 2,5^\circ$, т. е. дают отсчеты 0, 2,5, 5,0, 7,5 ..., 55,0, 57,5°.

Порядок одной установки следующий.

1. Барабаном устанавливают на шкале микрометра рассчитанный отсчет в делениях.

2. Вращением алидады от руки, а затем наводящим ее винтом устанавливают на горизонтальном круге отсчет, кратный 15°00', совмещая штрихи шкал, близкие к индексу.

3. Повернув барабан несколько на себя, затем, вращая его только по ходу часовой стрелки, дважды совмещают штрихи и каждый раз берут отсчет I, II.

Для каждой установки находят разность отсчетов $d = I - II$, а потом вычисляют среднюю квадратическую ошибку одного совмещения, которая не должна превышать $\pm 0,3''$ (табл. 5), по формуле

$$m = \pm \sqrt{\frac{d^2}{2n}}.$$

Определение погрешностей совмещения штрихов
Оптический теодолит ОТ-02 № 9529

6 августа 1970 г.

Установ- ка али- дады	Отсчеты по мик- рометру		$d=I-II$	Установ- ка али- дады	Отсчеты по мик- рометру		$d=I-II$
	I совме- щение	II совме- щение			I совме- щение	II совме- щение	

Горизонтальный круг

0°	0,4 ^d	0,5 ^d	-0,1 ^d	180°	30,1 ^d	30,1'	0,0 ^d
15	2,7	2,9	-0,2	195	32,8	32,6	+0,2
30	4,9	5,0	-0,1	210	35,1	35,3	-0,2
45	7,4	7,2	+0,2	225	37,5	37,6	-0,1
60	10,2	10,3	-0,1	240	39,9	40,0	-0,1
75	12,3	12,3	0,0	255	42,6	42,8	-0,2
90	15,1	15,2	-0,1	270	45,1	45,0	+0,1
105	16,8	16,7	+0,1	285	47,3	47,3	0,0
120	20,2	20,2	0,0	300	50,2	50,3	-0,1
135	22,5	22,5	0,0	315	52,4	52,3	+0,1
150	25,0	25,0	-0,3	330	55,2	54,9	+0,3
165	27,3	27,6	-0,3		57,6	57,7	-0,1

[dd] = 0,58

Вертикальный круг

82°	0,4	0,4	0,0	90°	30,2	30,4	-0,2
83	3,5	3,7	-0,2	91	33,6	33,5	+0,1
84	7,4	7,6	-0,2	92	37,6	37,5	+0,1
85	11,0	11,1	-0,1	93	41,0	41,1	-0,1
86	15,2	15,3	-0,1	94	45,3	45,2	+0,1
87	18,9	18,8	+0,1	95	48,8	48,7	+0,1
88	22,5	22,2	+0,3	96	52,4	52,5	-0,1
89	26,6	26,6	0,0	97	56,0	56,0	0,0

[dd] = 0,30

Средняя квадратическая погрешность одного совмещения

$$m_{\text{гор}} = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} = \sqrt{\frac{0,58}{48}} \approx \pm 0,11^d = \pm 0,22'' < \pm 0,3''$$

$$m_{\text{верт}} = \sqrt{\frac{0,30}{32}} \approx \pm 0,10^d = \pm 0,40'' < \pm 0,6''$$

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал Н. П. Васильев

Ошибка совмещения для вертикального круга определяется аналогично. Установки производят через один градус в интервале 82—97° путем вращения трубы. Шкала микрометра после каждой установки смещается на $\frac{60^d}{16} = 3,7-3,8^d$. Средняя квадратическая

ошибка одного совмещения не должна превышать $\pm 0,6''$ (см. табл. 5).

Определение мертвого хода оптического микрометра. Когда шкала микрометра вращается, передаточный механизм плоскопараллельные пластинки приводит в движение с некоторым опозданием, а следовательно, с опозданием начинают перемещаться шкалы лимба. Получается, что барабан в первые мгновения вращается вхолостую. Мертвый ход особенно заметен в момент изменения вращения барабана на обратное.

Определение мертвого хода сводится к нахождению разности отсчетов, взятых по шкале микрометра, одно из которых выполнено вращением барабана по ходу часовой стрелки, другое — против хода. В остальном порядок исследования остается таким же, как и при определении ошибки совмещения. Разности «вправо минус влево» должны лежать в пределах от -1 до $+1''$.

Оценка результатов исследований будет более полной, если проводят следующие вычисления:

а) суммируют разности и находят из них среднее значение, которое характеризует систематическую погрешность мертвого хода;

б) вычитая, исключают из каждой разности среднее значение систематической погрешности. По полученным разностям v , представляющим вероятнейшие случайные погрешности мертвого хода, находят средние квадратические погрешности одной разности по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}.$$

Среднее значение систематической погрешности мертвого хода вычисляют по формуле

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{n}}.$$

Полезно знать, что при измерении в триангуляции горизонтальных направлений и углов следует совмещение штрихов шкал лимба заканчивать вращением барабана микрометра по ходу часовой стрелки, чтобы ослабить влияние мертвого хода на отсчеты (табл. 6).

2. *Исследование правильности вращения алидады вокруг вертикальной оси* (исследование эксцентриситета алидады). Вращение горизонтального круга (лимба) и алидадной части теодолита должно происходить вокруг общей вертикальной (геометрической) оси, называемой главной осью вращения теодолита. Следовательно, центры вращения лимба и алидады должны совпадать с центром окружности, по которой нанесены деления лимба. По техническим причинам в теодолите неизбежны погрешности центрирования кругов. Кроме того, для смазки осевой системы необходимо оставлять в ней зазоры — все это вызывает несовпадение центра делений лимба с центром вращения алидады, которое называется эксцентриситетом алидады.

Определение мертвого хода оптического микрометра
(по горизонтальному кругу)

Теодолит ОТ-02 № 9529

6 августа 1970 г.

Установка алидады	Отсчеты по микрометру при совмещении штрихов вращением микрометра		Право минус лево d	v	Установка алидады	Отсчеты по микрометру при совмещении штрихов вращением микрометра		Право минус лево	v
	вправо	влево				вправо	влево		
0°	0,3 ^d	0,1 ^d	+0,2 ^d	+0,13 ^d	180°	30,1 ^d	30,4 ^d	-0,3 ^d	-0,37 ^d
15	2,4	2,3	+0,1	+0,03	195	32,4	32,3	+0,1	+0,03
30	5,2	5,0	+0,2	+0,13	210	35,0	34,8	+0,2	+0,13
45	7,6	7,8	-0,2	-0,27	225	37,2	37,1	+0,1	+0,03
60	10,1	10,1	0,0	-0,07	240	40,3	40,3	0,0	-0,07
75	12,7	12,8	-0,1	-0,17	255	42,5	42,6	-0,1	-0,17
90	15,2	15,2	0,0	-0,07	270	45,1	44,9	+0,2	+0,13
105	17,5	17,4	+0,1	+0,03	285	47,2	47,1	+0,1	+0,03
120	20,1	20,0	+0,1	+0,03	300	50,4	50,2	+0,2	+0,13
135	22,4	22,3	+0,1	+0,03	315	52,7	52,5	+0,2	+0,13
150	25,2	25,4	-0,2	-0,27	330	55,2	54,9	+0,3	+0,23
165	27,7	27,6	+0,1	+0,03	345	57,5	57,3	+0,2	+0,13

$$d_{\text{ср}} + 0,07 [vv] = 0,5696$$

Средняя квадратическая погрешность одной разности

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \pm 0,16^d = \pm 0,32''$$

Средняя квадратическая погрешность одной разности

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{n}} = \pm 0,06''$$

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

Из теории эксцентриситета алидады известно, что при различной ориентировке алидады погрешности в отсчетах за эксцентриситет будут изменяться. Если лимб оставить неподвижным и, вращая алидаду, брать отсчеты через равные угловые промежутки, то выявленные в них погрешности за эксцентриситет алидады на графике дадут плавную кривую типа синусоиды. Если по результатам исследований эксцентриситета алидады построенный график будет значительно отклоняться от плавной кривой, то это укажет на наличие заметных колебаний алидады, внесших в отсчеты дополнительные погрешности, искажившие правильность графика.

Отсчет t , взятый при совмещенном изображении шкал лимба, свободен от погрешности за эксцентриситет. Напротив, в отсчет t' , взятый при совмещении ближайшего штриха лимба с индексом, эта погрешность войдет. По разности отсчетов найдем погрешность за эксцентриситет алидады при данной ее установке.

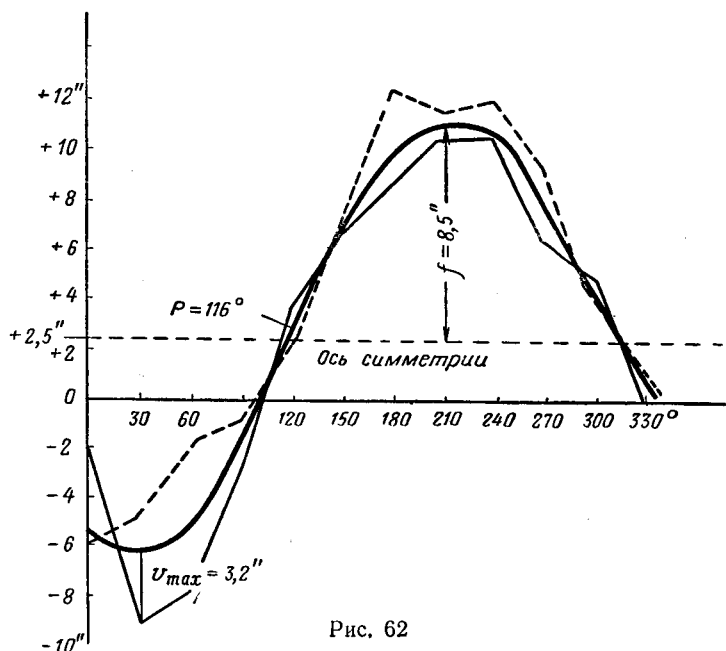


Рис. 62

При выполнении исследования алидада переставляется через 30° по всей окружности в прямом и обратном направлении. Лимб остается неподвижным.

Порядок действий на каждой установке следующий:

1) барабаном микрометра на шкале устанавливают отсчет, близкий к нулю (примерно);

2) вращают алидаду в нужном направлении и приблизительно совмещают одноименные градусные штрихи данной установки, например, 60° и 240° ;

3) вращением барабана по ходу часовой стрелки (для исключения мертвого хода) делают совмещения: сначала одноименных штрихов, потом ближайшего штриха лимба с индексом;

4) выводят средние отсчеты и по ним вычисляют погрешность за эксцентриситет $v = t' - t$ (табл. 7).

После выполнения программы исследования (ход прямо и ход обратно) на миллиметровой бумаге по данным значениям v строят график (рис. 62). На горизонтальной оси графика отмечают установки алидады (например, в масштабе 30° соответствуют одному сантиметру). Вертикальный масштаб берется по возможности крупнее горизонтального, чтобы на графике колебания v получились более выразительными (например, в 1 см — $1, 2''$). Значения v на график накладывают как прямого, так и обратного ходов. Точки прямого хода соединяют сплошными линиями, обратного — пунктиром. Далее на графике, придерживаясь среднего положения

Определение эксцентриситета алиады горизонтального круга оптического теодолита
Теодолит ОТ-02 № 9529

Установ- ка али- дады	Отсчет t при сов- мещении штрихов			Отсчет t' при совме- щении верхнего штриха с индексом			$v=t'-t$	Установ- ка али- дады	Отсчет t при сов- мещении штрихов			Отсчет t' при совме- щении верхнего штриха с индексом			$v=t'-t$
	Отсчет t при сов- мещении штрихов		сред- нее	Отсчет t' при совме- щении верхнего штриха с индексом		сред- нее			Отсчет t при сов- мещении штрихов		сред- нее	Отсчет t' при совме- щении верхнего штриха с индексом		сред- нее	
	I	II		I	II				I	II		I	II		
Прямой ход															
0°	18,9 ^d	19,0 ^d	37,9"	16,0 ^d	16,0 ^d	32,0"	-5,9"	180°	16,8 ^d	17,0	33,8"	23,0 ^d	23,2 ^d	46,2"	+12,4"
30	22,0	22,1	44,1	19,6	19,7	39,3	-4,8	210	3,2	3,5	6,7	9,2	8,9	18,1	+11,4"
60	29,8	30,0	59,8	28,9	29,0	57,9	-1,9	240	18,3	18,5	36,8	24,4	24,3	48,7	+11,9
90	15,3	15,2	30,5	14,8	14,8	29,6	-0,9	270	19,8	19,6	39,4	24,2	24,2	48,4	+9,0
120	23,0	23,1	46,1	24,2	24,0	48,2	+2,1	300	4,3	4,1	8,4	6,0	6,1	12,1	+3,7
150	9,6	9,7	19,3	13,5	13,7	27,2	+7,9	330	13,6	13,6	27,2	14,0	14,0	28,0	+0,8
Обратный ход															
330°	13,6	12,8	27,4	13,8	13,5	27,3	-0,1	150°	10,4	10,6	21,0	14,0	13,7	27,7	+6,7
300	9,1	9,4	18,5	11,5	11,5	23,0	4,5	120	11,2	11,3	22,5	13,0	12,9	25,9	+3,4
270	17,4	17,4	34,9	20,4	20,5	40,9	6,0	90	7,3	7,5	14,8	5,9	5,8	11,7	-3,1
240	16,0	16,3	32,3	21,2	21,5	42,7	+10,4	60	14,0	14,0	28,0	9,9	10,2	20,1	-7,9
210	25,2	25,2	50,4	30,3	30,5	60,8	+10,4	30	10,3	10,0	20,3	5,5	5,6	11,1	-9,2
180	0,2	0,4	0,6	4,6	4,6	9,2	+8,6	0	15,4	15,5	30,9	14,4	14,5	28,9	-2,0

Наблюдая: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

Определение эксцентриситета горизонтального круга (лимба) оптического теодолита
Теодолит ОТ-02 № 9529

6 августа 1970 г.

Установ- ка али- дады	Отсчет t при сов- мещении штрихов			Установ- ка али- дады	$v=t'-t$	Отсчет t' при совме- щении верхнего штриха с индексом			$v=t'-t$		
	сред- нее		I			сред- нее		I		II	среднее
	I	II				I	II				
Прямой ход											
0°	24,9 ^d	24,8 ^d	49,7 ⁿ	180°	-5,6 ⁿ	14,7 ^d	14,7 ^d	18,3 ^d	36,6 ⁿ		
30	21,9	21,9	43,8	210	-4,5	9,9	10,0	14,9	29,8		
60	6,5	6,7	13,2	240	-2,1	7,3	7,3	11,5	23,2		
90	15,1	15,0	30,1	270	-2,4	18,2	18,2	22,1	44,2		
120	14,3	14,4	28,4	300	-2,2	17,0	17,1	20,6	41,1		
150	2,0	1,7	3,7	330	+5,4	8,4	8,1	8,5	17,1		
Обратный ход											
330	8,0	8,3	16,3	150	+2,2	9,6	9,7	10,1	20,3		
300	14,7	14,8	29,5	120	+3,7	4,7	5,0	6,4	13,0		
270	14,1	14,3	28,4	90	+5,2	16,7	16,7	14,9	29,7		
240	9,0	9,1	18,1	60	+14,4	16,8	17,0	14,6	29,2		
210	10,6	10,8	21,4	30	+11,7	18,0	18,1	14,5	29,1		
180	4,7	4,7	9,4	0	+9,1	14,2	14,3	12,2	24,2		
									+1,0		
									+3,3		
									-3,7		
									-4,6		
									-7,0		
									-4,3		

Наблюдатель: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

между направлениями прямого и обратного ходов, от руки наносят плавную кривую типа синусоиды. Поступают так: проводят, примерно посредине графика, горизонтальную ось симметрии, относительно которой ветви плавной кривой расположатся симметрично. Намечают средние положения точек максимума и минимума кривой, отстоящих друг от друга на 180° , от них на расстоянии 90° точки пересечения кривой с осью симметрии, затем намеченные точки соединяют плавной кривой (см. рис. 62).

Вращение алидады считается нормальным, если наибольшее отклонение от плавной кривой не превышает $15''$. Кроме того, наибольшее колебание v не должно превышать $40''$. При отклонениях, больше указанных, теодолит направляется в мастерскую.

Для полной характеристики эксцентриситета алидады находят наибольшую ординату f кривой относительно оси симметрии, которая и является максимальной ошибкой в отсчете за эксцентриситет алидады при данной ориентировке лимба. В нашем примере $f = 8,5''$. Угловой элемент эксцентриситета алидады P можно взять с графика, он равен значению абсциссы в точке пересечения кривой с осью симметрии, от которой начинается восходящая ветвь кривой. У нас на графике $P = 116^\circ$.

Наибольшее уклонение v от плавной кривой на установке 30° в обратном ходе — $3,2''$ при допуске $15''$.

Наибольшее значение эксцентриситета было $-9,2''$ на установке 30° обратного хода и $\pm 12,4''$ на установке 180° прямого хода, т. е. суммарная его величина составляла $+12,4''(-9,2) = +21,6''$ при допуске $\pm 40''$.

3. *Исследование эксцентриситета горизонтального круга (лимба).* Эксцентриситетом горизонтального круга называется несовпадение центра вращения лимба с центром его делений. Когда лимб остается неподвижным, его эксцентриситет не влияет на отсчеты, взятые при любых положениях алидады. Однако между приемами лимб смещается, а вместе с ним смещается по окружности некоторого радиуса и центр его деления. С центром делений лимба связан эксцентриситет алидады. Меняет свое положение центр делений лимба, изменяются элементы эксцентриситета алидады. Необходимо найти такую взаимную ориентировку лимба и алидады, при которой влияние их эксцентриситетов на отсчет будет максимальным. Для этого необходимо определить эксцентриситет лимба. Порядок его определения тождествен порядку определения эксцентриситета алидады и допуски те же. Отличие заключается только в том, что при исследовании алидада остается неподвижной, а вращается лимб (табл. 8).

На графике (рис. 63) наибольшее уклонение от плавной кривой при установке 240° обратного хода — $4,4''$. Максимальное колебание значений эксцентриситета $21,4''$. Наибольшая ордината $f_1 = 8,3''$, $P_1 = 142^\circ$.

Выше было сказано, что важно знать, при какой взаимной ориентировке лимба и алидады их эксцентриситеты окажут наибольшее влияние на отсчет. Это случится, когда центр вращения

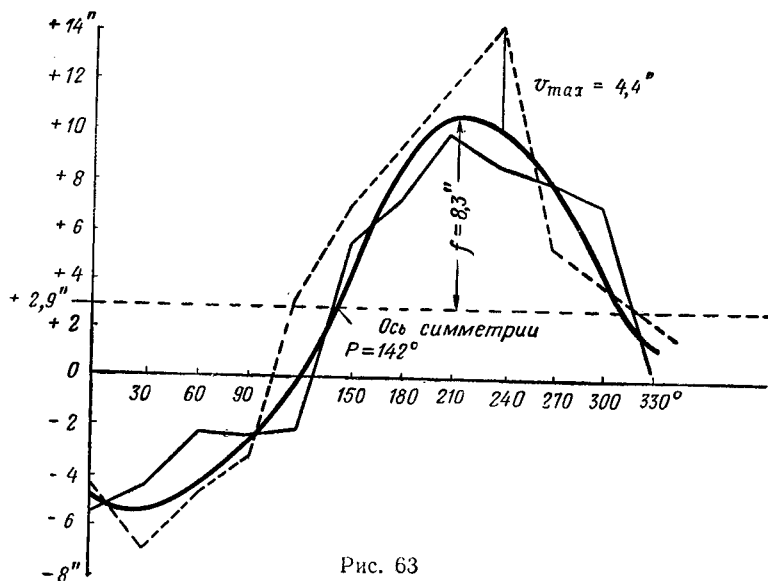


Рис. 63

алидады и центр делений лимба расположатся на одной прямой с центром вращения лимба, но по разные стороны от последнего (рис. 64), где A — алидада, L — лимб, D — центр делений лимба.

Величину максимальной погрешности $f_{\max}$ за совместное влияние эксцентриситета алидады f и лимба можно найти косвенным путем, т. е. графическим построением треугольника по элементам эксцентриситета алидады f и P и лимба f_1 и P_1 (рис. 65). Транспортиром строят угол, равный $P_1 - P$, и на его сторонах от вершины откладывают в удобном масштабе величины f и f_1 . Расстояние между концами построенных отрезков дает величину f_2 , после чего находим

$$f_{\max} = f_1 + f_2.$$

Значение $2f_{\max}$ не должно превышать $40''$. В нашем примере $f = 8,5''$, $P = 116^\circ$, $f_1 = 8,3''$, $P_1 = 142^\circ$, $P_1 - P = 26^\circ$. В масштабе отрезку f_2 соответствует $3,8''$; $f_{\max} = 8,3'' + 3,8'' = 12,1''$. Следовательно, $2f_{\max} = 24,2 < 40''$.

4. Исследование систематических погрешностей измерения углов, связанных с люфтом подъемных винтов и смещением гори-

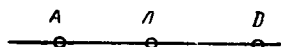


Рис. 64

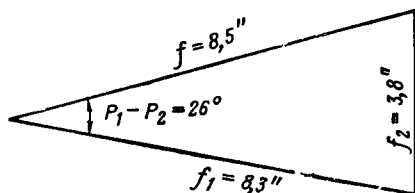


Рис. 65

зонтального круга при вращении алидады. Теодолит опирается на три подъемных винта, которые и должны обеспечить его устойчивость. Вследствие того что подъемные винты имеют люфт, происходит азимутальное смещение круга в сторону вращения алидады. Величина смещения зависит от качества регулирования хода подъемных винтов, силы трения оси алидады и величины углового поворота алидады.

Для определения угловой погрешности смещения круга производят многократное измерение угла в 360° .

Теодолит устанавливают на бетонном или деревянном столбе, вкопанном в землю. Если теодолит ставится на штатив, который следует установить на прочно вбитые в землю колья. Очень важно обеспечить полную устойчивость теодолита. На уровне высоты теодолита выбирают удаленную хорошо видимую точку или специально выставляют визирную марку. Угол измеряется двадцатью приемами с перестановкой лимба между приемами на угол $\frac{180^\circ}{20} = 9^\circ$.

Так как, измеряя угол, при круге лево алидаду вращают по ходу часовой стрелки, а при круге право — против хода, то влияние люфта подъемных винтов в большей мере сказывается при изменении вращения алидады с одного направления на противоположное.

Один прием измерения угла состоит из следующих операций.

К р у г л е в о. 1. Наводят биссектор зрительной трубы на точку и дают соответствующую установку лимба 0, 9, 18° и т. д.

2. Вращая алидаду против хода часовой стрелки, точно наводят на точку и, дважды совмещая штрихи, берут отсчеты только по шкале микрометра, среднее из отсчетов равно n_1 .

3. Далее вращают алидаду по ходу часовой стрелки на один или два полных оборота и, наведя на точку, берут отсчеты, средний из которых равен n_2 . Разность средних отсчетов $n_2 - n_1 = \Delta\beta_1$ дает отклонение измеренного угла от 360° .

К р у г п р а в о. 4. Переводя трубу через зенит и вращая алидаду по ходу часовой стрелки, вновь визируют на точку и берут отсчеты, получают средний отсчет n_3 .

5. И, наконец, вращением алидады против хода часовой стрелки на 1—2 оборота наводят трубу на точку и берут отсчеты, находят средний n_4 .

Находят отклонение измеренного угла при круге право $\Delta\beta_2 = n_4 - n_3$, после чего вычисляют среднее значение из двух кругов

$$\Delta\beta = \frac{\Delta\beta_1 + \Delta\beta_2}{2}.$$

Обработка результатов исследования сводится к выводу среднего значения погрешности, носящей систематический характер, по формуле

$$\Delta\beta_0 = \frac{|\Delta\beta|}{20}.$$

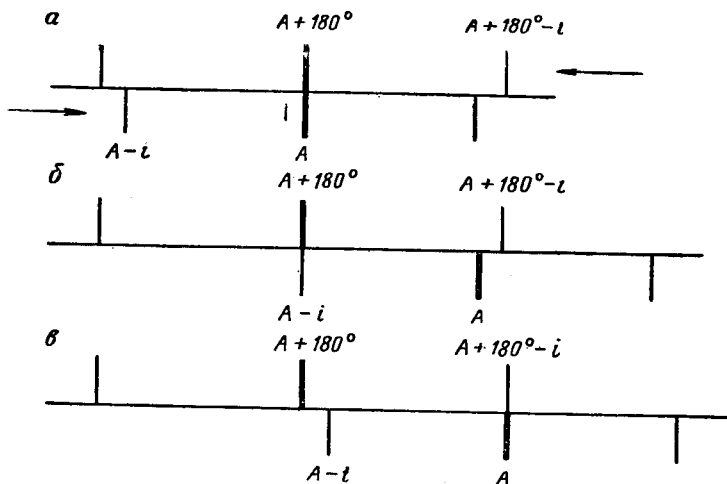


Рис. 66

Теодолит пригоден для наблюдений в триангуляции и полигонометрии 2 и 3 классов точности, если среднее значение систематической погрешности за смещение круга не превысит $\pm 0,3''$.

Результаты исследований можно использовать для проверки постоянства коллимации, если в таблице заполнить графу $2C = L - R$. Величина коллимационной ошибки считается постоянной, если значение $2C$ колеблется в пределах $\pm 5''$ (табл. 9).

5. *Определение рена оптического микрометра.* В § 26, проверка 11-я изложен порядок предварительного определения рена.

В поле зрения отсчетного микроскопа видны две шкалы делений лимба — верхняя и нижняя. Пути прохождения лучей, несущих эти изображения шкал, практически неодинаковы, отчего в несколько различных увеличениях получаются видимые интервалы этих шкал. Отсюда возникает необходимость определения рена для верхней и нижней шкал. Для этого на каждой установке алидады делают три последовательных совмещения (рис. 66):

- а) в начале шкалы микрометра A и $A + 180^\circ$;
- б) в конце шкалы $A - i$ и $A + 180^\circ$;
- в) в конце шкалы A и $A + 180^\circ - i$.

По рисункам видно, что переход от первого положения (рис. 66, а) ко второму (рис. 66, б) позволяет верхним индексом $A + 180^\circ$ измерить нижний интервал шкалы лимба, а переход от а к б позволяет нижним индексом A измерить верхний интервал. Определение рена производится равномерно по всему кругу с перестановкой алидады через $45^\circ 06'$ в прямом и обратном ходах (табл. 10).

Рассмотрим порядок действий на каждой установке.

1. Барабаном на шкале микрометра с индексом совмещается один из добавочных штрихов левее нуля. Эти отсчеты берут со знаком минус.

Таблица 9

Исследование систематических погрешностей измерения углов, связанных
с люфтом подъемных винтов и смещением круга

Теодолит ОТ-02 № 9529

Измерение угла 360°

8 августа 1970 г.

№ прие- ма	Установ- ки али- дады	Круг L			2C	Круг R			Средние углы
		отсчеты по мик- рометру	на- прав- ления	углы		отсчеты по мик- рометру	на- прав- ления	углы	
I	0°	$\frac{5,9^{\partial}}{5,6}$	11,5"(1)	-0,6"	+0,8"	$\frac{2,9^{\partial}}{2,8}$	5,7"(4)	-1,4"	-1,0"
		$\frac{5,5}{5,4}$	10,9(2)			$\frac{2,2}{2,1}$	4,3(3)		
II	9	$\frac{0,5}{0,3}$	0,8	-0,5	+0,9	$\frac{0,4}{0,3}$	0,7	-1,4	-1,0
		$\frac{0,3}{0,6}$	0,3			$\frac{59,6}{59,7}$	59,3		
III	18	$\frac{3,3}{3,4}$	6,7	+1,1	+1,0	$\frac{3,0}{2,9}$	5,9	+0,1	+0,6
		$\frac{3,9}{3,9}$	7,8			$\frac{3,0}{3,0}$	6,0		
IV	—	—	—	—	—	—	—	—	—
XVIII	—	—	—	—	—	—	—	—	—
XIX	162	$\frac{42,5}{42,5}$	85,0	+0,2	0,0	$\frac{42,6}{42,3}$	84,9	+0,2	+0,2
		$\frac{42,6}{42,6}$	85,2			$\frac{42,5}{42,6}$	85,1		
XX	171	$\frac{45,8}{45,6}$	91,4	+0,5	+0,1	$\frac{44,1}{44,2}$	88,3	+0,4	+0,4
		$\frac{46,0}{45,9}$	91,9		-	$\frac{44,3}{44,4}$	88,7		

$\Sigma = +2,39''$

Среднее значение систематической погрешности

$$\frac{+2,39''}{20} = +0,12 < \pm 0,3''$$

Максимальное колебание $2C = 3,8 < 5,0''$

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

2. Вращают алидаду от руки, закончив вращение, наводящим винтом совмещают штрихи A и $A + 180^\circ$. Например, $A = 45^\circ 06'$, $A + 180^\circ = 225^\circ 06'$.

3. Барабаном микрометра, предварительно отведя его на себя, точно совмещают (дважды) штрихи A и $A+180^\circ$. Получают отсчет a .

4. Вращением барабана передвигают шкалу на полный оборот до совмещения штрихов $A-i=45^\circ 02'$ и $A+180^\circ$. Получают отсчет b .

5. Повернув барабан немного на себя делают повторное совмещение штрихов A и $A+180^\circ-i=225^\circ 02'$. Отсчет c .

Разности отсчетов дадут значения ренов на данной установке алидады: $r_n = a - b$ и $r_v = a - c$. Для сокращения записей отсчеты b и c пишутся как отклонения от 60 с соответствующим знаком. Например, вместо 60,1 пишут $+0,1$, вместо 59,8 пишут $-0,2$.

Таблица 10

Определение рена оптического микрометра
Теодолит ОТ-02 № 9529

8 августа 1970 г.

Уста- новка	Прямой ход					Уста- новка	Обратный ход				
	a	b	c	$a-b$	$a-c$		a	b	c	$a-b$	$a-c$
0°0'	-0,3 ^a	-0,3 ^b	-0,2 ^b			22°32'	-0,2 ^b	-0,1 ^b	-0,2 ^b		
	-0,2	-0,2	-0,4				-0,2	-0,4	-0,4		
	-0",5	-0",5	-0",6	0,0"	+0,1"		-0",4	-0",5	-0",6	+0,1"	+0,2"
	0,0	+0,2	-0,2				-0,1	-0,4	+0,3		
45 06	0,0	+0,2	-0,1			67 38	0,0	-0,2	+0,2		
	0,0	+0,4	-0,3	-0,4	+0,3		-0,1	-0,6	+0,5	+0,5	-0,6
	-0,2	+0,2	+0,5				-0,1	+0,5	+0,4		
90 12	-0,4	+0,3	+0,5			112 44	-0,3	+0,2	+0,3		
	-0,6	+0,5	+1,0	-1,1	-1,6		-0,4	+0,7	+0,7	-1,1	-1,1
	0,0	-0,4	-0,1				-0,1	-0,1	-0,3		
135 18	-0,2	-0,4	+0,2			157 50	-0,2	-0,2	-0,1		
	-0,2	-0,8	+0,1	+0,6	-0,3		-0,3	-0,3	-0,4	0,0	+0,1
	+0,1	+0,6	+0,5				-0,3	+0,2	+0,2		
180 24	+0,3	+0,6	+0,5			202 56	-0,1	+0,1	+0,3		
	+0,4	+1,2	+1,0	-0,8	-0,6		-0,4	+0,3	+0,5	-0,7	-0,9
	0,0	-0,2	-0,1				-0,1	-0,3	+0,2		
225 30	-0,2	-0,1	+0,1			247 02	-0,1	-0,2	+0,5		
	-0,2	-0,3	0,0	+0,1	-0,2		-0,2	-0,5	+0,7	+0,3	-0,9
	0,0	+0,4	+0,1				-0,3	-0,5	-0,2		
270 36	+0,2	+0,3	0,0			292 08	-0,2	-0,4	0,0		
	+0,2	+0,7	+0,1	-0,5	+0,1		-0,5	-0,9	-0,2	+0,4	-0,3
	-0,2	+0,4	+0,4				0,0	-0,1	+0,2		
315 42	-0,1	+0,3	+0,4			337 14	-0,1	+0,1	+0,1		
	-0,3	+0,7	+0,8	-1,0	-1,1		-0,1	0,0	+0,3	-0,1	-0,4

$$\begin{aligned}
 & \Sigma \quad -3,1 \quad -3,3 \\
 & \text{Среднее} \quad -0,39 \quad -0,41'' \\
 r_n = \frac{(-0,39) + (-0,08)}{2} = -0,24'' \quad r_{cp} = \frac{(-0,24) + (-0,45)}{2} = -0,34 < \pm 0,5'' \\
 r_v = -0,41 + -0,49 = -0,45 \quad \Delta r = (-0,24) - (-0,45) = +0,21 < 0,5''
 \end{aligned}$$

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

Из всех установок прямого и обратного ходов выводятся средние значения ренов. Разности ренов $\Delta r = r_n - r_v$ выразят неравенство увеличения изображений шкал лимба. Общее среднее значение рена для обоих шкал будет

$$r_{\text{ср}} = \frac{r_n + r_v}{2}.$$

Значения ренов считаются допустимыми, если $r_{\text{ср}} < 0,5''$ и $\Delta r < 0,5''$. Если средняя величина рена превышает $0,5''$, то в отсчеты по микрометру вводят поправки за рен по формуле

$$\delta_r = \frac{2r''}{i'} \cdot C', \quad (19)$$

здесь r'' — величина рена в секундах; i' — цена деления лимба в минутах; C' — отсчет по шкале микрометра в минутах.

Для удобства введения поправок составляется таблица или график поправок. Пусть $r''_{\text{ср}} = -1,19''$. Выражение $\frac{2r''}{i'}$ для данного теодолита постоянно, его можно заранее подсчитать как постоянный коэффициент

$$K = \frac{2 \cdot (-1,19)}{4} = -0,595.$$

Придавая разные значения C , поправки будут подсчитываться по формуле $\delta_r = KC'$. Знак поправки соответствует знаку рена. Если табличный интервал взять в $10''$, то в минутах $C' = 10 : 60 = 0,16667$. Поправочный коэффициент на $10''$ в этом случае выразится

$$\delta_r = KC' = (-0,595) \cdot (0,16667) = -0,09917.$$

Перемножением легко составить таблицу поправок (табл. 11).

Например, средний отсчет по микрометру был $C = 1'23,7''$. В таблице для $1'20''$ находим поправку $-0,8''$.

Отсчет, исправленный поправкой за рен, $C_0 = 1'23,7'' - 0,8'' = 1'22,9''$. Вводить поправки за рен дело трудоемкое. При возможности лучше передать теодолит в мастерскую для юстировки.

Таблица 11

Таблица поправок за рен в отсчеты по шкале микрометра
ОТ-02
 $r'' = -1,19''$

Отсчеты по шкале микрометра	Поправки	Отсчеты по шкале микрометра	Поправки
0'00"	0,0"	1'00"	-0,6"
10	-0,1	10	0,7
20	0,2	20	0,8
30	0,3	30	0,9
40	0,4	40	1,0
50	0,5	50	1,1
1'00"	0,6	2'00"	1,2

В начале главы упоминалось, что для полного суждения о работе теодолита и его пригодности инструкция предусматривает проведение обязательных пробных измерений углов между четырьмя направлениями способом и с весом, соответствующими классу триангуляции или полигонометрии того класса точности, для работы в котором предполагается использовать теодолит. Следует также произвести пробные измерения зенитных расстояний тремя-четырьмя приемами по тем же четырем направлениям.

6. *Сводная ведомость результатов исследований.* Все материалы исследований по данному прибору подшиваются в общую папку и на основе их составляется сводная ведомость результатов исследований. Такая ведомость дает полное представление о технических возможностях теодолита и характеризует пригодность его в работе.

Приведем образец сводной ведомости.

Сводная ведомость

результатов исследований оптического теодолита ОТ-02 № 9329,
проведенных с 5 по 8 августа 1970 г.

1. Наибольшая систематическая погрешность оптического микрометра —0,58"
 2. Средняя квадратическая погрешность совмещения штрихов:
 - а) горизонтального круга ±0,22"
 - б) вертикального круга ±0,40"
 3. Определение мертвого хода микрометра:
 - а) колебание разностей «право минус лево» от —0,6 до +0,6"
 - б) средняя квадратическая погрешность одной разности ±0,32"
 - в) средняя квадратическая погрешность средней разности ±0,06"
 4. Рен микрометра:

$r_n = -0,24"$
 $r_v = -0,45"$

$r_{cp} = -0,34"$
 $\Delta r = +0,21$
 5. Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга:
 - а) наибольшее колебание $\Delta v = 21,6"$
 - б) наибольшее уклонение от плавной кривой —3,2"
 - в) элементы эксцентриситета алидады $f = 8,5"$
 $P = 116^\circ$
 6. Исследование эксцентриситета горизонтального круга (лимба):
 - а) наибольшее колебание $\Delta v = 21,4"$
 - б) наибольшее уклонение от плавной кривой 4,4"
 - в) элементы эксцентриситета $f_1 = 8,3"$
 $P_1 = 142^\circ$
 $2f_{max} = 24,2"$
 - г) значение
 7. Среднее значение систематической погрешности, связанной со смещением горизонтального круга +0,12"
 8. Теодолитом проведены пробные измерения четырех направлений круговыми приемами по программе 3 класса.
- Получены следующие результаты измерений:
- а) наибольшее расхождение незамыкания горизонта в полуприемах —5,2"

- б) число повторных приемоуправлений 6
 в) наибольшее значение $2C = +9,3''$
 наибольшее колебание $2C = 7,1''$
 г) наибольшее расхождение в значениях направлений между приемами, приведенными к общему нулю $4,7''$
9. Пробные измерения зенитных расстояний по четырем направлениям тремя приемами показали, что:
- а) наибольшее значение $Mz = -11,6''$,
 а его колебание $8,4''$
 б) наибольшее расхождение в значении места зенита по измеренным направлениям $7,7''$.
- Заключение: Теодолит № 9529 годен для наблюдений в триангуляции и полигонометрии 3 класса.
- 8 августа 1970 г. Исследовал: А. В. Иванов

Записывал: Н. П. Васильев

§ 29. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОДОЛИТА Т2

Программа и метод исследований теодолита Т2 остаются такими же, как и для теодолита ОТ-02 (см. § 28). Остановимся на некоторых особенностях выполнения исследований.

1. *Исследование правильности работы оптического микрометра* и определение погрешностей. Это исследование состоит из двух частей:

а) исследование систематических погрешностей оптического микрометра;

б) определение погрешностей совмещения изображений штрихов горизонтального и вертикального кругов.

Оптический микрометр теодолита Т2 мертвого хода не имеет.

Исследование систематических погрешностей оптического микрометра. Для исследования измеряется угол $2'$. Расстояние l между штрихами можно подсчитать по приближенной формуле $l = 0,582 S$ м. Например, если $S = 10$ м, то $l = 5,8$ мм.

Угол измеряют пятью приемами при установках шкалы микрометра:

№ установки Левое направление Правое направление

1	0'	2'
2	2	4
3	4	6
4	6	8
5	8	10

Величины систематических погрешностей не должны превышать $\pm 1,5''$.

Определение погрешностей совмещения изображения штрихов шкал.

Горизонтальный круг. Это исследование выполняется по той же программе и на тех же установках алидады, что и в теодолите ОТ-02 (§ 10). Для последовательного включения в работу всех делений шкалы микрометра рекомендуется перед каждой установкой

алидады шкалу микрометра повернуть на дугу $\frac{600''}{24} = 25''$, т. е. устанавливать последовательно отсчеты 00, 25, 50'', 1'15'' и т. д. Средняя квадратическая погрешность одного совмещения не должна превышать $\pm 0,5''$, находится она по формуле (табл. 12)

$$M = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}$$

Таблица 12
Определение погрешности совмещения штрихов
Оптический теодолит Т2 № 105750

16 мая 1974 г.

10 мая 1974 г.

Установ- ка али- дады	Отсчеты по микро- метру		$d=I-II$	Установ- ка али- дады	Отсчеты по микро- метру		$d=I-II$
	I совме- щение	II совме- щение			I совме- щение	II совме- щение	

Горизонтальный круг							
0°	0'01,5"	0'01,0"	+0,5"	180°	4'48,1"	4'47,5"	+0,6"
15	21,3	21,7	-0,4	195	5 23,9	24,6	-0,7
30	45,8	45,5	+0,3	210	46,6	45,8	+0,8
45	1'17,0	1 16,6	+0,4	225	6 18,0	17,3	+0,7
60	39,4	38,7	+0,7	240	40,3	40,3	0,0
75	2 04,0	04,1	-0,1	255	7 02,8	02,5	+0,3
90	30,6	30,9	-0,3	270	28,8	29,2	-0,4
105	54,0	54,8	-0,8	285	54,2	54,8	-0,6
120	3 19,2	18,6	+0,6	300	8 22,4	22,8	-0,4
135	43,7	44,3	-0,6	315	47,2	47,7	-0,5
150	4 04,2	04,7	-0,5	330	9 03,3	02,8	+0,5
165	32,5	32,6	-0,1	345	28,7	28,9	-0,2

$[dd] = 6,16$

Вертикальный круг

82°	0"05,2"	0"04,5"	+0,7"	90°	4'50,3"	4'49,4"	+0,9"
83	33,4	34,0	-0,6	91	5 36,2	36,7	-0,5
84	1 07,5	1 08,3	-0,8	92	6 12,5	11,9	+0,6
85	48,2	47,6	+0,6	93	37,8	37,2	+0,6
86	2 30,7	31,2	-0,5	94	7 28,0	28,8	-0,8
87	3 13,5	12,5	+1,0	95	8 02,4	03,0	-0,6
88	37,7	38,0	-0,3	96	20,8	20,3	+0,5
89	4 31,0	30,2	+0,8	97	9 15,2	16,0	-0,8

$[dd] = 7,50$

Средняя квадратическая погрешность одного совмещения

$$m_{\text{гор}} = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} = \pm \sqrt{\frac{6,16}{48}} \approx \pm 0,34 < \pm 0,5''$$

$$m_{\text{верт}} = \sqrt{\frac{7,50}{32}} \approx \pm 0,48'' < \pm 0,6''$$

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

Вертикальный круг. Исследование выполняют на 16 установках, вращая зрительную трубу через один градус в пределах от 80 до 97° и переставляя отсчеты на шкале микрометра на дугу $\frac{600''}{16} = 37 - 38''$, т. е. 00'', 37'', 1'15'', 1'52'' и т. д. Средняя квадратическая погрешность совмещения допускается не более $\pm 0,6''$ (см. табл. 12).

2. *Исследование правильности вращения алидады вокруг вертикальной оси. Эксцентриситет алидады.* Исследование ведется по той же методике, что и в теодолите ОТ-02. В качестве индекса используется штрих вертикального круга, видимый после поворота рукоятки переключения на 45°14' (см. рис. 52).

ГОСТом рекомендуется для определения эксцентриситета алидады устанавливать каждый раз на шкале микрометра один и тот же отсчет a , равный 5'00'', совмещая диаметрально противоположные штрихи круга. В этом случае формула эксцентриситета приобретает вид $v = 4(a - t)$, где t — отсчет при совмещении одного из штрихов круга с индексом.

Рассмотрим порядок работы на первой установке алидады (0 и 180°).

1. Поворотом зеркала добиваются равномерного освещения поля зрения отсчетного микроскопа.

2. Вращением барабана устанавливают на шкале микрометра отсчет 5'00''.

3. Вращением наводящего винта алидады горизонтального круга совмещают одноименные штрихи лимба 0 и 180°.

4. Поворотом рукоятки переключателя на 45° добиваются четкого изображения в верхней половине поля зрения штрихов вертикального круга, а в нижней — штрихов горизонтального круга.

5. Наводящим винтом зрительной трубы ближайший штрих вертикального круга устанавливают посередине между двойным нижним штрихом 180°.

Штрих вертикального круга, установленный таким образом, принимается за индекс (рис. 67). В дальнейшем зрительная труба должна быть неподвижной и ни в коем случае не прикасаться к наводящему винту трубы.

После указанной выше подготовки приступают непосредственно к определению эксцентриситета алидады.

6. Уточняют установку отсчета 5'00'' на шкале микрометра.

7. Вращая наводящий винт алидады, точно совмещают одноименные штрихи шкал лимба, предварительно вернув рукоятку переключателя в горизонтальное положение.

8. Повернув рукоятку переключателя на 45°, барабаном микрометра

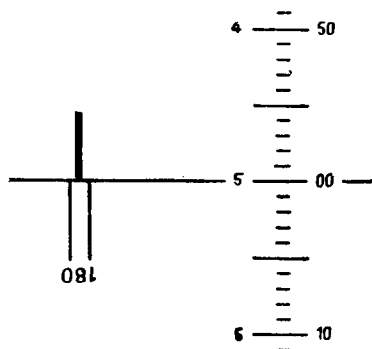


Рис. 67

Таблица 13

Определение эксцентриситета алидады горизонтального круга
Теодолит Т2 № 105750

16 мая 1974 г.

Установка алидады	Прямой ход				Обратный ход			
	Отсчеты t при совмещении штриха с индексом			$v = 4(5' - t)$	Отсчеты t при совмещении штриха с индексом			$v = 4(5' - t)$
	I	II	среднее		I	II	среднее	
0°	4'56,3"	57,5"	56,9"	+12,4"	4'58,0"	59,8"	58,9"	+4,4"
30	56,1	56,8	56,4	+14,4	56,6	55,6	56,1	+15,6
60	56,2	55,4	55,8	+16,8	54,9	54,5	54,7	+21,2
90	54,5	53,5	54,0	+24,0	53,7	52,3	53,0	+28,0
120	54,0	52,6	53,3	+26,8	53,6	54,0	53,8	+24,8
150	54,8	55,4	55,1	+19,6	55,9	55,0	55,4	+16,4
180	55,3	56,1	55,7	+17,2	55,9	57,6	56,8	+12,8
210	57,5	56,5	57,0	+12,0	57,5	58,3	57,9	+8,4
240	59,3	58,9	59,1	+3,6	58,9	58,2	58,6	+5,6
270	59,1	58,5	58,8	+7,2	59,2	57,8	58,5	+6,0
300	56,9	56,0	56,4	+14,4	56,4	55,8	56,1	+15,6
330	4 56,3	56,0	56,2	+15,2	4 54,5	56,1	55,3	+18,8

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

устанавливают нижний двойной штрих лимба симметрично относительно индекса и берут отсчет t по шкале микрометра. Для уточнения отсчета делают вторичное наведение штриха на индекс.

На последующих установках повторяют операции 6, 7 и 8.

По результатам исследований строят график. Максимальное значение эксцентриситета и его колебания не должны превышать 40". Уклонение измеренных значений эксцентриситета от плавной кривой не должны быть более 15". Пример исследования эксцентриситета алидады горизонтального круга приведены в табл. 13, а график составлен на рис. 68.

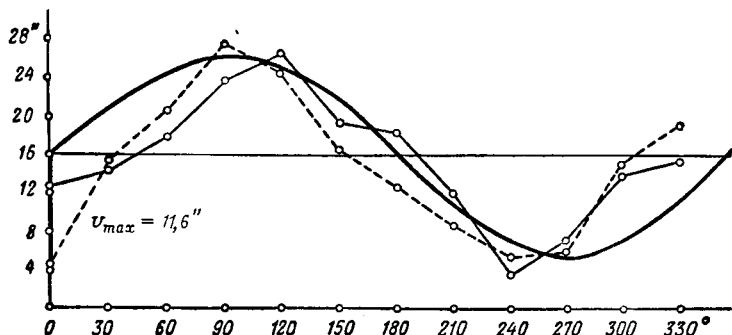


Рис. 68

3. *Исследование эксцентриситета горизонтального круга лимба.*
 Это исследование проводится так же, как и исследование эксцентриситета алидады, только алидада остается неподвижной, а переставляется лимб. Допуски остаются те же, что и для эксцентриситета алидады.

4. *Исследование систематических погрешностей измерения углов, связанных с люфтом подъемных винтов и смещением гори-*

Таблица 14

Определение рена оптического микрометра

Теодолит Т2 № 105750

16 мая 1974 г.

Прямой ход						Обратный ход					
Уста-новка	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a-b</i>	<i>a-c</i>	Уста-новка	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a-b</i>	<i>a-c</i>
0°00'	-0,9"	0,0"	-0,9"	-0,9"	-0,8"	22°20'	+1,1	+1,6	+2,0	-0,5	-0,9
	-1,1	+0,3	0,0	-1,4	-1,1		+0,7	+2,1	+2,1	-1,4	-1,4
				-1,15	-0,95					-0,95	-1,15
45 20	-1,1	0,0	-0,4	-1,1	-0,7	67 40	-1,9	-0,7	-0,6	-1,2	-1,3
	-1,4	-0,3	-0,9	-1,1	-0,5		-1,9	-0,4	-0,9	-1,5	-1,0
				-1,10	-0,60					-1,35	-1,15
90 40	+0,4	+1,0	+0,8	-0,6	-0,4	112 00	-1,0	+0,1	0,0	-1,1	-1,0
	+0,9	+0,9	+0,5	0,0	-0,4		-0,9	+0,3	0,0	-1,2	-0,9
				-0,30	0,00					-1,15	-0,95
135 00	+0,9	+2,4	+1,5	-1,5	-0,6	157 20	-1,9	-2,0	-1,1	+0,1	-0,8
	+1,4	+2,6	+1,5	-1,2	-0,1		-2,1	-1,6	-0,8	-0,5	-1,3
				-1,35	-0,35					-0,20	-1,05
180 20	-0,6	-0,9	0,0	+0,3	-0,6	202 40	-1,9	+0,4	-1,0	-2,3	-0,9
	-1,1	-0,6	+0,4	-0,5	-1,5		-1,7	+0,1	-1,0	-1,8	-0,7
				-0,10	-1,05					-2,05	-0,80
225 40	+0,8	+1,4	+1,4	-0,6	-0,6	247 00	-3,0	-3,0	-1,9	0,0	-1,1
	+1,3	+1,2	+1,2	-0,1	+0,1		-3,0	-3,1	-2,1	+0,1	-0,9
				-0,25	-0,25					+0,05	-1,00
270 00	-0,1	+0,1	+0,2	-0,2	-0,3	292 20	-1,4	-0,9	-1,0	-0,5	-0,4
	-0,5	+0,5	+0,5	-1,0	-1,0		-1,2	-0,4	-0,9	-0,8	-0,3
				-0,60	-0,65					-0,65	-0,35
315 20	-1,0	0,0	-0,4	-1,0	-0,6	337 40	-0,9	+0,9	+0,3	-1,8	-1,2
	-1,1	-0,5	-0,0	-0,6	-1,1		-0,9	+0,9	+0,1	-1,8	-1,0
				-0,80	-0,85					-1,80	-1,10
				-5,65	-4,70					-8,10	-7,55
	Σ			-0,71	-0,59		Σ			-1,01	-0,94
	Среднее						Среднее				

$$r_b = \frac{(-0,71) + (-1,01)}{2} = -0,86''$$

$$r = \frac{(-0,86) + (-0,76)}{2} = -0,81'' \pm 1,0''$$

$$r_n = \frac{(-0,59) + (-0,94)}{2} = -0,76''$$

$$\Delta r = (-0,86) - (-0,76) = -0,10'' \pm 1,0''$$

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

горизонтального круга при вращении алидады. Исследование выполняется по той же программе, что и для теодолита ОТ-02 (см. § 28, поверка 4).

5. *Определение рена оптического микрометра.* Рен для верхнего и нижнего изображения шкал определяется по той же методике, что и в теодолите ОТ-02.

Исследование рена горизонтального круга ведется на следующих установках алидады:

№ установки	Прямой ход	№ установки	Обратный ход
1	0°00'	16	22°20'
2	45 20	15	67 40
3	90 40	14	113 00
4	135 00	13	157 20
5	180 20	12	202 40
6	225 40	11	248 00
7	270 00	10	292 20
8	315 20	9	337 40

Среднее значение рена и их разность не должны превышать $\pm 1,0''$ (табл. 14).

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ И НАПРАВЛЕНИЙ В ТРИАНГУЛЯЦИИ

§ 30. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПРАВИЛА НАБЛЮДЕНИЙ

На точность угловых измерений влияют различного рода причины, зависящие от качества прибора, опытности наблюдателя, устойчивости геодезического знака, состояния окружающей среды и т. п. Для ослабления влияния погрешностей, которые делятся на случайные и систематические, применяют различные методы наблюдений и приборы.

Выбор метода угловых измерений и типа прибора определяется требованиями инструкции. Для измерения горизонтальных углов и направлений в настоящее время в СССР применяют главным образом два способа: способ измерения углов во всех комбинациях в триангуляции 1 и 2 классов и способ круговых приемов в триангуляции 2, 3 и 4 классов. В триангуляции 2 класса при большом числе направлений, кроме этих двух способов, применяют способ неполных приемов и видоизмененный способ измерения углов в комбинациях.

При выполнении угловых измерений в триангуляции независимо от применяемого способа должны соблюдаться основные требования.

1. Горизонтальные углы и направления должны измеряться при наиболее благоприятных условиях в часы утренней и вечерней видимости. Период отчетливых и спокойных изображений визирных целей в утренние часы наступает спустя полчаса — час после восхода солнца и продолжается 1,5—2 ч. В вечернее время этот период начинается в 15—16 ч и заканчивается за полчаса до захода солнца. В зависимости от состояния погоды продолжительность периода благоприятных условий видимости меняется. Так в пасмурную погоду этот период увеличивается, а в ясную солнечную — значительно сокращается.

Ночное время, спустя полчаса после захода солнца и за полчаса до восхода солнца, также является благоприятным для измерения углов и направлений на световые цели.

При наличии тумана, дымки, нечетких, сильно колеблющихся изображений и порывистого ветра угловые измерения производить запрещается.

2. В целях ослабления влияния вертикальной и горизонтальной (боковой) рефракций необходимо, чтобы визирный луч проходил на некоторой высоте над местностью. Так, в триангуляции

1 класса визирный луч должен проходить не ниже 4—6 м от препятствия в южных и степных районах и 2—3 м во всякой другой местности. Для остальных классов триангуляции высота визирного луча над препятствием должна обеспечивать видимость по линии прибор — визирная цель.

3. Перед наблюдениями на пункте необходимо убедиться в исправности наружного знака и центра, обратив особое внимание на общее состояние знака, жесткость и устойчивость его, прочность лестниц и пола для наблюдателя, наличие перил на всех площадках и люка, прикрывающего лаз на площадку для наблюдателя. Самым тщательным образом проверяется устойчивость столика для инструмента и изолированность внутренней пирамиды от пола для наблюдателя, лестниц и других деталей наружной пирамиды знака. Обнаруженные недостатки подлежат обязательному устранению до начала наблюдений.

4. Проверить, чтобы луч визирования на наблюдаемые с данного пункта направления (знаки) не проходил ближе 20 см от столбов (ног) знака. Наличие этого дефекта должно быть обязательно устранено или перестановкой теодолита на столике, если это можно, или выпиливанием мешающей части стоек крыши сигнала предварительно укрепив верхнюю часть сигнала надежными стойками-подпорками. При этом до и после выпиливания стоек крыши необходимо произвести определение элементов редукции на данном пункте.

5. До начала наблюдений необходимо определить элементы приведений: на пункте стояния теодолита элементы центрировки и редукции дважды определяет лично наблюдатель (перед началом наблюдений на данном пункте и после их окончания); элементы редукции на смежных пунктах — простых пирамидах и сигналах, расположенных на устойчивом грунте, определяют один раз (двукратно) в течение полевого сезона; элементы редукции сложных сигналов определяют так, чтобы между датой их наблюдения и датой определения редукции было бы не более 2 месяцев.

Дополнительные определения элементов приведения должны выполняться после прошедших бурь, ураганов или других причин, вызывающих сомнения в неизменности положения знака.

6. За начальное направление на пункте стояния теодолита рекомендуется выбирать направления с постоянной хорошей видимостью и средней удаленностью от пункта наблюдения.

Перед наблюдениями на пункте необходимо еще раз убедиться в исправности теодолита.

1. Проверить правильность фокусировки зрительной трубы теодолита по удаленному и хорошо видимому предмету. Установленную фокусировку необходимо сохранять в течение всего периода наблюдений на данном пункте.

2. Зажимные винты алидады и трубы закреплять плавно и не очень сильно. При работе необходимо действовать средней частью микростреленных винтов, не допуская их полного завинчивания или вывинчивания.

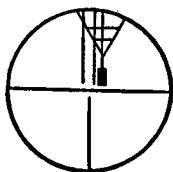


Рис. 69

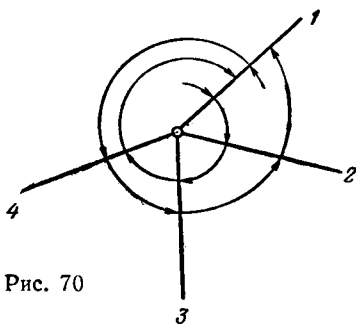


Рис. 70

3. Вращение алидадной части теодолита и зрительной трубы должно быть плавным. При наведении зрительной трубы на визирную цель приближенную установку алидады выполняют от руки таким образом, чтобы видимое в трубу изображение наблюдаемой цели располагалось справа от вертикальных нитей биссектора и вблизи от горизонтальной нити (рис. 69). Окончательное наведение биссектора на визирную цель необходимо заканчивать ввинчиванием микрометричного винта алидады, т. е. вращением его по ходу часовой стрелки, как при круге право, так и при круге лево. Так как в процессе наблюдений микрометричный винт будет все время ввинчиваться, то через 2—3 приема его необходимо приводить в среднее положение.

4. Отсчеты по шкале оптического микрометра производить при двух совмещениях одноименных штрихов. При наблюдении пунктов триангуляции и полигонометрии 1 и 2 классов поле зрения отсчетного микроскопа должно освещаться электрическим светом.

5. Величина двойной коллимационной погрешности не должна быть более 20". Постоянство этой величины контролируется по результатам наблюдений направлений при двух положениях вертикального круга вычислением

$$2C = Л - П,$$

где $2C$ — двойная коллимационная погрешность; $Л$ и $П$ — результаты наблюдений данного направления соответственно при круге лево и круге право.

6. Пузырек уровня при алидаде горизонтального круга не должен уклоняться от нуля более чем на 2 деления. Если это условие нарушается, исправления подъемными винтами разрешаются только в перерывах между приемами.

7. Независимо от способа все направления должны наблюдаться при двух положениях вертикального круга. При этом в каждом приеме должно быть обеспечено полное однообразие всех измерительных операций по каждому направлению и симметрия во время наблюдений в приеме относительно среднего момента его выполнения. Это компенсирует погрешности, действующие пропорционально времени.

§ 31. СПОСОБ КРУГОВЫХ ПРИЕМОВ (СПОСОБ СТРУВЕ)

Способ круговых приемов предложен в первой половине XIX века русским военным геодезистом Струве В. Я. Суть способа заключается в том, что при неподвижном лимбе теодолита, вращая алидаду по ходу часовой стрелки, последовательно наводят зрительную трубу на все визирные цели наблюдаемых направлений от первого (начального) к последнему и производят отсчеты по лимбу горизонтального круга и оптическому микрометру. Заканчивают круг наблюдений повторным наведением зрительной трубы на начальное направление, снова производят отсчет. Этот комплекс измерений составляет первый полуприем. Затем переводят трубу через зенит и, вращая алидаду против хода часовой стрелки, наводят трубу на 1, 4, 3, 2 и снова 1 направления. Эта серия наблюдений составляет второй полуприем. Два полуприема составляют один круговой прием (рис. 70).

Повторное наведение в каждом полуприеме на начальное направление с фиксированием отсчетов называется **з а м ы к а н и е м г о р и з о н т а**. Замыкание горизонта позволяет контролировать неподвижность лимба и отсутствие кручения знака в течение полуприема.

В процессе наблюдений необходимо помнить, что в каждом полуприеме алидаду вращают только в одном направлении: в первом полуприеме (при круге лево) по ходу часовой стрелки, во втором (при круге право) — только в обратном направлении. При приближенном наведении трубы на визирную цель обратные движения алидады не разрешаются. Если труба окажется переведенной через визирную цель, то необходимо алидаду повернуть на полный оборот по ходу вращения ее в данном полуприеме.

Перед началом наблюдений на пункте составляется таблица рабочих установок лимба. Инструкцией [11] в зависимости от класса триангуляции и типа применяемого теодолита установлено определенное число приемов наблюдений (табл. 15).

Таблица 15
Число приемов при наблюдении на пунктах
триангуляции

Типы применяемых теодолитов	Число приемов на пунктах классов		
	2	3	4
Т 0,5	12	9	4
Т1, ОТ-02М, ОТ-02	12*	9	6
Т2, ТБ-1	—	12	6

* Если наблюдения в триангуляции 2 класса выполняются теодолитом ОТ-02 без поверительной трубы со сложных сигналов, то число приемов увеличивается до 15.

№ приемов	Названия направлений				
	Боровое	Круглое	Петровка	Сосновка	Клюквенка
I	0°00'*	57°43'*	104°12'*	198°09'*	301°37'*
II	20 04	77 47	124 16	218 13	321 41
III	40 08	97 51	144 20	238 17	341 45
IV	60 12	117 55	164 24	258 21	1 49
V	80 16	137 59	184 28	278 25	21 53
VI	100 20	158 03	204 32	298 29	41 57
VII	120 24	178 07	224 36	318 33	62 01
VIII	140 28	198 11	244 40	338 37	82 05
IX	160 32	218 15	264 44	358 41	102 09

* Значения направлений, измеренных на пункте Березовка, до начала наблюдений с точностью до минут.

Угол перестановки лимба между приемами можно рассчитать по формуле

$$\sigma = \frac{180^\circ}{m} + i \text{ или } \sigma = \frac{180^\circ}{m} + \frac{i}{2},$$

где m — число приемов; i — цена деления лимба.

Затем составляется программа наблюдений на пункте, т. е. таблица рабочих установок лимба.

Примеры. 1. На пункте Березовка триангуляции 3 класса теодолитом ОТ-02 необходимо выполнить наблюдения. Угол перестановки лимба между приемами вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{180^\circ}{9} + 4' = 20^\circ 04'.$$

Программу наблюдений на пункте Березовка можно представить в виде табл. 16.

Если на этом же пункте Березовка (3 класс) наблюдения будут выполнять теодолитом Т2, то угол перестановки лимба между приемами должен быть $15^\circ 10'$. Программа наблюдения для этого случая рассчитывается так же, как показано в табл. 16.

2. На пункте триангуляции Ельня должны быть выполнены наблюдения по программе 2 класса теодолитом ОТ-02М без поверительной трубы. Программа рабочих установок лимба для этого случая дается в табл. 17, $\sigma = 12^\circ 05'$.

Система установок лимба, рассчитанных для каждого приема, способствует максимальному ослаблению влияния погрешности штрихов лимба на результаты угловых измерений. Рабочие установки на все другие направления, кроме начального, записанные в таблице, позволяют наблюдателю во время работы быстро найти нужный объект визирования. Точность установки лимба должна быть не ниже 2—3'.

Программа наблюдений на пункте Елья
Теодолит ОТ-02М

№ приемов	Название направлений			
	Чертаново	Занино	Сокольников	Храброво
I	0°00'	32°42'	107°00'	190°24'
II	12 05	44 47	119 05	202 29
III	24 10	56 52	131 10	214 34
IV	36 15	68 57	143 15	326 39
XII	132 55	165 37	239 55	323 19
XIII	145 00	177 42	252 00	335 24
XIV	157 05	189 47	264 05	347 29
XV	169 10	201 52	276 10	359 34

При составлении таблицы рабочих установок лимба во избежание арифметических просчетов и для ускорения работы рекомендуется следующий порядок.

1. В подготовленный бланк таблицы установок выписывают названия направлений и номера приемов.

2. Затем выписывают значения направлений, измеренные на данном пункте до минут. Эти данные в целях сокращения граф целесообразно вписывать в первую строку, так как их значения соответствуют установкам первого приема.

3. Определив величину угла перестановки лимба между приемами α , рассчитывают установки для начального направления и вписывают их значения против соответствующих приемов во второй графе.

4. Установки последующих направлений рассчитывают путем прибавления к установкам лимба начального направления величины угла от первого (начального) до данного направления. Например, в табл. 16 в приеме VI установка для направления Круглое получается сложением

$$100^{\circ}20' + 57^{\circ}43' = 158^{\circ}03',$$

для направления Сосновка

$$100^{\circ}20' + 198^{\circ}09' = 298^{\circ}29'.$$

Здесь $100^{\circ}20'$ — установка лимба для VI приема, когда труба наведена на начальное направление, $57^{\circ}43'$ и $198^{\circ}09'$ — значения углов, измеренных от начального направления, соответственно до направлений Круглое и Сосновка.

5. На производстве при составлении программ наблюдений обычно ограничиваются расчетом таблицы установок лимба для начального направления.

Порядок работы на пункте. Работа на пункте начинается с выполнения подготовительных процессов. Для этого перед началом наблюдений на пункте необходимо: соблюдая правила

по технике безопасности, поднять теодолит на сигнал, установить его на столике сигнала не менее чем за полчаса до начала наблюдений, чтобы он принял температуру окружающей среды. Теодолит защищают от воздействия солнечных лучей и ветра. Устраняют все обнаруженные дефекты сигнала. Приводят теодолит в рабочее положение. Затем уточняют полученную схему триангуляции, отыскивая направления, подлежащие наблюдению с данного пункта. Одновременно выполняют измерение горизонтальных направлений и зенитных расстояний с точностью до минут. Данные измерений горизонтальных направлений используют при составлении программы наблюдений. По отсчетам вертикального круга, т. е. по измеренным зенитным расстояниям, определяют, в какие направления необходимо вводить поправки за наклон оси вращения инструмента. Эта поправка вводится в те направления, зенитные расстояния которых отличаются от 90° на величину более 2° .

Найдя направления, подлежащие наблюдению, и изучив условия видимости и прохождения визирного луча по всем направлениям, решают вопрос о выборе начального направления.

На пункте, имеющем направления 2, 3 и 4 классов, наблюдения выполняют отдельно по самостоятельной программе для направлений каждого класса. При этом в программу наблюдений включают направления данного класса и для связи направления на 1—2 пункта высшего класса, имеющих наилучшую видимость. Начальным для всех групп на данном пункте берут, как правило, одно и то же направление.

Если на пункте много направлений какого-либо класса (9 и более) или отсутствует одновременная видимость по всем направлениям, то целесообразно разделить направления на две группы. Разбивку направлений на группы необходимо выполнять так, чтобы последнее направление одной группы было начальным для другой. При этом на пункте возникает условие горизонта. Связь смежных групп в этом случае осуществляется через общие направления, которыми являются последние направления групп.

Например, когда на пункте 9 направлений, разбивку последних на группы с учетом конкретных условий видимости можно сделать следующим образом

Вариант	1-я группа	2-я группа
I	1, 2, 3, 4, 5,	5, 6, 7, 8, 9, 1
II	1, 2, 3, 4, 5, 6,	6, 7, 8, 9, 1.

Дополнительным контролем наблюдений в этом случае является условие горизонта, невязка (свободный член) которого не должна превышать величины $3m$, где m — средняя квадратическая погрешность измеренного угла для данного класса.

Отдельный прием измерения направлений способом круговых приемов состоит из следующих операций.

1. Наводят биссектор зрительной трубы на визирную цель начального направления, устанавливают на лимбе отсчет, соответствующий тому, который указан в таблице для данного приема. Для этого с помощью головки шестерни лимба совмещают изобра-

жения противоположных штрихов лимба. Для первого приема, например, совмещают штрихи $0^{\circ}00'$ и $180^{\circ}00'$. При этом отсчет на шкале секунд оптического микрометра для первого приема должен быть близким к нулю. В последующих приемах при очередной установке лимба рекомендуется менять отсчет на шкале секунд на 5—10 делений. Затем перед началом первого полуприема необходимо дать алидаде 1—2 свободных оборота в направлении ее последующего движения. Обычно в полуприеме, выполняемом при круге лево, алидаду вращают по ходу часовой стрелки, при круге право — против хода часовой стрелки. После этого наводят трубу на начальное направление, заканчивая наведение биссектора на изображение визирной цели микрометричным винтом алидады при закрепленном зажимном винте. Затем дважды точно совмещают противоположные штрихи лимба барабаном оптического микрометра и после каждого совмещения делают отсчет: после первого совмещения — по лимбу и шкале микрометра, после второго — только по шкале микрометра.

2. После этого, открепив зажимной винт алидады и вращая ее в заданном в начале полуприема направлении, наводят биссектор на очередной пункт, не забывая при этом окончательное наведение выполнять ввинчиванием микрометричного винта алидады.

Барабаном оптического микрометра дважды совмещают изображения противоположных штрихов лимба и дважды делают необходимые отсчеты по лимбу и оптическому микрометру.

Аналогичным образом выполняют наблюдения на все последующие направления.

3. Первый полуприем заканчивают повторным наведением на начальное направление и производством отсчетов, как указано в пункте 1. Полученные значения отсчетов на начальное направление в начале и в конце полуприема не должны расходиться между собой более чем на $6''$ для ОТ-02 и равноточных ему инструментов и на $8''$ для Т2 и ему равноточных. Если незамыкание горизонта в полуприеме получится выше указанного допуска, то прием переводят на той же установке лимба.

4. Перед началом второго полуприема переводят трубу через зенит, открепляют зажимной винт алидады и, оставляя лимб неподвижным, дают ей 1—2 свободных оборота против хода часовой стрелки. Затем наводят биссектор на начальное направление и берут отсчеты в той же последовательности. Далее наблюдают все остальные пункты (направления), но в обратном порядке 1, 4, 3, 2, 1 (см. рис. 70).

Рекомендуются две методики производства отсчетов.

В первом случае, как описано выше, барабаном оптического микрометра дважды совмещают изображения противоположных штрихов лимба, берут и записывают в журнале отсчеты: после первого совмещения — по лимбу и по шкале оптического микрометра, после второго — по шкале оптического микрометра. Разность этих отсчетов должна быть не более $1''$ для Т1, ОТ-02 и ОТ-02М и $2''$ для Т2 и равноточных ему инструментов.

Журнал измерения горизонтальных направлений круговыми приемами
на пункте триангуляции 3 класса
Теодолит ОТ-02

Пункт — Березовка

Прием IV

Дата 22. IX. 1972 г.

 $\varphi = +16^\circ$, Погода — облачная, ветер — слабый

Время 16 ч 37 мин. Видимость — удовлетв. Изображение — слегка колеблющееся

Название направления	Круг	Отсчет по штрихам лимба	Отсчеты по микрометру		$\frac{a_1+a_2}{2}$ или $a_1+a_2^*$	Л—П (2С)	$\frac{Л+П}{2}$	Значение направления
			a_1	a_2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Боровое	Л	60° 12'	34,3	34,5	13 08,8	+7,0	13° 05,3"	0° 00' 00,0"
	П	240 12	31,0	30,8	13 01,8			
Круглое	Л	117 56	23,1	22,8	56 45,9	+6,1	56 42,8	57 43 37,2
	П	297 56	20,0	19,8	39,8		—0,3	
Петровка	Л	164 24	58,2	58,2	25 56,4	+1,5	25 55,6	104 12 49,7
	П	344 24	57,3	57,6	54,9		—0,6	
Сосновка	Л	258 22	04,6	04,7	22 09,3	+3,8	22 07,4	198 09 01,2
	П	78 22	02,8	02,7	05,5		—0,9	
Клюквенка	Л	1 50	15,0	15,3	50 30,3	—0,8	50 30,7	301 37 24,2
	П	181 50	15,5	15,6	31,1		—1,2	
Боровое	Л	60 12	33,9	34,0	13 07,9	+2,4	13 06,7	—
	П	240 12	32,8	32,7	05,5		—1,4	

Незамыкание $\Delta_L = -0,9''$; $\Delta_P = +3,7''$; $\Delta_{ср} = +1,4''$ Замечания — Наибольшее $\Delta_{(Л-П)} = 7,0''$ * a_1+a_2 — для теодолита ОТ-02.

Во втором случае барабаном оптического микрометра совмещают изображения противоположных штрихов лимба и берут отсчет по лимбу и по шкале секунд. Затем микрометрическим винтом алидады, действуя на вывинчивание, сбивают наводку биссектора на визирную цель и снова вводят ее в биссектор, работая при этом микрометрическим винтом на ввинчивание. После этого барабаном оптического микрометра вторично совмещают изображения противоположных штрихов лимба, берут и записывают в журнале отсчет по шкале оптического микрометра. Разность отсчетов должна быть не более 2,5" для Т1, ОТ-02 и ОТ-02М и 4" для Т2 и равноточных ему. Такая методика отсчетов повышает точность наведения на визирную цель. Она рекомендуется начинающим наблюдателям.

Результаты измерений горизонтальных направлений способом круговых приемов записывают в журнале установленной формы (табл. 18).

Обработка журнала. Начинается обработка журнала в процессе наблюдений и выполняется помощником наблюдателя.

В графы 3, 4 и 5 записывают отсчеты по лимбу и оптическому микрометру. В графе 6 по каждому направлению при каждом круге выводят среднее из отсчетов по микрометру (для ОТ-02 таким средним является сумма отсчетов по микрометру). По окончании каждого полуприема вычисляют значения замыкания горизонта при круге лево и круге право, т. е. Δ_L , Δ_P и $\frac{\Delta_L + \Delta_P}{2} = \Delta_{\text{ср}}$. Если Δ_L или Δ_P будут превышать допуск, то дальнейшее наблюдение и обработку такого приема прекращают. Прием аккуратно зачеркивают и в журнале делают примечание — причины исключения приема. Забракованный прием наблюдают снова на той же установке.

Затем вычисляют по каждому направлению двойную коллимационную ошибку $2C = L - P$, где L и P — значения направления соответственно при круге лево и круге право. Полученные $2C$ вписывают в графу 7 против соответствующих им направлений. Колебания $2C$ в приеме не должны превышать $8''$ для ОТ-02, ОТ-02М и Т1 и $10''$ для Т2 и равноточных ему теодолитов. В горных районах, где зенитные расстояния значительно отличаются от 90° , колебания $2C$ допускаются соответственно в пределах $12''$ и $14''$.

Если колебание $2C$ в приеме превысит допустимую величину, то наблюдения такого приема прекращают и сразу же повторяют на той же установке. Если недопустимое колебание $2C$ обнаружено после окончания приема или всей программы, недоброкачественный прием также подлежит переделке на той же установке.

Неоконченные приемы из-за недопустимой величины замыкания горизонта или колебания $2C$ и переделанные на тех же установках в подсчете переделок (в % повторных измерений) не учитывают. В связи с этим при обработке журнала наблюдений желательно, чтобы помощник успевал по ходу наблюдений производить вычисления граф 6 и 7 и своевременно выявлял недопустимость величин Δ_L , Δ_P и $2C$. Тогда переделка недоброкачественных приемов должна выполняться сразу же по ходу наблюдений. В противном случае переделка таких приемов должна производиться в конце программы наблюдений.

Затем вычисляют средние значения каждого направления из полученных величин этого направления в полуприемах и записывают их в графу 8. Для начального направления среднее значение получается дважды в начале и в конце полуприема (в нашем примере $13^\circ 05,3''$ и $13^\circ 06,7''$). Разность их равна среднему значению замыкания горизонта $\Delta_{\text{ср}}$. Эту невязку за замыкание горизонта распределяют пропорционально порядковому номеру направлений по формуле

$$\delta_k = \frac{-\Delta_{\text{ср}}}{n} (k - 1),$$

где δ — поправка в направление; n — число наблюдаемых направлений и k — порядковый номер наблюдаемого направления.

**Допуски при измерении направлений на пунктах триангуляции
2, 3 и 4 классов**

Вид допуска	Типы теодолитов		
	Т 0,5	Т1, ОТ-02, ОТ-02М	Т2, ТБ-1
Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема (замыкание горизонта)	5"	6"	8"
Колебание направлений в отдельных приемах, приведенных к начальному направлению	5	6	8

Вычисленные поправки δ_k в каждое направление записывают в графу 8 под средним значением соответствующего поправке направления. Знак поправки δ_k всегда противоположный знаку $\Delta_{\text{ср}}$.

Окончательные значения приведенных к нулю направлений для данного приема получают путем вычитания среднего значения начального направления (в примере 13'05,3") из среднего значения каждого направления с учетом поправки δ_k . Эти данные записывают в графе 9.

Вычисление значений измеренных направлений в отдельных приемах на пунктах триангуляции всех классов производят с точностью до 0,1".

Результаты угловых измерений, выполненных способом круговых приемов, должны удовлетворять допускам, приведенным в табл. 19.

Все законченные приемы основной программы, не удовлетворяющие указанным выше допускам, считаются недоброкачественными и подлежат повторному наблюдению.

Выборка приемов и приемо-направлений является ответственным моментом при выполнении повторных измерений. При этом необходимо руководствоваться следующими правилами.

а. Повторные измерения следует выполнять только после окончания наблюдений основной программы и тщательного контроля всех вычислений в приемах.

б. Приемы, в которых значительное число результатов направлений не удовлетворяет требованиям инструкции, переделывают полностью. Приемы, в которых 1—2 направления подлежат перенаблюдениям, можно переделывать не полностью. При этом требующее перенаблюдения направление связывают с начальным и двумя смежными направлениями во 2 классе и с начальным и одним смежным направлением в 3 и 4 классах. Аналогичным образом производят наблюдения пропущенных из-за плохой видимости направлений при выполнении основной программы.

в. Если из всего ряда наблюдений результаты двух приемов недопустимо отличаются один от другого и от результатов остальных приемов уклоняются в разные стороны на сравнительно большую величину, то рекомендуется повторять оба приема как с максимальным, так и с минимальным значениями направлений.

г. Прием, результаты направлений которого значительно уклоняются от результатов остальных приемов, переделывают как грубо измеренный.

д. Повторные измерения приемов выполняют на прежних установках лимба. Если значение выполненного повторно приема не удовлетворяет требованиям допуска, то такой прием рекомендуется повторять вторично. Вторичное бисирование приема выполняют на измененной установке лимба — на установке смежного приема.

е. На пункте к перенаблюдениям допускается не более 30% всех прямо-направлений; в противном случае наблюдения выполняют заново.

Наблюдения на пункте считаются завершенными только после окончания основной программы и перенаблюдения недоброкачественных приемов и выполнения тщательного контроля всех вычислений, сделанных в журнале.

Достоинства способа круговых приемов.

а. Сравнительно простая программа наблюдений.

б. При хорошей одновременной видимости по всем наблюдаемым направлениям, достаточной жесткости знака и отсутствии заметного кручения целесообразно применять способ круговых приемов. При таких условиях улучшаются технико-экономические показатели результатов измерений.

в. Выполнение приемов на различных установках способствует значительному ослаблению систематических погрешностей делений лимба.

Основные недостатки способа.

а. Сравнительно большая продолжительность измерений в приеме (10—15 мин), особенно с большим числом направлений на пункте. Это предъявляет повышенные требования к жесткости и устойчивости знака.

б) Отсутствие одинаковой видимости по всем наблюдаемым направлениям иногда вынуждает пропускать отдельные направления с плохой видимостью и наблюдать их в другое время, когда улучшится видимость.

в. При большом числе направлений на пункте появляется необходимость разбивки их на две группы. Это увеличивает объем работы и усложняет процесс уравнивания направлений на станции.

г. Неравноточность измерений начального и остальных направлений. От этого недостатка можно избавиться, принимая за начальное направление пункт другого класса. Например на пункте, где предстоит наблюдать направление 2 и 3 классов, целесообразно за начальное взять направление на пункт 2 класса.

§ 32. СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ ВО ВСЕХ КОМБИНАЦИЯХ (СПОСОБ ШРЕЙБЕРА)

Сущность способа заключается в том, что на пункте измеряют отдельные углы, образованные возможными комбинациями любой парой направлений, подлежащих наблюдению. При этом число измеряемых углов при n направлениях подсчитывают по формуле

$$\frac{n(n-1)}{2}.$$

Например, при четырех направлениях (рис. 71) на пункте измеряют шесть углов: (1.2), (1.3), (1.4), (2.3), (2.4) и (3.4). Каждый из этих углов измеряют определенным числом приемов, постоянным для всех углов на данном пункте. При этом все измеренные углы имеют равные веса. Нетрудно заметить (см. рис. 71), что значение каждого угла можно получить трижды: одно — непосредственно измеренное значение и два — как сумма или разность двух других непосредственно измеренных углов. Например, угол (1.2) = (1.3) — (2.3) = (1.4) — (2.4), (1.3) = (1.2) + (2.3) = (1.4) — (3.4), (1.4) = (1.2) + (2.4) = (1.3) + (3.4). Степень доверия значениям углов, полученным из непосредственного измерения, выше, чем значениям тех же углов, полученным как сумма или разность двух других непосредственно измеренных углов.

Таким образом, после наблюдений появляется необходимость в уравнивании углов на станции. Уравненный на станции угол равен среднему арифметическому из ряда неравноточных его значений, полученных из его непосредственно измеренного значения с весом два и всех остальных значений, вычисленных как сумма или разность двух других непосредственно измеренных углов с весом один.

Полученные в результате уравнивания на станции вероятнейшие значения углов будут равноточны. Но веса этих вероятнейших значений углов зависят от числа наблюдаемых направлений и равны числу направлений, если углы измерялись одним приемом. Если углы измерены m приемами, то вес уравненного угла будет равен mn .

Однако, согласно требованию инструкции [11], измерения в триангуляции необходимо выполнять так, чтобы веса уравненных на станции значений измеренных направлений были одинаковыми на всех пунктах. Для обеспечения этого требования необходимо, чтобы произведение числа направлений n на число приемов m для всех пунктов сети данного класса было бы величиной постоянной, т. е.

$$mn = P = \text{const.}$$

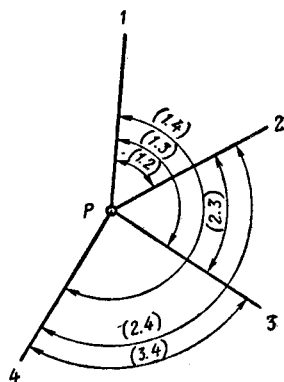


Рис. 71

Эта величина, называемая весом измерений, регламентирована инструкцией и зависит от класса триангуляции и типа применяемого инструмента. Например, для триангуляции 1 класса произведение mn принимается равным 36 или 35, для триангуляции 2 класса — 21, 24, 25 для теодолитов с поверительной трубой и 28, 30, 32 для теодолитов без поверительной трубы.

Пользуясь этими данными, по известным значениям P и n определяют число приемов m для измерения углов на данном пункте. Например, если на пункте 2 класса с четырьмя направлениями необходимо выполнить наблюдения теодолитом ОТ-02 (без поверительной трубы), то число приемов для случая, когда наблюдения выполняют с простых сигналов, подсчитывают по формуле

$$m = \frac{P}{n} = \frac{24}{4} = 6.$$

Если наблюдения выполняются со сложных сигналов тем же теодолитом без поверительной трубы, тогда m будет равно

$$m = \frac{P}{n} = \frac{28}{4} = 7.$$

Таким образом, число приемов для наблюдения углов на данном пункте в каждом конкретном случае определяют в зависимости от числа направлений (берут со схемы) и значения P — выбирают из инструкции [11, прил. 25 и 26].

В целях получения независимых результатов измерений углов и ослабления влияния погрешностей делений лимба углы измеряют на разных установках горизонтального круга. При этом каждое направление должно наблюдаться при одном и том же положении лимба, по возможности только один раз. Это достигается тем, что лимб при измерении каждого угла между приемами переставляют на угол

$$\sigma = \frac{180^\circ}{m},$$

а между группами не примыкающих друг к другу углов — на угол

$$\delta = \frac{\sigma}{n-1}$$

при n — четном числе направлений и

$$\delta = \frac{\sigma}{n}$$

при n — нечетном.

Для ослабления влияния короткопериодических погрешностей делений лимба к вычисленным значениям углов σ и δ , предварительно округленным до целого градуса, прибавляют угол i или $\frac{i}{2}$, где i — цена наименьшего деления лимба.

Приведенные выше формулы используют при составлении программы наблюдений на пункте.

Составление программы наблюдений начинают с расчета таблицы установок лимба для каждого угла и приема указанным

Таблица установок лимба $n=4$, $m=8$

Угол	Приемы							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1.2	0°00'	22°04'	45°08'	67°12'	90°16'	112°20'	135°24'	157°28'
1.3	8 04	30 08	53 12	75 16	98 20	120 24	143 28	165 32
1.4	15 08	37 12	60 16	82 20	105 24	127 28	150 32	172 36
2.3	15 08	37 12	60 16	82 20	105 24	127 28	150 32	172 36
2.4	8 04	30 08	53 12	75 16	98 20	120 24	143 28	165 32
3.4	0 00	22 04	45 08	67 12	90 16	112 20	135 24	157 28

выше методом. При этом можно также воспользоваться таблицами расчетных установок лимба для любого случая, приведенными в инструкции [11, прил. 25 и 26].

Задача наблюдателя состоит в том, чтобы найти нужную таблицу установок лимба и, используя ее данные и значения измеренных до минут углов, составить таблицу так называемых рабочих установок лимба.

Порядок составления таблицы рабочих установок рассмотрим на примерах.

Пример 1. На пункте триангуляции 2 класса Ельня, имеющем четыре направления, оптическим теодолитом ОТ-02 без поверительной трубы со сложного сигнала должны быть выполнены наблюдения способом во всех комбинациях. В этом случае вес направления $P = mn = 32$, при $n = 4$ число приемов $m = \frac{32}{4} = 8$.

Угол перестановки лимба между приемами

$$\sigma = \frac{180^\circ}{8} + i = 22^\circ 30' + 4',$$

а угол

$$\delta = \frac{\sigma}{n-1} + i = 7^\circ 30' + 4'.$$

Значения углов σ и δ округляют до целых градусов, в данном примере σ — до 22 и 23° и δ — до 7 и 8° . В таблице установок (табл. 20) эти значения углов чередуются через установку. Таблицу рабочих установок лимба составляют в следующей последовательности.

1. В подготовленный бланк таблицы для всех углов, связанных с начальным направлением (1.2, 1.3, 1.4, 1.5 и т. д.) из инструкции или из таблицы расчетных установок лимба, составленной наблюдателем, выписать значения установок лимба для левого направления каждого угла.

2. Для углов, не связанных с начальным направлением (2.3, 2.4, 2.5, 3.4, 4.5 и т. д.), рабочие установки лимба рассчитывают путем прибавления к расчетной установке величины угла, составленного начальным направлением и левым направлением данного

Таблица рабочих установок лимба $n=4$, $m=8$

Таблица 21

Угол	Приемы							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1.2	0°00'	22°04'	45°08'	67°12'	90°16'	112°20'	135°24'	157°28'
1.3	8 04	30 08	53 12	75 16	98 20	120 24	143 28	165 32
1.4	15 08	37 12	60 16	82 20	105 24	127 28	150 32	172 36
2.3	47 50	69 54	92 58	115 02	138 06	160 10	183 14	205 18
2.4	40 46	62 50	85 54	107 58	131 02	153 06	176 10	198 14
3.4	107 00	129 04	152 08	174 12	197 16	219 20	242 24	264 28

угла. Для углов 2.3, 2.4, 2.5 прибавляют значение угла 1.2; для углов 3.4, 3.5—1.3 и т. д. При этом значения углов 1.2, 1.3, 1.4 целесообразно предварительно округлять до четных значений минут при составлении программы для теодолита ОТ-02, и кратных 5' — для теодолитов ОТ-02М, Т1.

В нашем примере углы $1.2=32^\circ43'$, $1.3=106^\circ59'$. После округления этих углов и прибавления их к соответствующим расчетным установкам лимба таблицу рабочих установок получим в следующем виде (табл. 21).

Для теодолитов с наименьшим делением лимба i -кратным 5' в таблице рабочих установок число минут установки должно быть кратным 5'.

Пример 2. На пункте триангуляции 2 класса Занино, имеющем пять направлений, теодолитом ОТ-02М с поверительной трубой необходимо выполнить наблюдения способом измерения углов во всех комбинациях. Вес направления в этом случае равен 25. При $n=5$ число приемов $m=5$. По приведенным выше формулам рассчитывают величину углов σ и δ . Для данного случая угол перестановки лимба между приемами

$$\sigma = \frac{180}{m} + i = 36^\circ05',$$

величина угла, на которую переставляют лимб при переходе к измерению следующего угла,

$$\delta = \frac{36}{n} + i = 7^\circ05'.$$

Измерив значения направлений (углов) с точностью до минут, приступают к составлению таблицы рабочих установок лимба. Пусть измеренные углы будут равны: $1.2=59^\circ03'$, $1.3=146^\circ14'$, $1.4=212^\circ49'$. Тогда таблица рабочих установок примет вид (табл. 22).

Таблица рабочих установок лимба, составленная до начала наблюдений, записывается в журнал наблюдений на специально отведенной для этой цели странице. Второй экземпляр этой таблицы во время наблюдений находится у наблюдателя, который пользуется им при установках лимба очередного приема.

Таблица рабочих установок лимба на пункте Занино $n=5$, $m=5$

Угол	Приемы				
	I	II	III	IV	V
1.2	0°00'	36°05'	72°10'	108°15'	144°20'
1.3	7 05	43 10	79 15	115 20	151 25
1.4	14 10	50 15	86 20	122 25	158 30
1.5	21 15	57 20	93 25	129 30	165 35
2.3	73 15	109 20	145 25	181 30	217 35
2.4	80 20	116 25	152 30	188 35	224 40
2.5	87 25	123 30	159 35	195 40	231 45
3.4	174 35	210 40	246 45	282 50	318 55
3.5	146 15	182 20	218 25	254 30	290 35
4.5	219 55	256 00	292 05	328 10	364 15

Перед началом наблюдений наблюдатель, отыскивая направления на смежные пункты, подлежащие наблюдению, выбирает начальное направление. Требования к выбору начального направления в основном те же, что и при способе круговых приемов. Однако если при способе круговых приемов за начальное направление на пункте 2 класса может быть принято направление на пункт любого класса, то при измерении углов во всех комбинациях за начальное направление берется направление на пункт только 2 класса триангуляции.

Порядок работы на пункте. В процессе исполнения программы наблюдатель должен руководствоваться основными требованиями и общими правилами угловых измерений (см. § 30). В зависимости от условий видимости намечается такой порядок наблюдений, который максимально позволит использовать наилучшую видимость по каждому направлению. Однако в течение одной видимости (утренней или вечерней) наблюдатель должен стремиться измерить максимальное количество разных углов. Категорически запрещается выполнять подряд измерение одного и того же угла всеми приемами. Если по какому-либо направлению видимость временно отсутствует, углы с этим направлением можно пропускать, наблюдая остальные углы. При этом число приемов, в которых данный угол не наблюдался из-за отсутствия видимости, не должно быть более 50% общего числа приемов.

Например, на пункте с четырьмя направлениями углы наблюдают шестью приемами. Видимость по направлению 3 временно отсутствует. В этом случае наблюдатель может измерять углы 1.2, 1.4 и 2.4 тремя приемами. После этого, если видимость по направлению 3 не появится, наблюдения прекращают до появления видимости.

Измерение отдельного угла является несложной операцией, но требует большой осторожности, внимания и определенного опыта.

Измерение угла одним приемом проводится в следующей последовательности.

Первый полуприем. Подготовив теодолит к наблюдениям, наводят биссектор зрительной трубы при КЛ на визирную цель левого предмета, по лимбу устанавливают отсчет, соответствующий установке данного угла для данного приема (берется из таблицы рабочих установок). Затем, открепив алидаду и вращая ее по ходу часовой стрелки на 360° , снова наводят биссектор трубы на визирную цель левого предмета. Закрепив алидаду, микрометрическим винтом, действуя на ввинчивание, точно вводят визирную цель в биссектор трубы. Головкой микрометра дважды совмещают изображения штрихов и берут отсчеты: после первого совмещения — по лимбу и оптическому микрометру, после второго — по оптическому микрометру. Далее, открепив алидаду и вращая ее по ходу часовой стрелки на величину измеряемого угла, наводят биссектор на визирную цель правого предмета и после двукратного совмещения штрихов производят отсчеты, как указано выше. На этом заканчивается первый полуприем.

Второй полуприем. Переводят трубу через зенит и, вращая алидаду по ходу часовой стрелки на 180° , наводят биссектор зрительной трубы на визирную цель правого предмета. После двукратного совмещения штрихов лимба дважды берут отсчеты. Затем, открепив алидаду и вращая ее по ходу часовой стрелки на величину дополнения измеряемого угла до 360° , наводят биссектор на визирную цель левого предмета, дважды совмещают изображения штрихов и берут отсчеты по лимбу и оптическому микрометру. Разность отсчетов по шкале оптического микрометра при двух совмещениях изображений штрихов лимба не должна превышать допусков, указанных для способа круговых приемов (см. § 31). На этом заканчивают измерение угла одним приемом.

Нетрудно заметить, что в процессе измерения угла полным приемом алидаду вращают только в одном направлении. Инструкцией рекомендуется половину программы наблюдать при вращении алидады по ходу часовой стрелки, вторую половину — против хода часовой стрелки. В практике наблюдений все углы нечетных приемов принято измерять вращением алидады по ходу часовой стрелки, четных приемов — против хода часовой стрелки.

Результаты измерения углов способом Шрейбера записывают в журнале установленной формы (табл. 23).

Обработка результатов угловых измерений ведется в журнале в процессе наблюдений помощником. В графе 1 (табл. 23) записывают наименование измеряемого угла и № приема. В графе 3 указывают № направления и характеристику визирной цели. В графе 4 и 5 записывают отсчеты по лимбу и оптическому микрометру. В графах 6 и 7 записывают значения в полуприеме направлений и угла, вычисленных по результатам наблюдений. В графе 8 дается среднее значение угла, выведенное из двух полуприемов. В конце приема для контроля выписывают значение разности угла в полуприемах $\Delta_{л-п}$. Величина расхождения значения углов из

Журнал измерения углов во всех комбинациях
Теодолит ОТ-02

Дата 15. IV. 1972 г.

 $i^{\circ} = +15^{\circ}$

Погода — облачно, ветер — тихо

Время 16 ч. 24 мин.

Видимость — удовлетв.

Изображение — спокойное

Угол, прием	Круг	№ направ- ления, визирная цель	Отсчеты		Значения в полу- приеме		Среднее значение угла
			по штри- хам лим- ба	по шкале микро- метра	направ- ления	угла	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.4 I	Л	1 в. ц*.	14°08'	12,7 12,3	08'25,0"	48'57,0"	212°48'55,4"
		4 в. ц.	226 56	40,9 41,1			
	П	4	46 56	41,9 41,7	57 22,0		
		1	194 08	15,0 14,9	57 23,6 08 29,9	48 53,7	

$$A_{(Л-П)} = +3,3''$$

* в. ц. — визирная цель.

двух полуприемов каждого приема не должна быть более 8" для теодолита ОТ-02 и ему равноточных.

Результаты измерений углов во всех комбинациях должны находиться в пределах допусков, приведенных в табл. 24

Измеренные углы, не удовлетворяющие этим допускам, подлежат перенаблюдению на тех же установках лимба. Повторные наблюдения недоброкачественных приемов выполняют после окончания программы наблюдений на пункте и выполнения тщательного контроля всех приемов. Если значения какого-либо угла из разных приемов расходятся между собой более допустимой величины, то переделке подлежат приемы, имеющие как максимальное,

Таблица 24

Допуски при измерении углов во всех комбинациях

Элементы наблюдений, к которым относятся допуски	Пункты триангуляции		Число направлений	
	1 класса	2 класса	До пяти	6 и более
Расхождение значений одного и того же угла из разных приемов	4"	5"	—	—
Колебания средних значений одного и того же угла, вычисленных по результатам его непосредственных измерений и полученных как сумма или разность двух других непосредственно измеренных углов	—	—	3"	4"

так и минимальные значения угла. Например, угол 2.3 (2 класса триангуляции), измеренный шестью приемами, имеет средние значения в приемах: I — 7,1"; II — 4,6"; III — 8,7"; IV — 4,0"; V — 3,0"; VI — 5,1". Значения угла в III и V приемах расходятся между собой на 5,7" (допуск 5"). Таким образом, перенаблюдению подлежит угол 2.3 на установках III и V приемов. Такое бисирование называют двусторонним. Иногда разрешается одностороннее бисирование, когда значение угла какого-либо приема грубо отличается от остальных значений этого угла. Приемы, требующие повторного бисирования, рекомендуется переделывать на измененной установке лимба.

Если число повторных приемов превышает 30% от количества приемов, предусмотренных программой, то наблюдения всей программы на данном пункте выполняют заново.

Первоначальные значения всех переделанных приемов в обработку не включают. Порядок дальнейшей обработки угловых измерений рассмотрен в § 39.

Сравнивая два основных способа угловых измерений, необходимо отметить, что каждый из рассмотренных способов имеет свои преимущества и недостатки. Способ измерения углов во всех комбинациях более трудоемкий, чем способ круговых приемов (способ Струве). Однако способ во всех комбинациях позволяет измерять углы в любой последовательности, выбирать для наблюдений наиболее благоприятные условия видимости, не требует одновременной хорошей видимости по всем направлениям и менее требователен к жесткости знака, так как прием длится 2—4 мин.

При большем числе направлений (7—8 и более) способ измерения углов во всех комбинациях (Шрейбера) становится неэффективным. При этом значительно возрастает число подлежащих измерению углов, а число приемов сокращается до 4—3. По 3—4 приемам становится трудно судить о качестве измерений, затрудняется выбор приема, подлежащего переделке при неудовлетворении допусков.

§ 33. ДРУГИЕ СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ В ТРИАНГУЛЯЦИИ

Способ неполных приемов (способ Аладжалова)

В сетях триангуляции 2 класса при 7 и более направлениях на пункте наблюдения можно производить отдельными группами по три направления в группе. Группы подбирают так, чтобы по результатам наблюдений при попарном сочетании направлений можно было вычислить все углы. Направления каждой группы наблюдают отдельно круговыми приемами без замыкания горизонта в полуприемах (способом направлений). Число групп на пункте зависит от числа направлений. Так, при 7 направлениях

Таблица установок лимба при измерении направлений неполными приемами

Для теодолита с поверительной трубой $n = 7$

Серии	Приемы				
	I	II	III	IV	V
1.2.3	0°00'	36°04'	72°08'	108°12'	144°16'
	00	05	10	15	20
2.4.5	5 04	41 08	77 12	113 16	149 20
	05	10	15	20	25
3.4.6	10 08	46 12	82 16	118 20	154 24
	10	15	20	25	30
3.5.7	15 12	51 16	87 20	123 24	159 28
	15	20	25	30	35
5.6.1	20 16	56 20	92 24	128 28	164 32
	20	25	30	35	40
6.7.2	25 20	61 24	97 28	133 32	169 36
	25	30	35	40	45
4.7.1	30 24	66 28	102 32	138 36	174 40
	30	35	40	45	50

составляется 7 групп (серий) по три направления в каждой группе (табл. 25); при 9 направлениях — 12 полных групп. Если на пункте 8, 10, 11 или 12 направлений, в программу наблюдений, кроме серий из трех направлений, включают отдельные углы из двух направлений, которые измеряют способом Шрейбера.

При выполнении наблюдений способом неполных приемов руководствуются допусками как способа во всех комбинациях (см. табл. 24), так и способа круговых приемов (см. табл. 19).

Программа наблюдений для способа неполных приемов составляется аналогично способу Шрейбера.

Обработка результатов наблюдений при способе неполных приемов включает: контроль журнала наблюдений, вывод среднего значения направления из приемов каждой серии (трех направлений), вычисление углов по средним значениям направлений каждой группы, вывод средних значений отдельно измеренных углов (при $n=8, 10, 11, 12$), уравнивание углов на станции по правилу, применяемому в способе Шрейбера.

Образец составления сводки результатов измерения горизонтальных направлений для способа неполных приемов приведен в инструкции [11, прил. 24, табл. 2, 3 и 4, стр. 186]. Сочетания направлений по группам, число приемов и таблицы установок лимба для каждого приема приведены в инструкции [11, стр. 182—185].

Способ неполных приемов по точности соответствует способу измерения углов во всех комбинациях, но по сравнению с ним значительно уменьшает объем работ на пункте.

Видоизмененный способ измерения углов во всех комбинациях (способ Томилина)

Сущность способа заключается в том, что на пункте A с n направлениями независимо измеряют все углы, образованные каждой парой смежных направлений, и все углы, являющиеся суммами двух смежных углов. Число всех углов получается равным $2n$. Так, при $n=8$ (рис. 72) должны быть измерены углы:

1.2, 2.3, 3.4, 4.5, 5.6, 6.7, 7.8 и 8.1.

1.3, 2.4, 3.5, 4.6, 5.7, 6.8, 7.1 и 8.2.

В зависимости от требуемого веса уравниваемого на станции угла ($P=12$ или $P=14$) каждый угол измеряют соответственно пятью или шестью приемами. Методика измерения углов та же, что и в способе измерения углов во всех комбинациях. Таблица установок лимба рассчитывается в зависимости от числа направлений и числа приемов [11, прил. 23, табл. 1].

При измерении углов этим способом необходимо руководствоваться указаниями и допусками, приведенными для способа Шрейбера.

Так как при этом способе измеряют не все углы, образующиеся при сочетании по 2 из n направлений, а только часть их, то уравнивание углов на станции выполняют по другим формулам, отличающимся от формул способа Шрейбера. Эти формулы для вычисления поправок к измеренным углам различны для разного числа направлений на станции и представляют собой функции свободных членов условных уравнений. Эти формулы и схемы для их вычисления приведены в инструкции [11, прил. 23, стр. 169—180].

§ 34. ПРИВЯЗКА ОРИЕНТИРНЫХ ПУНКТОВ

Согласно требованию инструкции, на каждом пункте государственной геодезической сети закладывают по два ориентирных пункта (ОРП) с подземными центрами. Ориентирные пункты закладывают на расстоянии от 500 до 1000 м от центра знака, в залесенной местности — не ближе 250 м. Желательно, чтобы угол между ОРП был не менее 10° .

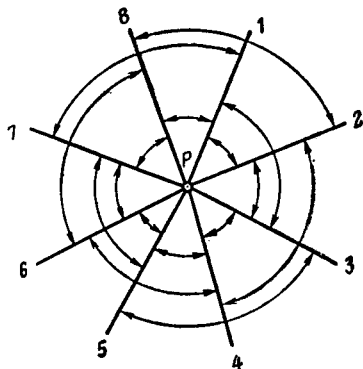


Рис. 72

Ориентирные пункты должны быть видны в теодолит, установленный на штативе над центром знака.

В отдельных случаях вместо одного из ориентирных пунктов может быть принят геодезический знак, колокольня, шпиль башни и другие местные предметы, расположенные от пункта триангуляции не далее 3 км и хорошо видимые с земли до основания.

Ориентирные пункты устанавливают также на пунктах геодезических сетей 4 класса и триангуляции 1 и 2 разрядов при отсутствии видимости с земли на смежный пункт триангуляции или полигонометрии, расположенный не ближе 250 м.

Ориентирные пункты предназначены для привязки геодезических сетей 4 класса, 1 и 2 разрядов и съемочного обоснования крупномасштабных топографических съемок. Угловая привязка этих геодезических сетей и съемочного обоснования производится, как правило, по двум исходным дирекционным направлениям. В качестве одного из них может быть принято направление на ориентирный пункт. Поэтому требования, предъявляемые к точности определения дирекционных углов, а значит, и к измерению направлений на ориентирные пункты, высокие.

Направления на ОРП должны быть связаны с направлениями сети триангуляции. Для этого выполняют угловые измерения, в программу наблюдений которых включают два направления сети и направления на ориентирные пункты. Наблюдения выполняют способом круговых приемов тремя приемами, с перестановкой лимба между приемами через 60° , от общего, как правило, начального направления. Наблюдение направлений на ОРП выполняют тем же теодолитом, что и наблюдения направлений сети триангуляции. Угловые измерения по привязке ОРП должны быть выполнены со средней квадратической погрешностью не более $2,5''$. Расхождение направлений в приемах не должно быть более $6''$.

На точность привязки ОРП в значительной мере сказываются ошибки центрирования теодолита.

При наблюдении ориентирных пунктов необходимо учитывать ряд особенностей привязки ОРП.

1. Так как расстояния от прибора до ориентирных пунктов и пунктов сети значительно различаются, появляется необходимость в процессе угловых измерений менять фокусировку трубы. При этом направления сети, с которыми должны наблюдаться направления на ОРП, необходимо выбирать так, чтобы смена фокусировок производилась минимальное количество раз.

2. Ввиду малости расстояний до ОРП и необходимости привязки их в основном с высоких знаков зенитные расстояния на ориентирные пункты отличаются от 90° на величину, значительно большую 2° . Поэтому при привязке ОРП необходимо определять наклон оси вращения теодолита и вводить поправки в измеренные направления на этот наклон *.

3. При измерении направлений на ОРП, в целях максимального исключения погрешностей визирования, необходимо обеспечить точное наведение биссектора нитей сетки трубы на центр марки ОРП. Для этого необходимо:

а) до начала измерений направлений на ОРП удалить опознавательный столб, вскрыть марку так, чтобы она была видна в зрительную трубу теодолита со столика сигнала. В центр марки

* Этот вопрос подробно рассмотрен в § 35.

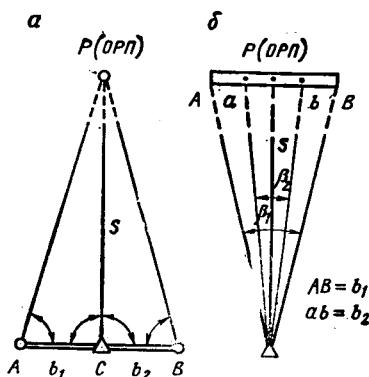


Рис. 73

установить отвесно специальный визирный целик или карандаш;

б) если центр ОРП со столика сигнала не виден, то над центром ОРП необходимо установить центрировочный столик или облегченную мензулу, привести планшет мензулы в горизонтальное положение, с помощью 30'' теодолита спроектировать * центр ОРП на центрировочный столик и над проекцией центра ОРП отвесно установить карандаш или визирный целик;

в) если имеется оптический центрир, то его точно устанавливают над центром ОРП;

г) в тихую погоду перечисленные выше приспособления может заменить нитяный отвес, установленный с помощью штатива над центром ОРП и тщательно отцентрированный.

Во всех этих случаях точное наведение биссектора трубы производят на визирный целик, карандаш, оптический центрир или нить отвеса.

Кроме угловых измерений на ориентирных пунктах должны быть измерены или определены аналитически расстояния от центра знака до центров ОРП с точностью до 1 м.

Существует несколько способов определения расстояний до ориентирных пунктов.

1. Непосредственное измерение выполняют 20-метровой стальной лентой или рулеткой в прямом и обратном направлениях. При этом обязательно учитывают число передач шпилек (каждую передачу 10 шпилек условно обозначают X), лент и измеренный остаток. Результаты записывают в журнале:

Прямо	$XX + 5Л + 8,4 = 508,4 \text{ м}$
Обратно	$XX + 5Л + 8,7 = 508,7 \text{ м}$
Среднее	$= 509 \text{ м}$

Затем вычисляют горизонтальное проложение измеренного расстояния.

2. Аналитическое определение расстояния до ОРП производят с двух базисов, разбитых от центра знака в зависимости от особенностей местности в одну или обе стороны (рис. 73, а). Длины базисов при расстояниях до ОРП от 300 до 700 м берут от 5 до 20 м. Для расстояния в 500 м длина базиса должна быть не менее 10 м. Базисы измеряют рулеткой с точностью до 1 см. На концах базисов выставляют вешки. Примычные углы А, В, С измеряют оптическим теодолитом двумя приемами. Расхождение углов меж-

* Проектирование центра ОРП выполняют так же, как при графическом определении элементов приведений (см. § 37).

ду приемами можно допускать до 8—10". Искомое расстояние S вычисляют из треугольников AOC и BOC по теореме синусов:

$$S = \frac{b_1 \sin A}{\sin O_1} = \frac{b_2 \sin B}{\sin O_2}.$$

Угол O берут как дополнение до 180° суммы измеренных углов в треугольнике.

Пример. Для определения расстояния до ОРП выполнены полевые измерения: $b_1=20,0$ м, $b_2=15,0$ м, углы в $\triangle AOC$: $A=86^\circ 35' 10''$, $C_1=91^\circ 35' 17''$, в $\triangle BOC$ — $C_2=90^\circ 46' 19''$, $B=87^\circ 51' 21''$.

Вычисление расстояния до ОРП выполняют по следующей схеме (логарифмической).

	1-й треугольник	2-й треугольник
b	20,0 м	15,0 м
A, B	$86^\circ 35' 10''$	$87^\circ 51' 21''$
C	$91^\circ 35' 17''$	$90^\circ 46' 19''$
$A + C, C + B$	$178^\circ 10' 27''$	$178^\circ 37' 40''$
O	$1^\circ 49' 33''$	$1^\circ 22' 20''$
$\lg b$	1 30 103	1 17 609
доп. $\lg \sin O$	1 49 673	1 62 064
$\lg \sin A$	9 99 923	9 99 969
$\lg S$	2 79 699	2 79 642
S	626,6 м	625,8 м
Среднее	626 м	

3. Аналитическое определение расстояния до ориентирного пункта производят путем измерения параллактического угла (схема приведена на рис. 73, б). Для этого над центром ОРП в плоскости, перпендикулярной к направлению на центр знака, располагают базисную рейку длиной 2—3 м с нанесенными на ней двумя парами штрихов. Расстояния между парой коротких и парой удлиненных штрихов измеряют рулеткой с точностью до 1 мм. Параллактические углы по каждому базису измеряют оптическим теодолитом тремя приемами.

Расстояния до ориентирных пунктов в этом случае вычисляют по формуле

$$S = \frac{b}{\beta'' \sin 1''} = \frac{b_p''}{\beta''}.$$

Вычисление расстояний выполняют на арифмометре или по пятизначным таблицам логарифмов.

Пример. Вычислить расстояние до ОРП, если $b_1=2,0$ м, $b_2=1,8$ м, параллактические углы $\beta_1=0^\circ 18' 34,7''$ и $\beta_2=0^\circ 16' 40,4''$. Вычисления выполняют на арифмометре:

$$S_1 = \frac{2,0 \times 206\,265}{1114,7} = 370,1 \text{ м};$$

$$S_2 = \frac{1,8 \times 206\,265}{1000,4} = 371,1, \quad S_{cp} = 371 \text{ м}.$$

Полученные из вычислений два значения расстояний до ОРП не должны различаться между собой более 1,5 м. Среднее расстояние до ориентирного пункта округляют до целых метров.

Для вычисления горизонтального проложения расстояний до ОРП, определенных аналитически, необходимо в процессе измерения параллактических или примычных углов измерить и угол наклона на ориентирный пункт. Затем по углу наклона и аналитически определенному расстоянию до ОРП вычисляют горизонтальное проложение.

Аналитическое определение расстояния до ОРП может выполняться и другими способами, например по базисам, разбитым от центра ориентирного пункта, если их нельзя разбить от центра пункта. Иногда расстояние до ОРП определяют по вертикальному базису.

§ 35. ВВЕДЕНИЕ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОПРАВOK ЗА НАКЛОН ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Наклон вертикальной оси вращения инструмента приводит к наклону горизонтальной оси вращения трубы. Это, в свою очередь, приводит к искажению отсчетов по лимбу на величину

$$\omega = b \operatorname{ctg} z,$$

где b — наклон горизонтальной оси вращения трубы в полуделениях уровня; z — зенитное расстояние направления.

Чтобы исправить отсчеты и получить верные наблюдения, необходимо в измеренные направления вводить поправки за наклон вертикальной оси вращения инструмента. Их вычисляют по формуле

$$\Delta'' = b \frac{\tau''}{2} \operatorname{ctg} z,$$

где $\frac{\tau''}{2}$ — цена полуделения уровня.

Наклон оси вращения трубы b и поправки за наклон оси вращения инструмента Δ'' вычисляют для тех направлений, зенитные расстояния которых отличаются от 90° на 2° и более. Поэтому перед началом наблюдений горизонтальных направлений и углов на пункте одним приемом измеряют зенитные расстояния всех направлений и определяют, в какие из них должны вводиться поправки.

В процессе наблюдений для определения наклона оси трубы по концам пузырька уровня производят отсчеты как при КЛ, так и при КП, стоя лицом к наблюдаемому пункту. Отсчеты по уровню записывают в журнале наблюдений под наименованием наблюдаемого направления [11, стр. 164, 165, табл. 1 и 2].

В зависимости от типа теодолита, вернее шкалы ампулы и местонахождения нулевого штриха уровня, применяется различная методика и формулы определения наклона оси трубы b .

1. Определение b , когда нулевой штрих в середине ампулы. Если шкала уровня не оцифрована, как, например, у теодолита

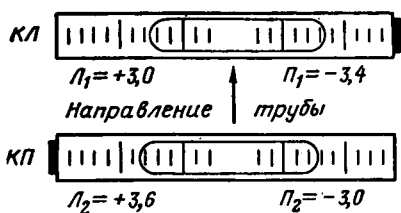


Рис. 74

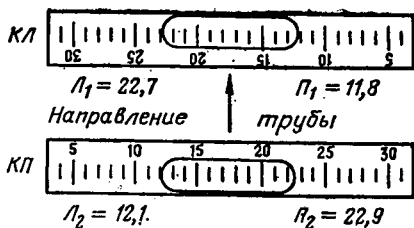


Рис. 75

ОТ-02, то нульпункт уровня считают в середине ампулы. В этом случае отсчеты по концам пузырька уровня берут от середины ампулы в обе стороны, принимая ближайшие к середине длинные штрихи за нулевые (рис. 74). Отсчетам, взятым по левому концу пузырька, всегда дается знак плюс, отсчетам по правому концу пузырька — знак минус.

Наклон оси трубы для данного направления в приеме выводится по отсчетам уровня, сделанным в первом и втором полуприемах, по следующим формулам:

$$b = \frac{(Л_1 + П_1) + (Л_2 + П_2)}{2}$$

или

$$b = \frac{(Л_1 + П_2) + (Л_2 + П_1)}{2},$$

где $Л_1$ и $П_1$ — отсчеты по концам пузырька уровня в первом полуприеме; $Л_2$ и $П_2$ — во втором.

Если запись отсчетов уровня в полуприемах выполнять как показано на рис. 74, то наклон оси в полуделениях вычисляют по второй формуле, и он равен среднему из двух алгебраических сумм отсчетов уровня, взятых перекрестно (см. рис. 74).

Для контроля постоянства нульпункта уровня вычисляют его значение по формуле

$$x = \frac{(Л_1 - Л_2) + (П_1 - П_2)}{2},$$

при этом знаки отсчетов уровня остаются те же.

2. Определим b , когда нулевой штрих уровня на краю ампулы. Обычно накладные уровни имеют подписи шкалы делений с нулем на краю ампулы. При наблюдениях теодолитом с накладным уровнем всегда сначала берут отсчет по левому концу пузырька, затем по правому, стоя лицом к наблюдаемому пункту (рис. 75).

Для вывода наклона горизонтальной оси трубы трижды определяют нульпункт уровня, производя отсчеты его при положении нуля делений слева и справа, до начала наблюдений, в процессе наблюдений и по окончании их. По каждой серии отсчетов вычисляют нульпункт по формулам

$$x = \frac{(Л_1 + П_1) + (Л_2 + П_2)}{2}$$

или

$$x = \frac{(Л_1 + Л_2) + (П_1 + П_2)}{2},$$

где $Л_1$ и $П_1$ — отсчеты в первом положении уровня; $Л_2$ и $П_2$ — во втором.

Из двух смежных значений нульпункта получают

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_1 + x_2}{2},$$

которое входит в формулу вычисления наклона горизонтальной оси.

Наклон оси b вычисляют по формуле

$$b = x_{\text{ср}} - (Л + П),$$

когда отсчеты $Л$ и $П$ выполнены при положении нуля делений уровня слева от направления теодолит — пункт визирования, и

$$b = (Л + П) - x_{\text{ср}},$$

когда отсчеты сделаны при положении нуля делений уровня справа.

Определение значений нульпункта x_1 , x_2 и $x_{\text{ср}}$ можно исключить, если, не считаясь с подписями делений уровня, предположить, что нулевой штрих уровня находится в середине ампулы (между штрихами 15 и 20) и все наблюдения выполнять так, как разобрано в первом случае.

Определив по каждому направлению наклон горизонтальной оси трубы в полуделениях уровня, приступают к вычислению поправок направления за наклон вертикальной оси вращения инструмента. Поправки Δ вычисляют по аргументам b , Z и $\frac{\tau''}{2}$. Вычисление поправок Δ значительно ускорится, если для этой цели использовать табл. 5 [11, стр. 167]. Вычисленные поправки вводят в направления непосредственно в журнале.

Пример. Вычислить поправку за наклон вертикальной оси вращения теодолита (ОТ-02), если $b = -1,3$, $z = 95^\circ 50'$.

Из табл. 5 по аргументам b и z находят поправку Δ для $\frac{\tau''}{2} = 1''$. Она равна 0,13. Эту величину необходимо умножить на пелену полуделения уровня, равную 3,5''. Окончательное значение $\Delta = +0,46''$, округлив до 0,1'', получим $\Delta = +0,5''$. Знак поправки определяется по знакам b и $\text{ctg } z$.

Угловое

§ 36. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВЕДЕНИЙ

Угловые измерения в триангуляции выполняют, как правило, с геодезических сигналов. Положение теодолита на столике сигнала в силу ряда причин не всегда удается расположить точно над центром триангуляционного пункта. В связи с этим выполненные угловые измерения будут смещены относительно центра пункта на

величину смещения проекции вертикальной оси вращения инструмента относительно проекции центра. Возникает необходимость исправления измеренных направлений поправками за центрировку (рис. 76).

Аналогичное явление происходит на другом конце наблюдаемого направления: визирование здесь производят не на центр пункта, к которому в конечном счете приводят результаты измерений данного направления, а на визирную цель (визирный цилиндр, гелиотроп или фонарь). Ось симметрии визирного цилиндра и других визирных целей, как правило, не проходит через центр пункта. В связи с этим появляется необходимость в измеренные направления вводить поправки за редукцию (см. рис. 76).

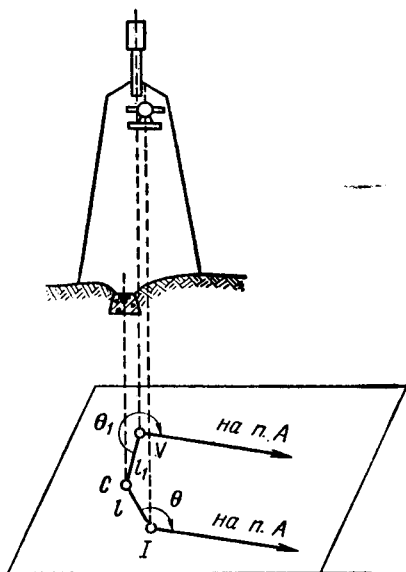


Рис. 76

Вычисление поправок за центрировку и редукцию и введение их в измеренные направления называют приведением направлений к центрам пунктов. Чтобы вычислить эти поправки, необходимо знать так называемые элементы приведения, т. е. линейные l и l_1 и угловые θ и θ_1 элементы центрировки и редукции (см. рис. 76). Зная эти величины и расстояния между пунктами, из решения треугольников (рис. 77) вычисляют поправки за центрировку c и редукцию r (см. главу VII).

Введенные в измеренные направления поправки за центрировку и редукцию не должны снижать точности угловых измерений. Поэтому необходимо самым тщательным образом выполнять определения элементов приведения.

В зависимости от особенностей местности, типа сигнала и величины линейного элемента применяют различные способы определения элементов приведения, наиболее распространенным из которых является графический.

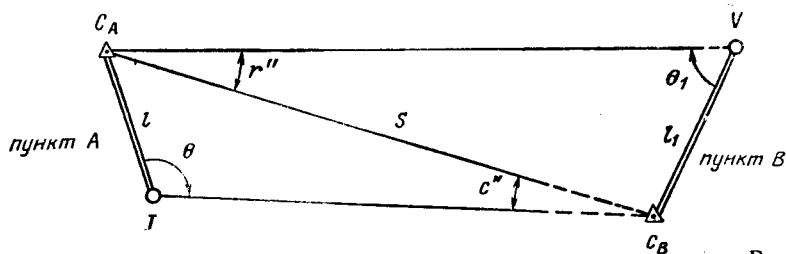


Рис. 77

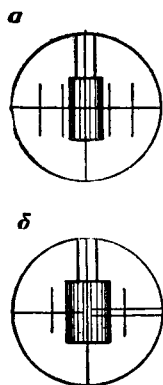


Рис. 78

1. Графический способ. Этот способ применяют в случае, если линейные элементы центрировки и редукции менее 0,5 м и если можно спроецировать их на одну горизонтальную плоскость (центрировочный столик, мензулу), визирный цилиндр V , вертикальную ось вращения теодолита I и центр пункта C . Обычно линейные элементы центрировки и редукции редко превышают 0,2 м. Поэтому при проецировании все эти точки (V , I , C) легко размещаются на одном специальном листе бумаги, называемом центрировочным листом.

Определение элементов приведения графическим способом выполняют в следующей последовательности.

После вскрытия верхнего центра пункта над ним устанавливают центрировочный столик или мензулу. Плоскость столика приводят в горизонтальное положение. На столик располагают центрировочный лист так, чтобы на нем поместились проектируемые точки V , I и C . Центрировочный лист с помощью буссоли ориентируют по направлению север — юг и прикрепляют кнопками к мензуле.

В стороне от пункта на расстоянии около полуторной высоты сигнала выбирают три станции, с которых теодолитом будут проецировать на центрировочный лист V (визирную цель) и I (вертикальную ось вращения теодолита). Эти станции должны быть расположены так, чтобы следы проецирующих плоскостей на центрировочном листе пересекались под углом около 120° (60°).

Проецирование выполняют тщательно выверенным теодолитом $30''$ точности. Так как проецирование визирного цилиндра и вертикальной оси вращения теодолита производят с расстояний сравнительно небольших, визирный цилиндр не вмещается в биссектор нитей сетки трубы. Желательно для этой цели иметь специальную сетку нитей с двумя широкими биссекторами, чтобы визирный цилиндр во время проецирования располагать симметрично пары штрихов такого биссектора (рис. 78, a). Если специальной сетки нет, то можно обычную сетку нитей теодолита, которым будут производить проецирование, повернуть в оправе на 90° и пользоваться дальномерными нитями ее как биссектором (рис. 78, b).

Теодолит, элементы центрировки которого нужно определить, устанавливают на столике сигнала до начала определения, и для удобства проецирования труба его приводится в отвесное положение окулярной частью вверх.

Определение элементов приведения начинают с установки теодолита на одной из трех выбранных станций. После приведения теодолита в рабочее положение наводят сетку нитей трубы на визирный цилиндр, как показано на рис. 78, b . При этом окончательное наведение выполняют микрометрическим винтом горизонтальной наводки. Затем трубу осторожно опускают вниз до появления в поле зрения центрировочного листа. По указанию наблюдателя находящийся у центрировочного столика помощник опускает

кает отвесно карандаш на ближайшее к наблюдателю поле листа. Наблюдатель сигналами рук показывает, куда нужно сместить карандаш, чтобы острие его попало в биссектор. Этот момент помощник фиксирует точкой на центрировочном листе. Точка обводится небольшим кружком и отмечается V_1 , что означает: визирный цилиндр с первой станции. Переместив карандаш на противоположное поле листа, помощник по сигналам наблюдателя при том же положении трубы таким же путем проецирует на лист вторую точку. Подписывается эта точка тем же индексом V_1 . Этими двумя точками V_1V_1 отмечен на центрировочном листе след проецирующей плоскости, проходящей через ось симметрии визирного цилиндра. Затем наблюдатель наводит сетку нитей трубы на окулярную часть трубы теодолита, установленного на столике сигнала. После точного наведения биссектора на окулярную часть трубы дальнейшие действия по проецированию вертикальной оси теодолита выполняются так же, как описано выше. В результате этих действий на центрировочном листе появляются еще две точки, обозначенные индексом I_1I_1 (проекция вертикальной оси вращения теодолита с первой станции). Затем наблюдатель переводит трубу через зенит и при другом круге выполняет те же операции, что и при первом круге. На центрировочном листе появляются еще две пары точек V_1 и I_1 . При этом вторые пары точек, как правило, располагаются на незначительном удалении от одноименных точек, спроецированных при первом круге. Расстояния эти обычно колеблются в пределах 10—12 мм. Несовпадение точек объясняется главным образом влиянием коллимации и наклона оси трубы теодолита, которым определяют элементы приведения.

За окончательный след проецирующей плоскости, проходящей через точку V или I , принимается прямая, соединяющая средние положения каждой пары одноименных точек, расположенных на противоположных полях центрировочного листа (рис. 79).

Далее такие же действия, как на первой станции, выполняют на двух других станциях и на листе получают спроецированные точки с индексами V_2, I_2 и V_3, I_3 .

Следы всех трех проецирующих плоскостей должны пересекаться в одной точке. Однако практически в пересечении этих плоскостей почти всегда получается треугольник погрешности. Стороны его не должны превышать: 5 мм — при проецировании оси теодолита и 10 мм — визирного цилиндра. Если эти допуски не выдержаны, определение передельывают на новом центрировочном листе со всех трех станций. Если проецирование визирного цилиндра V и вертикальной оси теодолита I выполнено доброкачественно, т. е. стороны треугольников погрешностей в пределах допуска, в центре каждого треугольника намечают точку, которая в дальнейшем принимается за окончательную проекцию соответствующей оси V или I .

Убедившись в доброкачественности выполненного проецирования на центрировочный лист точек V и I , приступают к проециро-

Центрировочный лист № 41

Пункт *Березовка*, пр. сигн. 3 кл. 5 мая 1973 г.

Элементы центрировки:

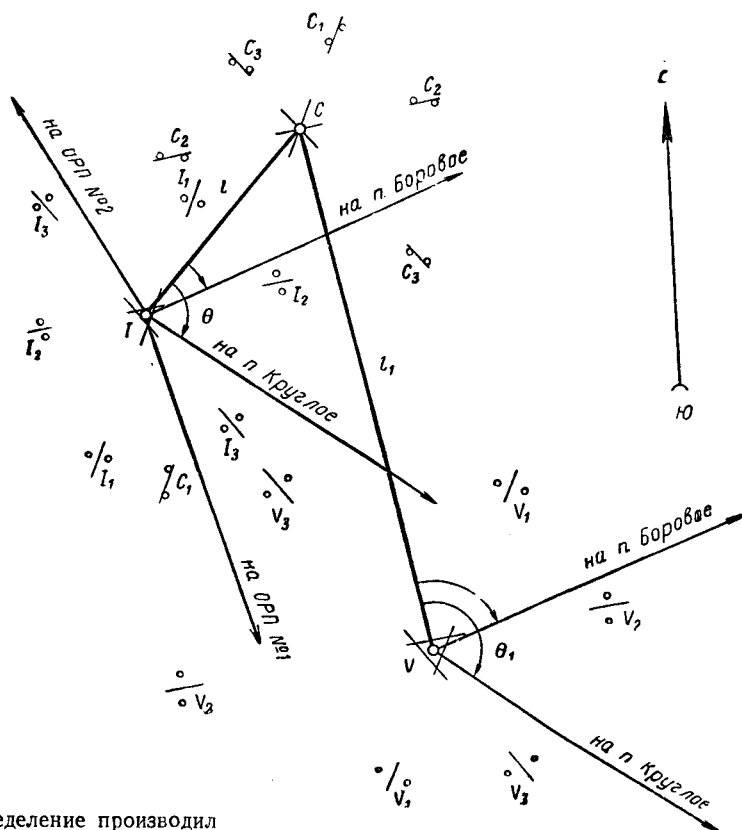
$l = 0,064$ м
 $\theta = 26^{\circ}15'$ на п. Боровое
 $\theta = 84^{\circ}00'$ на п. Круглое

Элементы редукции:

$l_1 = 0,143$ м
 $\theta_1 = 80^{\circ}15'$ на п. Боровое
 $\theta_1 = 138^{\circ}15'$ на п. Круглое

Контрольный угол:
 на чертеже — $58^{\circ}00'$
 из наблюдений — $57^{\circ}44'$

Направления на ориентирные пункты	
на чертеже	из наблюдений
на п. Боровое — $0^{\circ}00'$	$0^{\circ}00'$
на п. Круглое — $58^{\circ}00'$	$57^{\circ}44'$
на ОРП № 1 — $94^{\circ}45'$	$93^{\circ}07'$
на ОРП № 2 — $263^{\circ}30'$	$264^{\circ}49'$



Определение производил
 инж. Н. В. Валишев
 Проверил техн.
 А. П. Арашин

Рис. 79

ванию центра пункта на тот же лист. Проецирование центра выполняют аналогичным образом также с трех станций. При этом станции выбирают в непосредственной близости от пункта, так как с прежних станций марка центра не видна. Следы плоскостей, проецирующих на лист центр пункта, обычно пересекаются в одной точке. Стороны треугольника погрешности, если он получится, должны быть в пределах 5 мм.

Проецированием на лист центра пункта завершают определение элементов приведения. Чтобы ориентировать их относительно наблюдаемых на пункте направлений, необходимо на центрировочном листе из точек I (проекция теодолита) и V (визирного цилиндра) прочертить с помощью визирной линейки направления на два пункта сети и на ориентирные пункты. Желательно, чтобы среди прочерченных на листе направлений было и начальное направление. Если с центрировочного столика пункты сети не видны, то предварительно в створе этих направлений с помощью теодолита, установленного на столике сигнала, выставляют веши. По этим вехам прочерчивают нужные направления. На свободном поле центрировочного листа с помощью ориентир-буссоли в момент положения ее стрелки точно в нульпункте прочерчивают направление магнитного меридиана (север — юг).

Все прочерченные на центрировочном листе направления должны быть не менее 12—15 см, чтобы в последующем с помощью геодезического транспорта по ним можно было измерить необходимые углы. На концах прочерченных линий стрелкой показывают их направления, вдоль линии подписывают название соответствующего пункта.

Полученные в результате графического определения величины l (центрировки) и l_1 (редукции) измеряют на центрировочном листе линейкой с точностью до 0,001 м; угловые элементы Θ (центрировки) и Θ_1 (редукции) — геодезическим транспортом с точностью до $0,5^\circ$. Углы Θ и Θ_1 строят при точке I (проекция вертикальной оси вращения теодолита) и V (проекция визирного цилиндра); измеряют их по ходу часовой стрелки от направления на проекцию центра S данного пункта до направлений, прочерченных на другие пункты.

Кроме того, на листе транспортом измеряют угол между прочерченными направлениями на пункты и сравнивают его значение с величиной этого же угла, измеренного теодолитом. Отличаться они должны не более чем на 2° при линейной величине l и l_1 меньше 10 см; на 1° при l и l_1 от 10 до 20 см и $0,5^\circ$ при l и l_1 более 20 см.

На каждом центрировочном листе, кроме перечисленных сведений, должно быть подписано: название пункта, тип знака, время определения, значения величин l и l_1 , Θ и Θ_1 , измеренные углы на ориентирные пункты, фамилия и подпись лиц, выполнивших определение и проверивших оформление центрировочного листа (см. рис. 79). Кроме того, на листе иногда делают примечания об

особенностях данного определения: «редукция до выпиливания стойки крыши знака», «редукция после выпиливания стойки крыши знака», «дополнительное определение центрировки и редукции после бури» и т. п.

Определение элементов приведения на каждом пункте производится двукратно, т. е. на двух листах или на двух сторонах одного листа. Элементы приведения на пункте стояния теодолита (центрировку и редукцию) определяет наблюдатель первый раз (двукратно) перед началом наблюдений и второй — сразу после их окончания.

Определение редукций на простых пирамидах и сигналах, установленных на устойчивом грунте, выполняют один раз (двукратно) в течение полевого сезона. Элементы редукции сложных сигналов определяют так, чтобы между датой их наблюдения и датой определения редукции было не более 2 месяцев.

Дополнительные определения выполняют тогда, когда в период наблюдений прошла буря или ураган, или появились другие причины, вызвавшие сомнения в неизменности положения знака.

Доброкачественность выполненных определений элементов приведения контролируют по результатам двух определений. Разность в положении проекции I и V относительно проекции центра пункта из двух определений не должна быть более 10 мм. Однако при этом нужно учитывать изменение линейного и углового элементов приведения. Влияние этих факторов на изменение положения I и V относительно C удобнее всего учитывать с помощью восковки. Для этого с первого определения элементов приведения чернилами на восковку переносят проекции точек C , I и V . Из точки C на восковке прочерчивают ориентирующие линии, параллельные направлениям, проведенным из точек I и V на листе. Затем восковку накладывают на центрировочный лист второго определения элементов приведения, совмещая точки C и располагая параллельно одноименные ориентирующие линии. Далее чернилами отмечают проекции точек (второго определения). Измерив расстояния между точками I_1 , V_1 (первого определения) и I_2 , V_2 получим величину смещения проекций этих точек, вызванную изменением линейных и угловых элементов центрировки и редукции. Величина этого смещения не должна быть более 10 мм. В противном случае необходимо сделать третье определение элементов приведения и его данные нанести на восковку. Если результаты третьего определения подтверждают данные второго, тогда выявляют причины изменения элементов приведения и как это сказывается на результатах наблюдений. Большие изменения в элементах приведения иногда могут повлечь необходимость перенаблюдения отдельных направлений и даже пунктов.

2. Непосредственное измерение элементов приведения. Этот способ применяют в том случае, если линейные элементы приведения значительные. Для определения устанавливают два центрировочных столика: один над центром пункта, другой — над точкой, где должна находиться проекция оси визирной цели

C. L. -

- 10.

as well as the
red water left
in the by process
the paper. There-
fore the process
has been
.....

или вертикальной оси вращения теодолита. На столики, как обычно, прикрепляют центрировочные листы и обычным путем проектируют на один лист ось визирной цели V и вертикальную ось теодолита I , на другой — центр пункта C . Линейные элементы измеряют рулеткой с точностью до 0,001 м между точками проекций C и I (элемент l) и C и V (элемент l_1). За окончательное значение линейного элемента l или l_1 принимают среднее из 2—3 его значений, полученных в результате непосредственного измерения. При каждой серии отсчетов рулетку смещают на произвольно взятую величину. Расхождения полученных значений l и l_1 должно быть в пределах 3—5 мм.

Для определения углового элемента центрировки Θ или редукции Θ над точкой проекции I или V точно устанавливают на штативе теодолит, приводят его в рабочее положение и двумя приемами без замыкания горизонта измеряют направления на проекцию центра C , на два видимых с земли пункта триангуляции (из числа включенных в программу наблюдений на данном пункте) и на оба ориентирных пункта. Если пункты триангуляции с земли не видны, наблюдения выполняют на веши, выставленные в створе этих пунктов на расстоянии 100—150 м. Веши также выставляют по направлению точек $I—C$ и $V—C$, если расстояния между проекциями этих точек сравнительно небольшие. В этом случае веши выставляют по двум иглокам. Значения измеренных направлений выводят до целых минут. За окончательное значение каждого направления берется среднее из двух приемов.

Если линейный элемент центрировки или редукции имеет наклон, то измеряют угол наклона его. При этом визирование выполняют на высоту теодолита. Угол наклона измеряют двумя приемами. Зная расстояния между точками $I—C$ и $V—C$ и угол наклона α для каждого из этих направлений, вычисляют до 0,001 м величину линейного элемента l или l_1 по формуле

$$l = E \cos \alpha,$$

где E — непосредственно измеренное расстояние $I—C$.

3. Аналитический способ определения элементов приведения. Применяют его в тех случаях, когда элементы приведения нельзя определить графически или измерить непосредственно. Это бывает, когда в качестве пунктов триангуляции используют местные предметы (шпиль башни, церкви и другие сооружения). Координаты пункта в этом случае, как правило, относят к объекту визирования. В связи с этим определение элементов приведения сводится к определению только элементов центрировки, так как визирная цель совмещена с центром пункта.

Для аналитического определения элементов приведения вблизи пункта на расстоянии полуторной высоты знака разбивают базис $AB=b$ (рис. 80). Длина его берется такой, при которой треугольники ABC и ABI по форме будут близкими к равносторонним. Длину базиса измеряют дважды стальной штриховой 20-метровой лентой. В обработку берут среднее значение из двух

угольнике ICD элемент центрировки l является' гипотенузой. Его вычисляют по формуле

$$l = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2}.$$

Угловой элемент Θ вычисляют (см. рис. 80) по формуле

$$\Theta = 360^\circ - \gamma + \epsilon + \beta_i,$$

где вспомогательный угол ϵ вычисляют из прямоугольного треугольника ICD

$$\operatorname{tg} \epsilon = \frac{y_c - y_i}{x_c - x_i}.$$

Для контроля полученных результатов определение элементов приведения рекомендуется выполнять с двух базисов различной длины. При этом один из концов первого базиса можно совмещать с соответствующим концом другого базиса. Угол между базисами может быть в пределах $5-6^\circ$.

Расхождение элементов приведения по результатам двух определений не должно превышать 10 мм (общий линейный сдвиг).

§ 37. ИЗМЕРЕНИЕ ЗЕНИТНЫХ РАССТОЯНИЙ

Все пункты триангуляции должны иметь высоты над уровнем моря, определенные из геометрического или геодезического (тригонометрического) нивелирования. Метод геометрического нивелирования как самый точный является основным для определения абсолютных высот пунктов государственной геодезической сети. Однако из-за трудоемкости он не всегда может быть применен. Поэтому на пунктах триангуляции всех классов, где для определения высот не предусмотрено геометрическое нивелирование, эту задачу решают геодезическим нивелированием (см. главу VIII).

Суть геодезического нивелирования сводится к измерению зенитных расстояний на смежные пункты. Техника измерения зенитных расстояний проста. После приведения теодолита в рабочее положение при КЛ наводят на верх визирного цилиндра среднюю горизонтальную нить сетки, приводят пузырек уровня при алидаде вертикального круга в нульпункт и делают отсчеты по вертикальному кругу. Техника отсчетов та же, что и при измерении горизонтальных углов. Затем переводят трубу через зенит и при КП повторяют операции, описанные выше; все это составляет один прием.

Измерения зенитных расстояний производят отдельно по каждому направлению, четырьмя приемами, при двух положениях вертикального круга, в периоды достаточно четких изображений визирных целей (с 11 по 15 ч). Зенитные расстояния необходимо измерять последовательно, т. е. одно направление за другим. Запрещается выполнять сразу все четыре приема по одному направлению.

Журнал измерения зенитных расстояний
Теодолит ОТ-02

Пункт — *Березовка*

Дата 4. V. 1972 г.

Время 12 ч 31 мин.

Погода — *пасмурно.*Видимость — *удовлетворительная.*

Прием III

Ветер — *слабый*Изображение — *колеблющееся*

Название направления, место наведения		Отсчеты по вертикальному кругу		Среднее	Место зенита	Зенитное расстояние
		I	II			
Боровое, верх в. ц.	Л	90°20'05,8"	06,1	90°20'12"	0°00'01"	89°19'37"
	П	89 38 54,6	54,7	89 39 49		
Круглое, верх в. ц.	Л	89 10 21,8	21,9	89 10 44	0 00 15	90 38 47
	П	90 48 45,4	45,7	90 49 31		
Петровка, верх в. ц.	Л	89 52 39,8	39,6	89 53 19	0 00 08	90 13 30
	П	90 06 24,6	24,5	90 06 49		
Сосновка, столлик для инструмента	Л	90 08 05,3	05,6	90 08 11	0 00 10	89 43 48
	П	89 50 59,7	59,4	89 51 59		

Данные измерений зенитных расстояний записывают в журнале установленной формы (табл. 26).

По средним значениям отсчетов КЛ и КП в журнале в каждом приеме подсчитывают место зенита и зенитное расстояние по формулам (для ОТ-02)

$$Mz = \text{КЛ} + \text{КП} - 180^\circ; \quad z = \text{КП} - \text{КЛ} + 90^\circ,$$

где Mz — место зенита; z — зенитное расстояние; КЛ и КП — средние отсчеты соответственно при круге лево и круге право.

При обработке журнала среднее значение из отсчетов места зенита и значение зенитных расстояний округляют до целых секунд.

Контролем качества измерений зенитных расстояний служит сходимость места зенита и зенитных расстояний, выведенных из отдельных приемов. Колебания Mz и z не должны превышать 15". Приемы, не удовлетворяющие этим допускам, переделывают после выполнения всей программы наблюдений зенитных расстояний и тщательной проверки вычислений в журнале.

После окончания программы наблюдений и проверки журнала составляют сводку результатов измерений зенитных расстояний (табл. 27). Средние значения зенитных расстояний по каждому направлению вычисляют до целых секунд.

Сводка результатов измерений зенитных расстояний

Пункт *Березовка*

Дата 7. V. 1975 г.

Тип знака — *простой сигн.*

Название направлений		Боровое	Круглое	Петровка	Сосновка	Клюквенка
место наведения нитей		верх в. ц.*	верх. в. ц.	верх в. ц.	столлик для прибора	верх в. ц.
Приемы	I	89°29'39"	90°38'46"	90°13'24"	89°43'48"	91°06'12"
„	II	89 29 38	90 38 49	90 13 29	89 43 50	91 06 17
„	III	89 29 37	90 38 47	90 13 30	89 43 48	91 06 10
„	IV	89 29 51	90 38 43	90 13 22	89 43 59	91 06 14
Среднее		89 29 41	90 38 46	90 13 26	89 43 51	91 06 13

* в. ц. — визирный цилиндр.

§ 38. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ЗНАКА

Для вычисления превышений между двумя пунктами по зенитным расстояниям необходимо знать высоты над центром знака горизонтальной оси вращения теодолита i и верхнего среза визирного цилиндра v (рис. 81, а). Высоту знаков менее 20 м измеряют дважды непосредственно. Если высота знака более 20 м, высоты i и v определяют аналитически.

Непосредственное измерение высот i и v выполняют рулеткой. Сначала измеряют высоту горизонтальной оси вращения трубы i , которая складывается из высоты от центра знака до верхней плоскости столика для инструмента i_0 и высоты инструмента. Для измерения i_0 необходимо один конец рулетки опустить в отверстие между основанием столика и полом площадки для наблюдателя и разматывать рулетку до тех пор, пока нижний конец ее не

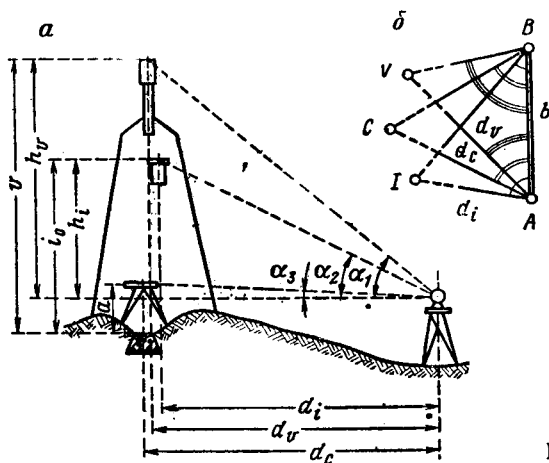


Рис. 81

коснется центра знака. Приложив нулевое деление рулетки к марке центра, умеренно натягивают рулетку и делают отсчет по делению, которое касается нижней плоскости столика. Прибавив к полученному отсчету измеренную толщину столика, получают высоту i_0 . Затем, измерив высоту инструмента от верхней плоскости столика до центра горизонтальной оси вращения трубы и прибавив ее к измеренному значению i_0 , получают высоту инструмента i . Непосредственное измерение высоты инструмента i повторяют, при этом начальный отсчет по нижнему концу рулетки сбивают на произвольную величину. По двум измеренным значениям судят о качестве произведенных измерений. Расхождения между двумя непосредственно измеренными значениями i обычно не превышают 2—3 см.

Для получения высоты верхнего среза визирного цилиндра над центром знака v достаточно измерить расстояние от верхней плоскости столика до верха визирного цилиндра и прибавить к нему измеренную уже величину i_0 . При этом расстояние от верха визирного цилиндра до столика для теодолита измеряют дважды.

В журнале измерения зенитных расстояний данные непосредственных измерений высот i и v записывают с учетом каждого слагаемого.

Аналитическое определение высот применяют при высоте знака до столика для инструмента более 20 м. Высоты сигнала i_0 (до верхней плоскости столика) и v (до верхнего среза визирного цилиндра) определяют с двух базисов, разбитых от центра знака, как правило, в одном направлении, удобном для их измерения (см. рис. 81, а). Длина базисов должна быть не менее полуторной — двойной высоты знака. Базисы измеряют рулеткой или лентой с точностью до 1 см. Удобно их длины выражать круглыми числами (40,00, 50,00 м). При углах наклона более 2° длину базиса необходимо приводить к горизонту. Необходимо также учитывать влияние на длину базиса элементов центрировки и редукции и вводить соответствующие поправки. Поправку в базис за влияние элемента центрировки или редукции можно получить с листа графического определения элементов приведения. Для этого достаточно на центрировочном листе прочертить из проекции центра линию базиса с точностью $1-2^\circ$ и спроектировать на нее линейные элементы центрировки и редукции. В первом случае получим поправку в базис, по которому вычисляют высоту до столика для инструмента; во втором — поправку в базис для вычисления высоты до верха визирного цилиндра. При этом необходимо учитывать знак поправки: если линейный элемент проектируется на линию базиса, то знак поправки минус, если линейный элемент проектируется на линию продолжения базиса — знак плюс.

Измерение углов наклона выполняют $30''$ теодолитом. Теодолит устанавливают над точкой базиса, расположенной в стороне от сигнала. После приведения теодолита в рабочее положение приступают к измерению углов наклона. Углы наклона измеряют двумя полными приемами с наведением горизонтальной нити зри-

тельной трубы последовательно на верхний срез визирного цилиндра, на верх столика для инструмента и на центрировочный столик, установленный над центром знака.

При измерении углов наклона необходимо обращать внимание на правильность наведения горизонтальной нити сетки на визирный цилиндр и столик для инструмента. На рис. 82 показано, что при правильном наведении горизонтальная нить зрительной трубы должна проходить по диаметру видимого в трубу изображения верхней плоскости визирного цилиндра или столика для инструмента. При измерении угла наклона на центр знака наведение горизонтальной нити производят на верх центрира, установленного в проекции центра, вынесенного на центрировочный столик. В этом случае высоту центрировочного столика (мензулы) над центром знака измеряют рулеткой от марки центра до верха центрира.

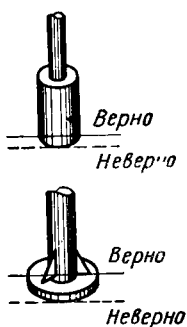


Рис. 82

Перед отсчетом углов по вертикальному кругу необходимо убедиться, что пузырек уровня при вертикальном круге не отклонился от нульпункта. В противном случае пузырек уровня приводят в нульпункт.

Иногда бывает так, что от центра знака нельзя выбрать удобное направление для измерения базиса. В этом случае в стороне от сигнала на расстоянии полуторной — двойной высоты знака разбивают вспомогательный базис (рис. 81, б). На концах его в точках A и B измеряют горизонтальные углы одним приемом. По этим углам и измеренному базису, предварительно проведенному к горизонту, по теореме синусов решают треугольники и получают значения расстояний d_0 , d_1 . Затем, используя эти расстояния как базисы, из точки A измеряют углы наклона описанным выше методом.

Все данные полевых измерений при аналитическом определении высот знака записывают в журнале измерений зенитных расстояний на специально отведенных для этого страницах.

Контролем измерения углов наклона служат постоянство места нуля и сходимость углов наклона, полученных из двух приемов. Надежный независимый контроль правильности выполненных работ по аналитическому определению высот знака дает непосредственное контрольное измерение рулеткой расстояния от верха визирного цилиндра до верхней плоскости столика для инструмента. При правильном определении высот аналитическим способом разность $v - i_0$ должна быть равна значению контрольного измерения. Расхождения между вычисленными значениями высот знака или измеренными непосредственно не должны быть более 10 см. За окончательное берут среднее из двух значений высот, измеренных непосредственно или определенных аналитически. Эти средние значения высот знака записывают в соответствующие графы

журнала измерения горизонтальных направлений и в сводки результатов угловых измерений.

Вычисление высот знака, определенных аналитически, выполняют по формулам

$$d = b \frac{\sin B}{\sin(A+B)};$$

$$v = d_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + (a - d_3 \operatorname{tg} \alpha_3);$$

$$i_0 = d_2 \operatorname{tg} \alpha_2 + (a - d_3 \operatorname{tg} \alpha_3),$$

где b — базис, d — горизонтальное проложение базиса; α — углы наклона, A и B — горизонтальные углы, измеренные при базисе, v — высота верха визирного цилиндра над центром пункта, i_0 — высота верхней плоскости столика для инструмента над центром пункта, a — высота центрировочного столика над центром пункта.

Рассмотрим примеры аналитического определения высот знака.

1. На пункте Боровое определение высот знака выполнено аналитически. Для этого от центра знака в одном направлении измерены два базиса $b_1=45$ м и $b_2=50$ м. Длины базисов исправлены поправками за элементы приведений: поправка за влияние элемента редукции равна $+0,042$ м, поправка за влияние центрировки равна $-0,094$ м. Базисы к горизонту не приводятся, так как угол наклона их менее 2° . С конечной точки первого и второго базиса измерены углы наклона на верх визирного цилиндра, верх-

Таблица 28

Вычисление высоты знака на п. Боровое

Обозначения	Для базисной точки I			Для базисной точки II		
	верх визирного цилиндра v	столлик для инструмента i_0	центрировочный столлик	верх визирного цилиндра v	столлик для инструмента i_0	центрировочный столлик
$b = d$	45,042	44,906	45,000	50,042	49,906	50,000
α	33°30'	30°05'	1°36'	30°41'	27°27'	1°15'
$\lg d$	1.65362	1.65230	1.65321	1.69924	1.69815	1.69897
$\lg \operatorname{tg} \alpha$	9.82078	9.76290	8.44611	9.77332	9.71555	8.33886
$\lg d \operatorname{tg} \alpha$	1.47440	1.41520	0.09932	1.47266	1.41370	0.03783
a		1,40				1,40
$d \operatorname{tg} \alpha$	29,81	26,01	1,26	29,69	25,92	1,09
$a - d_3 \operatorname{tg} \alpha_3$	0,14	0,14	0,14	0,31	0,31	0,31
Вычисленное V	29,95	26,15			26,23	
Измеренное непосредственно	—	—	—	30,00	—	
Среднее $V = 29,98$ м $i_0 = 26,19$ м						

Примечание. Среднее выведено из двух значений высот, определенных аналитически. Для подтверждения правильности полученных высот измерено непосредственно рулеткой расстояние от верха визирного цилиндра до верхней плоскости столика для прибора, равное 3,74 м. По данным аналитического определения $V = 29,98 - 26,19 = 3,79$ м. Таким образом, определение высот выполнено доброкачественно.

ную плоскость столика для инструмента и на центрировочный столик. Углы наклона соответственно на базисной точке I равны:

$$\alpha_1 = 33^\circ 30', \quad \alpha_2 = 30^\circ 05' \quad \text{и} \quad \alpha_3 = 1^\circ 36';$$

на базисной точке II

$$\alpha_1 = 30^\circ 41', \quad \alpha_2 = 27^\circ 27' \quad \text{и} \quad \alpha_3 = 1^\circ 15'.$$

Измерена высота центрировочного столика a , равная 1,40 м. Вычисление выполняют по следующей схеме (табл. 28).

2. На пункте Сосновка аналитическое определение высот знака выполнено с помощью разбивки в стороне от сигнала вспомогательного базиса, длина которого 50 м, угол наклона $\alpha = 4^\circ 30'$. Порядок ведения записей наблюдения и вычисления высот приведен в табл. 29.

Таблица 29

Определение высоты знака на п. Сосновка
Измерение горизонтальных углов

Станция	Место наведения		Отсчеты по верньерам			I + II	Углы с линией базиса
			I	II	среднее	2	
Базисная А	Базисная В	КП	0° 00,0'	01,0'	00,5'	0° 00,5'	56° 48'
		КЛ	180 00,5	00,5	00,5		
	Верх визирной цели	КП	56 48,5	48,5	48,5	56 48,8	
		КЛ	236 49,0	49,0	49,0		
	Столик для прибора	КП	56 46,0	47,0	46,5	56 46,8	
		КЛ	236 47,0	47,5	47,2		
Базисная В	Центрировочный столик	КП	56 45,5	45,0	45,2	56 45,6	56 45
		КЛ	36 46,0	46,0	46,0		
	Верх визирной цели	КП	0 04,5	05,5	05,0	0 04,9	
		КЛ	180 05,0	04,5	04,8		
	Столик для прибора	КП	0 02,5	03,0	02,8	0 03,0	
		КЛ	180 03,0	03,5	03,2		
	Центрировочный столик	КП	0 06,0	05,5	05,8	0 05,6	65 26
		КЛ	180 06,0	05,0	05,5		
	Базисная А	КП	65 31,0	31,5	31,2	65 31,8	
		КЛ	245 32,5	32,5	32,5		

Измерение углов наклона на Базисной А

Место наведения		Отсчеты по верньерам			МО	α
		I	II	среднее		
Верх визирной цели	КП	34° 05,5'	06,5'	34° 06'	+0° 01'	34° 05'
	КЛ	325 55,5	56,0	325 56		
Столик для инструмента	КП	31 04,5	04,0	31 04	359 59	31 05
	КЛ	328 55,0	55,0	328 55		
Центрировочный столик	КП	359 06,5	07,5	359 07	+0 01	—0 54
	КЛ	0 55,0	55,5	0 55		

Вычисление высот знака

Обозначения	Верх визир- ной цели l	Столик для инструмента i	Центриро- вочный столик
b	49,85	49,85	49,85
A	$56^{\circ} 48'$	$56^{\circ} 46'$	$56^{\circ} 45'$
B	65 27	65 29	65 26
$A + B$	122 15	122 15	122 11
$\lg b$	1,69 767	1,69 767	1,69 767
$\lg \sin B$	9,92 260	9,92 244	9,92 235
доп $\lg \sin (A + B)$	0,00 277	0,07 277	0,07 245
$\lg d$	1,69 304	1,69 288	1,69 247
$\lg \operatorname{tg} \alpha$	9,83 008	9,78 020	8,19 616
$\lg d \operatorname{tg} \alpha$	1,52 312	1,47 308	9,88 863
a	—	—	1,19
$d \operatorname{tg} \alpha$	33,35	29,72	—0,77
$a - d_s \operatorname{tg} \alpha_s$	1,96	1,96	1,96
Вычисленное V	35,31	31,68	—
Измеренное непосред- ственно	35,37	31,64	—
Среднее V	35,34	31,66	—

§ 39. ПОЛЕВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ТРИАНГУЛЯЦИИ

Полевые вычисления выполняются наблюдателем и помощником в процессе наблюдений. При этом предусматривается: во-первых, выполнение тщательного контроля вычислений полевых материалов (журналов, листов графического определения элементов приведения и т. д.) и проверка соблюдения допусков технической инструкции и, во-вторых, подготовка окончательных результатов наблюдений в виде таблиц измеренных горизонтальных направлений, сводок зенитных расстояний, сводных таблиц элементов центрировок и редукций данных вычисления высот знаков (i и v), определенных аналитически, подсчета невязок треугольников по мере их замыкания и вычисления средней квадратической погрешности измеренного угла по невязкам треугольников.

При выполнении полевых вычислений необходимо руководствоваться следующими требованиями. Значения измеренных углов и направлений в отдельных приемах вычисляют до $0,1''$; средние значения углов или направлений при составлении сводок в триангуляции 1 и 2 классов — до $0,01''$, 3 и 4 классов — до $0,1''$, ориентирных пунктов и зенитных расстояний — до $1''$; средние значения высот знаков — до $0,01$ м; средние значения расстояний до ориентирных пунктов — до 1 м. Контроль результатов наблюдений выполняют в процессе работы на пункте и заканчивают до отъезда с данного пункта. Полевые вычисления ведут в две руки и по возможности разными методами.

Наблюдательная бригада в процессе работы на пункте выполняет следующие полевые вычисления.

1. Проверка журналов измерения горизонтальных направлений. Обычно наблюдатель после каждого периода наблюдений (видимости) берет журнал и проверяет качество как записей, так и наблюдений выполненных приемов. Методика проверки не должна повторять тот ход вычислений, которым пользовался помощник для заполнения журнала во время наблюдений. Контрольные вычисления должны быть просты, не трудоемки и в то же время надежны от возможных просчетов. При контроле вычислений необходимо применять простейшие технические средства, например счеты, при этом процесс контрольных вычислений намного ускоряется и облегчается. Контроль будет действенным только тогда, когда ни одна страница, ни одна цифра в журнале не останутся бесконтрольными.

Порядок выполнения контрольных вычислений рассмотрим на примерах.

Пример 1. Контроль журнала измерения горизонтальных углов во всех комбинациях. Теодолит ОТ-02. Для проверки правильности вычисления в журнале среднего значения угла в приеме необходимо: подсчитать сумму отсчетов левого направления при круге Л и П и записать в контрольной ведомости против соответствующего направления; то же выполняют по правому направлению. Затем из суммы отсчетов по правому направлению вычитают сумму отсчетов левого направления и делят на два. Полученный результат будет равен среднему значению угла данного приема, вычисленного в журнале. Расхождения этих значений допускают не более $0,1''$. В противном случае вычисление этого приема в журнале и в контрольной ведомости выполняют заново. Ошибочно подсчитанные результаты в журнале аккуратно зачеркивают и сверху подписывают верный результат.

В табл. 30 дается образец контрольной ведомости.

При контроле углов, измеренных способом во всех комбинациях, большой эффект дает применение конторских счет. При этом процессы сложения, вычитания и деления выполняют только на счетах. При вычитании из суммы отсчетов по микрометру правого направления суммы отсчетов левого направления может оказаться, что Σ_2 меньше Σ_1 . В этом случае необходимо к Σ_2 прибавить одну минуту, предварительно переведенную в секунды и удвоенную, т. е. прибавить 120 (для ОТ-02).

Контроль углов, измеренных теодолитом ОТ-02М способом во всех комбинациях, выполняют так же, как показано в табл. 30

Таблица 30

Контрольная ведомость для способа во всех комбинациях
(проверка приема из табл. 23)

Угол приема	№ направлений	Отсчеты по лимбу	Σ отсчетов по микрометру	Среднее значение угла $\Sigma_2 - \Sigma_1$
1.4 I	1 4	14°08' 226 56	54,9 165,6	212°48'55,4"

Контрольная ведомость для измерения горизонтальных направлений
круговыми приемами
(прием IV, табл. 18)

Название направлений	Отсчет по лимбу	Σ отсчетов по микрометру $+ \delta_i$	$\frac{\Sigma_i - \Sigma_1}{2}$
Боровое	60°12'	130,6	0°00'00,0"
Круглое	117 56	85,7	57 43 37,2
Петровка	164 24	231,3	104 12 49,8
Сосновка	258 22	14,8	198 09 01,2
Клюквенка	1 50	61,4	301 37 24,3
Боровое	60 12	133,4	—
Незамыкание $\Delta = 133,4 - 130,6 = + 2,8''$.			

только разность отсчетов по микрометру правого и левого направлений делят не на два, а на четыре. Это определяется особенностями шкал микрометров применяемых инструментов.

Пример 2. Контроль журнала измерения горизонтальных направлений круговыми приемами. Теодолит ОТ-02.

Поправки в направления за замыкание горизонта вычисляют обычным порядком (см. § 31) и подписывают их под суммой всех четырех отсчетов соответствующего поправке направления. Затем вычитают верхнюю сумму отсчетов начального направления из всех последующих сумм с учетом соответствующих им поправок. Если Σ_i меньше Σ_1 (начального направления), то к Σ_i необходимо прибавить минуту ($60'' \times 2$), занятую в графе «отсчет по лимбу». Например, для направления Круглое получим $85,7 - 0,6 + (60'' \times 2) = -130,6 = 74,5$. Разделив эту величину на два, получают значение (число секунд) данного направления, которое должно сходиться с вычисленным в журнале значением этого направления. Расхождения допускают в пределах $\pm 0,1''$.

Вычисление градусов и минут в контролируемых приемах проверяют по каждому направлению обычным порядком и записывают в контрольную ведомость.

Контрольные вычисления наблюдений, выполненных теодолитами ОТ-02М и Т2, ведут таким же образом, как для ОТ-02, только для получения конечного результата разность $\Sigma_i - \Sigma_1$ делят на четыре.

2. Составление сводок результатов наблюдений. Сводки результатов наблюдений горизонтальных направлений и углов и зенитных расстояний составляют на стандартных бланках в двух экземплярах.

Составление сводок круговых приемов начинают после выполнения тщательной проверки журналов угловых измерений. При этом в бланки сводок выписывают результаты всех исполненных и законченных приемов в порядке их номеров. Если какое-либо направление в приеме было пропущено, то в следующей за этим

приемом строке записывают результаты пропущенного направления и двух смежных с ним направлений, донаблюденных позже. В следующей строке для данного приема записывают средние значения связующих направлений, а их первоначальные значения берут в скобки. Например [11, прил. 34, прием V, стр. 238]:

№ приема	Направления			
	2	3	4	5
V (основ.)	. . .	(28,3)	—	(05,7)
V (повтор.)		(26,1)	46,2	(09,5)
V ср.		27,2		07,6

Таким образом, все значения направлений основного приема, значения донаблюденных направлений (пропущенного и связующих) и средние значения последних записывают в три строки подряд. Повторные приемы, выполненные после окончания наблюдений основной программы из-за недопустимых расхождений значений отдельных направлений в приемах, записывают после всех приемов основной программы. Средние значения связующих направлений этих приемов записывают ниже всех повторных приемов (табл. 31).

Кроме этих данных в сводки выписывают наибольшие значения замыканий горизонта и колебаний 2С (Л—П) в каждом приеме, значения измеренных направлений на ориентирные пункты и расстояний до них, высоты над маркой верхнего центра столика для инструмента, горизонтальной оси теодолита и верха визирного цилиндра, название пункта, класс триангуляции, тип знака, марку теодолита и его номер, дату наблюдений и фамилию наблюдателя (см. табл. 31).

Вписанные в сводку значения направлений в приемах считывают с данными журнала. Затем проверяют наибольшее колебание значений каждого направления в приемах. Убедившись, что они не выходят за пределы допуска (см. табл. 19, § 31), начинают вычислять среднее значение каждого направления и отклонений его v от значений данного направления в каждом приеме (в 1 и 2 классах до 0,01", в 3 и 4 — до 0,1"). При этом обращают внимание на правильность выбраковки недоброкачественных приемонаправлений. Если приемы повторяли из-за недопустимых расхождений значений направлений, то результаты этих направлений основных приемов аккуратно вычеркивают и в обработку берут значения направлений повторных приемов. Для связующих направлений, включенных в повторные приемы, в обработку берут среднее из значений этого направления основного и повторного приемов, если значения направления этих приемов и их среднее находятся в пределах допуска. Это среднее значение направления пишут ниже всех повторных приемов. Значения направления основного и повторного приемов заключают в круглые скобки и в выводе среднего значения направления не включают (см. табл. 31).

Триангуляция 3 класса 1973 г.

Таблица 31

Сводка результатов наблюдений горизонтальных направлений и зенитных расстояний на пункте Березовка № 215

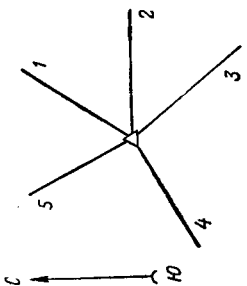
Наблюдатель — Валишев В.

Инструмент — Т2 № 105313

Журнал № 2

Тип знака — простой сигнал

Наблюдения выполнены с 6 по 7. V. 1973 г.

Чертеж направлений	№ направлений	Название направлений	Уравнение на станции направления о' "	$(c'' + r'')$	Приведенные к центрам направлений о' "	Число направлений и приемов, вес направления, средние квадратические ошибки
	1	Боровое	0 00 00,0			$n = 5$
	2	Круглое	57 43 36,1			$m = 12$
	3	Петровка	104 12 52,5			
	4	Сосновка	198 09 04,3			
	5	Клюквенка	301 37 23,7			$\mu = \pm 1,76''$ $M = \pm 0,51''$
Ориентирный пункт 1			93 07 17			$d_1 = 426 \text{ м}$
Ориентирный пункт 2			264 48 49			$d_2 = 743 \text{ м}$

Выход средних направлений на пункте Березовка

Начальное направление Боровое 0°00 00 00"

Дата наблюдений	№ приема	Установка лимба	Круглое		Петровка		Сосновка		Клюквенка		Наибольшие	
			°	'	°	'	°	'	°	'	замыкания	колебания (Л—П)
6. V. 1973	I	0°00'	57 43	33,7	104 12	52,1	198 09	04,8	301 37	21,9	-1,8	6,4
	II	15 10	33,8	-2,3	49,8	-2,7	04,6	23,2	21,9	-0,5	-0,8	8,0
	III	30 20	36,8	+0,7	50,5	-2,0	04,0	25,0	23,2	+1,3	+2,1	5,1
	IV	45 30	39,2	+3,1	51,0	-1,5	03,2	25,3	25,3	+1,6	-1,0	6,6
	V	60 40	35,7	-0,4	55,8	+3,3	08,6	19,2	19,2	-2,6	-4,8	4,0
	VI	75 50	38,6	+2,5	54,5	+2,0	06,4	27,1	27,1	+3,4	-2,0	5,3
7. V. 1973	VII	91 00	38,0	+1,9	53,5	+1,0	05,8	24,8	24,8	+1,1	-2,0	7,6
	VIII	106 10	36,9	+0,8	55,7	+3,2	03,6	22,9	22,9	-0,7	-2,0	3,3
	IX	121 20	37,7	+1,6	53,4	+0,9	07,9	25,7	25,7	+0,9	+4,6	5,7
	X	136 30	34,2	-1,9	51,7	-0,8	04,9	24,6	24,6	-5,1	-5,1	4,9
	XI	151 40	36,0	-0,1	53,6	+1,1	05,5	23,4	23,4	-0,3	+3,6	6,0
	XII	166 50	32,1	-4,0	48,3	-4,2	02,7	20,9	20,9	-2,8	-1,2	7,2
Среднее			57 43 36,1	10,6	104 12 52,5	11,5	198 09 04,3	7,2	301 37 23,7	10,5	$\Sigma v = 80,2$	
				11,1		11,6		7,1				

Группа ориентирных пунктов

Средняя квадратическая погрешность направления

из 1 приема $\mu = K \frac{||v||}{n}$;

из m приемов $M = \frac{\mu}{\sqrt{m}}$,

 m — число приемов, n — число направлений.

Сводку составил: В. В. Валишев

10 мая 1973 г.

Проверил: Н. Н. Арашин

Подсчитав средние значения всех направлений, вычисляют отклонения от них значений данного направления в каждом приеме с учетом знака v . Затем по каждому направлению подсчитывают суммы v с плюсом и минусом. При правильном вычислении среднего значения направления суммы положительных и отрицательных v для данного направления должны быть равны или отличаться за счет округлений в пределах $m : 2$ единиц последнего знака, где m — число приемов.

Оценку точности угловых измерений при применении способа круговых приемов производят по формулам:

для вывода средней квадратической погрешности направления, измеренного одним приемом,

$$\mu = \pm K \frac{\Sigma |v|}{n},$$

для средней квадратической погрешности уравниваемого на станции направления, выведенного из m приемов,

$$M = \pm \frac{\mu}{\sqrt{m}},$$

где $\Sigma |v|$ — сумма абсолютных значений отклонений измеренных направлений от их средних арифметических значений из всех приемов, взятых в обработку; K — множитель при $m = 6, 9, 12$ или 15 равен соответственно $0,23, 0,15, 0,11$ или $0,09$; n — число направлений и m — число приемов.

Вычисленные средние (уравненные на станции) значения всех направлений и средние квадратические ошибки μ и M записывают на первой странице сводки. Здесь же записывают средние значения направлений на ориентирные пункты и дают ориентированный чертеж отнаблюдаемых направлений.

Составление сводок для способа измерения углов во всех комбинациях. Составление сводок начинают, как и в способе круговых приемов, с выписки из журнала результатов наблюдений и других необходимых данных. Первая страница сводки (табл. 32) почти полностью повторяет содержание предыдущей (см. табл. 31). На второй странице выводят среднее значение для каждого измеренного угла, выписывают значение угла с точностью до десятой доли секунды из первого и второго полуприемов, дату наблюдений, № приемов, установки лимба. Выписав все данные, необходимо проверить, правильно ли выписаны величины углов для каждого полуприема и приема, для этого считывают их с журналом.

Произведя проверку, начинают вычислять средние значения углов для каждого полуприема и затем из всех приемов. При этом основные приемы, переделанные из-за недопустимых расхождений их значений, в сводку включают, а в обработку не берут, аккуратно вычеркивая. В обработку включают значения углов повторного приема (см. табл. 32). Вычисленное среднее значение каждого угла из всех приемов контролируют по средним значениям этого же угла в полуприемах (оно равно полусумме их значений). Расхождения допускаются в пределах $0,01-0,02''$.

**Сводка
результатов измерений горизонтальных углов на пункте**

Полигонный № 129

(способом измерения углов во всех комбинациях)

Триангуляция 2 класса 1974 г.

Наблюдатель — *Валишев В.*

Инструмент — *ОТ-02М № 21512*

Журнал № 1

Чертеж
направлений

Тип знака — *сложный сигнал*

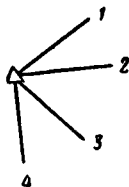
Высота над маркой верхнего центра:

столика для приборов 15,32 м

горизонтальной оси

теодолита 15,67 м

верха визирной цели 18,95 м



Наблюдения выполнены с 15 по 17.V.1974 г.

№ пункта	Названия направлений	Уравненные на станции направления, " ' "	$(c'' + r'')_0$, "	Приведенные к центрам направления, " ' "	Число направлений и приемов, вес направления, средние квадратические ошибки
1	Лесной	0 00 00,00			$n = 4$
2	Дальний	44 15 30,76			$m = 6$
3	Басандайка	93 48 08,47			$nm = 24$
4	Утес	141 33 10,06			$\mu = \pm 1,37''$ $M = \pm 0,28$

Вывод средних направлений на пункте *Полигонный*

Начальное направление *Лесной*

Дата наблюдения	№ приема	Установка лимба, ° '	Значение угла, "		
			I полуприем	II полуприем	Среднее
Угол 1.2 (44°15')					
15. V. 1973 г.	I	0 00			
»	II	30 05			
»	III	60 10	34,3	27,0	30,6
»	IV	90 15	31,2	30,0	30,6
16. V. 1973 г.	V	120 20	31,7	29,1	30,4
»	VI	150 25	28,3	32,2	30,2
17. V. 1973 г.		0 00	26,7	30,5	28,6
»		30 05	32,2	30,8	31,5
Среднее			30,43	30,22	30,32

Дата наблюдения	№ приема	Установка лимба, °	Значение угла, "		
			I полуприем	II полуприем	Среднее
Угол 1.4 (141°33')					
15. V. 1973 г.	I	20 10	09,1	06,7	07,9
»	II	50 15	11,5	10,8	11,2
»	III	80 20	09,5	12,5	11,0
»	IV	110 25	09,7	08,1	08,9
16. V. 1973 г.	V	140 30	14,7	10,5	12,6
»	VI	170 35	09,6	08,3	09,0
Среднее			10,68	09,48	10,10
Угол 2.4 (97°18')					
16. V. 1973 г.	I	54 20	40,7	35,2	38,0
»	II	84 25	42,2	41,4	41,8
»	III	114 30	36,4	36,3	36,4
16. V. 1973 г.	IV	144 35	39,7	41,2	40,4
»	V	174 40	39,0	42,1	40,6
»	VI	204 45	38,8	41,3	40,0
Среднее			39,47	39,58	39,53
Угол 1.3 (93°48')					
15. V. 1973 г.	I	10 05	07,7	09,9	08,8
»	II	40 10	07,5	08,5	08,0
»	III	70 15	09,0	08,6	08,8
»	IV	100 20	08,6	06,6	07,6
16. V. 1973 г.	V	130 25	09,4	09,4	09,4
»	VI	160 30	11,3	09,8	10,6
Среднее			08,92	08,80	08,87
Угол 2.3 (49°33')					
15. V. 1973 г.	I	64 25	36,5	35,7	36,1
»	II	94 30	37,6	35,8	36,7
»	III	124 35	32,3	35,5	33,9
»	IV	154 40	41,8	36,7	39,2
16. V. 1973 г.	V	184 45	38,8	39,8	39,3
»	VI	214 50	39,2	34,7	37,0
		124 35	33,6	36,4	35,0
		184 45	37,3	39,2	38,2
Среднее			37,67	36,42	37,03
Угол 3.4 (47°45')					
5. V. 1973-г.	I	98 48	00,1	02,7	01,4
»	II	123 53	00,4	02,6	01,5
»	III	153 58	01,0	00,5	00,8
6. V. 1973 г.	IV	184 03	02,9	00,0	01,4
»	V	214 08	04,5	02,4	03,4
»	VI	224 13	01,6	15'57,2"	15'59,4"
Среднее			01,75	00,90	01,32

Уравнивание измеренных углов на станции

1.2	1.3	1.4	2.3	2.4	3.4
30,32	08,87	10,10	37,03	39,53	01,32
30,32	08,87	10,10	37,03	39,53	01,32
30,57	08,78	09,85	38,21	39,78	01,23
31,84	07,35	10,19	38,55	38,35	02,50
Среднее 30,76 $v = -0,44$	08,47 +0,40	10,06 +0,04	37,71 -0,68 $\Sigma v^2 = 0,9434$	39,30 +0,23	01,59 -0,27

Сводку составил: П. Н. Ефимов

Проверил: В. В. Валишев

Получив средние значения всех измеренных углов, приступают к уравниванию их на станции. Для этого в форму, расположенную в конце «сводки результатов», выписывают в соответствующие графы средние значения измеренных углов. В соответствии с правилом уравнивания угла на станции средние значения каждого измеренного угла записывают дважды, т. е. с весом 2. Затем вычисляют значения углов из комбинаций и их результаты записывают в соответствующие им графы. По этим значениям, два из которых непосредственно измерены, а остальные получены как сумма или разность 2-х измеренных углов, вычисляют уравненные на станции значения каждого угла (см. табл. 32). При этом колебания средних значений одного и того же угла, полученных из непосредственно измеренных его значений и вычисленных из комбинаций, не должны превышать 3 или 4", что зависит от числа направлений на пункте (см. табл. 24).

Контроль уравненного значения каждого угла выполняют так же, как при вычислении углов из комбинаций, только значение уравненного угла при этом вычисляют как сумму или разность двух других уравненных углов. Расхождение уравненного угла с любой комбинацией его допускается в пределах 0,01".

Убедившись в правильности выполненного уравнивания на станции, вычисляют для каждого угла разность между непосредственно измеренным его значением и уравненным (v) и производят оценку точности.

Средняя квадратическая погрешность угла из одного приема вычисляется по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{2m\Sigma v^2}{(n-1)(n-2)}}.$$

Средняя квадратическая погрешность направления, урванного на станции,

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{mn}},$$

где m — число приемов; n — число направлений.

3. Приведение измеренных направлений к центрам знаков. Обработку и проверку центрировочных листов выполняют, как правило, сразу же после окончания графического определения элементов приведения на данном пункте. При обработке центрировочного листа производят измерения линейных элементов приведений с помощью линейки до 1 мм, угловых — геодезическим транспортиром с точностью до 15'. Полученные значения l , l_1 , Θ и Θ_1 записывают в верхней части центрировочного листа, при этом против значений Θ и Θ_1 обязательно указывают названия соответствующих им направлений. Предпочтительно Θ и Θ_1 связывать с начальным направлением. Это упрощает вычисление Θ для остальных направлений данного пункта.

Одновременно транспортиром измеряют контрольный угол между прочерченными на центрировочном листе двумя направлениями и значение его записывают. Рядом записывается значение этого же угла из наблюдений, т. е. измеренного теодолитом. Расхождение между графически определенным и измеренным теодолитом углами допускается в пределах 0,5—2° в зависимости от величины линейного элемента центрировки или редукции (см. § 36). Одновременно с измерением контрольного угла транспортиром от прочерченного начального направления измеряют направления на ориентирные пункты. Результаты измерений записывают на центрировочном листе.

Для окончательного оформления центрировочного листа необходимо основные элементы, нанесенные на листе карандашом, поднять (т. е. аккуратно вычертить) тушью или чернилами. Тушью вычерчивают линейные элементы центрировки и редукции l и l_1 , направления на пункты триангуляции, на ориентирные пункты и направление магнитного меридиана. Чтобы не затенять проекции точек I , V и C , необходимо их аккуратно обвести кружками диаметром 3—4 мм и линии прочерчивать только до кружков. Все ориентирующие направления от точек I и V показываются линиями, заканчивающимися стрелками длиной около 10 см и сопровождаются надписями соответствующих им направлений (см. рис. 79).

Если линейные элементы l и l_1 меньше 10 см, то для повышения точности измерения углов и направлений необходимо их продлить карандашом в обе стороны от точек I и V до 10 см.

Проверку центрировочных листов в процессе наблюдений производит, как правило, наблюдатель. При этом он проверяет, допустим ли размер треугольников погрешностей, точность выполненных измерений элементов l , l_1 , Θ и Θ_1 , правильность нанесения ориентирующих направлений (на пункты триангуляции и ориен-

тирные пункты), полноту содержания центрировочного листа, качество его обработки и оформления.

После того как центрировочные листы обработаны и проверены, результаты каждого определения необходимо занести в сводную таблицу элементов приведений (табл. 33). По результатам, приведенным в табл. 33, видно, как обеспечены наблюдения определениями центрировок и редукиций, их стабильность, частоту определения. Сводная таблица облегчает вычисление ориентирующих углов Θ от одного направления к другому и обеспечивает подготовку необходимых данных для вычисления поправок за центрировку и редукицию.

Подготовка данных для вычисления поправок за центрировку и редукицию заключается в выводе средних значений элементов приведений. Из результатов двух смежных определений элементов приведения, которые являются ближайшими по времени к периоду угловых измерений на данном пункте, для вывода средних значений элементов центрировки берут определения, выполненные до начала наблюдений и после их окончания. Для этого из сводной таблицы выбирают значения линейного элемента центрировки и вычисляют среднее из них, так же поступают и с угловым элементом центрировки. Однако при этом необходимо иметь в виду, что в сводной таблице (см. табл. 33) значение Θ выписано для одного (начального) направления, хотя на центрировочном листе угловой элемент Θ и Θ_1 измеряют на оба прочерченные направления. Таким образом, прежде чем вписать в сводную таблицу значение углового элемента Θ или Θ_1 , вычисляют его среднее значение, приведенное к начальному направлению, по формуле

$$\Theta_{\text{ср}} = \frac{\Theta_A + \Theta_B - M_{AB}}{2},$$

где M_{AB} — измеренный теодолитом угол между направлениями A и B ; Θ_A и Θ_B — угловой элемент, измеренный транспортиром на центрировочном листе на эти же направления (см. табл. 33).

Средние значения элементов центрировки иногда вычисляют из трех результатов, если на пункте выполнено три определения центрировки и все они находятся в пределах установленного допуска.

Средние значения элементов редукиции разрешается брать из всех определений, выполненных на данном пункте, если они имеют вполне удовлетворительную сходимость.

Вычисления поправок за центрировку и редукицию производят по формулам и схемам, приведенным в главе VII «Предварительные вычисления в триангуляции».

В полевых условиях поправки за центрировку и редукицию определяют любым приближенным способом, обеспечивающим точность вычислений в пределах $0,1-0,2''$. Для этой цели используют номограммы, палетки, таблицы и др.

Наибольшее применение в полевых условиях получила номограмма под названием «транспортир наблюдателя» (рис. 83).

Сводная таблица элементов центрировок и редукций

№ и название пункта, вид элемента приведения	№	Дата определения	Элементы приведения			θ и θ_1 , приведен- ные к на- чальному направле- нию	Направления	
			l и l_1	θ и θ_1	на пункт.		название	значение
215 Березовка Центрировка	41	5. V. 1973 г.	0,064	26°15'	Боровое	26°16'	Боровое	0°00'
				84 00	Круглое		Круглое	57 44
	45	7. V. 1973 г.	0,070	22 00	Боровое	22 38	Петровка	104 13
				81 15	Круглое		Сосновка	198 09
	41	5. V. 1973 г.	0,143	80 15	Боровое	80 23	Клюквенка	301 37
Редукция				138 15	Круглое		Ор. п № 1	93 07
	45	7. V. 1973 г.	0,138	83 30	Боровое	83 38	Ор. п № 2	264 49
				141 30	Круглое			
	56	10. VII. 1973 г.	0,140	82 15	Боровое	82 16		
				140 00	Круглое			
216 Круглое				217 30	Березовка	217 14	Березовка	0 00
	38	4. V. 1973 г.	0,098	155 45	Боровое		Боровое	61 12
							Новогорное	119 47

номограмме нанесены наклонные линии, являющиеся величинами одинаковых поправок.

Линии поправок рассчитывают из отношения

$$c'' = \frac{d_i p''}{s} \text{ или } r'' = \frac{d_o p''}{s},$$

где c'' и r'' — поправки за центрировку и редукцию; d_i и d_o — длина перпендикуляра, опущенного соответственно из проекции оси теодолита или проекции визирной цели на направление (или его продолжение), для которого определяют поправки. При этом данное направление должно проходить через проекцию центра знака, d берется в миллиметрах; s — расстояние до пункта в километрах (или логарифм этого расстояния).

Обозначив в этих формулах dp'' через P , получим окончательную формулу, которая является основой для построения номограммы:

$$c'' = \frac{P}{s}.$$

Наклонные линии поправок нанесены через $0,1''$. Линии, соответствующие целым секундам, показаны утолщенными. Подписи линий поправок даны через $0,5''$.

Для определения поправок за центрировку и редукцию с помощью номограммы «транспортir наблюдателя» не требуется дополнительной подготовки. Центрировочный лист должен быть в оформленном виде и обязательно с прочерченным на нем направлением на начальный пункт. Кроме того, необходимо знать значения направлений до минут, измеренные от начального пункта, и расстояния до пунктов с точностью до $0,1$ км. Эти расстояния берут с карты, со схемы триангуляции, вычерченной в масштабе, или получают из решения треугольников.

Для определения поправки за центрировку или редукцию номограмму накладывают на центрировочный лист, центр транспорта ее совмещают с проекцией оси визирной цели и поворачивают номограмму вокруг центра транспорта до тех пор, пока линия начального направления на центрировочном листе не совместится с отчетом на транспорте, соответствующим углу между начальным направлением и направлением на пункт, для которого определяют поправку. Затем мысленно перемещают точку C (проекцию центра знака) параллельно линиям P номограммы до вертикальной линии, соответствующей расстоянию до данного пункта, и производят отсчет поправки. Величина поправки фиксируется положением точки C относительно наклонных линий номограммы. При этом сотые доли секунд поправки получают интерполированием на глаз. Таким же образом интерполируют и десятые доли расстояния, для которого определяют поправку.

Если расстояние до пункта выходит за пределы шкалы расстояний номограммы (5 — 15 км), то его необходимо увеличить или уменьшить в 2 раза. Определенные по измененному расстоя-

Определение поправок за центрировку на п. Березовка с помощью номограмм и таблиц*

Название направлений	Значения M	s , км	Поправки, определенные номограммо-транспортом			Поправка, вычисленная по таблицам по средним l и θ	Поправка, определенная по номограмме ВТУ
			по центрировочному листу № 41 $l = 0,064$ $\theta = 26^\circ 15'$ на п. Боровое	по центрировочному листу № 45 $l = 0,070$ $\theta = 22^\circ 00'$	средняя поправка из двух определений		
1	2	3	4	5	6	7	8
Боровое	$0^\circ 00'$	7,31	+0,81	+0,76	+0,78	+0,77	+0,76
Круглое	57 44	8,12	+1,66	+1,78	+1,72	+1,68	+1,70
Петровка	104 13	6,80	+1,48	+1,68	+1,58	+1,59	+1,58
Сосновка	198 09	10,53	-0,90	-0,91	-0,90	-0,88	-0,86
Клюквенка	301 37	16,22	-0,43	-0,54	-0,48	-0,48	-0,48
ОРП № 1	93 07	0,43	+27,2	+30,8	+29,0	+28,6	+28,8
ОРП № 2	264 49	0,74	-16,8	-18,8	-17,8	-17,6	-17,4

* Таблицы см. в прил. 1.

нию поправки соответственно увеличивают или уменьшают в два раза.

Аналогично поступают, когда линейный элемент центрировки или редукции превышает 12,5 см. В этом случае графически делят его пополам и для полученной точки определяют поправку, которую затем удваивают.

Знак поправки определяют по транспорту номограммы. Если проекция центра знака в момент определения поправки расположится вправо от нулевого диаметра ($180-0^\circ$), то знак поправки будет минус, если влево — знак плюс. Эти знаки будут противоположны тем, которые даны на номограмме, вследствие того, что номограмма составлена для положения, когда проекция центра знака располагается на нулевом диаметре транспорта. Поправку в этом случае определяют по положению точки I (проекции оси теодолита) или точки V (проекции оси визирной цели). Эти случаи здесь не рассматриваются, так как они требуют дополнительных построений на центрировочном листе и более трудоемки.

В целях исключения погрешности в знаке поправок, определенных любым приближенным способом, их необходимо контролировать по знаку синуса угла ($\theta + M$) данного направления.

Пример определения поправок с помощью рассмотренной выше номограммы дан в табл. 34. В ней значения поправок даны до сотых долей секунд, чтобы нагляднее показать величины расхождений их, полученных из разных определений.

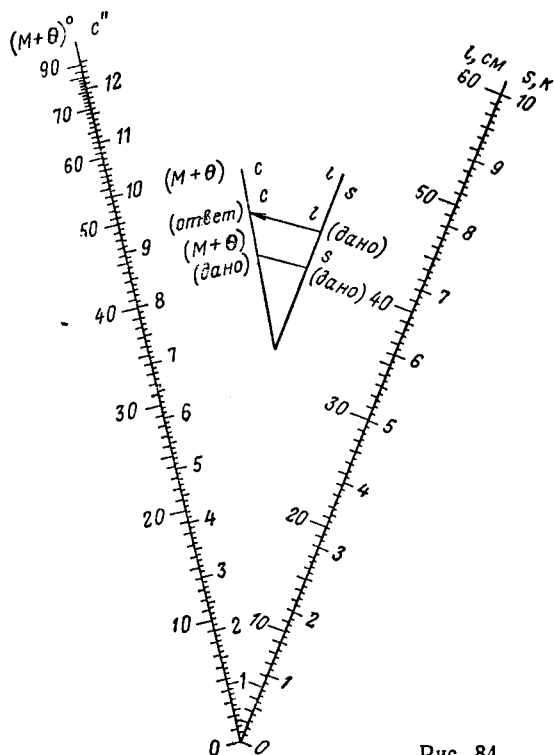


Рис. 84

Поправки за центрировку и редукцию можно также получить, пользуясь таблицей (см. прил. 1), в которой даны значения величин

$$K = \frac{\rho'' \sin (M + \theta)}{1000}.$$

Поправки вычисляют по формулам

$$c'' = \frac{Kl}{s_{\text{км}}} \quad \text{и} \quad r'' = \frac{Kl_l}{s_{\text{км}}},$$

где s — длина линии в км (обычно берут с точностью до 0,01 км, для полевых вычислений достаточно до 0,1 км).

Значения величин K выбирают из таблиц по аргументам $M + \theta$ или $M + \theta_1$. Знак поправки определяют по знаку синуса угла.

В табл. 34 (графа 7) даны значения поправок за центрировку, вычисленных по указанным выше таблицам.

В той же табл. 34 (графа 8) приведены значения поправок, определенных с помощью номограммы, изображенной на рис. 84. При помощи этой номограммы определяют поправки в триангуляции 3 и 4 классов. Поправки c'' и r'' по этой номограмме опреде-

ляют графически. Номограмма имеет вид острого угла с четырьмя шкалами: $(M + \Theta)^0$, $s_{\text{км}}$, $l_{\text{см}}$ и c'' . Определение поправок производят в следующем порядке. Пометки на шкалах $s_{\text{км}}$ и $M + \Theta$, соответствующие заданным значениям этих величин, соединяют прямой линией. Затем через пометку на шкале l , равную заданному значению l , проводят линию, параллельную первой. В пересечении второй линии со шкалой c'' берут отсчет искомого значения центрировки или редукции. При этом линии на номограмме не чертят, а с помощью линейки соединяют на шкалах нужные пометки (отсчеты).

При определении поправок этой номограммой указанные выше действия удобно выполнять при помощи линейки и прозрачного треугольника, который можно перемещать параллельно вдоль линейки.

Для повышения точности отсчитывания по этой номограмме необходимо не допускать пересечения шкал параллельными линиями под острым углом. Для этого достаточно величину $s_{\text{км}}$ уменьшить или увеличить в два раза, соответственно уменьшив или увеличив полученное значение поправки. При изменении величины l в несколько раз значение поправки изменится во столько же раз, но в обратном направлении (если l увеличено в два раза, то поправка должна быть уменьшена вдвое).

Значения поправок за центрировку и редукцию в полевых условиях можно также получить вычислением их на счетной геодезической линейке ВТС и по другим номограммам и таблицам.

Рассмотренные способы и примеры по определению поправок c'' и r'' , как видно из табл. 34, вполне удовлетворяют требованиям полевых вычислений.

По мере замыкания треугольников и других фигур наблюдатель подсчитывает невязки треугольников по направлениям, приведенным к центрам знаков. При этом обязательно учитывает сферические избытки треугольников, определяемые любым приближенным способом с точностью до 0,1—0,2 (по номограммам, таблицам и др.).

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ТРИАНГУЛЯЦИИ

§ 40. ЦЕЛЬ, СОДЕРЖАНИЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

1. Целью предварительных вычислений в триангуляции является определение качества полевых измерений, соответствия их требованиям инструкции и подготовка результатов измерения для дальнейшей обработки — уравнивания и получения координат пунктов триангуляции.

2. Содержание и последовательность предварительных вычислений:

- а) оформление и проверка журналов полевых измерений горизонтальных углов или направлений, зенитных расстояний;
- б) оформление и проверка центрировочных листов;
- в) составление «Сводок результатов измерения горизонтальных направлений» и «Сводок измерения зенитных расстояний».

Обычно сводки составляются наблюдателем во время его пребывания на пункте. В камеральных условиях на базе экспедиции все полевые материалы или перевычисляются с большей точностью, или выборочно тщательно проверяются. В настоящем практикуме эта часть предварительной обработки изложена в главе VI.

Последующие работы выполняются в камеральной группе в процессе составления «Карточки предварительной обработки» на каждый пункт триангуляции;

- г) составление рабочей схемы триангуляции;
- д) приближенное решение треугольников и вычисление их сферических избытков;

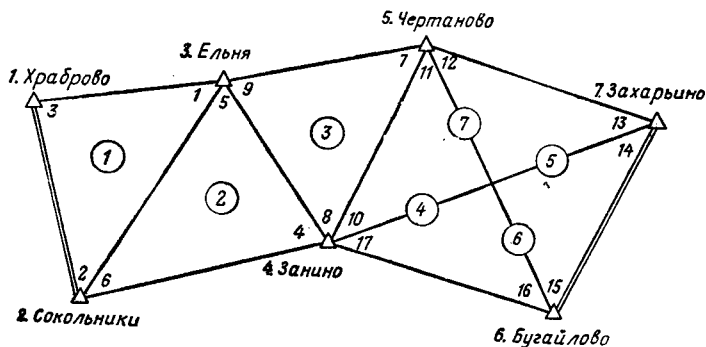


Рис. 85

- е) вычисление поправок в направления за центрировку и редукцию, получение приведенных к центрам знаков направлений;
- ж) вычисление приближенных координат пунктов;
- з) вычисление поправок в направления за кривизну изображения геодезических линий на плоскости в проекции Гаусса (редукции направлений) и редуцирование на плоскость горизонтальных направлений;
- и) оценка точности измерений;
- к) обработка тригонометрического нивелирования и вычисления высот пунктов триангуляции;
- л) вычисление рабочих координат определяемых пунктов.
- Последовательность перечисленных работ рассмотрим на примере предварительной обработки триангуляции 2 класса (рис. 85).

§ 41. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Перед началом вычислений составляется «Список исходных данных» (табл. 35), который содержит:

- 1) прямоугольные координаты исходных пунктов в системе Гаусса — Крюгера;
- 2) дирекционные углы и длины сторон между исходными пунктами;
- 3) длины базисных сторон, если они есть в сети.

Выписывается сводка результатов измерения горизонтальных направлений (табл. 36 и 37).

Исходные данные могут быть, например, в геодезической системе координат, а не в прямоугольной. В этом случае нужно решить задачу перехода от геодезических координат к прямоугольным (см. главу XI). Если нет дирекционных углов и длин сторон, нужно решить обратную геодезическую задачу на плоскости.

Допустим, даны координаты двух пунктов: x_1y_1 и x_2y_2 . Найти α_{12} — дирекционный угол и d_{12} — длину стороны. Для этого воспользуемся формулами:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_{12} &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \\ d_{12} &= \frac{y_2 - y_1}{\sin \alpha_{12}} = \frac{x_2 - x_1}{\cos \alpha_{12}} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

При составлении списка исходных данных особое внимание должно быть обращено на правильность их выборки и выписки из каталога координат или других источников. Поэтому список составляется двумя вычислителями независимо друг от друга.

§ 42. СОСТАВЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ СХЕМЫ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Рабочая схема составляется в масштабе 1:500 000 или 1:300 000 при обработке обширных сетей и вычерчивается на плотной бумаге. Исходные пункты наносятся по координатам, а остальные

Список исходных данных

№ пунктов	Название пунктов	Класс	На сфере			
			Геодезические координаты		Азимут линии A	lg S
			B	L		
1	Храброво	1	54°46'31,674"	43°49'17,564"	135°35'26,58"	4.3399489
2	Соколяники	1	—	—	—	—
6	Бугайлово	2	—	—	—	—
7	Захарьино	2	—	—	—	—
						21875,04

Продолжение табл. 35

№ пунктов	Название пунктов	Класс	На плоскости				
			L	Прямоугольные координаты Гаусса		Дирекционный угол α	lg d
				X	Y		
1	Храброво	1	45°	6072978,380	8424165,807	136°33'09,54"	4.3399739
2	Соколяники	1					
6	Бугайлово	2		—	—	8°59'01,82"	3.9946040
7	Захарьино	2		—	—		9876,52

Примечания: 1. Вычисления прямоугольных координат X и Y по геодезическим и редуцированным на плоскость длинам линий Храброво — Соколяники и ее азимута выполнены в главе XI.
2. Дирекционный угол и длина базисной стороны Бугайлово — Захарьино редуцированы на плоскость.

Измеренные направления на пунктах триангуляции

1. Храброво	2. Соколыньки	3. Елья	4. Занино	5. Чертаново	6. Бугайлово	7. Захарьино
3 0°00'00,00"	1 0°00'00,00"	5 0°00'00,00"	2 0°00'00,00"	7 0°00'00,00"	4 0°00'00,00"	6 0°00'00,00"
2 57 42 54,33	3 38 52 41,52	4 32 41 55,09	3 59 03 06,61	6 29 22 45,24	5 28 59 31,37	4 65 54 56,86
	4 85 31 42,64	2 106 59 45,51	5 146 14 08,11	4 66 46 11,66	7 67 02 48,28	5 112 33 59,78
		1 190 24 11,41	7 212 48 56,02	3 126 53 15,44		
			6 259 51 10,36			

Выписал: А. Н. Попов

13 декабря 1973 г.

Таблица средних элементов приведения на пунктах триангуляции

№ пунктов	Название	Центрировка			Редукция		
		l	θ	на пункт	l_i	θ_i	на пункт
1	Храброво	0,043	88°15'	Елья (3)	0,087	157°30'	Елья (3)
2	Соколыньки	0,056	35 15	Храброво (1)	0,073	102 30	Храброво (1)
3	Елья	0,060	98 30	Чертаново (5)	0,101	206 00	Чертаново (5)
4	Занино	0,038	67 30	Соколыньки (2)	0,096	67 30	Соколыньки (2)
5	Чертаново	0,076	138 30	Захарьино (7)	0,081	218 15	Захарьино (7)
6	Бугайлово	0,027	27 30	Занино (4)	0,069	83 15	Занино (4)
7	Захарьино	0,053	223 15	Бугайлово (6)	0,059	39 30	Бугайлово (6)

Выписал: А. В. Попов

13 декабря 1973 г.

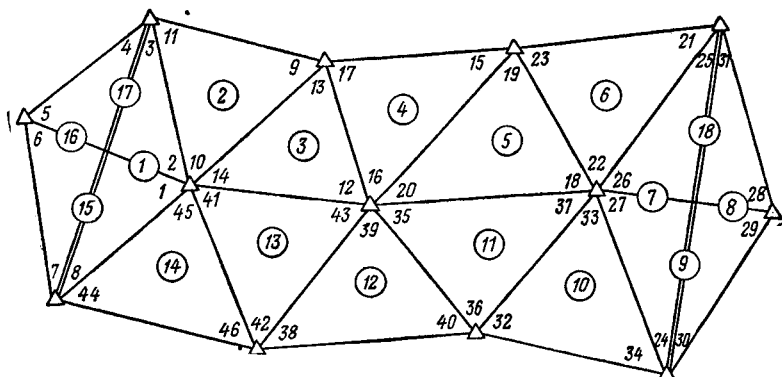


Рис. 86

строятся графическими засечками по углам от исходных пунктов. Каждому классу триангуляции на схеме должен соответствовать свой цвет. На схеме выписываются номера треугольников, начиная от исходной стороны. Углы в каждом треугольнике нумеруются по правилу: первый порядковый номер получает угол, лежащий против исходной стороны, второй — против промежуточной и третий — против связующей. На рис. 86 приводится пример составления схемы. Такой порядок составления схемы удобен при последующем решении треугольников.

§ 43. ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ТРЕУГОЛЬНИКОВ И ВЫЧИСЛЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ИЗЫТКОВ

Приближенное решение треугольников выполняется для получения длин сторон треугольников, нужных в дальнейшем для вычисления поправок за центрировку и редукцию, сферических избытков и приближенных координат определяемых пунктов. Обозначим в треугольнике (рис. 87) исходную сторону через b , определяемые через a и c и измеренные углы через B , A и C .

Из формул линейной тригонометрии следует, что

$$a = \frac{b}{\sin B} \sin A; \quad c = \frac{b}{\sin B} \sin C$$

или

$$\left. \begin{aligned} a &= K \sin A \\ c &= K \sin C \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

где

$$K = \frac{b}{\sin B}$$

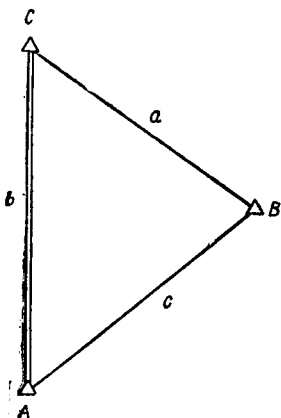


Рис. 87

Приближенное решение треугольников и вычисление сферических избытков
Нелогарифмическая схема

$$a = b \frac{\sin A}{\sin B} = D \sin A; c = D \sin C; \epsilon'' = fab \sin C = fac \sin B = fbc \sin A$$

№ тре- угольни- ков	№ углов	№ вершин	Измеренные углы	Логарифм синуса углов	Длина сторон, м	Сфери- ческий избы- ток ϵ''
1	1 (B)	3	83°24'26"	$D = 22021$ 0,99339	(b) 21875	$f = 0,00253$ 407
	2 (C)	2	38 52 42	0,62767	(c) 13822	0,00159
	3 (A)	1	57 42 54	0,84540	(a) 18617	0,65
2	4	4	59 03 07	21707 0,85763	18617	294
	5	3	74 17 50	0,96268	20897	0,00243
	6	2	46 39 01	0,72718 18205	15785	0,71
3	7	5	60 07 04	0,86705	15785	155
	8	4	87 11 02	0,99879	19183	0,00253
	9	3	32 41 55	0,54022 20292	9835	0,39
4	16	6	28 59 31	0,48468	9835	121
	11	5	37 23 26	0,60724	12322	0,00232
	10+17	4	113 37 02	0,91625 20135	18593	0,28
5	13+14	7	112 34 00	0,92343	18593	184
	15	6	38 03 17	0,61641	12411	0,00156
	12	5	29 22 45	0,49058 13498	9878	0,29
6	17	4	47 02 14	0,73179	9878	123
	14	7	65 54 57	0,91293	12323	0,00231
	15+16	6	67 02 48	0,92082 13526	12429	0,28
7	11+12	5	66 46 12	0,91893	12429	122
	10	4	66 34 48	0,91762	12412	0,00232
	13	7	46 39 03	0,72718	9836	0,28

*Для вычисления сферического избытка * стороны берутся в км.

Вычислял: А. В. Попов

13 декабря 1973 г.

Сферический избыток треугольника вычисляют по одной из формул (табл. 38, 39):

$$\left. \begin{aligned} \epsilon'' &= fab \sin C = fac \sin B = fbc \sin A \\ \epsilon'' &= fa^2 \frac{\sin B \sin C}{\sin A} \end{aligned} \right\}. \quad (22)$$

Величина $f = \frac{p''}{2R^2}$ зависит от широты сети и может быть выбрана из прил. 2. Приближенное решение треугольников выполняют на арифмометре, применяя пятизначные таблицы натуральных

тригонометрических функций (см. табл. 38), или с помощью пятизначных таблиц логарифмов (см. табл. 39). Измеренные углы выписываются с точностью до секунды. В табл. 40 дана схема решения треугольников в общем виде.

При вычислении сферического избытка по нелогарифмической схеме стороны нужно выражать в километрах; при работе по логарифмической схеме — в метрах.

Таблица 39

Приближенное решение треугольников и вычисление сферических избытков
Логарифмическая схема

№ треугольников	№ вершин	№№ углов	Измеренные углы	Логарифм синуса углов	Логарифм сторон	Сферический избыток ϵ	d, м
				4.34283	$\lg f = 1.40300$		
1	3	1	83°24'26"	9.99712	4.33995		21875
	2	2	38 52 42	9.79773	4.14056		13822
	1	3	57 42 54	9.92706	4.26989	9.81057	18616
			180 00 02			0,65	
2	4	4	59 03 07	4.33659	4.26989		18616
	3	5	74 17 50	9.93330	4.32007		20896
	2	6	46 39 01	9.98348	4.19823	9.85460	15785
			179 59 58	9.86164		0,72	
3	5	7	60 07 04	4.26019	4.19823		15785
	4	8	87 11 02	9.93804	4.25967		18183
	3	9	32 41 55	9.99948	3.99276	9.59347	9835
			180 00 01	9.73257		0,39	
4	6	16	28 59 31	4.30730	4.99276		9835
	5	11	37 23 26	9.68546	4.09066		12321
	4	10+17	113 37 02	9.78336	4.26932	9.44843	18592
			179 59 59	9.96201		0,28	
5	7	13+14	112 34 00	4.30391	4.26932		18592
	6	15	38 03 17	9.96541	4.09378		12410
	5	12	29 22 45	9.78987	3.99463	9.45682	9877
			180 00 02	9.69072		0,29	
6	4	17	47 02 14	4.13024	3.99463		9877
	7	14	65 54 57	9.86439	4.09069		12322
	6	15+16	67 02 48	9.96045	4.09441	9.45249	12428
			179 59 59	9.96417		0,28	
7	5	11+12	66 46 12	4.13113	4.09441		12428
	4	10	66 34 48	9.96323	4.09379		12411
	7	13	46 39 03	9.96266	3.99277	9.45284	9835
			180 00 03	9.86164		0,28	

Вычислял: А. В. Попов

17 декабря 1973 г.

Нелогарифмическая схема

№ треугольника	Название вершин	Измеренные углы	Синусы углов	Длины сторон	Вычисление сферических избытков
1	B A C	$\angle B$	K	b	l
		$\angle A$	$\sin B$	a	ab
		$\angle C$	$\sin A$	c	$l \sin C$
		$\Sigma = \angle A + \angle B + \angle C$	$\sin C$		ϵ''

Логарифмическая схема

Номер треугольника	Название вершин	Измеренные углы	Логарифм синусов углов	Логарифм сторон	Вычисление сферических избытков
1	B A C	$\angle B$	$\lg K$	$\lg b$	$\lg l$
		$\angle A$	$\lg \sin B$	$\lg a$	$\lg ab$
		$\angle C$	$\lg \sin A$	$\lg c$	$\lg l \sin C$
		$\Sigma = \angle A + \angle B + \angle C$	$\lg \sin C$		$\lg \epsilon''$

§ 44. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОПРАВОК ЗА ЦЕНТРИРОВКУ И РЕДУКЦИЮ

Если проекция вертикальной оси теодолита I_K не совпадает с центром C пункта K (рис. 88) на линейную величину l , то измеренное направление $I_K A$ нужно привести к направлению $C_K A$, т. е. ввести поправку за центрировку c'' (см. рис. 87).

c'' вычисляется по формуле

$$c'' = \frac{l \rho'' \sin \theta}{S_A}. \quad (23)$$

Формула (23) справедлива только для направления, угловой элемент центрировки θ которого определен (обычно для начального направления $I_K A$).

В общем виде поправка за центрировку напишется

$$c'' = \frac{l \rho'' \sin (\theta + M)}{S}, \quad (24)$$

где M — измеренное горизонтальное направление (рис. 89).

Явление редукции возникает из-за того, что на пунктах A, B, D, E (рис. 90) наблюдаются визирные цилиндры V_A, V_B, V_D, V_E , проекции геометрических осей которых не совпадают с центрами пунктов.

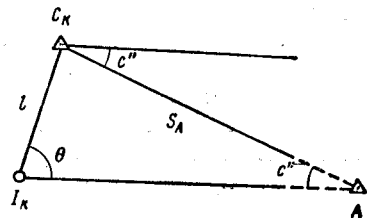


Рис. 88

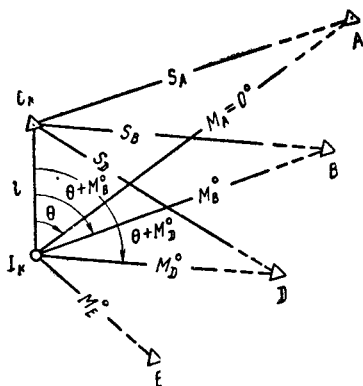


Рис. 89

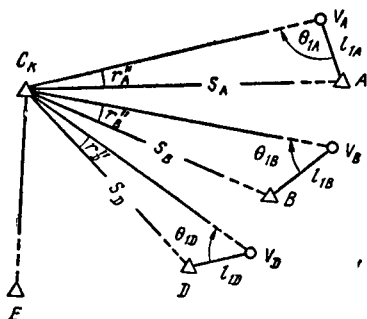


Рис. 90

На рис. 90 из центра пункта K (C_K) измерено горизонтальное направление на визирный цилиндр пункта A , проекция которого V_A не совпадает с его центром C_A . В этом случае потребуется в измеренное направление $C_K V_A$ ввести поправку r_A'' за редукцию, чтобы получить направление на центр знака. Здесь l_1 и θ_1 — линейный и угловой элементы редукции. Поправка за редукцию вычисляется по формуле

$$r'' = \frac{l_1 \rho'' \sin \theta_1}{S}. \quad (25)$$

Обратим внимание на следующее. Если на пункте K будут вычислены поправки за центрировку и редукцию по линейным и угловым элементам центрировки и редукции пункта K ($l_K \theta$) ($l_{1K} \theta_1$), то поправки за центрировку вводятся в измеренные направления с пункта K на соседние пункты, т. е. KA , KB , KD , KE , а поправки за редукцию будут вводиться в измеренные направления с соседних пунктов A , B , D , E на данный пункт K , т. е. в направления AK , BK , DK , EK (см. рис. 90).

§ 45. СХЕМЫ И МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОПРАВОК ЗА ЦЕНТРИРОВКУ И РЕДУКЦИЮ

В практике вычисления поправок за приведение к центрам встречаются две схемы вычисления поправок за редукцию. По первой схеме эти поправки вычисляются и вводятся в измеренные направления, произведенные с одного и того же пункта K на все соседние — A , B , D , E (см. рис. 90). В этом случае поправки за редукцию вычисляются по формуле (25), в которой угловая величина θ_1 соответствует направлению с соседних пунктов на пункт K .

По второй схеме поправки за редукцию вычисляются на пунктах A , B , D , E , а их значения затем вводят в направления, измеренные на пункты A , B , D , E с пунктов K_1 , K_2 , K_3 и т. д. В таких случаях поправка за редукцию вычисляется по формуле

$$r'' = \frac{l_1 \rho'' \sin (\theta_1 + M)}{S}, \quad (26)$$

где угловая величина $(\Theta_1 + M)$ соответствует направлению с наблюдаемых пунктов A, B, D, E на данный пункт K .

Вычислять можно несколькими методами: логарифмическим, применяя 5-значные таблицы логарифмов чисел и тригонометрических функций; на арифмометре, применяя 5-значные таблицы натуральных тригонометрических функций, а также по специальным таблицам С. А. Ангелова, из которых выбирают поправки за центрировку и редукцию. Кроме того, можно воспользоваться таблицей величин K , предлагаемой в руководстве [21].

Формулы вычислений c'' и r'' представлены в виде

$$\left. \begin{aligned} c'' &= K \frac{l_M}{S_{KM}} \\ r'' &= K_1 \frac{l_{1M}}{S_{KM}} \end{aligned} \right\}, \quad (27)$$

где

$$K = \frac{\rho''}{1000} \sin(M + \Theta); \quad K_1 = \frac{\rho''}{1000} \sin(M + \Theta_1).$$

K и K_1 выбираются из таблиц по величине угла $(M + \Theta)$ или $(M + \Theta_1)$, или Θ_1 . Таблица величин K дана в прил. 3 практикума. Вычисления элементов приведения на арифмометре по первой схеме приведены в табл. 41, по второй в табл. 42, а логарифмическим методом в табл. 43 и 44.

Редуцирование измеренных направлений на плоскость описано в гл. XI практикума, откуда и взяты δ — поправки в измеренные направления за кривизну изображения геодезических линий на плоскости.

В табл. 45 приводится список измеренных горизонтальных направлений, приведенных к центру знака и редуцированных на плоскость.

§ 46. КАРТОЧКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Результаты измерений и предварительной обработки триангуляции заносят непосредственно в карточку предварительной обработки с точностью до $0,01''$ в триангуляции 1 и 2 классов и до $0,1''$ в триангуляции 3 и 4 классов. Карточки предварительной обработки составляются отдельно на плотной бумаге для каждого пункта триангуляции. Кроме результатов предварительной обработки сверху карточки выписываются некоторые сведения, характеризующие данный пункт: тип знака, высоту его, тип центра, состояние центра, ОРП, элементы приведения и т. д.

Полный образец карточки приведен в инструкции по построению государственной геодезической сети [11, прил. 37]. В табл. 46 приводится образец карточки предварительной обработки на п. Сокольники (без сведений, записываемых сверху, и данных о зенитных расстояниях).

Вычисление поправок за центрировку и редукцию

Схема № 1

Для счетных машин

$$c'' = k \frac{\sin(M + \Theta)}{d}; \quad r'' = l_1 \rho \frac{\sin \Theta_1}{d}$$

Пункт направления	M	M + θ	$\sin (M + \theta)$	d, м	l_I	θ_I	$\sin \theta_I$	c''	r''	
1. Храброво		$l = 0,043$	$\theta = 88^{\circ}15'$	на п. 3						$k = l\rho'' = 8869,4$
3. Елья	0°00'	88°15'	+0,99953	13 822	0,101	36°24'	+0,59342	+0,64	+0,89	
2. Соколыньки	57 43	145 58	+0,55968	21 875	0,073	102 30	+0,97630	+0,23	+0,67	
2. Соколыньки		$l = 0,056$	$\theta = 35^{\circ}15'$	на п. 1						$k = l\rho'' = 11550$
1. Храброво	0 00	35 15	+0,57714	21 875	0,087	215 13	+0,57667	+0,30	+0,47	
3. Елья	38 53	74 08	+0,96190	18 617	0,101	313 00	+0,73135	+0,60	+0,82	
4. Занино	85 32	120 47	+0,85911	20 897	0,096	67 30	+0,92388	+0,47	+0,88	
3. Елья		$l = 0,060$	$\theta = 98^{\circ}30'$	на п. 5						$k = l\rho'' = 12375,9$
5. Чертаново	0 00	98 30	+0,98902	18 183	0,096	61 19	+0,87729	+0,67	+0,81	
4. Занино	32 42	131 12	+0,75242	15 785	0,096	126 33	+0,80334	+0,59	+1,01	
2. Соколыньки	107 00	205 40	+0,43314	18 617	0,073	141 23	+0,62411	+0,29	+0,50	
1. Храброво	190 24	288 54	+0,94608	13 822	0,087	157 30	+0,38268	+0,85	+0,50	

4. Занино	$l = 0,038$		$\theta = 67^{\circ}30'$		на п. 2	$k = l\rho'' = 7838$			
2. Сокольники	0 00	67 30	+0,92388	20 897	0,073	188 02	-0,13975	+0,35	-0,10
3. Елья	59 03	126 33	+0,80386	15 785	0,101	23842	-0,85446	+0,40	-1,13
5. Чертаново	146 14	213 44	-0,55533	9 835	0,081	112	+0,02094	-0,44	+0,04
7. Захарьино	170 52	238 22	-0,85142	12 428	0,059	6546	+0,91188	-0,54	+0,89
6. Бугайлово	210 31	278 01	-0,99023	12 328	0,069	8315	+0,99307	-0,63	+1,15
5. Чертаново	$l = 0,076$		$\theta = 138^{\circ}30'$		на п. 7	$k = l\rho'' = 15676,1$			
7. Захарьино	0 00	138 30	+0,66226	12 410	0,059	7 812	+0,97887	+0,84	+0,96
6. Бугайлово	71 32	210 02	-0,50050	18 592	0,069	12 734	+0,79264	-0,42	+0,61
4. Занино	142 57	281 27	-0,98010	9 835	0,096	21 344	-0,55533	-1,56	-1,12
3. Елья	203 04	341 34	-0,31620	18 183	0,101	20 600	-0,43837	-0,27	-0,50
6. Бугайлово	$l = 0,027$		$\theta = 27^{\circ}30'$		на п. 4	$k = l\rho'' = 5569,1$			
4. Занино	0 00	27 30	+0,46175	12 322	0,096	27 801	-0,99023	+0,21	-1,59
5. Чертаново	44 19	71 49	+0,95006	18 592	0,081	28 947	-0,94098	+0,28	-0,85
7. Захарьино	114 04	141 34	-0,62160	9 877	0,059	3 930	+0,63608	+0,35	+0,78
7. Захарьино	$l = 0,053$		$\theta = 223^{\circ}15'$		на п. 6	$k = l\rho'' = 10 932$			
6. Бугайлово	0 00	223 15	-0,68518	9 877	0,069	19 719	-0,29765	-0,76	-0,43
4. Занино	26 16	249 31	-0,93677	12 428	0,096	23 822	-0,85142	-0,82	-1,36
5. Чертаново	38 42	261 57	-0,99015	12 411	0,081	21 815	-0,61909	-0,87	-0,83
			</						

1. Храброво $l_1\rho'' = 17 945$
 2. Сокольники $l_1\rho'' = 15 057$
 3. Елья $l_1\rho'' = 20 833$
 4. Занино $l_1\rho'' = 19 801$

5. Чертаново $l_1\rho'' = 16 707$
 6. Бугайлово $l_1\rho'' = 14 232$
 7. Захарьино $l_1\rho'' = 12 170$

Вычислял: А. В. Попов

14 декабря 1973 г.

Вычисление поправок за центрировку и редукцию

Схема № 2*

Для счетных машин

$$c'' = k \frac{\sin(M + \Theta)}{d}; \quad r'' = \frac{k_1 \sin(M + \Theta_1)}{d}$$

Пункт направления	M	M + Θ_1	d, м	$\sin(M + \Theta_1)$	r''
1. Храброво	$l_1 = 0,087$	$\Theta_1 = 157^\circ 30'$	на п. 3	$l_{1p}'' = 17945$	
3. Ельня	0°00'	157°30'	13822	+ 0,38268	+ 0,50
2. Сокольники	57 43	215 13	21875	- 0,57667	- 0,47
2. Сокольники	$l_1 = 0,073$	$\Theta_1 = 102^\circ 30'$	на п. 1	$l_{1p}'' = 15057$	
1. Храброво	0 00	102 30	21875	+ 0,97630	+ 0,67
3. Ельня	38 53	141 23	18617	+ 0,62411	+ 0,50
4. Занино	85 32	188 02	20897	- 0,13975	- 0,10
3. Ельня	$l_1 = 0,101$	$\Theta_1 = 206^\circ 00'$	на п. 5	$l_{1p}'' = 20833$	
5. Чертаново	0 00	206 00	18183	- 0,43837	- 0,50
4. Занино	32 42	238 42	15785	- 0,85446	- 1,13
2. Сокольники	107 00	313 00	18617	- 0,73135	- 0,82
1. Храброво	190 24	36 24	13822	+ 0,59342	+ 0,89
4. Занино	$l_1 = 0,096$	$\Theta_1 = 67^\circ 30'$	на п. 2	$l_{1p}'' = 19801$	
2. Сокольники	0 00	67 30	20897	+ 0,92388	+ 0,88
3. Ельня	59 03	126 33	15785	+ 0,80334	+ 1,01
5. Чертаново	146 14	213 44	9835	- 0,55533	- 1,12
7. Захарьино	170 52	238 22	12428	- 0,85142	- 1,36
6. Бугайлово	210 31	278 01	12322	- 0,99023	- 1,59
5. Чертаново	$l_1 = 0,081$	$\Theta_1 = 218^\circ 15'$	на п. 7	$l_{1p}'' = 16707$	
7. Захарьино	0 00	218 15	12410	- 0,61909	- 0,83
6. Бугайлово	71 32	289 47	18592	- 0,94098	- 0,85
4. Занино	142 57	1 12	9835	+ 0,02094	+ 0,04
3. Ельня	203 04	61 19	18183	+ 0,87729	+ 0,81
6. Бугайлово	$l_1 = 0,069$	$\Theta_1 = 83^\circ 15'$	на п. 4	$l_{1p}'' = 14232$	
4. Занино	0 00	83 15	12322	+ 0,99307	+ 1,15
5. Чертаново	44 19	127 34	18592	+ 0,79264	+ 0,61
7. Захарьино	114 04	197 19	9877	- 0,29765	- 0,43
7. Захарьино	$l_1 = 0,059$	$\Theta_1 = 39^\circ 30'$	на п. 6	$l_{1p}'' = 12170$	
6. Бугайлово	0 00	39 30	9877	+ 0,63608	+ 0,78
4. Занино	26 16	65 46	12428	+ 0,91188	+ 0,89
5. Чертаново	38 42	78 12	12411	+ 0,97887	+ 0,96

* Приводится только вычисление поправок за редукцию. Поправки за центрировку вычисляются так же, как в схеме № 1, табл. 38.

Вычислял: А. В. Попов

16 декабря 1973 г.

Вычисление поправок за центрировку и редукцию

Схема № 1

Логарифмический метод

$$c'' = k \frac{\sin(M + \Theta)}{d}, \quad k = l\rho''; \quad \rho'' = l\rho'' \sin \Theta_1 \frac{1}{d}$$

1. Храброво. $\lg l = 8.63347$
 $l = 0.043$ $\lg \rho'' = 5.31443$
 $\Theta = 88^\circ 15'$ на п. 3; $\lg k = 3.94790$
2. Сокольникови. $\lg l = 8.74819$
 $l = 0.056$ $\lg \rho'' = 5.31443$
 $\Theta = 35^\circ 15'$ на п. 1; $\lg k = 4.06262$
3. Елья
 $l = 0.060$
 $\Theta = 96^\circ 30'$ на п. 5; $\lg k = 4.09258$

Формулы	Направления				
	3. Елья	2. Сокольникови	1. Храброво	3. Елья	4. Занино
M	0°00'	57°43'	0°00'	38°53'	85°32'
Θ	88 15	88 15	35 15	35 15	35 15
$M + \Theta$	88 15	145 58	35 15	74 08	120 49
Θ_1	36 24	102 30	215 13	313 00	67 30
l_1	0,101	0,073	0,087	0,101	0,096
$\lg c$	9.80714	9.35588	9.48396	9.77582	9.67660
$\lg \sin(M + \Theta)$	9.99980	9.74793	9.76129	9.98309	9.93405
$\lg k$	3.94790	3.94790	4.06262	4.06262	4.06262
дополнение $\lg d$	5.85944	5.66005	5.66005	5.73011	5.67993
$\lg \sin \Theta_1$	9.77336	9.98958	9.76093	9.86413	9.96562
$\lg l_1$	9.00432	8.86332	8.93952	9.00432	8.98227
$\lg \rho''$	5.31443	5.31443	5.31443	5.31443	5.31443
$\lg \rho''$	9.95155	9.82738	9.67493	9.91299	9.94225
c''	+0,64	+0,23	+0,30	+0,60	+0,47
ρ''	+0,89	+0,67	—0,47	—0,32	+0,88
Контроль: $d_{\text{км}}$	13,822	21,875	21,875	18,617	20,897
$\frac{l}{d_{\text{км}}}$	+0,64	+0,23	+0,30	+0,61	+0,47
$c''(r) = K \frac{c}{d_{\text{км}}}$	+0,89	+0,68	—0,47	—0,82	+0,87
3. Елья $\lg l = 8.77815$ $\lg \rho'' = 5.31443$ $\lg k = 4.09258$	4. Занино $\lg l = 8.57978$ $l = 0.038$ $\lg \rho'' = 5.31443$ $\Theta = 67^\circ 30'$ на п. 2; $\lg k = 3.89421$				
5. Чертаново	4. Занино				
4. Занино	0°00'				
3. Елья	98 30				
2. Сокольникови	98 30				
1. Храброво	61 19				
0,081	0,096				
9.82811	9.77081				
9.99520	9.87646				
4.09258	4.09258				
5.80177	5.80177				
9.90490	9.90490				
8.98227	8.98227				
5.31443	5.31443				
9.90639	9.90639				
+0,67	+0,67				
+0,81	+0,81				
15,785	15,785				
+0,58	+0,58				
+1,02	+1,02				

Формулы	5. Черганово $\lg l = 8.88081$ $l = 0,076$ $\lg \rho'' = 5.31443$ $\theta = 138^{\circ}30'$ на п. 7; $\lg k = 4.19524$				6. Бугайлово $\lg l = 8.43136$ $l = 0,027$ $\lg \rho'' = 5.31433$ $\theta = 27^{\circ}30'$ на п. 4 $\lg k = 3.74579$			
	Направления							
	7. Захары- но	6. Бугай- лово	4. Занино	3. Ельня	4. Занино	5. Черга- ново	7. Захары- но	
M	0°00'	71°32'	142°57'	203°04'	0°00'	44°19'	114°04'	
θ	138 30	138 30	138 30	138 30	27 30	27 30	27 30	
$M + \theta$	138 30	210 02	281 27	341 34	27 30	71 49	141 34	
θ_1	78 12	127 34	213 44	206 04	278 01	289 47	39 30	
l_1	0,059	0,069	0,096	0,101	0,096	0,081	0,059	
$\lg c''$	9.92271	9.62532	9.19375	9.43553	9.31951	9.45422	9.54467	
$\lg \sin (M + \theta)$	9.82126	9.69940	9.99127	9.49996	9.66441	9.97775	9.79851	
$\lg k$	4.19524	4.19524	4.19524	4.19524	3.74579	3.74579	3.74579	
дополнение $\lg d$	5.90621	5.73068	6.00724	5.74033	5.90931	5.73068	6.00537	
$\lg \sin \theta_1$	9.99072	9.89908	9.74455	9.64184	9.99573	9.97358	9.80351	
$\lg l_1$	8.77085	8.83885	8.98227	9.00432	8.98227	8.90849	8.77085	
$\lg \rho''$	5.31443	5.31443	5.31443	5.31443	5.31443	5.31443	5.31443	
$\lg r''$	9.98221	9.78304	0.04849	9.70092	0.20174	9.92718	9.89416	
c''	+0,84	-0,42	-1,56	-0,27	+0,21	+0,28	+0,35	
r''	+0,96	+0,61	-1,12	-0,50	-1,59	-0,85	+0,78	
Контроль	12,410	18,592	9,835	18,183	12,322	18,592	9,877	
$d_{\text{км}}$	+0,84	-0,42	-1,56	-0,27	+0,21	+0,28	+0,35	
c	+0,95	+0,61	-1,12	-0,50	-1,59	-0,85	+0,77	
r								
$c(t) = K \frac{l}{d_{\text{км}}}$								

7. Захарьино $\lg l = 8.72428$
 $l = 0.053$ $\lg p'' = 5.31443$
 $\theta = 223^\circ 15'$ на п. 6 $\lg k = 4.03871$

Формулы	Направления		
	6. Бугай- лово	4. Занино	5. Церта- ново
M	0°00'	26°16'	38°42'
θ	223 15	223 15	223 15
$M + \theta$	223 15	249 81	261 57
θ_1	197 19	238 22	218 15
l_1	0,069	0,096	0,084
$\lg c''$	9.87988	9.91594	9.94063
$\lg \sin (M + \theta)$	9.83580	9.97164	9.99570
$\lg k$	4.03871	4.03871	4.03871
дополнение $\lg d$	6.00537	5.90559	5.90622
$\lg \sin \theta_1$	9.47370	9.93015	9.79176
$\lg l$	8.83885	8.98227	8.90849
$\lg p''$	5.31443	5.31443	5.31443
$\lg r''$	9.63235	0.13244	9.92090
c''	-0,76	-0,82	-0,87
r''	-0,43	-1,36	-0,83
Контроль: $d_{\text{км}}$	9,877	12,428	12,411
c	-0,76	-0,82	-0,87
$c(r) = K \frac{l}{d_{\text{км}}}$	-0,43	-1,36	-0,83

Вычислял: А. В. Попов

18 декабря 1973 г.

3. Ельня
 $l_1 = 0,101$
 $\theta_1 = 206^\circ 00'$

4. Занино
 $l_1 = 0,096$
 $\theta_1 = 67^\circ 37'$ на п. 2

$lg l_1 = 8,98227$
 $lg p'' = 5,31443$
 $lg k_1 = 4,29670$

Формулы	Направления				
	2. Соколь- ники	1. Храброво	2. Соколь- ники	3. Ельня	5. Черга- ново
M $\theta_1 + \theta_1$ $M + \theta_1$ $lg \sin(M + \theta_1)$ $lg k_1$ Дополнение $lg d$	107°00'	190°24'	0°00'	59°03'	146°14'
	206 00	206 00	67 30	67 30	67 30
	313 00	36 24	67 30	126 33	213 44
	9,86413	9,77336	9,96562	9,90490	9,74455
	4,31895	4,29670	4,29670	4,29670	4,29670
$lg r''$ r''	5,73011	5,85944	5,67993	5,80177	6,00724
	9,91299	9,95155	9,94225	0,00337	0,04849
	-0,82	+0,89	+0,87	+1,01	-1,12
					0,13244
					-1,36

5. Чертаново
 $l_1 = 0,081$
 $\theta_1 = 218^\circ 15'$ на п. 7

6. Бугайлово
 $l_1 = 0,069$
 $\theta_1 = 83^\circ 15'$ на п. 4

$lg l_1 = 8,83885$
 $lg p'' = 5,31443$
 $lg k_1 = 4,15328$

Формулы	Направления				
	7. Захарьи- но	6. Бугай- лово	4. Занино	3. Ельня	5. Черга- ново
M θ_1 $M + \theta_1$	0°00'	71°32'	142°57'	203°04'	0°00'
	218 15	218 15	218 15	218 15	83 15
	218 15	289 47	1 12	61 19	83 15
					127 34
					114°04'

83 15
197 19

Формулы	Направления					
	7. Захарьи- но	6. Бугай- лово	4. Занино	3. Елья	4. Занино	5. Черта- ново
7. Захарьино						7. Захарьи- но
$\lg \sin (M + \theta_1)$ $\lg k_1$ дополнение $\lg d$	9.79175 4.22292 5.90621	9.97358 4.22292 5.73068	8.32039 4.22292 6.00724	9.94314 4.22292 5.74037	9.99698 4.15328 5.90932	9.47371 4.15328 6.00537
$\lg r''$ r''	9.92090 —0,83	9.92718 —0,85	8.64164 +0,04	9.90643 +0,81	0.05958 +1,15	9.63235 —0,43
7. Захарьино $l_1 = 0,059$ $\theta_1 = 39^\circ 30'$ на п. 6	$\lg l_1 = 8.77085$ $\lg r'' = 5.31443$ $\lg k_1 = 4.08528$					
	6. Бугай- лово	4. Занино	5. Черта- ново			
M θ_1 $M + \theta_1$ $\lg \sin (M + \theta_1)$ $\lg k_1$ дополнение $\lg d$	0°00' 39 30 39 30 9.80351 4.08528 6.00537	26°16' 39 30 65 46 9.95994 4.08528 5.90559	38°42' 39 30 78 12 9.99072 4.08528 5.90622			
$\lg r''$ r''	9.89416 +0,78	9.95082 +0,89	9.98221 +0,96			

Вычислял: А. В. Попов

18 декабря 1973 г.

Список измеренных, приведенных к центру знака и на плоскость
горизонтальных направлений

Пункт направления	Измеренные горизонтальные направления		с	r	с + r	(с + r) ₀	Направления, приведенные к центру		δ*	δ ₀	Направления, приведенные к центру и на плоскость
	2	3					4	5			
1											
1. Храброво											
3. Елья	0° 00' 00,00"	+0,64	+0,89	+1,53	0,00	0° 00' 00,00"	+0,48	0,00	0° 00' 00,00"		
2. Сокольники	57 42 54,33	+0,23	+0,67	+0,90	-0,63	57 42 53,70	-2,84	-3,32	57 42 50,38		
2. Сокольники											
1. Храброво	0 00 00,00	+0,30	-0,47	-0,17	-0,00	0 00 00,00	+2,64	0,00	0 00 00,00		
3. Елья	38 52 41,52	+0,60	-0,82	-0,22	-0,05	38 52 41,47	+2,88	+0,24	38 52 41,71		
4. Занино	85 31 42,64	+0,47	+0,88	+1,35	+1,52	85 31 44,16	+2,20	-0,44	85 31 43,72		
3. Елья											
5. Чертаново	0 00 00,00	+0,67	+0,81	+1,48	0,00	0 00 00,00	+0,96	0,00	0 00 00,00		
4. Занино	32 41 55,09	+0,59	+1,01	+1,60	+0,12	32 41 55,21	-0,44	-1,40	32 41 53,81		
2. Сокольники	106 59 45,51	-0,29	+0,50	+0,21	-1,27	106 59 44,24	-2,90	-3,86	106 59 40,38		
1. Храброво	190 24 11,41	-0,85	+0,50	-0,35	-1,83	190 24 09,58	-0,45	-1,41	190 24 08,17		
4. Занино											
2. Сокольники	0 00 00,00	+0,35	-0,10	+0,25	0,00	0 00 00,00	-2,02	0,00	0 00 00,00		
3. Елья	59 03 06,61	+0,40	-1,13	-0,73	-0,98	59 03 05,63	+0,40	+2,42	59 03 08,05		

5. Чертаново	146 14 08,11	-0,44	+0,04	-0,40	-0,65	146 14 07,46	+1,14	+3,16	146 14 10,62
7. Захарьино	212 48 56,02	-0,54	+0,89	+0,35	+0,10	212 48 56,12	+0,35	+2,37	212 48 58,49
6. Бугайлово	259 51 10,36	-0,63	+1,15	+0,52	+0,27	259 51 10,63	-0,71	-1,31	259 51 11,94
5. Чертаново									
7. Захарьино	0 00 00,00	+0,84	+0,96	+1,80	0,00	0 00 00,00	-0,69	0,00	0 00 00,00
6. Бугайлово	29 22 45,24	-0,42	+0,61	+0,19	-1,61	29 22 43,63	-1,74	-1,05	29 22 42,58
4. Занно	66 46 11,66	-1,56	-1,12	-2,68	-4,48	66 46 07,18	-1,13	-0,44	66 46 06,74
3. Елья	126 53 15,44	-0,27	-0,50	-0,77	-2,55	126 53 12,89	-0,86	-0,17	126 53 12,72
6. Бугайлово									
4. Занно	0 00 00,00	+0,21	-1,59	-1,38	0,00	0 00 00,00	+0,66	0,00	0 00 00,00
5. Чертаново	28 59 31,37	+0,28	-0,85	-0,57	+0,81	28 59 32,18	+1,62	+0,96	28 59 33,14
7. Захарьино	67 02 48,28	+0,35	+0,78	+1,13	+2,51	67 02 50,79	+0,88	+0,22	67 02 51,01
7. Захарьино									
6. Бугайлово	0 00 00,00	-0,76	-0,43	-1,19	0,00	0 00 00,00	-0,87	0,00	0 00 00,00
4. Занно	65 54 56,86	-0,82	-1,36	-2,18	-0,99	65 54 55,87	-0,32	+0,55	65 54 56,42
5. Чертаново	112 33 59,78	-0,87	-0,83	-1,70	-0,51	112 33 59,27	+0,63	+1,50	112 34 00,77

* Поправки в вычислены в XI главе, табл. 93

Вычислял: А. В. Попов

20 декабря 1973 г.

Таблица 46

Образец карточки предварительной обработки
(п. Соколыники)

Наблюдаемые пункты	Класс	Число приемов	Измеренные направления	Поправки				
				c	r	$c + r$	приведенные к нулю $c + r$	δ $c + r + \delta$
Храброво	1	15	0° 00' 00,00"	+0,30"	-0,47"	-0,17"	0,00"	+2,47"
Елья	2	15	38 52 41,52	+0,60	-0,82	-0,22	-0,05	+2,66
Занино	2	15	85 31 42,64	+0,47	+0,88	+1,35	+1,52	+3,55

Продолжение табл. 46

Наблюдаемые пункты	Поправки приведенные к нулю $c + r + \delta$	Направления, приведенные к центру		Вычисление поправок за центри- ровку и редукцию			Приближенные координаты, км	
		сфериче- ские	на плоско- сти	$M + \theta$ $l\rho'' = 11550$	d, m	$M + \theta_t$ $l_1\rho'' = 15057$	X	Y
Храброво	0,00"	0° 00' 00,00"	0° 00' 00,00"	35° 15'	21875	102° 30'	6072,98	8424,17
Елья	+0,19	38 52 41,47	38 52 41,71	74 08	18617	141 23	6075,65	8437,73
Занино	+1,08	85 31 44,16	85 31 43,72	120 47	20897	188 02	6072,61	8453,22

Составил: А. В. Полюс

23 декабря 1973 г.

Вычисление невязок треугольников и оценка точности измерений

№ треугольника	Название вершин	№ углов	Углы, приведенные к центру	
1	3	1	83° 24' 25,34"	Оценку точности измерений производим согласно формуле (28) $m''_{\beta} = \sqrt{\frac{\Sigma w^2}{3n}}$ Для нашего примера $n = 7$, $\Sigma w^2 = +22,1186$ и $m''_{\beta} = \pm 1,03''$
	2	2	38 52 41,47	
	1	3	57 42 53,70	
		Σ	180 00 00,51	
2		$180^\circ + \epsilon$	180 00 00,65	
		w	-0,14	
	4	4	59 03 05,63	
	3	5	74 17 49,03	
3	2	6	46 39 02,69	
		Σ	179 59 59,35	
		$180^\circ + \epsilon$	180 00 00,72	
		w	-3,37	
4	5	7	60 07 05,71	
	4	8	87 11 01,83	
	3	9	32 41 55,21	
		Σ	180 00 02,73	
5		$180^\circ + \epsilon$	180 00 00,39	
		w	+2,34	
	6	16	28 59 32,18	
	5	11	37 23 23,55	
6	4	10+17	113 37 03,17	
		Σ	179 59 58,90	
		$180^\circ + \epsilon$	180 00 00,28	
		w	-1,38	
7	7	13+14	112 33 59,27	
	6	15	38 03 18,61	
	5	12	29 22 43,63	
		Σ	180 00 01,51	
8		$180^\circ + \epsilon$	180 00 00,29	
		w	+1,22	
	4	17	47 02 14,51	
	7	14	65 54 55,87	
9	6	15+16	67 02 50,79	
		Σ	180 00 01,17	
		$180^\circ + \epsilon$	180 00 00,28	
		w	+0,89	
10	5	11+12	66 46 07,18	
	4	10	66 34 48,66	
	7	13	46 39 03,40	
		Σ	179 59 59,24	
11		$180^\circ + \epsilon$	180 00 00,28	
		w	-1,04	

Вычислял: А. В. Попов

20 декабря 1973 г.

§ 47. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ТРИАНГУЛЯЦИИ

Качество угловых измерений в триангуляции оценивается средней квадратической погрешностью измеренного угла по невязкам треугольников; свободными членами полюсных, боковых, базисных условий и условий дирекционных углов. Определяется допустимость их.

Средняя квадратическая погрешность измеренного угла вычисляется по формуле Ферреро

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{\sum w^2}{3n}}, \quad (28)$$

где n — число всех треугольников в сети; w — невязка треугольника, равная

$$w = \Sigma \beta_{\text{прив}} - (180^\circ + \epsilon) \quad (29)$$

или

$$w = \Sigma \beta_{\text{редуц}} - 180^\circ,$$

где $\Sigma \beta_{\text{прив}}$ — сумма углов в треугольнике, приведенных к центрам знаков; $\Sigma \beta_{\text{редуц}}$ — сумма углов в треугольнике, приведенных к центрам знаков и редуцированных на плоскость.

Предельные значения невязок в треугольниках не должны превышать:

3"	в триангуляции	1	класса;
4"	»	2	»
6"	»	3	»
8"	»	4	»

Невязки, величина которых превосходит $\frac{2}{3}$ предельного значения, должны быть весьма редким исключением. Средняя квадратическая погрешность измеренного угла m_{β} не должна превышать:

$\pm 0,7''$	для	1	класса
$\pm 1,0''$	»	2	»
$\pm 1,5''$	»	3	»
$\pm 2,0''$	»	4	»

Пример в табл. 47.

Вычисление свободных членов условий.

1. Полюсные условия возникают в геодезических четырехугольниках и центральных системах и вообще там, где в сети имеются диагонали. Допустим, что мы имеем центральную систему, изображенную на рис. 91.

Произведение отношения сторон, выходящих из одной точки (полюса) в различных треугольниках, должно равняться единице. Принимая за полюс центральную точку D , напомним

$$\frac{DA}{DB} \cdot \frac{DB}{DC} \cdot \frac{DC}{DA} = 1.$$

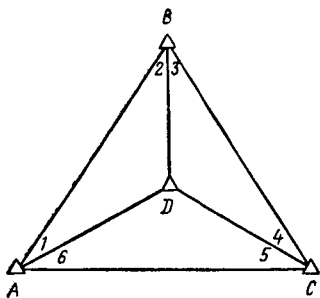


Рис. 91

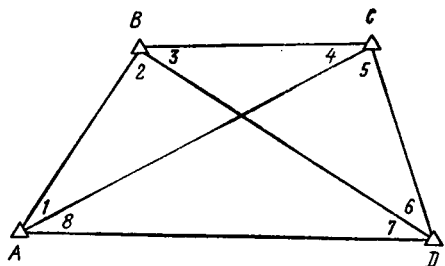


Рис. 92

Заменим отношения сторон отношением синусов противолежащих углов в соответствующих треугольниках:

$$\frac{\sin 2}{\sin 1} \cdot \frac{\sin 4}{\sin 3} \cdot \frac{\sin 6}{\sin 5} = 1. \quad (A)$$

Логарифмируя равенство (A), находим

$$\lg [\sin 2 \sin 4 \sin 6] - \lg [\sin 1 \sin 3 \sin 5] = 0$$

или, обозначая $\lg [\sin 2 \sin 4 \sin 6] = \Sigma \lg \sin$ углов числителя, а $\lg [\sin 1 \sin 3 \sin 5] = \Sigma \lg \sin$ углов знаменателя, получим $\Sigma \lg \sin$ углов числителя — $\Sigma \lg \sin$ углов знаменателя = 0.

Это равенство будет справедливо только для уравненных углов. Но углы измерены с погрешностями, поэтому с приведенными к центрам знаков или редуцированными на плоскость углами это равенство не выполняется. Отличие его от нуля равно свободному члену полюсного условия — $w_{\text{пол}}$, т. е.

$$\Sigma \lg \sin \text{ углов числителя} - \Sigma \lg \sin \text{ углов знаменателя} = w_{\text{пол}}. \quad (30)$$

Свободный член полюсного условия не должен превышать [11]

$$w_{\text{доп}} = \pm 2,5\mu \sqrt{\Sigma \sigma_u^2}, \quad (31)$$

где μ — средняя квадратическая погрешность измеренного угла для данного класса триангуляции, требуемая инструкцией; δ — изменения логарифма синуса угла при изменении угла на 1" и выражаются в единицах 6-го знака логарифма.

В геодезических четырехугольниках за полюс принимается пересечение диагоналей, и свободный член полюсного условия вычисляется так же, как в центральной системе. В геодезическом четырехугольнике, кроме того, возникают боковые условия. К боковому условию предъявляют такие же требования, как и к полюсному, только при составлении бокового условия за полюс принимают одну из вершин четырехугольника. На рис. 92 изображен четырехугольник. Составим для него боковое условие, приняв за полюс вершину B

$$\frac{BC}{BD} \cdot \frac{BD}{BA} \cdot \frac{BA}{BC} = 1.$$

Вычисление свободных членов

1. Полусное условие геодезического четырехугольника

№ угла	Числитель			№ угла	Знаменатель		
	Плоские углы	Логарифм синуса углов	Δ1"		Плоские углы	Логарифм синуса углов	Δ1"
11	37° 23' 24,16"	9,783 3588	2,76	10	66° 34' 47,87"	9,962 6609	0,91
13	46 39 04,35	9,861 6470	1,99	12	29 22 42,58	9,690 7069	3,74
15	38 03 17,87	9,789 8747	2,69	14	65 54 56,42	9,960 4450	0,94
17	47 02 13,45	9,864 3893	1,97	16	28 59 33,14	9,685 4692	3,81
Σ=9,299 2698					Σ=9,299 2820		

$$\omega_{\text{пол}} = \Sigma_{\text{числителя}} - \Sigma_{\text{знаменателя}} = -12,2 \text{ ед. 6-го знака логарифма}$$

$$\omega_{\text{доп}} = \pm 2,5 \mu \sqrt{(\Delta 1'')^2} = \pm 2,5 \times 1'' \times \sqrt{52,9101} = \pm 18,7 \text{ ед. 6-го знака логарифма}$$

Вычислял: А. В. Попов

21 декабря 1973 г.

Заменяя отношения сторон в треугольниках отношением синусов противолежащих углов, найдем

$$\frac{\sin 6}{\sin (4+5)} \cdot \frac{\sin (1+8)}{\sin 7} \cdot \frac{\sin 4}{\sin 1} = 1.$$

логарифмируя, получим

$$\lg [\sin 6 \sin (1+8) \cdot \sin 4] - \lg [\sin (4+5) \sin 7 \sin 1] = 0.$$

Подставив сюда углы, приведенные к центрам знаков или редуцированные на плоскость, найдем свободный член бокового условия, т. е.

$$\omega_{\text{бок}} = \Sigma \lg \sin \text{углов числителя} - \Sigma \lg \sin \text{углов знаменателя}.$$

Для геодезического четырехугольника составляется четыре боковых условия — для каждой его вершины. Допустимость свободных членов боковых условий определяется по формуле (31). Пример на вычисление полусного условия приведен в табл. 48 и бокового в табл. 49.

2. Базисное условие возникает в рядах или сетях триангуляции, где имеются две или более стороны, длины которых известны, это базисные, выходные стороны триангуляции высшего класса. Предположим, что в ряде триангуляции, изображенном на рис. 93, имеются две известные стороны — S_1 и S_2 . Для составления базисного условия вычислим последовательно связующие стороны треугольников 1, 2, 3, 4 и 5, начиная от известной стороны S_1 . Так,

$$a_1 = S_1 \frac{\sin 3}{\sin 1}; \quad a_2 = a_1 \frac{\sin 6}{\sin 4},$$

2. Боковые условия в геодезическом четырехугольнике

Полус п. 5. Чертанова

№ угла	Числитель		№ угла	Знаменатель	
	Плоские углы	Логарифм синуса углов		Плоские углы	Логарифм синуса углов
15	38° 03' 17,87"	9,789 8747	13+14	112° 34' 00,77"	9,965 4050
10+17	113 37 01,32	9,962 0110	16	28 59 33,14	9,685 4692
13	46 39 04,35	9,861 6470	10	66 34 47,87	9,962 6609
		$\Sigma = 9,613\ 5327$			$\Sigma = 9,613\ 5351$

 $w_{\text{бок}} = \Sigma |g| \text{ числителя} - \Sigma |g| \text{ знаменателя}$ $w_{\text{бок}} = -2,4 \text{ ед. 6-го знака логарифма}$ $w_{\text{доп}} = \pm 2,5_{\text{ед}} \sqrt{\Sigma (\Delta 1'')^2} = \pm 2,5 \times 1'' \times \sqrt{28,1612} = \pm 2,5 \times 1 \times 5,30 = \pm 13,2 \text{ ед. 6-го знака логарифма}$

Полус п. 7 Захарыно

17	47 02 13,45	9,864 3893	15+16	67 02 51,01	9,964 1787
11+12	66 46 06,74	9,963 2772	10	66 34 47,87	9,962 6609
15	38 03 17,87	9,789 8747	12	29 22 42,58	9,690 7069
		$\Sigma = 9,617\ 5412$			$\Sigma = 9,617\ 5465$

 $w_{\text{бок}} = -5,3 \text{ ед. 6-го знака логарифма}$ $w_{\text{доп}} = \pm 2,5 \times 1'' \times \sqrt{28,5527} = \pm 2,5 \times 5,34 \times 1'' = \pm 13,4 \text{ ед. 6-го знака логарифма}$

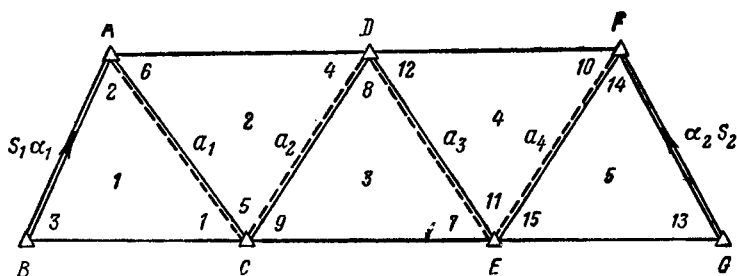


Рис. 93

подставив сюда значение a_1 , получим

$$a_2 = S_1 \frac{\sin 3 \sin 6}{\sin 1 \sin 4};$$

по аналогии для a_3 будет

$$a_3 = S_1 \frac{\sin 3 \sin 6 \sin 9}{\sin 1 \sin 4 \sin 7},$$

и, наконец, в пятом треугольнике мы получим длину стороны S_2

$$S_2 = S_1 \frac{\sin 3 \sin 6 \sin 9 \sin 12 \sin 15}{\sin 1 \sin 4 \sin 7 \sin 10 \sin 13}$$

или

$$S_2 \sin 1 \sin 4 \sin 7 \sin 10 \sin 13 = S_1 \sin 3 \sin 6 \sin 9 \sin 12 \sin 15.$$

Логарифмируя равенства и перенося в одну сторону, получим

$$\begin{aligned} & \lg [S_2 \sin 1 \sin 4 \sin 7 \sin 10 \sin 13] - \\ & - \lg [S_1 \sin 3 \sin 6 \sin 9 \sin 12 \sin 15] = 0. \end{aligned} \quad (B)$$

Равенство (B) будет справедливо только для уравненных углов. Если подставим сюда углы неуравненные, получим свободный член базисного условия, т. е.

$$\begin{aligned} w_{\text{баз}} &= \lg [S_2 \sin 1 \sin 4 \sin 7 \sin 10 \sin 13] - \\ & - \lg [S_1 \sin 3 \sin 6 \sin 9 \sin 12 \sin 15]. \end{aligned} \quad (32)$$

Свободный член базисного условия не должен превышать величины, вычисленной по формуле [11]

$$w_{\text{баз. доп}} = \pm 2,5 \sqrt{\mu^2 \Sigma \delta^2 + 2m_s^2}, \quad (33)$$

где μ , m_s — соответственно средние квадратические погрешности измерения угла и исходной стороны; $\Sigma \delta^2$ — сумма квадратов изменений логарифмов синусов связующих углов треугольников, при изменении углов на $1''$.

Величину m_s удобнее вычислять в единицах 6-го знака логарифма. Числовой пример составления базисного условия и вычисления свободного члена приведен в табл. 50 (см. рис. 85). Приведем относительные и средние квадратические погрешности логарифмов сторон для различных классов триангуляции (табл. 51).

3. Базисное условие

$$b_2 = b_1 \frac{\sin 3 \sin 6 \sin 9 \sin (10 + 17) \sin 12}{\sin 1 \sin 4 \sin 7 \sin 16 \sin (13 + 14)},$$

$$\begin{aligned} w_{622} &= \Sigma \lg [b_2 \sin 1 \sin 4 \sin 7 \sin 16 \sin (13 + 14) - \\ &- \Sigma \lg (b_1 \sin 3 \sin 6 \sin 9 \sin (10 + 17) \sin 12] \end{aligned}$$

№ угла	Плоские углы	Логарифмы синусов углов	$\Delta 1''$	№ угла	Плоские углы	Логарифмы синусов углов	$\Delta 1''$
1	83° 24' 27,79"	$\lg b_2 = 3,994\ 6040$	+0,25	3	57° 42' 50,38"	$\lg b_1 = 4,339\ 9739$	+1,33
4	59 03 08,05	9,997 1190	+1,26	6	46 39 02,01	9,927 0583	+1,99
7	60 07 05,98	9,933 3032	+1,21	9	32 41 53,81	9,861 6423	+3,28
16	28 59 33,14	9,938 0472	+3,80	10+17	113 37 01,32	9,732 5667	-0,92
13+14	112 34 00,77	9,685 4692	-0,88	12	29 22 42,58	9,962 0110	+3,74
		9,965 4050				9,690 7069	
		$\Sigma = 3,513\ 9476$				$\Sigma = 3,513\ 9591$	

$$\mu = \pm 1''$$

$$m_s = 1 : 200\ 000$$

$$m_{\lg s} = \pm 2,17 \text{ ед. 6-го знака логарифма } w_{622} = -11,5 \text{ ед. 6-го знака логарифма}$$

$$w_{\text{доп}} = \pm 2,5 \sqrt{\mu^2 \Sigma (\Delta 1'')^2 + 2m_{\lg s}^2} = \pm 2,5 \sqrt{1 \times 49,65 + 2 \times 2,17^2} = \pm 19,2 \text{ ед. 6-го знака логарифма.}$$

Вычислял: А. В. Попов

22 декабря 1973 г.

Таблица 51

Класс триангу- ляции	Сторона	Относительная ошибка	$m_{\text{гс}}$ в едини- цах 6-го знака логарифма	Примечание
1	Базисная	1 : 400 000	1,1	Жесткая сплош- ная сеть
1	Слабая	1 : 150 000	2,9	
2	Базисная	1 : 300 000	1,4	
2	Слабая	1 : 200 000	2,2	

Таблица 52

4. Условие дирекционных углов

$$\begin{aligned}
 (\alpha_2)_{\text{выч}} &= \alpha_1 + <2 - <5 + <8 - <11 + <15 + n \cdot 180^\circ & \alpha_1 &= 136^\circ 33' 09,54'' \\
 & & + <2 &= 38 \ 52 \ 41,71 \\
 \omega_\alpha = (\alpha_2)_{\text{выч}} - \alpha_2 & & & - <5 = 74 \ 17 \ 46,57 \\
 f_{(\alpha_2)_{\text{выч}}} &= 8^\circ 59' 00,96'' & \mu_\beta &= \pm 1'' & + <8 = 87 \ 11 \ 02,57 \\
 \alpha_2 &= 8 \ 59 \ 01,82 & m_\alpha &= 0,5'' & - <11 = 37 \ 23 \ 24,16 \\
 \omega_\alpha &= 0,86 & & & + <15 = 38 \ 03 \ 17,87 \\
 \omega_{\text{доп}} &= 5,8 & & & + 5 \cdot 180 = 900 \ 00 \ 00,00 \\
 & & & & (\alpha_2)_{\text{выч}} &= 8^\circ 59' 00,96''
 \end{aligned}$$

Вычислял: А. В. Попов

22 декабря 1973 г.

3. Условие дирекционных углов (азимутальное) возникает в сети или ряде триангуляции, в которых имеются две или более сторон с известными дирекционными углами. Так, на рис. 93 стороны AB и FG имеют дирекционные углы α_1 и α_2 соответственно. От дирекционного угла α_1 стороны AB можно через промежуточные углы треугольников последовательно перейти к дирекционному углу стороны FG . Так,

$$\alpha_2 = \alpha_1 \pm 180^\circ - \angle 2 \pm 180^\circ + \angle 5 \pm 180^\circ - \angle 8 \pm 180^\circ + \angle 11 \pm 180^\circ - \angle 14 \quad (14)$$

или

$$\alpha_2 = \alpha_1 - \angle 2 + \angle 5 - \angle 8 + \angle 11 - \angle 14 \pm n \cdot 180^\circ, \quad (C)$$

где n — число промежуточных углов, участвующих в передаче.

Равенство (C) справедливо только для уравнированных углов. Если же мы подставим в него измеренные (приведенные или редуцированные) углы, мы получим значение дирекционного угла стороны FG — $\alpha_{\text{вычисленное}}$, отличное от данного α_2 . Разность

$$\alpha_{\text{вычисленное}} - \alpha_2 = \omega_\alpha \quad (34)$$

и будет представлять собой свободный член условия дирекционных углов. ω_α не должен превышать величины, вычисленной по формуле

$$\omega_{\alpha \text{ доп}} = \pm 2,5 \sqrt{\mu^2 n + 2m_\alpha^2}, \quad (35)$$

где μ — установленная инструкцией средняя квадратическая ошибка измерения угла, соответствующая классу триангуляции; m_a — средняя квадратическая ошибка исходного дирекционного угла; n — число углов, участвующих в передаче дирекционного угла (пример см. в табл. 52).

§ 48. ВЫЧИСЛЕНИЕ РАБОЧИХ КООРДИНАТ ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПУНКТОВ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Часто съемочные работы производят до окончания уравнивания триангуляции, в результате которого будут получены окончательные координаты определяемых пунктов. В таких случаях возникает необходимость вычислить так называемые рабочие координаты, точность которых позволяет на их основе ставить съемочные работы. Так, для съемок масштаба 1 : 25 000 нужно знать координаты пунктов триангуляции с ошибкой ± 2 м, для съемок масштаба 1 : 10 000 с ошибкой ± 1 м.

Рабочие координаты удобнее всего вычислять по формулам котангенсов углов треугольника.

На рис. 94 пункты A и B исходные, т. е. имеющие координаты. Пункт C определяемый. Представляя себя стоящим на линии AB лицом к определяемому пункту C , обозначим углы в треугольнике таким образом: угол, расположенный слева от наблюдателя, всегда 1, справа — всегда 2, на определяемом пункте — 3. По этому же правилу пронумеруем и пункты: A — 1, B — 2 и C — 3. Тогда координаты определяемого пункта 3 будут

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= \frac{x_1 \operatorname{ctg} 2 + x_2 \operatorname{ctg} 1 + y_2 - y_1}{\operatorname{ctg} 1 + \operatorname{ctg} 2} \\ y_3 &= \frac{y_1 \operatorname{ctg} 2 + y_2 \operatorname{ctg} 1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg} 1 + \operatorname{ctg} 2} \end{aligned} \right\}. \quad (36)$$

Предварительные координаты пункта Сокольники вычислены в табл. 53.

Список вычисленных рабочих координат определяемых пунктов приведен в табл. 54.

Порядок и схема вычислений рабочих координат по этим формулам дается в табл. 55.

1. В графу 1 выписываем номера (названия) пунктов по вышеуказанному правилу.

2. В графу 2 выписываем измеренные плоские, приведенные к центру углы треугольника; в графу 3 — исправленные за $\frac{1}{3}$ невязки треугольника с обратным знаком. Углы выписываются с точностью до $0,1''$.

3. В графы 4 и 6 выписывают координаты исходных пунктов с точностью до 0,1 м.

4. В графу 5 выписывают котангенсы углов треугольника. Проконтролировать

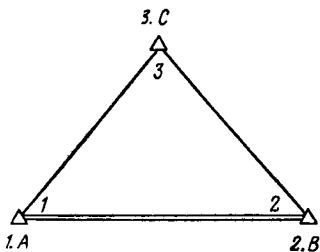


Рис. 94

выбор котангенсов углов можно по следующей формуле:

$$\operatorname{ctg} 1 \operatorname{ctg} 2 + \operatorname{ctg} 2 \operatorname{ctg} 3 + \operatorname{ctg} 3 \operatorname{ctg} 1 = 1, \quad (37)$$

т. е. сумма произведений котангенсов смежных углов в треугольнике равна единице.

Вычисления производятся на арифмометре без промежуточных записей. Котангенсы углов выбираются из шестизначных таблиц натуральных значений тригонометрических функций. Вычисленные координаты определяемого пункта записываются сразу в графы 4 и 6 против его названия.

Контроль вычисления рабочих координат:

а) координаты пункта сети, данные и переданные по ряду треугольников, могут расходиться не более чем на 1—2 м (имеется в виду пункт с известными координатами);

б) координаты одного и того же пункта, полученные из разных передач (например через диагональ геодезического четырехугольника), могут расходиться в пределах 1—2 м.

Если нельзя произвести контроль указанными методами, нужно вычислить рабочие координаты в две руки.

Таблица 53

Вычисление прямоугольных координат Гаусса—Крюгера п. Сокольников

№ действий	Формулы	1. Храброво 2. Сокольников	№ действий	Формулы	
1	$\alpha_{1.2}$	136° 33' 09,54"	7	X_1	6 072 978,38
5	$\lg \Delta x$	4 200 9145n	9	Δx	—15 882,34
4	$\lg \cos \alpha_{1.2}$	9 860 9406n	11	X_2	6 057 096,04
2	$\lg d_{1.2}$	4 339 9739	8	Y_1	6 424 165,81
3	$\lg \sin \alpha_{1.2}$	9 837 3913	10	Δy	+15 044,07
6	$\lg \Delta y$	4 177 3652	12	Y_2	8 439 209,88

$$X_2 = 6\,057\,096,04$$

$$Y_2 = 8\,439\,209,88$$

Вычислял: А. В. Попов

23 декабря 1973 г.

Таблица 54

Список
рабочих координат определяемых пунктов

№ пункта	Название пункта	Координаты	
		x	y
1	Елья	6'075"654,0	8'437"726,8
2	Занино	6 072 605,8	8 453 216,7
3	Чертаново	6 082 338,4	8 454 638,8
4	Бугайлово	6 066 088,6	8 463 674,8
5	Захарьино	6 075 845,1	8 465 216,2

Вычислял: А. В. Попов

23 декабря 1973 г.

Вычисление рабочих координат пунктов триангуляции

$$x_3 = \frac{x_1 \operatorname{ctg} 2 + x_2 \operatorname{ctg} 1 - y_1 + y_2}{\operatorname{ctg} 1 + \operatorname{ctg} 2}; \quad y_3 = \frac{y_1 \operatorname{ctg} 2 + y_2 \operatorname{ctg} 1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg} 1 + \operatorname{ctg} 2}$$

Название пунктов 1) Исходные 2) Опре- 3) определяемые	Измеренные углы, " " "	Исправ- ленные углы , "	x_1 x_2 x_3	$\operatorname{ctg} 1$ $\operatorname{ctg} 2$ $\operatorname{ctg} 3$ $\operatorname{ctg} 1 + \operatorname{ctg} 2$	y_1 y_2 y_3
1	2	3	4	5	6
Храброво Сокольники Ельня	57 42 50,4	42 50,4	6 072 978,4	+0,631834	8 424 165,8
	38 52 41,7	52 41,8	6 057 096,0	+1,240274	8 439 209,9
	83 24 27,8	24 27,8	6 075 654,0	+0,115567	8 437 726,8
	179 59 59,9 —0,1	00 00 0		+1,872108	
Ельня Сокольники Занино	74 17 46,6	17 47,7	6 075 654,0	+0,281152	8 437 726,8
	46 39 02,0	39 03,2	6 057 096,0	+0,943728	8 439 209,9
	59 03 08,0	03 09,1	6 072 605,8	+0,599616	8 453 216,7
	179 59 56,6 —3,4	00 00,0		+1,225124	
Ельня Занино Чертаново	32 41 53,8	41 53,0	6 075 654,0	+1,557776	8 437 726,7
	87 11 02,6	11 01,8	6 072 605,8	+0,049190	8 453 216,7
	60 07 06,0	07 05,2	6 082 338,4	+0,574606	8 454 638,8
	180 00 02,4 +2,4	00 00 0		+1,606966	
Чертаново Занино Бугайлово	37 23 24,2	23 24,7	6 082 338,4	+1,308406	8 454 638,8
	113 37 01,3	37 01,7	6 072 605,8	—0,437247	8 453 216,7
	28 59 33,1	59 33,6	6 066 088,6	+1,804605	8 463 674,8
	179 59 58,6 —1,4	00 00 0		+0,871151	
Чертаново Бугайлово Захарьино	29 22 42,6	22 42,2	6 082 338,4	+1,776285	8 454 638,8
	38 03 18,0	03 17,5	6 066 088,6	+1,277424	8 463 674,8
	112 34 00,8	34 00,3	6 075 845,2	—0,415583	8 465 216,2
	180 00 01,4 +1,4	00 00 0		+3,053 709	
Занино Бугайлово Захарьино	47 02 13,4	02 13,2	6 072 605,8	+0,931310	8 453 216,7
	67 02 51,0	02 50,7	6 066 088,6	+0,423496	8 463 674,8
	65 54 56,4	54 56,1	6 075 845,0	+0,446996	8 465 216,2
	180 00 00,8 +0,8	00 00 0		+1,354806	

Вычислял: А. В. Попов

22 декабря 1973 г.

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 49. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ. ФОРМУЛА ОДНОСТОРОННЕГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Пункты триангуляции являются государственной как плановой, так и высотной геодезической основой, необходимой для картографирования страны. Точность определения высот пунктов триангуляции зависит от масштабов топографических съемок и от рельефа местности. Районы обжитые, равнинно-открытые, как правило, являются районами интенсивного развития хозяйства. На этих территориях проводятся крупномасштабные съемки, а высоты пунктов триангуляции должны определяться из геометрического нивелирования. В необжитых, залесенных, горно-таежных районах, где проводить геометрическое нивелирование трудно и где пока не требуется крупномасштабное картографирование, высоты пунктов определяют из геодезического нивелирования.

Действующая инструкция по триангуляции предусматривает, что для контроля и повышения точности вычислений высот пунктов триангуляции из геодезического нивелирования через каждые 75 км необходимо иметь в качестве исходных пункты, высоты которых определены из геометрического нивелирования.

Из курса геодезии известна формула превышения одностороннего геодезического нивелирования

$$h_{12} = S \operatorname{tg} \alpha_1 + i_1 - v_2 + f.$$

Применительно к триангуляции, где вместо α измеряют зенитные расстояния z , формула имеет вид

$$h_{12} = S \operatorname{ctg} z + i_1 - v_2 + f, \quad (a)$$

где $f = f_k + f_r$ — суммарная поправка за кривизну Земли и рефракцию, которая выбирается из специальных таблиц по измеренному расстоянию.

Рассмотрим поправку f подробнее. На уровенной поверхности Земли, которую примем за поверхность шара радиуса R , возьмем две точки 1 и 2 (рис. 95). Из-за кривизны Земли, чтобы увидеть из точки 1 точку 2, надо последнюю поднять на отрезок f_k , который и является поправкой за кривизну Земли. Из рисунка видно, что

$$(R + f_k)^2 = R^2 + S^2,$$

откуда

$$f_k = \frac{S^2}{2R} - \frac{f_k^2}{2R}.$$

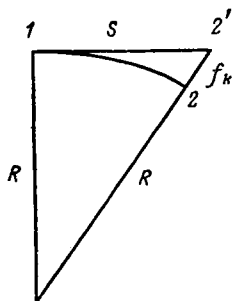


Рис. 95

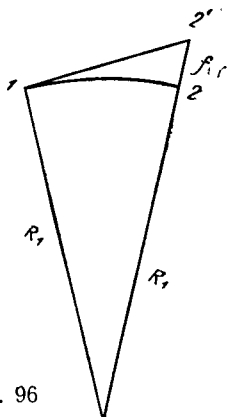


Рис. 96

Последним членом по его малости можно пренебречь, тогда

$$f_k = \frac{S^2}{2R}. \quad (б)$$

Поправку за кривизну Земли надо вводить в превышения со знаком плюс, так как фактически превышение измеряется относительно точки 2', а на самом деле оно измеряется относительно точки 2.

Возьмем две точки 1 и 2 (рис. 96). Визирный луч из точки 1 вследствие рефракции до точки 2 пойдет по некоторой кривой радиуса R_1 , обращенной своей вогнутостью к Земле. Таким образом, точка 2 при наблюдении будет лежать по направлению касательной к рефракционной кривой, т. е. в точке 2'. Отрезок f_r , расположенный между точками 2 и 2', будет поправкой за рефракцию. Из рис. 96 можно записать

$$f_r = \frac{S^2}{2R_1}. \quad (в)$$

Опытным путем установлено, что R_1 примерно в семь раз больше R и отношение

$$\frac{R}{R_1} \approx 0,14 = K,$$

где K — коэффициент земного преломления (коэффициент рефракции). Отсюда

$$R_1 = \frac{R}{K_1}.$$

Подставим в (в) вместо R_1 его значение и найдем

$$f_r = \frac{KS^2}{2R}. \quad (г)$$

Поправку за рефракцию надо вводить в превышения со знаком минус, так как фактически вместо точки 2 наблюдали несколько завышенное ее положение (точку 2').

Суммарная поправка (б) и (з) с учетом знаков равна

$$\dot{f} = f_k - f_r = \frac{S^2}{2R} - \frac{KS^2}{2R} = \frac{1-K}{2R} \cdot S^2. \quad (\partial)$$

Теперь формулу (а) можно переписать:

$$h_{12} = S \operatorname{ctg} z_1 + i_1 - v_2 + \frac{1-K}{2R} \cdot S^2. \quad (38)$$

§ 50. ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА С ПО ИЗМЕРЕННЫМ ПРЕВЫШЕНИЯМ

Погрешности измерения зенитных расстояний носят случайный характер. При многократности измерений зенитных расстояний высокоточными теодолитами случайные погрешности в значительной мере компенсируются. Другое дело с выбором коэффициента рефракции. Величина его в течение суток может изменяться в пределах от 0,10 до 0,22. Практика показала, что можно существенно ослабить погрешность за рефракцию, если:

а) зенитные расстояния измерять в периоды достаточно четких изображений целей, но обязательно исключать периоды, близкие, в пределах двух часов, к восходу и заходу Солнца;

б) соблюдать установленную методику измерения зенитных расстояний (см. § 37);

в) применять двустороннее геодезическое нивелирование.

Последнее условие рассмотрим особо.

Примем $\frac{(1-K)}{2R} = C$, тогда выражение (д) запишется

$$\dot{f} = CS^2 \quad (e)$$

и формулы превышения (е) примут вид:

для прямого

$$h_{12} = S \operatorname{ctg} z_1 + i_1 - v_2 + CS^2; \quad (ж)$$

для обратного

$$h_{21} = S \operatorname{ctg} z_2 + i_2 - v_1 + CS^2. \quad (ж')$$

Перепишем формулы для прямого и обратного превышений в таком виде:

$$\left. \begin{aligned} h_{12} &= h'_{12} + CS^2 \\ h_{21} &= h'_{21} + CS^2 \end{aligned} \right\}, \quad (з)$$

где h'_{12} и h'_{21} — превышения, вычисленные по формулам (ж) и (ж') без последнего члена.

Суммируя равенства (з) и учитывая, что $h_{12} = -h_{21}$, найдем

$$C = -\frac{h'_{12} + h'_{21}}{2S^2}. \quad (39)$$

Вероятнейшее значение коэффициента C находится как среднее из 20—25 превышений, измеренных в прямом и обратном направлениях, желательно по наиболее длинным сторонам сети триангу-

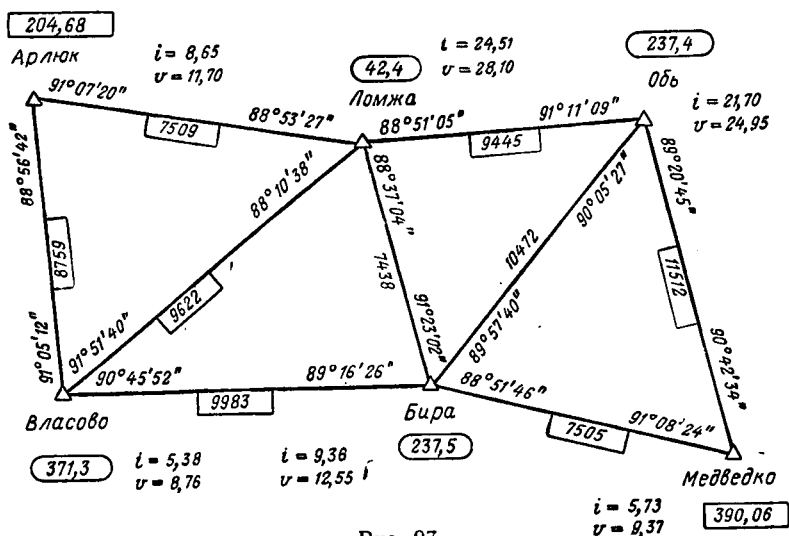


Рис. 97

ляции. По найденному вероятнейшему значению C вычисляют (как произведение CS^2) суммарные поправки за кривизну Земли и рефракцию в каждое одностороннее превышение.

Вычисленные прямые и обратные превышения по абсолютной величине для сторон до 10 км не должны расходиться более чем на один метр. При больших расстояниях допустимое расхождение подсчитывается по формуле

$$\Delta h_m = \pm 0,1 S_{\text{км}}.$$

Из прямого и обратного превышений, удовлетворяющих указанному выше требованию, выводятся средние значения превышения до 0,1 м.

Контролем допустимости средних превышений являются величины невязок, подсчитанных по замкнутым полигонам или ходам. Невязки не должны превышать значений, вычисленных по формуле

$$W = \pm 0,5 \sqrt{[S^2] + n},$$

где $[S^2]$ — сумма квадратов длин сторон более 10 км, по которым подсчитывалась невязка (S берется в км); n — число сторон короче 10 км, участвующих в подсчете невязки.

Дана цепь четырех треугольников триангуляции между двумя твердыми пунктами с известными отметками, определенными из геометрического нивелирования (рис. 97). Все необходимые данные для вычисления превышений даны на схеме. Вычисления превышений ведутся по прилагаемой табл. 56 с использованием арифмометра.

Для вычисления коэффициента

$$C = \frac{h'_{12} + h_{21}}{2S^2}$$

составляется отдельная табл. 57.

Превышения, получаемые по формуле, выбирают из табл. 56

$$h' = S \operatorname{ctg} z + i - v.$$

Далее по среднему значению C находят произведения CS^2 , которые записываются в табл. 56 по каждому направлению. Значения прямых и обратных превышений в графе h получились в пределах установленных допусков.

Таблица 56

Вычисление превышений геодезического нивелирования

Название наблю- денных пунктов	Высота визирова- ния, м	Зенитное расстоя- ние	S , м	$S \operatorname{ctg} z$	CS^2	$i_1 - v_2$	h , м	p
Арлюк $i = 8,65$								
Ломжа	28,10	91°07'20"	7509	−147,09	+3,92	−19,45	−162,62	1,77
Власово	8,76	88 56 42	8759	+161,30	+5,34	−0,11	+166,53	1,30
Власово $i = 5,38$								
Арлюк	11,70	91 05 12	8759	−166,14	+5,34	−6,32	−167,12	1,30
Ломжа	28,10	91 51 40	9622	−312,66	+6,44	−22,72	−328,94	1,08
Бира	12,55	90 45 52	9983	−133,19	+6,94	−7,17	−133,42	1,00
Ломжа $i = 24,51$								
Обь	24,95	88 51 05	9445	+189,37	+6,21	−0,44	+195,14	1,12
Бира	12,55	88 37 04	7438	+179,47	+3,85	+11,96	+195,28	1,81
Власово	8,76	88 10 38	9622	+306,22	+6,44	+15,75	+328,41	1,08
Арлюк	11,70	88 53 27	7509	+145,38	+3,92	+12,81	+162,11	1,77
Бира $i = 9,36$								
Власово	8,76	89 16 26	9983	+126,52	+6,94	+0,60	+134,06	1,00
Ломжа	28,10	91 23 02	7438	+179,69	−3,85	+18,74	−194,58	1,81
Обь	24,95	89 57 40	10472	+7,11	+7,42	−15,58	−1,05	0,91
Медведко	9,37	88 51 46	7505	+148,98	+3,92	−0,01	+152,89	1,78
Обь $i = 21,70$								
Медведко	9,37	89 20 45	11512	+131,44	+9,25	+12,43	+153,12	0,75
Бира	12,55	90 05 27	10472	−16,60	+7,42	+9,15	−0,03	0,91
Ломжа	28,10	91 11 09	9445	−195,51	+6,21	−6,40	−195,70	1,12
Медведко $i = 5,73$								
Бира	12,55	91 08 24	7505	−149,34	+3,92	−6,82	−152,24	1,78
Обь	24,95	90 42 34	11512	−142,55	+9,25	−19,22	−152,52	0,75

Вычислял: А. В. Петров

12 сентября 1974 г.

Вычисление коэффициента C

№ п/п	Название направлений	h'_{12}	h'_{21}	$\frac{h_{12} + h_{21}}{2}$	S^2 , км	C
1	Арлюк — Власово	+161,19	-172,43	5,62	76,72	0,0733
2	Арлюк — Ломжа	-166,54	+158,19	4,18	56,39	0,0741
3	Власово — Ломжа	-335,38	+321,97	6,70	92,58	0,0724
4	Власово — Бира	-140,36	+127,12	6,62	99,66	0,0664
5	Ломжа — Обь	+188,93	-201,91	6,49	89,21	0,0727
6	Ломжа — Бира	+191,43	-198,43	3,50	55,32	0,0633
7	Бира — Обь	-8,47	-7,45	7,96	106,66	0,0726
8	Бира — Медведко	+148,97	-156,16	3,60	56,33	0,0639
9	Обь — Медведко	+143,87	+161,77	8,95	132,87	0,0673
					Среднее	0,0696

Вычислял: А. В. Петров

12 сентября 1974 г.

Произведем проверку превышений по невязкам ходов, для чего возьмем средние превышения. Вычислим невязку по ходу Арлык — Ломжа — Обь — Медведко:

$$[h] = (-162,36) + (+195,42) + (+152,82) = +185,88.$$

Превышение между твердыми точками равно +185,38. Невязка

$$W = 185,88 - 185,38 = +0,50 \text{ м.}$$

Рассчитаем допустимую невязку для нашего примера:

$$W_{\text{доп}} = \pm 0,5 \sqrt{(1,15)^2 + 2} = \pm 0,9 \text{ м.}$$

По ходу Арлык — Власово — Бира — Медведко

$$[h] = (+166,82) + (-133,74) + (+152,56) = +185,64 \text{ м.}$$

$$W = 185,64 - 185,38 = +0,26 \text{ м.}$$

$$W_{\text{доп}} = \pm 0,5 \sqrt{3} = \pm 0,9 \text{ м.}$$

§ 51. УРАВНИВАНИЕ ВЫСОТ СПОСОБОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ

Высоты определяемых пунктов Власово, Бира, Арлык и Ломжа взаимосвязаны как между собой, так и с исходными пунктами Арлык и Медведко. Изменение отметки одного из них неизбежно вызовет изменение отметок всех остальных пунктов, поэтому уравнивание следует производить совместно, с учетом их взаимосвязей.

Одним из универсальных методов уравнивания, нашедшим широкое применение, является метод последовательных приближений. В его основу положен принцип получения вероятнейшего значения отметки узловых точки путем последовательных приближений.

Сначала высоты всех определяемых пунктов находят в первом приближении путем непосредственной передачи на них превышений

от исходных пунктов. Во втором и последующих приближениях вероятнейшее значение отметок определяемых пунктов как узловых точек находят с учетом весов по всем взаимосвязанным направлениям. Веса двусторонней связи вычисляются по формуле

$$p = \frac{100}{S_{\text{км}}^2}.$$

Для односторонней связи вес берется наполовину меньше. Вероятнейшее значение отметки узловой точки находят по известной формуле

$$H_{\text{вер}} = \frac{H_1 p_1 + H_2 p_2 + \dots + H_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}.$$

Чтобы при каждом вычислении отметки не делить на сумму весов, значения последних преобразуют с таким расчетом, чтобы их сумма равнялась единице. Это станет возможным, если на каждом определяемом пункте подсчитать сумму весов $[p]$ по всем взаимосвязанным направлениям, и преобразованный вес по каждому из них находить по формуле

$$p'_i = \frac{p_i}{[p]}.$$

Рассмотрим порядок уравнивания (табл. 58). В графу 1 табл. 58 записывают пункты, с которых измерялись превышения на определяемый пункт.

1. В графу 3 таблицы выписывают веса по всем измеренным направлениям, вычисленные по формуле

$$p = \frac{100}{S_{\text{км}}^2}.$$

$S_{\text{км}}^2$ можно взять из табл. 57.

2. В графу 2 записывают средние превышения по соответствующим направлениям из табл. 56. Рекомендуется начинать вычисления с пунктов, имеющих наибольшее число связей (в нашем примере пункт Ломжа). Средние превышения надо выписывать со знаками, соответствующими направлениям с соседних пунктов на определяемый.

3. Суммируя веса и деля вес каждого направления на эту сумму, находят преобразованные веса (графа 4). Контроль: сумма преобразованных весов для каждого пункта должна равняться единице.

4. В первом приближении (графа 5) отметки определяемых пунктов получают путем непосредственных передач средних превышений с исходных пунктов. При передаче с двух исходных пунктов отметку в первом приближении следует находить по формуле

$$H' = \frac{H_1 p_1 + H_2 p_2}{p_1 + p_2}.$$

Уравнивание высот определяемых пунктов сети триангуляции по методу приближений

Пункты	Среднее превышение	Вес		Приближения		
		p	p'	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7
1. Ломжа						
Арлюк	-162,36	1,77	0,31	42,32	42,32	42,32
Обь	-195,42	1,12	0,19		41,82	41,97
Бира	-194,92	1,81	0,31		42,58	42,62
Власово	-328,68	1,08	0,19		42,82	62
	Σ	5,78	1,00	42,32	42,40	42,40
2. Бира						
Медведко	-152,56	1,78	0,32	237,50	237,50	237,50
Власово	-133,74	1,00	0,18		237,76	56
Ломжа	+194,93	1,81	0,33		33	33
Обь	+0,54	0,91	0,17		78	93
	Σ	5,50	1,00	237,50	237,54	237,52
3. Власово						
Арлюк	+166,82	1,30	0,38	371,50	371,50	371,50
Ломжа	+328,68	1,08	0,32		08	08
Бира	+133,74	1,00	0,30		28	26
	Σ	3,38	1,00	371,50	371,30	371,29
4. Обь						
Медведко	-152,82	0,75	0,27	237,24	237,24	237,24
Бира	-0,54	0,91	0,33		00	6,98
Ломжа	+195,42	1,12	0,40		82	82
	Σ	2,78	1,00	237,24	237,39	237,40

Вычислял: А. В. Петров

12 сентября 1974 г.

5. Во втором приближении (графа 6) отметку определяемого пункта уже возможно получить относительно всех смежных пунктов.

Вычисление вторых приближений рассмотрим на примере. Сначала вычисляем отметку пункта Ломжа относительно всех четырех направлений и записываем в графу 6 табл. 58. Вычисляем с пунктов:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Арлюк} & 204,68 - 162,36 = 42,32 \\
 \text{Обь} & 237,24 - 195,42 = 41,82 \\
 \text{Бира} & 237,50 - 194,93 = 42,58 \\
 \text{Власов} & 371,50 - 328,68 = 42,82
 \end{array}$$

Вероятнейшая отметка п. Ломжа во втором приближении будет найдена по преобразованным весам

$$H''_{\text{вер}} = H'_1 p'_1 + H'_2 p'_2 + \dots + H'_n p'_n.$$

Удобней предыдущей формуле придать другой вид. Обозначим приближенную до целых метров отметку определяемого пункта через H_0 и вычтем его из правой и левой частей предыдущей формулы

$$H''_{\text{вер}} - H_0 = (H'_1 - H_0) p'_1 + (H'_2 - H_0) p'_2 + \dots + (H'_n - H_0) p'_n,$$

откуда

$$H''_{\text{вер}} = H_0 + [H' - H_0] p'.$$

Поясним на примере. Округлим отметку п. Ломжа до целых метров, $H_0 = 42$ м, и на арифмометре сделаем действия, согласно формуле

$$H''_{\text{вер}} = 42,00 + (42,32 - 42,00) \cdot 0,31 + (41,82 - 42,00) \cdot 0,19 + \\ + (42,57 - 42,00) \cdot 0,31 + (42,82 - 42,00) \cdot 0,19 = 42,40.$$

При умножении на отрицательную разность рукоятку арифмометра вращать в обратном направлении. Найденная вероятнейшая отметка во втором приближении записывается под чертой.

6. Переходим к следующему по порядку пункту Бира. Для него, как и для последующих, отметка во втором приближении будет находиться точно так же, как и для п. Ломжа. Отметки соседних пунктов надо брать в их последнем приближении. Так, на п. Ломжа отметка будет взята уже во втором приближении, т. е. 42, 40.

7. Закончив вычисления отметок во втором приближении для всех пунктов, переходят к нахождению их третьих приближений, начиная по порядку сверху таблицы.

8. Так продолжают до тех пор, пока значения высот в двух последних приближениях для каждого пункта будут сходиться в пределах 0,05 м. В нашем примере можно ограничиться третьим приближением.

9. Значения высот, полученных в последнем приближении, считают окончательными. Их следует выписать на схему с округлением до 0,1 м. Контроль уравнивания и оценка точности уравненных высот пунктов приведены в табл. 59. Порядок вычисления следующий:

а) пункты записываются в той же последовательности, что и в табл. 58;

б) уравненные превышения получаются как разности уравненных высот пунктов — большая высота минус меньшая;

в) измеренные средние превышения переписываются из табл. 58 с точностью до 0,1 м;

г) разности δ получаются как $\delta = h_{\text{ур}} - h_{\text{изм}}$;

д) контрольная величина K подсчитывается по формуле

$$K = [p' \delta].$$

Контроль и оценка точности вычисления высот пунктов триангуляции

Пункты	Превышения		δ	ρ'	$\delta\rho'$	$\delta^2\rho'$	Оценка
	уравнен- ные	измерен- ные					
Л о м ж а							
Арлюк	162,3	162,4	-0,1	0,31	-0,031	0,0031	$m = \sqrt{\frac{0,0495}{4}} =$ $= \pm 0,11 \text{ м}$
Обь	195,0	195,4	-0,4	0,19	-0,076	0,0304	
Бира	195,1	194,9	+0,2	0,31	+0,062	0,0124	
Власово	328,9	328,7	+0,2	0,19	+0,038	0,0076	
$K = (\Sigma - 0,01)$						0,0495	
Б и р а							
Медведко	152,6	162,6	0,0	0,32	0,000	0,0000	$m = \pm 0,10 \text{ м}$
Власово	133,8	133,7	+0,1	0,18	-0,018	0,0018	
Ломжа	195,1	194,9	+0,2	0,33	+0,066	0,0132	
Обь	0,1	0,5	-0,4	0,17	-0,068	0,0272	
$K = (\Sigma 0,00)$						0,0422	
В л а с о в о							
Арлюк	166,6	166,8	-0,2	0,38	-0,076	0,0152	$m = \pm 0,10 \text{ м}$
Ломжа	328,9	328,7	+0,2	0,32	+0,064	0,0128	
Бира	133,8	133,7	+0,1	0,30	+0,030	0,0030	
$K = (\Sigma 0,04)$						0,0310	
О б ь							
Медведко	152,7	152,8	-0,1	0,27	-0,027	0,0027	$m = \pm 20 \text{ м}$
Бира	0,1	0,5	-0,4	0,33	-0,132	0,0528	
Ломжа	195,0	195,4	-0,4	0,40	-0,160	0,0640	
$K = (\Sigma 0,00)$						0,1195	
$M = \sqrt{\frac{0,0721}{4}} \approx \pm 0,14 \text{ м}$							

Вычислял: А. В. Петров

12 сентября 1973 г.

При подсчете K надо значение δ брать со своим знаком, если абсолютная величина соседнего пункта больше высоты контролируемого, и с обратным знаком, если высота соседнего пункта меньше. Точность уравнивания высоты считается допустимой, если K контролируемого пункта не превышает $\pm 0,05 \text{ м}$;

е) средняя квадратическая погрешность определения высоты пункта относительно соседних его пунктов находится по формуле

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

где n — число пунктов, с которых вычислялась высота определяемого пункта;

ж) средняя квадратическая погрешность определения высоты пункта для всей сети находится по формуле

$$M = \sqrt{\frac{[m^2]}{r}},$$

где r — число определяемых пунктов.

Средняя квадратическая погрешность измерения сети в нашем примере равна

$$M = \sqrt{\frac{[m^2]}{r}} = \sqrt{\frac{0,0721}{4}} \approx \pm 0,14 \text{ м.}$$

§ 52. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ И ПОЛИГОНОВ И СХЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ

Характеристики государственной геодезической сети и полигонометрии даны в главе I.

В данном параграфе несколько подробнее рассмотрим полигонометрию 3 и 4 классов и построение полигонометрии 1 и 2 разрядов как геодезических сетей сгущения при создании топографических планов масштабов 1 : 5000—1 : 500.

Основные характеристики полигонометрии 3 и 4 классов, 1 и 2 разрядов приведены в табл. 60.

Полигонометрические сети 3 класса строят только внутри полигонов полигонометрии 2 класса. Там, где уже построена сплошная сеть триангуляции 2 класса, развивают лишь сеть полигонометрии 4 класса.

Геодезические сети 3 и 4 классов могут развиваться методом трилатерации. Размеры треугольников и их форма должны отвечать требованиям, предъявляемым к триангуляции соответствующего класса, а стороны измеряться с относительными средними квадратическими погрешностями 1 : 100 000 для 3 класса и 1 : 40 000 для 4 класса.

Пункты полигонометрии 3 и 4 классов и 1 и 2 разрядов определяются относительно пунктов полигонометрии или триангуляции высших классов проложением одиночных ходов или систем ходов, образующих узловые пункты.

По форме полигонометрические ходы должны быть по возможности вытянутыми, не иметь крутых изломов. Пункты полигонометрии 3, 4 классов, 1 и 2 разрядов, прокладываемой на территории городов, поселков, промышленных площадок и сельских населенных пунктов, рекомендуется закреплять стенными знаками. Знаки закладывают в стены, цоколи, фундаменты кирпичных или бетонных зданий (сооружений) на высоте 0,5—1,0 м от поверхности земли. Закладывают стенные знаки с таким расчетом, чтобы от них было удобно вести угловые и линейные измерения.

При привязке линий полигонометрии к стенным знакам следует выполнять требования, изложенные в руководстве [24].

Высоты пунктов полигонометрии 3 и 4 классов и 1 и 2 разрядов должны быть определены из геометрического или геодезического нивелирования. При наблюдении по методу геодезического нивелирования пункты с высотами, полученными методом геометрического нивелирования, должны располагаться в полигонометрии

Основные характеристики полигонометрических ходов

Элементы полигонометрии	Классы		Разряды	
	3	4	1	2
Длина диагонали полигонометрического хода, км	30	При числе сторон 10 до 15 " 15 до 13 " 20 до 11	5 Между узловыми пунктами, между исходной и узловой 3 Периметр полигона 15	3 2 10
Длина стороны хода	3—10 км	Между узловыми пунктами, между исходной и узловой 7 Не менее 250 м	Наибольшая 800 м Наименьшая 120 м Оптимальная 300 м 15	350 м 80 м 200 м 15 м
Число сторон в ходе не более	6	20	± 5"	± 10"
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах)	± 1,5"	± 2,0"	± 5"	± 10"
Угловая невязка хода или полигона не более	—	—	± 10	± 20
Средняя квадратическая погрешность измерения длины стороны	До 5 км ± 5 см Свыше 5 км	До 500 м ± 2,0 см От 500 м до 1000 м ± 3,0 см Свыше 1000 м 1 : 40 000	1 : 10 000	1 : 5000
Относительная погрешность хода	1 : 100 000	1 : 25 000		

3 и 4 класса не реже, чем через три стороны, а в полигонометрии 1 и 2 разрядов — через пять сторон. Зенитные расстояния измеряют по всем без исключения сторонам в прямом и обратном направлениях. Односторонние измерения не допускаются. Порядок измерения зенитных расстояний указан в § 37.

§ 53. ОСОБЕННОСТИ УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОЛИГОНОМЕТРИИ

Для измерения углов полигонометрии в зависимости от класса применяют приборы, перечисленные в табл. 61.

Таблица 61

Приборы, применяемые в полигонометрии и	
Полигонометрия	Приборы
1 класс	T05, T1* и им равноточные
2 »	T0,5, T1 »
3 »	T1, T2 »
4 »	T1, T2 Theo 010 »
1 и 2 разряды	T2, Theo 010, T5 »

* T1 разрешается применять в труднодоступных районах.

Программа исследований угломерных приборов приводится в инструкции [13, прил. 11]. Методика исследований рассмотрена в главе V настоящего пособия.

Основными способами измерения углов в полигонометрии являются: способ во всех комбинациях и способ круговых приемов.

В полигонометрических ходах 1 и 2 классов углы измеряются способом во всех комбинациях с весом 24. В зависимости от числа направлений каждый угол измеряют числом приемов, указанным в инструкции [13, прил. 14].

На пунктах полигонометрических ходов 1 класса, где, как правило, всего по два направления, измеряют поочередно левые и правые по ходу лежащие углы 12 приемами каждый. При переходе от одного приема к другому лимб теодолита переставляют на угол 15° плюс 4 или 5', причем, если для первого приема левого угла начальной установкой лимба является отсчет $0^\circ 00'$, то для правого угла $\frac{15^\circ}{2} = 7^\circ 30'$.

На пунктах полигонометрических ходов остальных классов и разрядов, имеющих по два направления, измеряют на всем протяжении хода или левые, или правые по ходу лежащие углы.

Измерение углов на пунктах полигонометрии 1 класса выполняют не менее чем в две видимости, примерно равными частями. Во всех остальных классах и разрядах наблюдения разрешается выполнять в течение одной видимости.

В полигонометрических ходах 3 и 4 классов, 1 и 2 разрядов на пунктах, где имеется три и более направлений, применяют

Число приемов в зависимости от способа измерения, класса или разряда полигонометрии и применяемых приборов

Полигонометрия	Приборы	Способ измерений	
		Во всех комбинациях	Круговые приемы
		<i>тп</i>	Число приемов
3 класс	T1 (OT-02)	18 при $n < 4$	9
4 класс	T2 (ТБ-1, Theo 010)	24 „	12
	T1 (OT-02)		6
1 разряд	T2 (ТБ-1, Theo 010)	18 при $n < 3$	9
	T5	6 при $n < 3$	3
2 разряд	T2 (ТБ-1, Theo 010)	12 „	6
	T5	4 „	2
		8 „	4

способ круговых приемов. В табл. 62 приведено число приемов при угловых измерениях в полигонометрических ходах 3 и 4 классов 1 и 2 разрядов.

В табл. 63 приводятся допуски при измерении углов и направлений в зависимости от применяемого прибора.

При измерении углов в полигонометрии со столиков геодезических сигналов элементы приведения на пункте стояния теодолита дважды определяет лично наблюдатель: первый раз непосредственно перед началом наблюдения и второй после окончания.

В полигонометрии 4 класса направления на стенные знаки измеряют тремя круговыми приемами после окончания наблюдений на пункты ходовой линии. Колебания в отдельных приемах по этим направлениям, приведенных к общему нулю, не должны превышать: 10" при расстояниях свыше 10 м и 15" при расстояниях менее 10 м от вспомогательного до стенного знака. В полигонометрии 1 и 2 разрядов измерение направлений на стенные знаки производится по программе измерений основных углов.

В полигонометрии 4 класса и 1 разряда измерение углов должно выполняться, как правило, с применением трехштативной системы. Для устойчивости теодолита ноги штатива устанавливают на прочно забитые в землю колья.

Марки, входящие в комплект визирных целей (КВЦ) при измерении углов по трехштативной системе, должны удовлетворять условиям:

1) ось цилиндрического уровня, укрепленного на марке, должна быть перпендикулярна к оси вращения марки (условие проверяют обычным путем);

2) ось симметрии визирной цели марки должна совпадать с осью вращения марки. На марке пластилином укрепляют иглу в предполагаемом положении вертикальной оси марки. В зрительную трубу теодолита, установленного на расстоянии 5 м от марки,

Допуски при выполнении угловых измерений в полигонометрии

Основные элементы угловых измерений	T 05 ТТ-2/6	T1 (ОТ-02)	T2 (ТБ-1, Theo 010)	T5
Расхождение в полуприемах	6,0"	$\frac{6,0''}{(8,0'')}$	12,0"	12,0"
Расхождения в приемах	3,0	$\frac{4,0}{4,0}$	6,0	12,0
Колебания значений $2C$ в приеме	6,0	$\frac{6,0}{8,0}$	12,0	
Отклонения суммы среднего значения левого и правого углов на пункте полигонометрии 1 класса от 360°	2,0	$\frac{2,0}{3,0}$		
Колебания между повторными наблюдениями начального направления в начале и конце полуприема в способе круговых приемов		$\frac{5,0}{5,0}$	6,0	12,0
Колебания направлений в отдельных приемах, приведенных к общему нулю в способе круговых приемов		$\frac{5,0}{5,0}$	6,0	12,0

Примечания: 1. Разность отсчетов по барабану оптического микрометра при совмещении штрихов противоположных краев лимба не должна быть более $1''$ для теодолитов Т 05, Т1, ОТ-02 и $2''$ для теодолитов Т2, ТБ-1 и других им равноточных.

2. Колебания средних значений угла, полученных по непосредственному измерению и по вычислению из комбинаций, не должны быть более $2''$ при числе направлений n , равном 3; $3''$ при $n = 4$ и $4''$ при $n > 4$.

вращая марку, наблюдают за положением иглы относительно биссектора нитей сетки. Меняя положение иглы, надо добиться, чтобы она оставалась в биссекторе трубы. Затем теодолитом проверяют асимметрию левого и правого краев визирной цели марки относительно вертикальной линии, проходящей через иглу. Величина асимметрии не должна быть более 1 мм, в противном случае необходимо исправить рисунок визирной цели марки.

На каждом пункте полигонометрии 1, 2, 3 классов и трилатерации 3 и 4 классов определяются два ориентирных направления. Привязка ориентирных пунктов рассмотрена в § 34.

§ 54. ИЗМЕРЕНИЕ СТОРОН ПОЛИГОНОМЕТРИИ

Стороны полигонометрии всех классов измеряют электронными дальномерами. В зависимости от требуемой точности измерений длин сторон и физико-географических условий района работ применяют свето- и радиодальномеры различных типов. Применение того или иного типа прибора и программа измерений в каждом отдельном случае устанавливается в техническом предписании.

Основным документом, регулирующим последовательность работы при наблюдениях, запись и обработку результатов измерений в журнале, является руководство по эксплуатации конкретного типа дальномера. Образцы ведения журналов измерения длин сторон свето- и радиодальномерами даны в инструкции [13, прил. 3—9].

Колебания значений измеренной длины стороны полигонометрии в пределах одной программы не должны превышать $6 \cdot 10^{-6} D$ для светодальномеров и $8 \cdot 10^{-6} D$ для радиодальномеров или величины $2a \sqrt{n}$, где D — измеряемое расстояние, км, a — коэффициент и n — минимальное число приемов, рекомендованное для данного дальномера. Значения a и n для основных типов приборов приведены в инструкции [13, табл. 7]. В приведенных выше рабочих допусках не учтены специфические допуски, указанные в руководстве по эксплуатации конкретного прибора.

Элементы центрировки дальномера и редукации отражателей определяют графически дважды до начала наблюдений и один раз после их завершения с соблюдением тех же требований, как при угловых измерениях.

В полигонометрии 1 и 2 разрядов стороны измеряют светодальномерами, инварными проволоками, длиномером АД-1, параллактическим методом и оптическими дальномерами. Светодальномерами стороны полигонометрии 1 и 2 разрядов измеряют с относительной средней квадратической погрешностью для стороны полигонометрии 1 разряда — 1 : 10 000, 2 разряда — 1 : 5000.

Инварные проволоки при измерении сторон в полигонометрии 1 и 2 разрядов используются в исключительных случаях. Стороны полигонометрии 1 разряда измеряются одной инварной проволокой в одном направлении методом отсчетов при трех сдвигах проволоки, а в полигонометрии 2 разряда также одной проволокой в одном направлении, но методом фиксации.

Технические указания о компарировании проволок, точности их натяжения, вешения линий и определения превышений концов пролетов даны в инструкции [13, раздел 5]; общее описание процесса измерения линий инварными проволоками, так называемыми базисными приборами БП-1 и БП-2, приводится в инструкции [11, раздел VII].

Длиномером АД-1 стороны в полигонометрии 1 разряда измеряют двумя приемами, а в полигонометрии 2 разряда — 1 приемом. Один прием состоит из двух измерений (прямого и обратного), каждое из которых заключается в прокатывании в одном направлении мерного диска длиномера по натянутой проволоке.

Методика измерения линий длиномером АД-1 и вычисление длины линии, измеренной этим прибором, подробно освещены в инструкции по топографической съемке [15, прил. 15].

В табл. 64 дан образец журнала измерения длин сторон полигонометрии 1 разряда светодальномером СМ-3 с кратким пояснительным текстом его заполнения и обработки.

На концах измеряемой линии устанавливаются штагивы с трегерами, которые сначала центрируют и затем нивелируют.

На одном штативе устанавливается приемопередатчик, на другом — отражатель.

Отражатель при помощи визира ориентируют по створу измеряемой линии. Приемопередатчик при помощи кабеля присоединяют к блоку питания и согласно инструкции по эксплуатации СМ-3 производят включения прибора.

Далее следует контроль электрических цепей, заключающийся в наблюдении и установлении показаний нуль-индикатора при различных положениях переключателя «Контроль». После контроля ориентируют приемопередатчик на отражатель, пользуясь грубым визиром и визирной системой дальномера, а уточняют ориентирование по уровню отраженного сигнала, затем производят оптимизацию отраженного сигнала.

Расстояние измеряют в основном тремя приемами на каждой частоте. Один прием состоит из двух полуприемов: первый полуприем выполняется при положении переключателя фазы 0° , второй — 90° .

В первом полуприеме в журнал измерений длин сторон (см. табл. 64) записываются отсчеты: два отсчета A_0^H и B_0^H , взятые при включении ОКЗ (нуль), другие два A_0^D и B_0^D — при посылке сигнала на отражатель.

Во втором полуприеме записываются соответственно отсчеты A_{90}^H и B_{90}^H , взятые на нуль, и отсчеты A_{90}^D и B_{90}^D , взятые при наблюдении на отражатель, при положении фазы переключателя 90° . Во втором и третьем приемах наблюдения выполняются аналогично первому.

Наблюдения на двух других частотах выполняют так же, как и на первой.

Рассмотрим последовательность обработки приемов.

1. Проверяют правильность взятых отсчетов, для чего вычисляют разность Δ между отсчетами в полуприемах по формуле

$$\Delta = |(A \pm 180) - B| \leq 2^\circ.$$

Если разности отсчетов Δ для первой частоты f_1 будут больше 2° , а для частот f_2 и f_3 больше 5° , то такие отсчеты вычеркиваются и заменяются новыми.

Такой контроль следует иметь в виду при производстве самих наблюдений.

2. Выводят средние значения из отсчетов по графам «Нуль» и «Дистанция», которые записываются в строку «Среднее».

3. Производят вычисление фазовых углов φ'_1 и φ'_2 для всех трех частот по формулам:

для частоты f_1

$$\text{при фазе } 0^\circ \quad \varphi'_1 = (A_0^D)_{\text{ср}} - (A_0^H)_{\text{ср}};$$

$$\varphi'_2 = (B_0^D)_{\text{ср}} - (B_0^H)_{\text{ср}},$$

$$\text{при фазе } 90^\circ \quad \varphi'_1 = (A_{90}^D)_{\text{ср}} - (A_{90}^H)_{\text{ср}};$$

$$\varphi'_2 = (B_{90}^D)_{\text{ср}} - (B_{90}^H)_{\text{ср}}.$$

Журнал измерения длин сторон светодальномером СМ-3

Измеряемая линия пп 202 — пп 203

Дата 10 июня 1975 г.

Начало измерений 15^h53^m

Конец измерений 16 06

 $t_{\text{нач}} = +10^{\circ}$ $t_{\text{кон}} = +10^{\circ}$ $P = 750$ мм рт. ст.

Погода облачно

Видимость удовлетворительная

Качество сигнала удовлетворительное

Наблюдатель: Иванов П. К.

Помощник: Климов А. В.

Частота $f_1 = 30$ МГц										Частота $f_2 = 27$ МГц					
№ приема	Нуль			Дистанция			№ приема	Нуль			Дистанция				
	A_0^H	B_0^H	Δ	A_0^D	B_0^D	Δ		A_0^H	B_0^H	Δ	A_0^D	B_0^D	Δ		
1	30	210	0	195	15	0	1	216	34	2	188	08	0		
2	30	211	1	196	16	0	2	216	34	2	188	08	0		
3	31	211	0	196	15	1	3	216	34	2	189	08	1		
Среднее	31,3	210,7		195,7	15,3		Среднее	216,0	34,0		188,3	08,0			
$\varphi_1' = A_0^D - A_0^H = 165,4$							$\varphi_1'' = A_0^D - A_0^H = 332,3$								
$\varphi_2' = B_0^D - B_0^H = 164,6$							$\varphi_2'' = B_0^D - B_0^H = 334,0$								
$\varphi_{f_1} = \frac{\varphi_1' + \varphi_2'}{2} = 165,0$							$\varphi_{f_2} = \frac{\varphi_1'' + \varphi_2''}{2} = 333,2$								
№ приема	A_{90}^H	B_{90}^H	Δ	A_{90}^D	B_{90}^D	Δ	№ приема	A_{90}^H	B_{90}^H	Δ	A_{90}^D	B_{90}^D	Δ		
1	160	342	2	330	149	1	1	351	169	2	322	142	0		
2	160	341	1	330	149	1	2	350	169	1	322	141	1		
3	160	340	0	330	149	1	3	353	170	3	323	143	0		
Среднее	160,0	341,0		330,0	149,0		Среднее	351,3	169,3		322,3	142,0			

$\varphi_1' = A_{90}^D - A_{90}^H = 170,0$				$\varphi_1'' = A_{90}^D - A_{90}^H = 331,0$				$\varphi_{f_1+90} = \frac{\varphi_1'' + \varphi_2''}{2} = 331,8$							
$\varphi_2' = B_{90}^D - B_{90}^H = 168,0$				$\varphi_2'' = B_{90}^D - B_{90}^H = 332,7$											
$\varphi_1 = \frac{\varphi_{f_1} + \varphi_{f_1+90}}{2} = 167,0$				$\varphi_2 = \frac{\varphi_{f_2} + \varphi_{f_2+90}}{2} = 332,5$											
Частота $f_3 = 29,9$ МГц								Вычисление расстояния							
№ приема	Нуль			Дистанция											
	A_0^H	B_0^H	Δ	A_0^D	B_0^D	Δ	φ_1	d_1							
1	21	202	1	352	171	1	$\varphi_1 - \varphi_2$	194,5	$d_{1,2}$	24,976					
2	21	202	1	354	171	3	$\varphi_1 - \varphi_3$	196,5	$d_{1,3}$	799,228					
3	21	203	2	350	171	1									
Среднее	21,0	202,3		352,0	171,0										
$\varphi_1'' = A_0^D - A_0^H = 331,0$							$\varphi_{f_1} = \frac{\varphi_1'' + \varphi_2''}{2} = 329,8$							$D_1 = d_1 + d_{12} + d_{13}$	
$\varphi_2'' = B_0^D - B_0^H = 328,7$														$D_2 = d_2 + d_{21}; D_3 = d_3 + d_{31}$	
														$D = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}$	
														$D_{\text{ист}} = D + \Sigma \Delta D$	

Частота $f_3 = 29,9$ МГц					Вычисление расстояния			
№ приема	Нуль		Дистанция		φ_1	167,0	d_1	2,317
	A_{90}^H	B_{90}^H	Δ	B_{90}^D				
1	152	330	2	303	d_2	5,126	D	826,539
2	152	331	1	304	$d_{2н}$	821,429		
3	152	332	0	303	D_2	826,555		
4					d_3	4,601	$\Sigma \Delta D$	—0,528
Среднее	152,0	331,0		303,3	$d_{3н}$	821,949		
					D_3	826,550		
$\varphi_1'' = A_{90}^D - A_{90}^H = 330,0$					$\varphi_{fs+90} = 331,2$			
$\varphi_2''' = B_{90}^D - B_{90}^H = 332,3$								
$\varphi_3 = \frac{\varphi_{fs} + \varphi_{fs+90}}{2} = 330,5$								
					$D_{ист}$			
					826,011			

Вычисление поправок

$$H_D = 100,82$$

$$i_D = 1,40$$

$$H_D + i_D = 102,22$$

$$H_0 = 102,00$$

$$i_0 = 1,25$$

$$H_0 + i_0 = 103,25$$

$$h = (H_D + i_D) - (H_0 + i_0) = 1,03$$

$$\Delta D_\alpha = -\frac{h^2}{2D} = -0,001$$

$$p_0 = 750$$

$$i_C^\circ = +10$$

$$k = -0,6 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta D_{p,i} = kD = -0,005$$

$$\Delta D_\alpha = -0,001$$

$$K = -0,522$$

$$\Sigma \Delta D = -0,528$$

Формулы для двух других частот φ'' и φ''' аналогичны. Если уменьшаемое меньше вычитаемого, то к первому прибавляют 360° .

4. Находят средние значения фазовых углов

$$\varphi_{f_1} = \frac{(\varphi'_1 + \varphi'_2)_0}{2} \text{ и } \varphi_{f_1+90} = \frac{(\varphi'_1 + \varphi'_2)_{90}}{2}.$$

Так же вычисляют средние значения φ и для других частот. Результаты вычислений записывают в журнале.

5. Окончательно вычисляют значения фазовых углов из трех частот

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_{f_1} + \varphi_{f_1+90}}{2}; \quad \varphi_2 = \frac{\varphi_{f_2} + \varphi_{f_2+90}}{2}; \quad \varphi_3 = \frac{\varphi_{f_3} + \varphi_{f_3+90}}{2}.$$

На этом обработка журнала заканчивается.

6. Для вычисления измеренного расстояния в раздел «Вычисление расстояния» журнала выписывают значение φ_1 и разности фазовых углов $\varphi_1 - \varphi_2$ и $\varphi_1 - \varphi_3$.

7. Вычисление линий, измеренных СМ-3, производят с помощью таблиц, которые прилагаются к комплекту прибора. Для этого из табл. 1 выбирают:

а) по значению φ_1 расстояние d_1

б) по графе $d_{f_1-f_2}$ расстояние d_{12} , заключенное между двумя прочерченными горизонтальными линиями, как ближайшее к меньшему значению аргумента $\varphi_1 - \varphi_2$.

Прежде чем записать выбранное значение d_{12} его нужно проконтролировать по формуле

$$(d_{f_1-f_2} - d_{12} - d_1) \leq 2,5 \text{ м},$$

где $d_{f_1-f_2}$ выбирается из таблицы по аргументу $\varphi_1 - \varphi_2$.

В случае несоблюдения указанного требования, и если

$$(d_{f_1-f_2} - d_{12} - d_1) > 0,$$

то к выбранному значению d_{12} прибавляют длину волны f_1 (4,995). Тогда по графе $d_{f_1-f_2}$ относительно аргумента $\varphi_1 - \varphi_2$ выбирают ближайшее большее значение, заключенное между горизонтальными линиями. Если

$$(d_{f_1-f_2} - d_{12} - d_1) < 0,$$

то длину волны f_1 вычитают. Аналогично по графе $d_{f_1-f_3}$ находят расстояние d_{13} по аргументу $\varphi_1 - \varphi_3$. Контроль расстояния d_{13} выполняется по формуле

$$(d_{f_1-f_3} - d_{13} - d_{12}) \leq 25 \text{ м}.$$

При несоблюдении указанного условия, если

$$(d_{f_1-f_3} - d_{13} - d_{12}) \geq 0,$$

то в первом случае к выбранному из таблицы значению d_{13} прибавляют длину цикла разности частот $f_1 - f_2$, равную 49,952 м, во втором эту разность 49,952 вычитают.

8. Вычисляют расстояние, измеренное на частоте f_1 ,

$$D_1 = d_1 + d_{12} + d_{13}.$$

9. Вычисляют расстояние, измеренное на частоте f_2 ,

$$D_2 = d_2 + d_{2\text{ц}} \text{ (в таблице } d_{f_2}),$$

где d_2 выбирают из таблицы по фазовому углу φ_2 , а расстояние $d_{2\text{ц}}(d_{f_2})$ находят из таблицы как ближайшее меньшее значение к расстоянию D_1 .

10. Вычисляют расстояние, измеренное на частоте f_3 ,

$$D_3 = d_3 + d_{3\text{ц}}(d_{f_3}),$$

где d_3 и $d_{3\text{ц}}(d_{f_3})$ находятся аналогично, пользуясь фазовым углом φ_3 .

11. Выводят среднее расстояние, измеренное на трех частотах,

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}.$$

12. В среднее расстояние вводят поправки:

а) за температуру и давление воздуха, которая находится по формуле

$$\Delta D_{p,t} = D_{\text{ср}} k,$$

где k — поправочный коэффициент, выбираемый из графика, приложенного к таблице, по аргументам: давлению и температуре;

б) за наклон линии, вычисляемой по формуле

$$\Delta D_{\alpha} = -\frac{h^2}{2D};$$

в) постоянная поправка K берется из паспорта прибора.

Суммарная поправка вычисляется по формуле

$$\Sigma \Delta D = \Delta D_{p,t} + \Delta D_{\alpha} + K.$$

13. Окончательное расстояние найдем

$$D_{\text{ист}} = D_{\text{ср}} + \Sigma \Delta D.$$

§ 55. ПРИВЯЗКА ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ К ОПОРНЫМ ПУНКТАМ

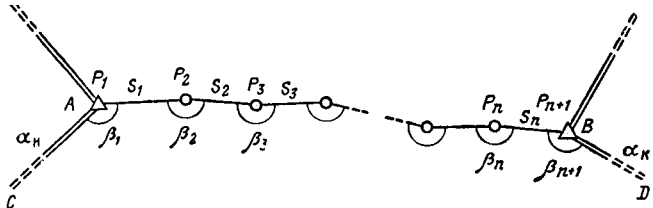
В зависимости от условий местности привязка может быть выполнена разными способами. Различают непосредственную и посредственную привязки.

Непосредственная привязка — это самый естественный, простой и в то же время самый надежный способ привязки. Такая привязка возможна, если полигонометрический ход в своем начале и конце непосредственно примыкает к исходным пунктам A и B (рис. 98) и позволяет:

1) непосредственно измерить расстояния S_1 и S_n от центров исходных пунктов A и B до начальной и конечной точек хода;

2) измерить два примычных угла, установив теодолит над центром твердых пунктов.

Рис. 98



В местах примыкания звеньев полигонометрии 2 и 3 классов к сплошным сетям триангуляции 2 и 3 классов измеряют одну из сторон примычных треугольников, а также углы между двумя сторонами триангуляции и стороной полигонометрии.

Проложение замкнутых ходов, опирающихся обоими концами на один исходный пункт, и висячих ходов не допускается.

Если расстояния S_1 или S_n непосредственно измерить нельзя или нельзя встать с теодолитом на исходный пункт, то прибегают к посредственной привязке.

Рассмотрим два возможных случая привязки, получившей название «снесение координат с вершины знака на землю».

I случай. Точка полигонометрического хода находится на расстоянии 100—300 м от пункта триангуляции, встать на который с теодолитом можно, но измерить непосредственно расстояние до него нельзя. Например, пункт триангуляции A расположен на крыше здания, передача координат с пункта A на землю, на точку P полигонометрического хода, сводится к решению двух треугольников, в каждом из которых измерены все углы и одна базисная сторона (рис. 99). Треугольники строят по возможности равносторонними, базисы располагают по одну или по обе стороны относительно общей определяемой стороны l в зависимости от рельефа местности. Линейные и угловые измерения производят по той же программе, как и в самом ходе. При небольших невязках в треугольниках и малых расхождениях в длине общей стороны l , полученной из двух определений, координаты точки P можно получить упрощенно. Для этого невязку распределяют поровну на все углы треугольника и по исправленным углам вычисляют сторону l по двум треугольникам, взяв из них среднее значение, по известным формулам находят координаты точки P .

Более строгое решение задачи требует предварительного совместного уравнивания треугольников (два условия фигур и одно условие сторон) и нахождения поправок в измеренные углы и базисы.

II случай. Если не только непосредственно измерить расстояние, но нельзя и встать на исходный пункт с теодолитом. Например, в качестве та-

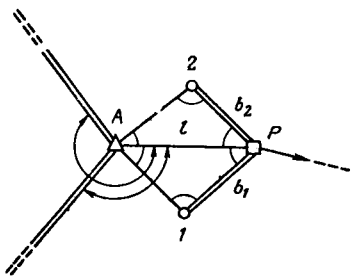


Рис. 99

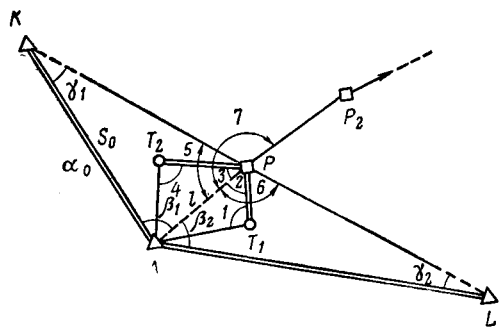


Рис. 100

кого пункта взять шпиль здания, заводская труба и др. В этом случае точку P следует выбрать в непосредственной близости от пункта A (100—300 м) с таким расчетом, чтобы с нее были видны, кроме пункта A , еще два пункта K и L . Задача решается и при наличии видимости с двух пунктов, но тогда не будет надежного контроля.

Рассмотрим решение задачи на снесение координат с вершины знака на землю применительно к рис. 100.

Ход решения довольно прост.

1. По измеренным базисам и углам при них, решая треугольники APT_1 и APT_2 , по теореме синусов дважды находят общую сторону l (табл. 65).

2. По координатам пунктов A и K , A и L , решая обратную задачу находят дирекционные углы α_0 и S_0 твердых сторон (табл. 66). Заметим, что при вычислении дирекционных углов следует пользоваться формулами

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad \text{или} \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1},$$

т. е. всегда деля меньшее по абсолютной величине приращение на большее.

Таблица 65

1. Вычисление l

Порядок действий	Обозначение	1-й треугольник	Порядок действий	Обозначение	2-й треугольник
1	$\angle 1$	58°47'48"	4	$\angle 3$	64°17'32"
2	$\angle 2$	59 46 55	5	$\angle 4$	70 49 05
3	$\angle 1 + 2$	118 34 43	6	$\angle 3 + 4$	135 06 37
7	b	200,37 м	8	b	145,82 м
9	$\sin \angle 1$	0,855334	10	$\sin \angle 4$	0,944480
11	$\sin (1 + 2)$	0,878162	12	$\sin (3 + 4)$	0,705744
13	l'	195,17 м	14	l''	195,15 м
15	l среднее	195,16 м			

II. Вычисление S и α твердой стороны

Порядок действий	Обозначение	AK	AL
1	$x_{K,L}$	6 087 851,26	6 083 814,59
3	x_A	6 084 523,57	6 084 523,57
5	$x_{K,L} - x_A$	+3327,69	-708,98
10	$\cos \alpha_0$	+ 0,891360	-0,160757
12	S'_0	3733,27	4410,26
2	$y_{K,L}$	7 626 385,05	7 632 430,22
4	y_A	7 628 077,32	7 628 077,32
6	$y_{K,L} - y_A$	-1692,27	+4352,90
11	$\sin \alpha_0$	-0,453295	+0,986994
13	S''_0	3733,27	4410,26
7	$\operatorname{tg} \alpha_0$	-0,508542	-0,162875
8	(r)	26°57'19"	80°44'57"
9	α_0	333°02'41"	99°15'03"
14	$S_{\text{ср}}$	3733,26	4410,26

Таблица 67

III. Вычисление дирекционного угла стороны (AP)

Порядок действий	Обозначение	Из треугольника AKP	Из треугольника ALP
1	$\angle 5, \angle 6$	94°20'05"	134°39'53"
2	$\sin 5,6$	+0,997140	+ 0 711233
3	l	195,16 м	195,16 м
4	S_0	3733,26 м	4410,26 м
5	$\sin \gamma$	+0,052129	+0,031473
6	γ	2°59'17"	1°48'13"
7	$5,6 + \gamma$	97 19 22	126 28 06
8	β	82 40 38	43 31 54
9	α_0	333 02 41	99 15 03
10	α_{AP}	55 43 19	55 43 09
11	$\alpha_{AP \text{ ср}}$	55°43'14"	

3. В треугольниках AKP и APL по двум сторонам S_0 и l и измеренным углам $\angle 5$ или $\angle 6$ вычисляют сначала

$$\sin \gamma_1 = \frac{l \sin \angle 5}{S_0}, \quad \sin \gamma_2 = \frac{l \sin \angle 6}{S_0}.$$

Затем примычные углы $\beta = 180^\circ - (\angle 5, 6 + \gamma)$.

4. Теперь можно сделать передачу дирекционного угла на сторону l . Из чертежа (см. рис. 100) видно, что

$$\alpha_{AP} = \alpha_0 \pm \beta.$$

Дирекционный угол стороны AP вычисляется дважды из решения треугольников AKP и ALP (табл. 67), поэтому сходимость значения α_{AP} служит контролем.

5. Координаты точки P вычисляются по известным формулам (табл. 68)

$$x_P = x_A + l \cos \alpha_{AP};$$

$$y_P = y_A + l \sin \alpha_{AP}.$$

6. Контролем служит вторичное вычисление угла γ с использованием полученных координат x_P и y_P (табл. 69).

Передачу дирекционного угла на сторону хода можно осуществить через измеренный угол 7

$$\alpha_{P-1} = \alpha_{PA} + \angle 7.$$

Привязку полигонометрического хода по удаленным опорным пунктам можно выполнить методом прямой или обратной многократными засечками. Так, если из определяемой точки хода видны

Таблица 68

IV. Вычисление координат точки P

Порядок действий	Обозначение	Вычисления
1	α_{AP}	$55^\circ 48' 14''$
9	x_P	6 084 633,49
3	x_A	6 084 523,57
7	Δx	+109,92
5	$\cos \alpha_{AP}$	+0,563230
2	l	195,16
6	$\sin \alpha_{AP}$	+0,826300
8	Δy	+161,26
4	y_A	7 628 077,32
10	y_P	7 628 238,58

V. Контроль

Порядок действий	Обозначение	K	L
1	$x_{K,L}$	6 087 851,26	6 083 814,59
3	x_P	6 084 633,49	6 084 633,49
5	$x_{K,L} - x_P$	+3217,77	-818,90
2	$y_{K,L}$	7 626 385,05	7 632 430,22
4	y_P	7 628 238,58	7 628 238,58
6	$y_{K,L} - y_P$	-1853,53	+4191,64
7	$\operatorname{tg} \alpha$	-0,576028	-0,195365
8	(r)	29°56'35"	78°56'44"
9	α_{PK}, α_{PL}	330 03 25	101 03 16
10	α_{AK}, α_{AL}	333 02 41	99 15 03
11	γ	2°59'16"	1°48'13"
12	γ	2 59 17	1°48'13" — вычислен ранее (см. табл. 67)

три пункта триангуляции, то применяют метод обратной засечки. Более надежное определение координат точки произойдет при условии, если видны четыре пункта триангуляции (рис. 101).

Привязку пункта полигонометрии P прямой засечкой выполняют не менее чем с трех твердых пунктов (рис. 102).

При наличии видимости только двух твердых пунктов привязку можно осуществить по задаче Ганзена. Так как в этом случае определяют координаты двух точек, то желательно, чтобы второй определяемой точкой был также пункт полигонометрии (рис. 103).

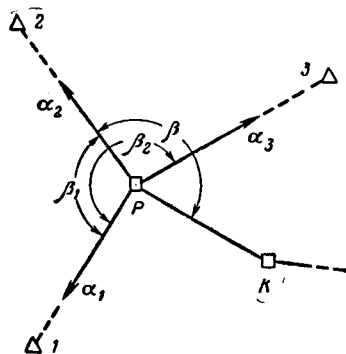


Рис. 101

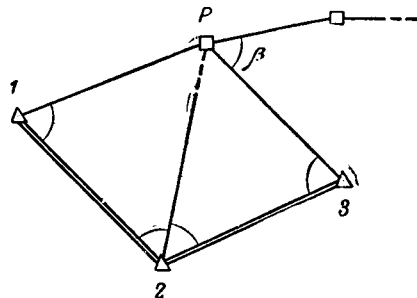


Рис. 102

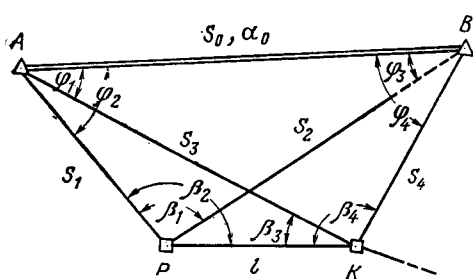


Рис. 103

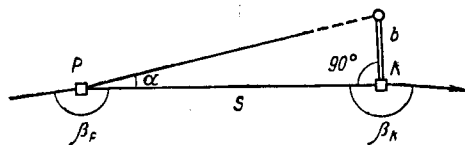


Рис. 104

Линейные измерения в полигонометрии проволокой являлись самой трудоемкой частью работ. Поэтому вполне закономерным было появление параллактической полигонометрии, в которой непосредственно измеряются длины коротких базисов, параллактические (противобазисные) и прибазисные углы (последние не всегда), а длинные стороны вычисляются. Для этой цели строят геометрические фигуры — треугольник или чаще вытянутый ромбической формы четырехугольник, в котором короткая диагональ служит базисом, а длинная стороной хода. Такие построения называют параллактическими звеньями.

На рис. 104 изображено звено в виде треугольника. На одном из концов линии хода PK перпендикулярно к ней располагается базис, равный длине инварной проволоки 24 м, на другом конце линии измеряется параллактический угол α .

Длину стороны S найдем по формуле

$$S = PK = b \operatorname{ctg} \alpha.$$

Величина параллактического угла в полигонометрии 1 разряда должна быть не менее 8° , а в полигонометрии 2 разряда — не менее 4° . При длине базиса 24 м допустимое расстояние PK от вершины параллактического угла до базиса 170 м в полигонометрии 1 разряда и 340 м — в полигонометрии 2 разряда. При измерении больших расстояний следует пользоваться симметричным звеном в виде ромба.

На рис. 105 изображено симметричное звено проф. В. В. Данилова. Базис расположен

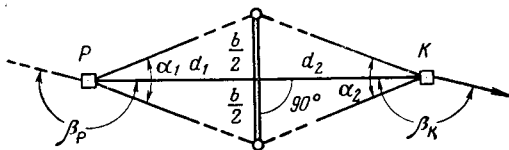


Рис. 105

Примеры на вычисление координат пункта, определяемого прямой или обратной засечками, а также решение задачи Ганзена приводятся в книге В. Л. Ассура и М. М. Мурави-на [3].

§ 56. ПАРАЛЛАКТИЧЕСКАЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЯ

С появлением свето- и радиодальномеров параллактический метод полигонометрии утратил свое значение, но в отдельных случаях, в частности в разрядной полигонометрии, еще может найти свое применение.

Вычисление длины линии симметричного звена Данилова

Линия	Параллактические углы α	$\frac{a}{2}$	b	$\frac{b}{2}$	$\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$	d	S
PK	10°23'54"	5°11'57,0"	23,9946	11,9973	10,9900	131,8503	255,054
	11 07 25	5 33 42,5			10,2693	123,2039	

Контроль вычисления можно произвести по формуле

$$S = d_1 + d_2 = b (\operatorname{ctg} \alpha_1 + \operatorname{ctg} \alpha_2) + \left(\frac{b}{2}\right)^2 \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}\right)$$

Таблица 71

Контрольные вычисления

$\operatorname{ctg} \sigma$	$b \operatorname{ctg} \alpha$	$\frac{1}{d}$	$\frac{b}{2}$	$\frac{1}{d} \left(\frac{b}{2}\right)^2$	d	S
5,44946	130,7576	0,007584	11,9973	1,0916	131,8492	255,053
5,08595	122,0353	0,008117		1,1683	123,2036	

перпендикулярно к линии хода, симметрично относительно ее т. е. вблизи ее середины. Длина стороны хода вычисляется по формуле

$$S = PK = d_1 + d_2 = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2}.$$

Параллактические углы измеряют теодолитами Т2, Theo 010 и им равноточными четырьмя приемами. Измерение параллактических углов выполняют на одной части лимба, точность нанесения штрихов которой тщательно исследуют.

В табл. 70 и 71 приводятся примеры вычисления звена В. В. Данилова.

§ 57. ПОЛЕВАЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

В период полевых измерений исполнители должны выполнить следующие виды предварительной обработки материалов:

1) проверить журналы измерений горизонтальных углов (направлений), вычислить расстояния до ориентирных пунктов;

2) проверить и оформить листы графического определения элементов центрировок и редукций;

3) проверить журналы измерения длин линий;

4) проверить журналы измерения зенитных расстояний, вычислить высоты знаков при аналитическом их определении;

5) составить сводки результатов измерения углов и зенитных расстояний;

6) составить ведомости вычисления наклонных расстояний;

7) составить сводные таблицы элементов центрировок и редуций;

8) при замыкании полигонов или ходов вычислить угловые и линейные невязки, а также прямые и обратные превышения, полученные из геодезического нивелирования.

Средние значения измеренных углов или направлений в полигонометрии 1 и 2 классов вычисляются до $0,01''$, в полигонометрии 3 и 4 классов — до $0,1''$, в полигонометрии 1 и 2 разрядов — до $0,1''$, на ориентирные пункты и зенитные расстояния — до $1,0''$.

Предельные допуски угловых невязок ходов и полигонов не должны превышать значений, полученных по формуле

$$w_{\text{пред}} = \pm 2,5 \sqrt{\mu^2 n + 2m_A^2},$$

где μ — установленная инструкцией средняя квадратическая погрешность измерения угла, соответствующая классу хода; m_A — средняя квадратическая погрешность исходного азимута; n — число углов в передаче азимута.

Линейная невязка в ходе или полигоне вычисляется обычным путем, а ее допустимая величина определена инструкцией для каждого класса и разряда полигонометрии.

НИВЕЛИРОВАНИЕ II КЛАССА

§ 58. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГОСУДАРСТВЕННОЙ
НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ

Нивелирные сети разделяются на государственную сеть, сети сгущения и съемочную сеть.

Высотные съемочные сети непосредственно обеспечивают производство топографических съемок всех масштабов.

Нивелирная сеть сгущения призвана обслуживать производство инженерно-геодезических работ и крупномасштабные съемки 1 : 5000—1 : 500.

Государственная нивелирная сеть СССР является высотной основой топографических съемок всех масштабов, выполняемых для удовлетворения потребностей народного хозяйства, обороны страны, а также для решения научных и инженерно-технических задач.

Высоты пунктов государственной нивелирной сети определяют геометрическим нивелированием.

Государственная нивелирная сеть СССР разделяется на нивелирные сети I, II, III и IV классов.

Нивелирные сети I и II классов являются главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая система высот на всей территории СССР. Эта система называется Балтийской. За начало счета принят средний уровень Балтийского моря, зафиксированный нульпунктом Кронштадтского футштока. Нивелирование I класса выполняют с наивысшей точностью, достигаемой применением наиболее совершенных инструментов и методов наблюдений. Линии высокоточного нивелирования I и II классов прокладываются по заранее разрабатываемым направлениям.

Линии нивелирования прокладывают по трассам с наиболее благоприятными для данного района условиями грунта и наименее сложным рельефом. Через каждые 25 лет линии I и частично II классов нивелируются повторно. Трассу нивелирования всех классов не реже чем через 5 км закрепляют на местности постоянными нивелирными знаками — реперами. В труднодоступных районах, как исключение, на отдельных участках разрешается расстояние между реперами увеличивать до 6—7 км. Фундаментальные реперы на линиях I и II классов закладываются через 50 км, а также на узловых точках и вблизи водомерных постов. В 50—150 м от фундаментального репера закладывают репер-спутник. Точность нивелирования I класса характеризуется невязками, не

превышающими $\pm 2 \text{ мм} \sqrt{L}$, а для II класса $\pm 5 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L — длина линии в километрах.

Нивелирные сети III класса являются дальнейшим сгущением нивелирной сети II класса. Они строятся внутри полигонов высшего класса в виде отдельных линий или систем ходов, образующих узловые точки. Периметры полигонов не должны превышать 150 км, на севере и северо-востоке допускаются до 300 км. Невязки в ходах не должны превышать $\pm 10 \text{ мм} \sqrt{L}$.

Нивелирные сети IV класса являются непосредственной высотной основой топографических съемок. Густота их прокладки обуславливается масштабами съемок и характером рельефа. Невязки в ходах допускаются не более $\pm 20 \text{ мм} \sqrt{L}$. Длины линий нивелирования IV класса не должны превышать 50 км.

§ 59. ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ НИВЕЛИРОВАНИЯ II КЛАССА

ГОСТ «Нивелиры», который будет введен в действие, предусматривает три группы нивелиров:

- 1) типа Н05 (для I и II классов нивелирования);
- 2) типа Н3 (для III и IV классов);
- 3) типа Н10 (для технического нивелирования).

Нивелир Н05 разработан на базе нивелира Н2.

В настоящее время для выполнения нивелирования II класса в производстве применяются отечественные нивелиры НБ, НА-1, Н1 и Н2, а из зарубежных чаще Ni004 и Ni007, изготавливаемые в ГДР фирмой «Цейсс».

Нивелир НА-1. Это глухой нивелир с плоскопараллельной пластинкой, которая в виде насадки укрепляется впереди объектива. На рис. 106 дан общий вид нивелира НА-1. Подставка нивелира 2 (рис. 106, а) с тремя подъемными винтами опирается на установочную пластину 1. Последняя в середине имеет нарезное отверстие для скрепления нивелира с головкой штатива при помощи станкового винта. Вверху подставка имеет втулку, в которой расположена вертикальная цилиндрическая ось вращения трубы, имеющая зажимной 3 и наводящий 4 винты зрительной трубы. Для небольших наклонов трубы в вертикальной плоскости и приведения изображений концов пузырька уровня в контакт имеется элевационный винт 11. Для предварительного приведения нивелира в рабочее положение имеется установочный уровень 6. В качестве последнего может быть или круглый уровень, или два взаимно перпендикулярных цилиндрических уровня.

Зрительная труба с внутренней фокусировкой имеет увеличение $44\times$, диаметр свободного отверстия объектива 55 мм и коэффициент дальности 100. Для фокусирования трубы по предмету служит кремальера 14 (рис. 106, б), перемещающая внутри трубы фокусирующую линзу. Сетка нитей, нанесенная на стекле, в поле

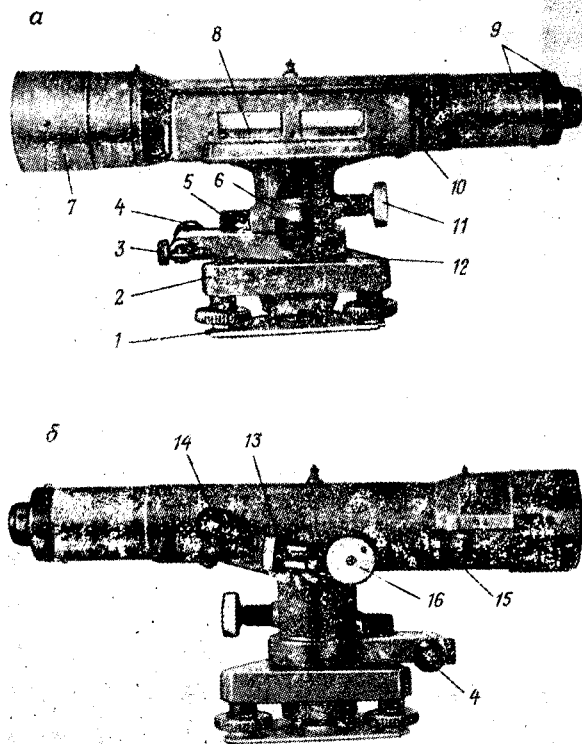


Рис. 106

зрения трубы имеет вид, указанный на рис. 107. Для повышения точности совмещения штриха рейки с горизонтальной нитью служит клиновой биссектор под углом 5° . На окуляре находится диоптрийное кольцо для установки трубы по глазу. Плоскопараллельная пластина 7 (см. рис. 106) установлена перед объективом в виде насадки и при помощи отсчетного барабана 16 и передаточного механизма 15 может наклоняться в пределах $\pm 15'$ относительно горизонтальной оси. Для отсчитывания по барабану имеются длиннофокусная лупа 13 и неподвижный отсчетный индекс, возвратная пружина 5, стопорный винт 9 и вкладыш 12.

Отсчетным механизмом для оценки долей деления рейки служит оптический микрометр, действие которого основано на свойстве плоскопараллельной пластины: смещать параллельно самому себе падающий и дважды преломленный луч. Такой же принцип применен и в устройстве оптического микрометра ОТ-02 (см. главу V).

Отсчетный барабан имеет 100 делений. Конструктивно рассчитано, что при повороте барабана на 100 делений плоскопараллельная пластина сместит визирный луч на 5 мм (на один интервал между штрихами рейки). Отсюда цена деления отсчетного барабана равна $5 \text{ мм} : 100 = 0,05 \text{ мм}$.

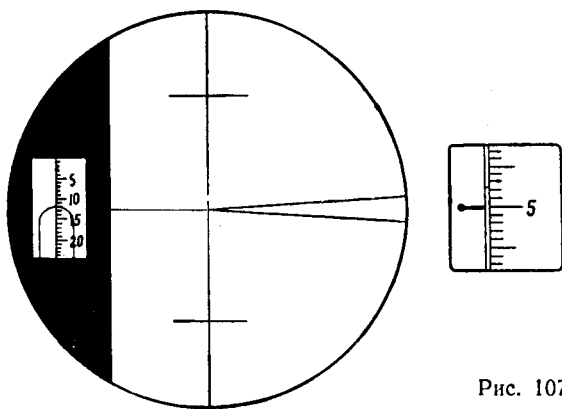


Рис. 107

Наглухо с трубой скреплен цилиндрический контактный уровень 8 (см. рис. 106, а) с ценой деления 8—10". Изображения концов пузырька уровня передаются в поле зрения трубы. Исправительные винты уровня закрыты винтовой пробкой 10.

Нивелир НБ. Особенности его устройства являются:

1) улучшение качества оптики зрительной трубы (увеличение не менее $44\times$);

2) плоскопараллельная пластина помещена внутри трубы, что предохраняет ее от пыли, влаги и повреждений, повышает устойчивость зрительной трубы, позволило укоротить и усовершенствовать передаточный механизм наклона пластины;

3) зрительная труба и цилиндрический уровень имеют термическую изоляцию, что делает нивелир мало чувствительным к изменениям температуры.

Нивелир Н2. Этот нивелир предназначен для нивелирования II класса со средней квадратической погрешностью ± 1 мм на 1 км хода и со средней квадратической погрешностью определения превышения на станции $\pm 0,2$ мм. Общий вид нивелира изображен на рис. 108. Нижняя неподвижная часть нивелира — подставка 1 (рис. 108, а) имеет три подъемных винта и установочную пластинку 2. В верхней части подставка имеет втулку, куда входит цилиндрическая ось вращения трубы нивелира 3. Верхняя подвижная часть нивелира — зрительная труба 5 и скрепленный с ней цилиндрический уровень 7.

Зрительная труба с внутренней фокусировкой с увеличением около $40\times$. Диаметр свободного отверстия объектива 52 мм, коэффициент дальномера 100. Фокусирование трубы в пределах от 2 м до бесконечности производится при помощи кремальеры 11 (рис. 108, б). При необходимости фокусирования на расстояния от 1 до 2 м имеется насадка 9, надеваемая на объектив трубы.

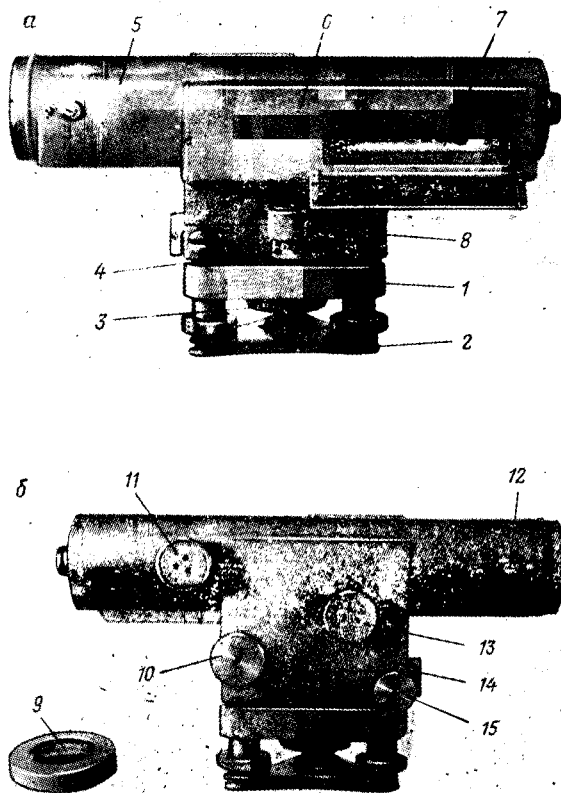


Рис. 108

Труба имеет зажимной 14 и наводящий 15 винты. Плоскопараллельная пластина помещена, как и у НА-1, перед объективом. Механизм, наклоняющий плоскопараллельную пластину, и отсчетная шкала, измеряющая наклоны пластины, закрыты коробкой уровня 6. Отсчетная шкала имеет 110 делений с ценой деления 0,05 мм. Изображения отсчетной шкалы через систему призм передаются в поле зрения окуляра трубы.

Цена деления контактного цилиндрического уровня не более $10''/2$ мм.

Система призм передает изображения концов пузырька уровня в поле зрения окуляра. Совмещение концов пузырька уровня производится элевационным винтом 10. На ампуле уровня нанесена шкала с ценой деления $4''$, которая используется для отсчетов по концам пузырька уровня при нивелировании по способу наведения. Для предварительного приведения нивелира в рабочее положение имеется круглый уровень 8 с ценой деления $5'/2$ мм. Верхняя и нижняя части нивелира скреплены вкладышем 4.

§ 60. НИВЕЛИРНЫЕ РЕЙКИ

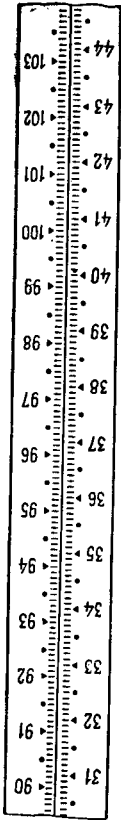


Рис. 109

В I и II классах нивелирования применяются деревянные цельные трехметровые штриховые рейки, имеющие вид бруска, в паз которого вставлена инварная полоса с постоянным натяжением 20 кг. Инвар — сплав, имеющий малый коэффициент линейного расширения. На инварной полосе нанесены деления двух одинаковых шкал, смещенных относительно друг друга на 2,5 мм (рис. 109). Штрихи делений толщиной 1 мм нанесены через 5 мм. Одна шкала — основная — имеет на деревянной части рейки оцифровку через каждый полудециметр от 0 до 60. Другая шкала — дополнительная — оцифрована от 60 до 119. Нулевой штрих основной шкалы должен совпадать с плоскостью пятки рейки, которая в свою очередь должна быть перпендикулярна к оси рейки. Для держания рейки имеются две ручки, а для установки ее в вертикальное положение — круглый уровень с ценой деления $10'$ — $12\frac{1}{2}$ мм.

Техника отсчитывания по рейке. Наводят зрительную трубу нивелира на рейку, вначале приблизительно, а затем с помощью наводящего винта трубы уравнивают ее относительно рейки так, чтобы вертикальная нить сетки расположилась несколько левее штрихов той шкалы, по которой берется отсчет, например основной. Поворотом элевационного винта совмещают изображения концов пузырька уровня. Вращением отсчетного барабана наводят биссектор нитей сетки на ближайший штрих основной шкалы рейки и берут отсчет (рис. 110, а): сначала по рейке отсчитывают номер штриха, совмещенного с биссектором (на рисунке это 28, 8), затем по барабану — номер штриха, совпадающего или ближайшего к индексу (40). Полный отсчет в полу-

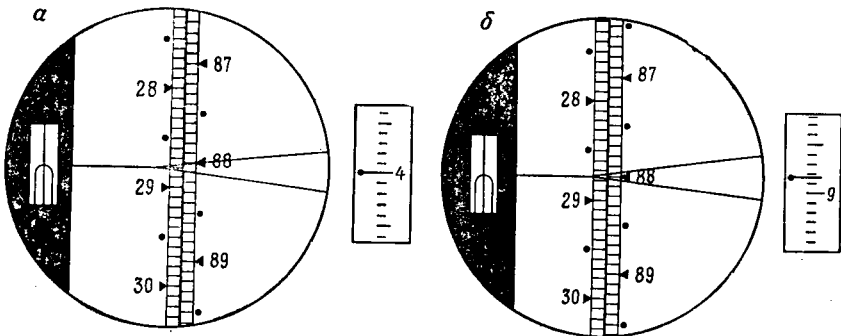


Рис. 110

дециметрах 28, 840. Отсчет по дополнительной шкале выполняется так же, только предварительно надо наводящим винтом трубы вертикальную нить расположить немного левее штрихов дополнительной шкалы. На рис. 110, б отсчет по дополнительной шкале 88, 088. Поле зрения трубы нивелира Н2 показано на рис. 111, где отсчет:

по основной шкале рейки	—28,3
по барабану	—37
полный отсчет в полудециметрах	—28,337

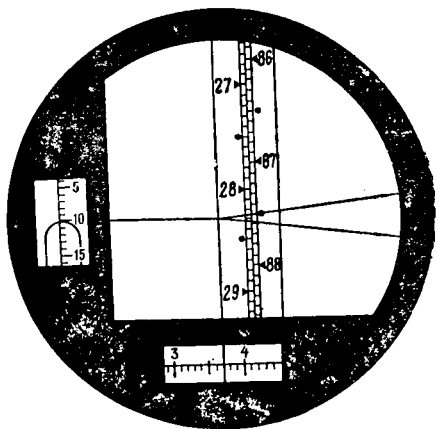


Рис. 111

Для совмещения штриха рейки с биссектором служит маховик 13 (см. рис. 108).

§ 61. ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ НА-1 И Н2

Осмотр нивелира, его проверки и исследования нужно производить не только перед началом работ, а периодически, в течение всего процесса нивелирования. Так, проверки и юстировки надо выполнять после каждого переезда и, как правило, через каждые 2—3 дня во время работы.

1. Внешний осмотр нивелира. Осмотр выполняется при получении нивелира со склада, **перед** отправкой его в район работ, а также по прибытии его на место работ. Для осмотра нивелир следует установить на штативе. Проверить наличие и исправность всех частей прибора, действие винтов (зажимного, наводящего, элевационного, подъемных), качество оптики, работу отсчетного механизма, наличие всех принадлежностей и запасных частей. Убедиться в исправности штатива, в жесткости креплений головки штатива и наконечников ног штатива. Проверить состояние упаковочного ящика.

2. Проверка и регулировка хода подъемных винтов. Подъемные винты при плотно завинченном станом винте должны вращаться плавно. Вращая подъемные винты, устанавливают, не слишком ли туго или не слишком ли свободно и легко они вращаются. Для регулирования хода винтов поступают так: вывинчивают подъемные винты настолько, чтобы имеющиеся на их стержнях отверстия установились напротив углублений во внутренней втулке винтов. С помощью шпильки, вставленной в эти углубления, можно повернуть втулку винта и тем самым ослабить или сделать более тугим его ход. Регулировка выполняется постепенно путем последовательных исправлений хода каждого винта. Плавно покачивая нивелир, надо убедиться, что он не «болтается» в винтах.

3. Проверка плавности вращения трубы вокруг вертикальной оси.

Если зрительная труба туго вращается вокруг вертикальной оси, надо произвести чистку и смазку оси. Для этого отвертывают оба винта вкладыша 12 (см. рис. 106), скрепляющего верхнюю часть нивелира с подставкой, и вкладыш вынимают. Часовой отверткой вывинчивают стопорный винт на гильзе возвратной пружины 5 (см. рис. 106), чтобы потом большей отверткой вывинтить винт, закрывающий гильзу, и вынуть возвратную пружину. Теперь, осторожно поворачивая трубу в обе стороны и поднимая вверх, постепенно отделяют верхнюю часть нивелира от подставки. Ось и втулку надо протереть чистой хлопчатобумажной материей, слегка смоченной очищенным бензином, досуха протереть такой же чистой тряпочкой. Смазку оси техническим маслом делают стеклянной палочкой масленки, проведя вдоль оси 3—4 полоски. Затем на ось надевают верхнюю часть инструмента, следя, чтобы упор пружины попал в углубление на водилке зажимного винта. Потом в гильзу вложить пружину, завинтить винт, закрывающий гильзу, и завинтить стопорный винтик, найдя предварительно на большом винте соответствующее углубление. Последней операцией будет установка на свое место вкладыша. Чистку и смазку надо делать в закрытом чистом помещении.

4. Проверка и исправление установочного уровня. Для проверки подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в нульпункт и поворачивают трубу на 180°. Если пузырек сместился с нульпункта, то его на половину отклонения смещают исправительными винтами уровня, а в нульпункт приводят подъемными винтами. Проверку повторяют. Прежде чем действовать тремя исправительными винтами уровня, нужно ослабить закрепительный винт, которым уровень крепится к кронштейну. После окончания проверки этот винт необходимо закрепить. Если установочный уровень представляет из себя два взаимно перпендикулярных цилиндрических уровня, то проверку выполняют так: трубу нивелира устанавливают параллельно двум подъемным винтам и, действуя ими в разные стороны, приводят пузырек уровня, расположенного параллельно трубе, в нульпункт. Третьим подъемным винтом приводят в нульпункт пузырек другого уровня. Поворачивают трубу на 180°; если пузырьки уровней сместились с середины, то подъемными винтами перемещают их в сторону нульпунктов на половину отклонения, а в нульпункт приводят исправительными винтами уровней. Надо добиться, чтобы после поворота на 180° пузырьки уровней точно оставались в нульпункте.

Дальнейшие проверки выполняются после приведения нивелира в рабочее положение.

5. Проверка и исправление установки нитей сетки. Вертикальная нить сетки должна совпадать с изображением нити отвеса. В защищенном от ветра месте подвешивают на стене тяжелый отвес, который хорошо опустить в ведро с водой. Сзади нити отвеса на стене укрепляют белый лист бумаги. Установив в 20—25 м от отвеса нивелир и приведя его в рабочее положение, наводят верти-

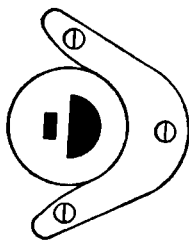


Рис. 112

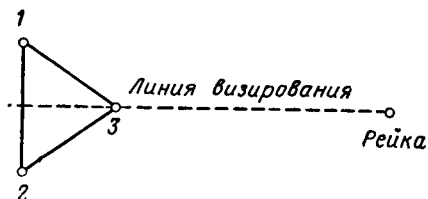


Рис. 113

кальную нить сетки зрительной трубы и совмещают с нитью отвеса. Если нить сетки при этом не совпала с нитью отвеса более чем на 0,5 мм, то положение нитей сетки надо исправить. Поступают так. Предварительно вывинчивают со стороны окуляра два стопорных винта 2 (см. рис. 106), потом отвинчивают три винта, которыми окулярная часть скреплена с корпусом зрительной трубы, и снимают ее. Будет видна (рис. 112) несущая сетку пластинка в виде сегмента, привинченная тремя винтами. Нужно верхний и нижний винты пластинки повернуть на один оборот против хода часовой стрелки, а средний — приблизительно на четверть оборота. Затем осторожно пальцами повернуть пластинку в нужную сторону, надеть окуляр и проверить положение вертикальной нити сетки. Если потребуется еще повернуть пластинку, то надо снова немного ослабить средний винт. Так повторяют операции, пока вертикальная нить сетки не совпадет с изображением нити отвеса. Добившись этого, надо закрепить средний винт пластинки, затем крайние винты и, убедившись в правильности установки сетей нитей, укрепить тремя винтами окулярную часть трубы.

6. Проверка и исправление установки цилиндрического уровня (проверка главного условия). Ось цилиндрического уровня и визирная ось трубы должны быть параллельны между собою. Для этого требуется выполнить два условия.

1. Отвесная плоскость, проходящая через ось уровня, должна быть параллельна отвесной плоскости, проходящей через визирную ось трубы. На расстоянии 50 м от рейки устанавливают нивелир так, чтобы один из подъемных винтов располагался в створе визирования на рейку. Два других винта займут симметричное положение относительно линии визирования (рис. 113). Нивелир приводят в рабочее положение. Зрительную трубу наводят на рейку. Элевационным винтом совмещают концы пузырька уровня и по средней горизонтальной нити берут отсчет по рейке, который следует запомнить. Незначительными согласованными поворотами подъемных винтов 1 и 2 в разные стороны на 2—3 полных оборота дают боковой наклон нивелиру. При этом очень важно, чтобы визирная ось трубы оставалась горизонтальной, что достигается наблюдением за постоянством отсчета по рейке, взятого в начале проверки. Сделав наклон нивелира, надо зарисовать положения концов

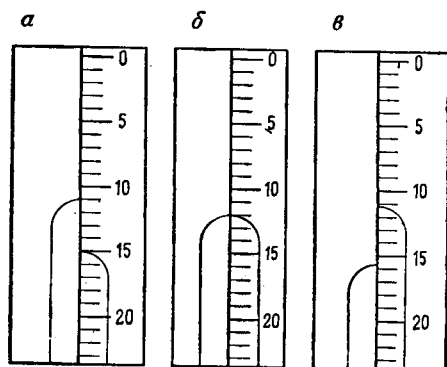


Рис. 114

пузырька уровня, видимых в поле зрения трубы (рис. 114, а). После этого, действуя парой тех же подъемных винтов в обратном направлении, приводят нивелир в первоначальное положение, т. е. снова совмещают концы пузырьков и смотрят, изменился ли отсчет по рейке (рис. 114, б). Теперь следует в такой же последовательности повторить все действия, наклоняя нивелир в другую сторону. Если концы пузырька уровня не разошлись или разошлись в ту же

сторону, как было зарисовано на рис. 114, а, то установка уровня в первой своей части правильна.

Если при наклоне нивелира в другую сторону концы пузырька уровня займут положение, противоположное первому, и разойдутся более чем на одно деление (рис. 114, в), то уровень надо исправить. Для этого вывинчивают пробку, закрывающую исправительные винты уровня, и боковыми винтами ставят пузырек уровня на середину. Если при наклоне нивелира влево концы пузырька разошлись так, как показано на рис. 114, а, при наклоне вправо — как на рис. 114, в, то надо выступ оправы уровня подать влево. Если положение пузырьков при наклоне нивелира влево и вправо будет соответственно как на рис. 114, в и а, то выступ надо подать вправо. Винтами надо действовать осторожно. Например, для перемещения выступа оправы уровня вправо надо правый винт немного вывинтить, а левый ввинтить, подать выступ вправо. При подаче влево надо поступать наоборот. Юстировка достигается последовательными приближениями.

2. Проекция на отвесную плоскость оси уровня и визирной оси должны быть взаимно параллельны или пересекаться под углом не более $20''$.

Практически проверка сводится к определению угла i . Существует несколько способов его определения. Рассмотрим второй способ определения угла i , приведенный в инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов [12].

На ровной площадке, на расстоянии 51,6 м друг от друга забивают прочно в землю два кола, а в их торцы — кованые гвозди с овальными головками. От полученных точек № 1 и № 2 (рис. 115) на продолжении створа в обе стороны от него откладывают отрезки по 5,2 м, получают точки А и В. Нивелир устанавливают над точкой А и тщательно приводят его в рабочее положение. Рейки, установленные в отвесном положении на кольях, должны удерживаться подпорками.

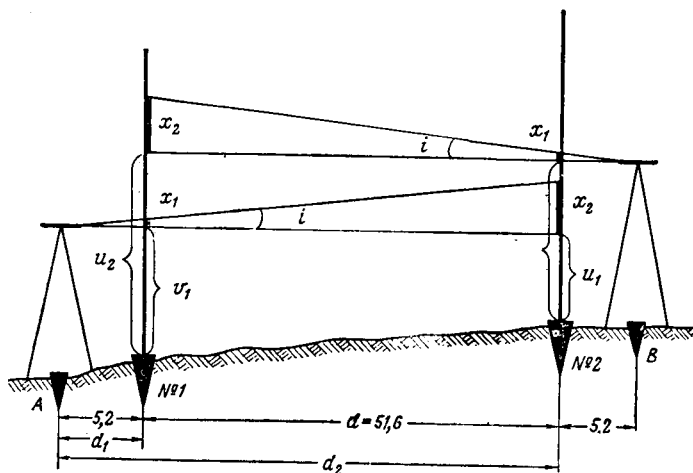


Рис. 115

Затем наводят трубу нивелира на ближнюю рейку (кол № 1). На отсчетном барабане устанавливается отсчет 50 и в дальнейшем к барабану не притрагиваются. Элевационным винтом концы пузырька уровня совмещают и производят отсчеты по трем нитям (по средней и дальномерным штрихам) основной шкалы рейки, после чего наводят трубу на дальнюю рейку (кол № 2) и выполняют действия, указанные в предыдущем пункте.

Закончив работу на точке А, нивелир переносят в точку В, заботясь, чтобы фокусировка трубы по дальней рейке осталась неизменной. Установив нивелир на точке В и приведя его в рабочее положение, начинают наблюдать: вначале берут отсчеты по дальней рейке (при неизменной фокусировке), а затем по ближней. Порядок отсчетов тот же, что и на точке А. На этом заканчивается один прием. Таких приемов необходимо выполнить три. При переходе к следующему приему горизонт инструмента следует изменить.

Из каждого приема вычисляют угол i по формуле (см. рис. 115)

$$i'' = h_2' - h_1', *$$

где

$$h_1' = v_1 - u_1, \quad h_2' = v_2 - u_2.$$

Расхождения между значениями угла i в приемах не должны превышать $4''$. Абсолютная величина угла не должна превышать $20''$ (желательно не более $10''$). Если необходимо исправить величину угла i , находят правильный отсчет для дальней рейки

$$u_{2 \text{ прав}} = u_2 - 0,55i''$$

и при помощи элевационного винта зрительную трубу устанавливают на предвычисленный правильный отсчет. Затем вертикальными исправительными винтами уровня совмещают концы пузырька

* Эта формула справедлива только для $d = 51,6$ м.

ка уровня. После исправления следует сделать контрольное определение угла i и, если он меньше $20'' (10'')$, его окончательное значение выводят из трех вновь выполненных приемов.

У нивелира Н2 исправление угла i производится с помощью поворота оптического клина вокруг своей оси, для чего нужно отпустить закрепительные винты 12 (см. рис. 108, б). Поворачивая клин в оправе, добиваются, чтобы отсчет по средней нити соответствовал предвычисленному. В этом положении клин следует закрепить. Уровень в это время должен находиться точно в нульпункте.

Рассмотрим теорию способа. Из рис. 115 непосредственно находим

$$h'_1 = (v_1 + x_1) - (u_1 + x_2) = (v_1 - u_1) - (x_2 - x_1) = h_0 - (x_2 - x_1);$$

$$h'_2 = (u_2 + x_2) - (v_2 + x_1) = (u_2 - v_2) + (x_2 - x_1) = h_0 + (x_2 - x_1);$$

$$h'_2 - h'_1 = 2(x_2 - x_1).$$

Из решения треугольников найдем

$$x_2 = \frac{i'' d_2}{\rho''}; \quad x_1 = \frac{i'' d_1}{\rho''},$$

подставим полученные значения

$$h_2 - h_1 = \frac{2i''(d_2 - d_1)}{\rho''},$$

откуда
$$i'' = \frac{(h'_2 - h'_1) \rho''}{2(d_2 - d_1)} = \frac{(h'_2 - h'_1) 206\,265}{2 \times 51,6 \times 2 \times 10^3} \approx h'_2 - h'_1,$$

где $(h'_2 - h'_1)$ выражено в полумиллиметрах.

В табл. 72 приведен пример на определение угла i'' .

§ 62. ИССЛЕДОВАНИЕ НИВЕЛИРА НА-1

Действующая инструкция [12] требует проводить полные лабораторные поверки и исследования нивелира по получении его с завода и после капитального ремонта. До выезда на работы исполнитель должен произвести так называемые полевые поверки и исследования нивелира. К исследованиям относятся:

определение цены деления цилиндрического уровня по рейке;
определение погрешности совмещения изображений концов пузырька уровня по рейке;

определение цены деления отсчетного барабана для разных расстояний до рейки;

определение коэффициента дальномера и асимметрии нитей.

Необходимо помнить, что каждое исследование имеет смысл только при условии выполнения его по полной программе, предусмотренной инструкцией.

1. *Определение цены деления цилиндрического уровня по рейке.* Такое исследование ставится с целью определения, достаточна ли точность уровня прибора для выполнения нивелирования II

Определение угла i нивелира НА-1 № 01652 $d = 51,6$ м

4 июня 1971 г.

Прием	Уста- новка нивелира	Точка № 1		Точка № 2		$\frac{h_1}{h_2}$	$i'' = h_2 - h_1$
		Отсчеты по рейке в полумиллиметрах					
		по 3 нитям	среднее v	по 3 нитям	среднее u		
I	1	(1) 2561 2614 <u>2668</u> 2614	2614	(2) 1946 2512 <u>3082</u> 2514	2513	+101	+84"
		(3) 2281 2346 <u>3412</u> <u>2846</u>		(4) 2092 2662 <u>3227</u> <u>2660</u>			
		2799 2852 <u>2903</u> <u>2850</u>		2180 2747 <u>3314</u> <u>2747</u>			
		2497 3064 <u>3630</u> <u>3064</u>		2825 2880 <u>2932</u> <u>2878</u>			
II	2	2745 2798 <u>2848</u> <u>2796</u>	2797	2126 2695 <u>3264</u> <u>2695</u>	2695	+102	+81
		2620 3186 <u>3749</u> <u>3184</u>		2950 3004 <u>3055</u> <u>3002</u>			
		2620 3186 <u>3749</u> <u>3184</u>		2950 3004 <u>3055</u> <u>3002</u>			
		2620 3186 <u>3749</u> <u>3184</u>		2950 3004 <u>3055</u> <u>3002</u>			
III	1	2745 2798 <u>2848</u> <u>2796</u>	2797	2126 2695 <u>3264</u> <u>2695</u>	2695	+102	+80
		2620 3186 <u>3749</u> <u>3184</u>		2950 3004 <u>3055</u> <u>3002</u>			
		2620 3186 <u>3749</u> <u>3184</u>		2950 3004 <u>3055</u> <u>3002</u>			
		2620 3186 <u>3749</u> <u>3184</u>		2950 3004 <u>3055</u> <u>3002</u>			
Среднее						+82	

Правильный отсчет для дальней рейки по средней нити

$$3185 - 0,55 \times (+82) = 3140$$

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

класса. Если наводить трубу на два соседних штриха рейки и при каждом наведении на штрих брать отсчеты по концам пузырька уровня, то значение угла α (рис. 116) можно вычислить двумя способами. С одной стороны, учитывая малость l , найдем

$$\alpha'' = \frac{l \rho''}{S}, \quad (a)$$

с другой стороны, наклону оси уровня на угол α соответствует перемещение пузырька уровня на n полуделений его шкалы, т. е.

$$\alpha'' = \frac{\tau''}{2} \cdot n, \quad (б)$$

где τ — цена деления уровня.

Сопоставляя равенства (а) и (б), находим, что

$$\frac{\tau''}{2} \cdot n = \frac{l\rho''}{S},$$

откуда

$$\frac{\tau''}{2} = \frac{l\rho''}{Sn},$$

где S — измеренное расстояние от нивелира до рейки в полумиллиметрах.

Выполняется исследование в тихую и желательно пасмурную погоду. За два часа до начала исследований нивелир устанавливают на трех забитых в землю кольях и защищают зонтом от солнца. На расстоянии 40—50 м забивают прочно в землю два кола, один выше другого на 15—20 см. В колья вбивают кованые гвозди с овальной шляпкой. Для наблюдения за температурой подвешивают в тени термометр. Следят за длиной пузырька уровня, величина изменения длины которого не должна превосходить 0,2 мм на 1°C .

Программа исследования состоит из четырех приемов, каждый из которых включает два полуприема. В нечетных приемах рейка ставится на первый кол, в четных — на второй. Рекомендуется два приема сделать в первой половине дня, два других — во второй, по возможности при другой температуре воздуха.

Рассмотрим порядок работы в одном приеме.

Приводят нивелир в рабочее положение, наводят трубу на рейку. Записывают температуру воздуха и длину пузырька уровня. Результаты измерений записывают в ведомость (табл. 73).

Затем, действуя элевационным винтом, точно совмещают биссектор нитей сетки с одним из штрихов рейки так, чтобы в этот момент концы пузырька уровня заняли противоположные крайние положения. Можно использовать штрихи как основной, так и дополнительной шкалы. Например, пузырьки заняли положение, показанное на рис. 117, а.

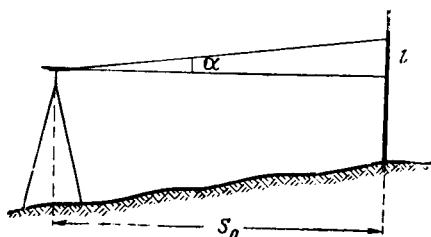


Рис. 116

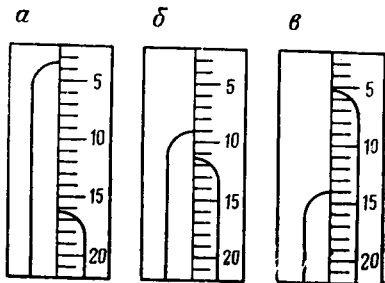


Рис. 117

Определение цены деления уровня по рейке
 Нивелир НА-1 № 01652
 На шкале уровня 25 делений; подпись делений от 0 до 25; нуль делений со стороны объектива
 Расстояние до рейки 46,52 м Дата 4. VI. 1971 г. Время 8^h15^m

№ при-ема	Длина пузырька уровня, мм	t° воздуха	Отсчеты го рейке	Отсчеты по уровню				П — Л		Среднее П — Л	Расстояние по рейке, 1/2 мм	Число полуделений уровня
				прямой ход		обратный ход		прямой ход	сбрат-ный ход			
				Л	П	Л	П					
I	70,2	+15,3	30,6	4,2—17,1	4,2—17,2	9,8—11,6	+12,9	+13,0	+12,95	10	11,10	
			30,7	9,7—11,6	9,8—11,6	15,2—6,3	+1,9	+1,8	+1,85	10	10,70	
	70,2	+15,7	30,8	15,1—6,3	15,2—6,3	4,3—17,1	—8,8	—8,9	—8,85	10	11,05	
			30,6	4,3—17,1	4,3—17,2	9,9—11,7	+12,8	+12,9	+12,85	10	10,75	
II	70,1	+16,3	30,7	9,9—11,7	9,9—11,7	15,2—6,2	+1,8	+1,8	+1,80	10	11,05	
			30,8	15,2—6,3	15,2—6,2	4,2—17,2	—8,9	—9,0	—8,95	10	10,75	
	70,0	+16,4	58,4	58,4—70,1	58,6—70,2	5,7—16,0	+11,7	+11,6	—11,65	40	43,60	
			30,3	5,7—16,0	5,7—15,9	11,1—10,2	+10,3	+10,2	+10,25	10	11,10	
III IV	70,0	+16,5	30,4	16,6—5,0	16,5—4,8	5,6—15,8	—0,9	—0,8	—0,85	10	10,80	
			30,5	5,7—15,8	5,6—15,8	11,0—10,2	+10,1	+10,2	+10,15	10	11,00	
	70,0	+16,5	30,4	11,1—10,2	11,0—10,2	16,6—4,9	—0,9	—0,8	—0,85	10	10,85	
			30,5	16,6—4,9	16,6—4,9	66,5—61,9	—11,7	—11,7	—11,70	10	10,85	
III IV	70,0	+16,5	66,8—62,1	66,5—61,9	—4,7	—4,6	—4,65	40	43,75			
			Госпоследние два приема выполнены в вечернее время, приведены только конечные результаты	40	43,65							
	174,75	160	174,75	160	174,75	160	174,75	160	174,75	160	174,75	
												174,75

Совмещать штрих с биссектором элевационным винтом надо на ввинчивание.

Подождав, чтобы уровень установился, берут отсчеты по левому и правому его концам. Далее элевационным винтом точно наводят биссектор нитей сетки на смежный штрих рейки, но при этом концы пузырька уровня должны сблизиться (рис. 117, б).

Записав отсчеты по концам пузырька и продолжая вращение элевационного винта в том же направлении, наводят биссектор на третий штрих рейки. Тогда пузырьки займут положение, показанное на рис. 117, в.

Берут отсчеты по концам пузырька уровня и записывают. На этом прямой ход заканчивается.

Сразу же приступают к наблюдению обратного хода. Для этого элевационный винт двигают на четверть оборота в том же направлении, а затем, сменив его вращение на обратное, вводят в биссектор нитей сетки те же штрихи рейки, только в обратной их последовательности. Начинают с третьего штриха. При каждом совмещении берут отсчеты. Прямой и обратный ходы вместе составляют полуприем. Закончив его, снова записывают температуру воздуха и измеряют длину пузырька уровня.

Переходя ко второму полуприему, надо немного изменить горизонт инструмента. Это можно сделать или подъемными винтами, или поворотом на несколько делений отсчетного барабана. При выполнении полуприема отсчетный барабан не трогать.

Как второй полуприем, так и все остальные выполняются аналогично первому полуприему. Переходя ко второму приему, следует рейку переставить на второй кол.

На протяжении четырех приемов визирный луч трубы переместился по рейке на величину $l=160$ полумиллиметров, что соответствует перемещению пузырька уровня на число полуделений уровня $n=174,75$ (см. табл. 73).

Тогда

$$\frac{\tau''}{2} = \frac{160 \cdot 206 \ 265}{174,75 \cdot 93 \ 040} = 2,03'',$$

отсюда $\tau''=4,06''$ на 0,8 мм или $10,2''$ на 2 мм, что удовлетворяет требованию инструкции для нивелирования II класса.

2. Определение ошибки совмещения изображений концов пузырька уровня по рейке. В соответствии с принципом нивелирования горизонтальным лучом требуется перед каждым отсчетом по рейке приводить при помощи цилиндрического уровня визирный луч в горизонтальное положение. В нивелире, снабженном контактным уровнем, визирный луч будет горизонтален в том случае, если изображения концов пузырька уровня будут совмещены.

Полная погрешность отсчета по рейке (взгляда) складывается из погрешности совмещения изображений концов пузырька уровня и погрешности наведения биссектора нитей сетки на штрих рейки. Полагая, что указанные погрешности действуют одинаково, мож-

но по формуле средней квадратической погрешности суммы написать

$$m_{\text{взг}}^2 = m_{\text{сов}}^2 + m_{\text{нав}}^2.$$

Погрешности взгляда и наведения можно выявить из многократных наблюдений, тогда

$$m_{\text{сов}} = \sqrt{m_{\text{взг}}^2 - m_{\text{нав}}^2}.$$

Для полного выявления погрешностей $m_{\text{взг}}$ и $m_{\text{нав}}$ надо выполнить 9 приемов, причем в разное время, при разных температурах воздуха. Для каждой температуры рекомендуется делать по три приема определений. Каждый прием состоит из 10 отдельных определений.

Порядок выполнения исследования в одном приеме следующий. На расстоянии 50 м от нивелира забивается кол с гвоздем, на который ставится рейка. В тени подвешивается термометр для учета температуры. Наводят биссектор зрительной трубы на рейку и, совместив концы пузырька уровня, вращением отсчетного барабана на ввинчивание или вывинчивание наводят на ближний штрих и каждый раз берут отсчеты по барабану; таких наведений должно быть 10. Результаты наблюдений записывают в ведомость (табл. 74).

Из этих наблюдений определяется погрешность наведения по формуле

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

где v — вероятнейшие погрешности наведений как уклонений каждого отсчета по барабану от их среднего значения из 10 определений.

Чтобы определить среднюю квадратическую погрешность взгляда, также делают 10 отсчетов по барабану, перед каждым из которых предварительно элевационный винт и отсчетный барабан отводят на четверть оборота. Погрешность взгляда определяется по формуле

$$m_{\text{взг}} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}.$$

Перед вторым приемом, который выполняется аналогично первому, необходимо немного изменить высоту инструмента. Это можно сделать или подъемными винтами, или рейку поставить на рядом стоящий кол другой высоты. Средняя квадратическая погрешность совмещения, вычисленная из 9 приемов, не должна превышать $\pm 0,3''$. В табл. 74 приводится обработка одного приема, а результаты остальных приемов даны в сводной ведомости (табл. 75).

$$m_{\text{сов}} = \pm \frac{1,37 \times 0,05 \times 206\,265}{50\,000} = \pm 0,28'' < 0,3''.$$

Таблица 74

Определение по рейке средней квадратической погрешности совмещения изображений концов пузырька уровня

Нивелир НА-1 № 01652

1 прием $t = +8,5^\circ$ $d = 50$ м Длина пузырька уровня 71,4 мм

Дата 5. VI. 1971 г.

Время: 6 ч 45 мин.

№ пп	Отсчет по барабану	Ввинчивание		Отсчет по барабану	Вывинчивание	
		v	v^2		v	v^2
1	42,4	-0,09	0,0081	43,5	+2,38	5,6644
2	41,7	-0,79	0,6241	40,6	-0,52	0,2704
3	43,6	+1,11	1,2321	42,9	+1,78	3,1684
4	43,0	+0,51	0,2601	40,6	-0,52	0,2704
5	41,2	-1,29	1,6641	42,1	+0,98	0,9604
6	42,8	+0,31	0,0961	39,8	-1,32	1,7424
7	42,4	-0,09	0,0081	41,4	+0,28	0,0784
8	43,1	+0,61	0,3721	39,5	-1,62	2,6244
9	42,8	+0,31	0,0961	40,9	-0,22	0,0484
10	41,9	-0,59	0,3481	39,9	-1,22	1,4884
Среднее	42,49	0,00	4,7090	41,12	0,00	16,3160

$$m_{\text{нав}} = \sqrt{\frac{4,7094}{9}} \approx \pm 0,72; \quad m_{\text{взгл}} = \sqrt{\frac{16,3160}{9}} \approx \pm 1,35$$

$$m_{\text{совм}} = \sqrt{\frac{16,3160 - 4,7094}{9}} \approx \pm 1,14 \text{ дел. барабана}$$

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

Таблица 75

Сводная ведомость определения ошибки совмещения

№ приема	t° воздуха	Длина пузырька	Совмещения
I	+8,5°	71,4	±1,35
II	8,8	71,5	1,34
III	9,0	71,5	1,35
IV	14,2	70,8	1,38
V	14,4	70,8	1,41
VI	14,5	70,6	1,39
VII	18,1	70,3	1,39
VIII	18,2	70,3	1,38
IX	18,4	70,2	1,36
		Среднее	1,37 дел. барабана

3. Определение цены деления отчетного барабана для разных расстояний до рейки. В задачу исследований входит проверка работы механизма, наклоняющего плоскопараллельную пластину, определение цены деления барабана и ее постоянства при различных расстояниях до рейки и различных температурах воздуха.

$$\mu = \frac{l}{n},$$

где l — отрезок на рейке, для измерения которого барабан был повернут на n делений.

На плотной бумаге вычерчивают шкалу в виде 8—10 подписанных штрихов толщиной 1 мм, расстояние между осями которых составляет 4 мм. Перед началом исследований и после их окончания расстояния между штрихами измеряются нормальной линейкой с точностью до $\pm 0,05$ мм. Изготовленная шкала закрепляется в пазу рейки. Для нивелира НА-1 цену деления барабана достаточно определить для расстояния 50 м восемью приемами.

Рейку устанавливают на овальную шляпку кованого гвоздя, вбитого в торец кола. Изображения концов пузырька уровня тщательно совмещают и на барабане ставят отсчет 10. Перемещая шкалу вдоль рейки, надо установить ее так, чтобы в биссекторе сетки нитей расположился один из штрихов шкалы. Вращением барабана на ввинчивание последовательно наводят биссектор нитей сетки на два смежных штриха шкалы, записывают их номера и отсчеты по барабану (табл. 76). Закончен прямой ход. Довернув барабан в том же направлении до конца оборота, вращают его на вывинчивание и наблюдают те же штрихи, но в обратном порядке. Прием закончен.

Так же выполняются все остальные приемы, только через каждые два приема шкала смещается, чтобы измерения вести в другом ее интервале. Перед началом наблюдений и в конце их следует измерять температуру воздуха. Чтобы убедиться, что цена деления барабана и при изменении температуры воздуха сохраняет свое постоянное значение, нужно повторить цикл наблюдений, указанных выше, еще при двух температурах, различающихся примерно на 8—10°. По результатам исследований составляем сводную таблицу (табл. 77).

Среднее значение цены деления барабана на различных его частях не должно отличаться от номинала более чем на 0,0025 мм.

4. *Определение коэффициента дальномера и асимметрии нитей.* Коэффициент дальномера находится по формуле

$$K = \frac{D - C}{l},$$

где D — расстояние от нивелира до рейки в мм; C — постоянная дальномера; l — дальномерное расстояние, определяемое как разность отсчетов по нижней и верхней дальномерным нитям, в мм.

Для нивелира НА-1 постоянная C близка к нулю и поэтому коэффициент дальномера равен

$$K = \frac{D}{l}.$$

Таблица 76

Определение цены деления отсчетного барабана

Нивелир НА-1 № 01652

$$t_{\text{нач}} = +10,2^{\circ}; \quad t_{\text{кон}} = +10,7^{\circ}$$

Расстояние до рейки 50 м

6 мая 1971 г.

№ при-ема	№ штри-ха	Отсчеты по барабану			Интервалы между штрихами рейки		Цена деления, мм
		при ввинчивании	при вывинчивании	среднее	в делениях барабана	по результатам компарирования, мм	
I	3	7,7	8,2	7,95			
	4	87,3	87,6	87,45	79,50	3,977	0,5003
II	3	7,9	7,6	7,75			
	4	87,4	87,0	87,20	79,45	3,977	0,5006
III	4	9,1	9,5	9,30			
	5	89,4	89,9	89,65	80,35	4,020	0,5003
IV	4	10,0	10,7	10,35			
	5	90,3	91,2	90,75	80,40	4,020	0,5000
V	6	6,1	6,4	6,25			
	7	86,7	85,1	85,90	79,65	3,992	0,5012
VI	6	5,8	6,9	6,35			
	7	86,0	86,1	86,05	79,70	3,992	0,5009
VII	7	12,4	13,5	12,95			
	8	92,3	93,5	92,90	79,95	3,995	0,4997
VIII	7	13,8	13,2	13,50			
	8	93,6	93,4	93,50	80,00	3,995	0,4994

Среднее 0,5003

Для двух других температур приводятся только конечные результаты в сводной табл. 77.

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

Таблица 77

Сводные результаты определения цены деления отсчетного барабана

Дата	t° воздуха	Цена деления
6 мая 1976 г.	+10,6°	0,5003
23 То же	+19,3	0,4996
30 „	+27,0	0,4995
	Среднее	0,4998

Величину асимметрии нитей вычисляют по формуле

$$a = (c - v) - (n - c),$$

где v , c , n — отсчеты по верхней, средней и нижней дальномерным нитям.

На ровной площадке от точки стояния нивелира гшательно отмеряют 50 м. В конце измеренной линии забивают рядом два

кола, один выше другого на 15—20 см. На один из колеьев ставят рейку. Приведя нивелир в рабочее положение и совместив изображения концов пузырька уровня, берут отсчеты по трем нитям, предварительно установив на барабане отсчет 50. Такую серию из трех отсчетов повторяют еще четыре раза, смещая элевационным винтом перед каждой серией отсчетов пузырек уровня на 3—4 деления и выжидая полного его успокоения. Переставив рейку на второй кол, повторяют все наблюдения в той же последовательности.

В табл. 78 приведен пример исследования, взятый из пособия В. Л. Ассур и М. М. Муравина [3].

Величина K должна быть близкой к 100, а асимметрия нитей при расстоянии до рейки 50 м менее $\pm 1,4$ мм.

Таблица 78

Определение коэффициента дальномера и асимметрии нитей

Нивелир НА-1 № 01364

Дата 11. VI. 1970 г.

$i^{\circ} = + 20,5^{\circ}$

Время: 8 ч. 10 мин

$D = 50,25$ м

Место установки рейки	Положение пузырька уровня	Отсчеты по нитям в с н	$\frac{в + н}{2}$	с — в н — с	В полумиллиметрах	
					a	$l = н - в$
Костыль № 1	На середине	3298	3799	501	0	1002
		3799				
		4300		501		
	Смещен к окуляру	3292	3795	503	0	1006
		3795				
		4298		503		
	Смещен к окуляру	3288	3790	503	+2	1004
		3791				
		4292		501		
	Смещен к объективу	3300	3802	502	+1	1003
		3802				
		4303		501		
	Смещен к объективу	3306	3308	502	—1	1005
		3808				
		4311		503		

Костыль № 2

Наблюдения не приводятся

$$K = \frac{D}{l} = \frac{50250}{501,75} = 100,1 \quad a_{\text{ср}} = -0,05 \text{ мм} < \pm 1,4$$

Среднее в полумиллиметрах 1003,5
Среднее в мм 501,75

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

§ 63. ИССЛЕДОВАНИЕ НИВЕЛИРНЫХ РЕЕК

При постоянном натяжении инварной полосы нанесенные на ней интервалы делений практически остаются неизменными для разной температуры воздуха. Поэтому точное определение метровых интервалов шкал реек для II класса нивелирования производится один раз в два года перед началом полевых работ на стационарном компараторе, при нивелировании в горных районах — ежегодно. В процессе работы, раз в два месяца, перед началом и после окончания полевых работ производится только контрольное определение метровых интервалов реек с тем, чтобы обнаружить грубые просчеты в длинах реек, происшедших от изменения, например, натяжения инварных полос более чем на 3 кг.

Правильность нанесения дециметровых делений проверяется только для новых реек.

Согласно действующей инструкции по нивелированию [12] до выезда на работы исполнитель должен произвести следующие исследования реек:

- 1) проверка перпендикулярности плоскости пятки рейки к оси рейки (выполняется раз в год перед началом полевых работ);
- 2) определение разности высот нулей реек (тоже 1 раз в год);
- 3) контрольное определение длины интервалов между полудециметровыми делениями 10—30, 30—50 основной шкалы и 70—90, 90—110 дополнительной шкалы (перед началом и после окончания полевых работ и раз в 2 месяца во время работы);
- 4) определение стрелки прогиба инварной рейки (2 раза в месяц);
- 5) проверка правильности установки круглого уровня на рейке (ежедневно перед началом утренних и вечерних наблюдений).

1. *Проверка перпендикулярности плоскости пятки к оси рейки.* Рейка касается костыля любой точкой пятки, поэтому важно, чтобы, во-первых, пятка была плоскостью, и, во-вторых, эта плоскость должна быть перпендикулярна к оси рейки. Эти условия будут выполнены, если при установке рейки разными частями пятки отсчеты по рейке будут одинаковыми. Для этого в 10—30 м от нивелира забивают три костыля и последовательно на каждый из них ставят рейку, чтобы ее пятка касалась костыля: a_1 — центром пятки, a_2 — ее передним краем, a_3 — задним краем, a_4 — левым краем и a_5 — правым краем пятки. При каждой установке делают по три отсчета по основной шкале. Это составит один прием. Для каждой рейки выполняют по два приема.

Обработка исследования заключается в выводе средних отсчетов и получении из них разностей между отсчетом в момент, когда рейка касалась костыля центром пятки, и остальными отсчетами. Средние значения разностей должны быть менее 0,1 мм. Пример вычисления одного приема дан в табл. 79; второй прием не приводится. Окончательные результаты исследований сведены в табл. 80.

Определение перпендикулярности плоскости пятки рейки к ее оси
7 мая 1971 г. Рейка № 4766 $d = 18$ м

№ при- ема	№ косты- ля	№ птрихов рейки	Отсчет по барабану, когда рейка устаноэлена на костыле				
			центром пятки	передним краем	задним краем	лезым краем	правым краем
1	1	28,3	23,4	23,2	24,5	24,0	23,8
			24,3	25,1	24,6	26,1	25,5
			24,8	23,7	26,2	25,8	24,5
	2	Среднее 26,5	24,2	24,0	25,1	25,3	24,6
			73,0	72,6	72,5	73,3	71,8
			72,3	73,4	71,6	70,9	70,8
			71,8	70,7	72,0	71,4	72,6
	3	Среднее 24,8	72,4	72,2	72,0	71,9	71,7
			44,6	43,2	43,1	42,7	42,4
			43,0	42,5	43,3	44,5	42,9
			42,8	44,3	42,9	43,3	42,8
	Среднее		43,5	43,3	43,1	43,5	42,7

Второй прием не проводится

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

Таблица 80

Окончательные результаты исследований рейки № 4763

№ при-ема	№ костью-ля	Разности (в делениях барабана)				Приме-чание
		$a_1 - a_2$	$a_1 - a_3$	$a_1 - a_4$	$a_1 - a_5$	
I	1	+0,2	0,0	-1,1	-0,4	
	2	+0,2	+0,4	+0,5	+0,7	
	3	+0,2	+0,4	0,0	+0,8	
II	1	+0,3	+0,5	-0,1	-1,1	
	2	-0,1	+0,6	+0,3	-0,4	
	3	0,0	+0,2	-1,0	+0,5	
Среднее в делениях		+0,1	+0,4	-0,2	0,0	
Среднее в мм		0,00	+0,02	-0,01	0,00	$< \pm 0, \text{ мм}$

Вычислял: А. В. Петров

7 мая 1971 г.

2. *Определение разности высот нулей реек.* Определяют разности высот нулей основных шкал и начальных штрихов дополнительных шкал, которые должны быть близки к нулю, а также разности высот нулей и начальных штрихов основной и дополнительной шкал как для каждой рейки, так и для их комплекта.

Разность высот нулей шкал каждой рейки позволит проверить правильность записей отсчетов в полевом журнале, обработать наблюдения при привязке к стенной марке. Разность высот шкал комплекта реек необходима как поправка в превышение на последней станции, если в секции число станций будет нечетным.

Для исследования используют три костыля предыдущего исследования, установив от них нивелир на расстоянии 20—30 м. Ставят поочередно на один и тот же костыль обе рейки и до десятых долей делений шкалы барабана делают по три отсчета по основной и дополнительной шкалам реек.

Один прием состоит из установок поочередно реек на всех трех костылях. Для каждого вида исследования выполняют по три приема. Между приемами изменяют положение нивелира по высоте на 3—5 см (табл. 81).

Если на последней нечетной станции передней была рейка № 4765, а задней № 4766, то поправка в превышение за разность высот нулей шкал комплекта реек будет $-0,15$ мм. Если передней окажется рейка № 4766, а задней № 4765, то поправка в превышение будет $+0,15$ мм.

3. *Контрольное определение длины интервалов между полудециметровыми делениями 10—30, 30—50 основной шкалы и 70—90, 90—110 дополнительной шкалы реек.* Компарирование инварных реек обычными нормальными линейками не совсем точно и поэтому является только контрольным. Если в результате контрольного определения длины метровых интервалов будут расходиться с их значениями, полученными в результате точного компарирования на стационарном компараторе не более чем на 0,2 мм, то можно считать, что натяжение инварной полосы не изменилось.

За два часа до начала исследования рейку и нормальную линейку вносят в закрытое помещение с достаточно постоянной температурой. Рейку укладывают горизонтально без прогибов на неподвижном настиле. Нормальную линейку вынимают из футляра и кладут на рейку. Необходимо выждать, пока нормальная линейка и рейка воспримут температуру окружающего воздуха.

Компарирование выполняют два наблюдателя. Нормальная линейка укладывается вдоль оси инварной полосы, параллельно бортам так, чтобы можно было брать отсчеты по внутренним концам штрихов шкал. Необходимо, чтобы скошенный край линейки касался поверхности рейки. Длины интервалов определяют в прямом и обратном направлениях. Перед измерением каждого интервала записывают до десятых долей градуса показания термометра линейки.

Определение разности высот нулей шкал инварных реек

8 мая 1971 г.

Рейки № 4765 и 4766

№ при- ема	№ костыля	Отсчеты по рейкам					Разность высот нулей	
		№ 4765		№ 4766			разность	дополни- тельных шкал
		основная шкала	дополни- тельная шкала	разность	основная шкала	дополни- тельная шкала		
1	1	28,326 5 5	87,574 5 5		28,325 5 5	87,579 8 9		
	Среднее 2	28,325 26,577 6 7	87,575 85,826 5 5	59,250	28,325 26,576 6 6	87,579 85,826 7 7	59,254	0 —4
	Среднее 3	26,577 24,847 7 8	85,825 84,095 4 5	59,248	26,576 24,846 7 7	85,827 84,098 7 8	59,251	+1 —2
	Среднее	24,847	84,095	59,248	24,847	84,098	59,251	0 —3
			Среднее	59,249			59,252	0 —3
	Второй и третий приемы не приводятся							
	Среднее из трех приемов 59,250							
	Средняя разность высот нулей шкал комплекта реек № 4765 и 4766 — 3 деления барабана (—0,15 мм)							

Наблюдатель: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

Рассмотрим порядок наблюдений:

1) линейка укладывается на рейке так, чтобы вблизи ее нулевого штриха расположился исследуемый штрих рейки и чтобы надписи делений линейки возрастали по направлению хода исследований. Оба наблюдателя по концам линейки берут относительно исследуемых штрихов отсчеты с точностью до 0,02 мм;

2) затем линейка в пределах 1—2 мм сдвигается, и снова берутся отсчеты по ее концам;

3) далее линейка укладывается для измерения следующего метрового интервала (50—70), где также последовательно снимаются две пары отсчетов по концам линейки;

4) теперь измерение интервалов 70—50 и 50—30 идет в обратном порядке. Предварительно линейку перекадывают на 180° и наблюдатели меняются местами. Порядок наблюдений остается таким же, как и в прямом ходе.

На этом заканчивается компарирование основной шкалы рейки. В такой же последовательности производится определение длин интервалов 70—90 и 90—110 дополнительной шкалы рейки. Так же компарируется и вторая рейка. Разности отсчетов по правому и левому концам линейки на каждом интервале рейки не

Таблица 82

Контрольное определение длины метровых интервалов рейки

Нормальная линейка № 80215 $L = 1000 + 0,07 + 0,019(t - 16,8^\circ)$

8 мая 1971 г.

Метро- вый интер- вал	Темпера- тура ли- нейки t	Отсчеты по линейке, мм		П — Л, мм	Среднее П — Л	Общая поправка за длину и темпе- ратуру линейки	Длина метро- вых ин- тервалов, мм
		Л	П				
1	2	3	4	5	6	7	8

Основная шкала Рейка № 4766
Прямой ход

10—30	22,4°	0,08	999,96	999,88	999,87	+0,18	1000,05
		0,24	1000,10	999,86			
30—50	22,4	0,32	1000,22	999,90	999,88	+0,18	1000,06
		0,26	1000,12	999,86			
Обратный ход							
50—30	22,5	0,06	999,92	999,86	999,87	+0,18	1000,05
		0,30	1000,18	999,88			
30—10	22,6	0,18	1000,04	999,86	999,86	+0,18	1000,04
		0,34	1000,20	999,86			

Длина метровых интервалов в миллиметрах

10—30	1000,04
30—50	1000,06

Наблюдали: А. В. Петров, П. С. Иванов

Записывал: Н. П. Васильев

должны различаться больше чем на 0,1 мм.

Обработку результатов компарирования проследим на примере, приведенном в табл. 82.

Согласно уравнению линейки поправка за длину +0,07 мм, за температуру $+0,019 (22,4^\circ - 16,8^\circ) = +0,11$ мм. Общая поправка на интервале $(10-30) + +0,07 + 0,11 = +0,18$ мм.

Компарирование остальных шкал реек не приводится.

4. *Определение стрелки прогиба инварной рейки.* Рейку укладывают горизонтально на боковое ребро и к ее концам вдоль ребра рейки прикладывают тугую натянутую тонкую металлическую проволоку или суровую нить. При помощи миллиметровой линейки измеряют расстояния от нити до краев инварной полосы около делений основной шкалы 02, 30, 58. У хороших реек стрелка прогиба должна быть менее 5 мм.

1. Если расстояние a_2 отличается от $\frac{a_1 + a_3}{2}$ на 5 мм и более, то такую рейку во время перерывов в работе надо класть на упоры под ее середину (рис. 118, а).

2. Если a_2 меньше $\frac{a_1 + a_3}{2}$ на —5 мм и более, то хранить ее надо на двух упорах под ее концами (рис. 118, б). Приведем примеры.

1-й случай

$$a_1 = 7 \text{ мм}$$

$$a_2 = 15 \text{ мм}, a_2 \frac{a_1 + a_3}{2} = +8,5$$

$$a_3 = 6 \text{ мм}$$

2-й случай

$$a_1 = 7 \text{ мм}$$

$$a_2 = 1 \text{ мм}, a_2 \frac{a_1 + a_3}{2} = -6,0$$

$$a_3 = 7 \text{ мм.}$$



Рис. 119

5. *Установка круглого уровня на рейке.* Установка рейки в отвесное положение требует, чтобы ось круглого уровня на рейке была параллельна оси рейки. В процессе нивелирования может быть нарушена установка уровня, поэтому крайне важно перед каждым выходом на работу проверять установку уровня на рейках. Удобнее всего эту проверку производить в закрытом помещении по отвесу. Отвес подвешивается к рейке на специально имеющиеся для этого на ребре рейки откидные стержни. Рейку устанавливают так, чтобы острие отвеса пришлось точно над острием штифта, имеющегося на нижнем стержне (рис. 119). Удерживая рейку неподвижно в этом положении, исправительными винтами круглого уровня приводят его пузырек в нульпункт. Прежде чем работать исправительными винтами, надо несколько ослабить внизу закрепительный винт уровня.

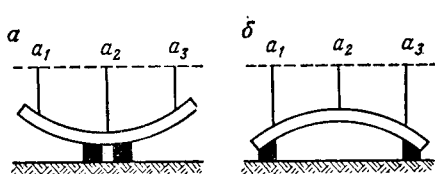


Рис. 118

На открытом воздухе, в случае ветреной погоды поверку можно выполнить с помощью нивелира. На расстоянии 40—50 м от нивелира рейку ставят на костыль. Зрительную трубу нивелира, приведенного в рабочее положение, наводят на рейку и по указанию наблюдателя рейку устанавливают так, чтобы ее ребро совпало с вертикальной нитью сетки. В этом положении исправительными винтами уровня приводят пузырек в нульпункт. Теперь следует рейку повернуть на 90° и опять, установив ее по вертикальной нити сетки, привести пузырек уровня исправительными винтами в нульпункт. Такие операции заканчиваются, когда при первом и втором положениях рейки пузырек круглого уровня будет оставаться в нульпункте.

Нивелиры, прошедшие исследования, но не применявшиеся в производстве, должны быть испытаны в работе. Для этой цели прокладывается нивелирный ход соответствующего класса, длиной 5—6 км прямо и обратно. Трасса заблаговременно разбивается на километровые участки, концы которых закрепляют постоянными или временными грунтовыми реперами. Во время прокладки контрольного хода обращают внимание на работу отдельных частей нивелира и на то, как долго сохраняются выполненные юстировки, особенно угла i . Заключительным этапом, характеризующим работу нивелира, являются расхождения между суммами превышений прямого и обратного ходов и величина средней квадратической погрешности превышения на километр хода.

§ 64. НИВЕЛИРОВАНИЕ II КЛАССА

Нивелирный ход прокладывается прямо и обратно по одной и той же трассе, участками из нескольких смежных секций, общей протяженностью 25—30 км. Рекомендуется ходы на участке прокладывать по схеме «восьмерка» (рис. 120).

Максимальная длина визирного луча 65 м при условии, что штрихи рейки видны отчетливо и отсутствуют заметные колебания воздуха, затрудняющие наблюдения. Расстояния от нивелира до реек должны быть равными и отмерять их следует тонким стальным тросом, рулеткой или лентой, но не отсчетами по дальномеру. Неравенства расстояний до реек допускаются: на станции — до одного метра, накопление по секции — не более двух метров. Не допускается изменять фокусирование трубы на станции. Следует обращать внимание на прочную установку костылей. При сильном порывистом ветре нивелирование прекращать.

Для ослабления влияния рефракции надо отсчеты по рейке брать на высоте визирного луча не менее 0,5 м от поверхности земли. Практически для инварных реек отсчет по основной шкале в полудециметрах должен быть не менее 10,0. Как исключение, при длине луча 30 м и короче разрешается снижать высоту визирного луча до 0,3 м, т. е. брать отсчеты по рейке не менее 6,0 м. По тем же соображениям нивелирование следует начинать не ранее, чем через полчаса после восхода солнца и заканчивать не



Рис. 120

Неправильно	Правильно
4	+ 14,3
+ 15,3	+ 15,3

Рис. 121

позднее, чем за полчаса до его захода. Прямой и обратный ходы рекомендуется прокладывать в разные половины дня.

Немаловажное значение имеет строгое соблюдение чередования реек (задняя — передняя, передняя — задняя) как в прямом ходе, так и при переходе от прямого хода к обратному, иными словами, начинать и заканчивать каждую секцию нужно одной и той же рейкой. Отсюда следует, что число штативов в каждой секции будет четным. Такое требование в чередовании реек преследует цель полнее компенсировать погрешность за разность высот нулей основных шкал реек. При переходе от прямого хода к обратному рейки меняют местами, т. е. четную рейку ставят на место нечетной и наоборот.

Во время нивелирования нужно тщательно защищать нивелир от прямых солнечных лучей, создающих вредные напряжения в приборе и влияющие на стабильность пузырька уровня. На станции нивелир должен находиться под зонтом с белой крышкой, во время переноски следует на нивелир одевать просторный чехол из плотной белой материи. В процессе нивелирования следует через каждые две станции хода измерять температуру воздуха на высоте инструмента термометром-пращом и записывать ее в журнал.

Полевой журнал — это документ строгого учета. Его следует бережно хранить и записи в нем делать аккуратно, четко, без исправлений и подчисток. Исправлять можно только записи ошибочных вычислений, которые аккуратно зачеркиваются и сверху надписываются правильные. Зачеркивается и исправляется все число, а не отдельная в нем цифра (рис. 121).

Перед нивелированием надо в журнале заполнить титульный лист, зарисовать схему ходов, по ходу нивелирования дать описание местоположения нивелирных знаков.

Порядок наблюдений на станции в прямом ходе следующий:

Нечетная станция

- 1) отсчет по основной шкале задней рейки,
- 2) » » » передней рейки,
- 3) отсчет по дополнительной шкале передней рейки,
- 4) » » » задней рейки.

Четная станция

- 1) отсчет по основной шкале передней рейки,
- 2) » » » задней рейки,
- 3) отсчет по дополнительной шкале задней рейки,
- 4) » » » передней рейки.

В обратном ходе наблюдения на нечетных станциях начинают с передней рейки, а на четных — с задней.

Такой порядок наблюдения рассчитан:

а) на ослабление погрешностей, вызванных выпучиванием или оседанием ножек штатива и костылей,

б) на ослабление влияния систематических погрешностей нивелирования.

Рассмотрим последовательность наблюдений на станции, например нечетной, в прямом ходе.

1. Тщательно приводят нивелир в рабочее положение при помощи установочного уровня.

2. Наводят трубу на основную шкалу задней рейки. На барабане устанавливают отсчет 50. Вращением элевационного винта примерно совмещают изображения концов пузырька уровня и производят отсчеты по верхнему дальномерному штриху (1) и нижнему (2) на глаз до 0,01 полудециметра. Все отсчеты записывают в журнал установленной формы (табл. 83), где цифрами в скобках показан порядок записей.

3. Элевационным винтом точно совмещают концы пузырька уровня. Вращением отсчетного барабана совмещают с биссектором нитей сетки ближайший штрих основной шкалы рейки и делают отсчеты по рейке (3) и барабану (4).

4. Наводят трубу на основную шкалу передней рейки и производят все действия, указанные в пунктах 2 и 3. Производят записи в журнале (5), (6), (7) и (8).

5. Наводящим винтом трубу нивелира устанавливают на дополнительную шкалу передней рейки. Поворотом элевационного винта на четверть оборота смещают уровень и снова совмещают концы пузырька уровня. Вращением барабана наводят биссектор нитей сетки на ближайший штрих дополнительной шкалы рейки. Делают отсчеты по рейке (9) и барабану (10).

6. Трубу наводят на дополнительную шкалу задней рейки, совмещают концы пузырька уровня и отсчетным барабаном совмещают биссектор со штрихом рейки. Записывают отсчеты по рейке (11) и барабану (12).

На этом наблюдения на станции заканчиваются.

В образце журнала (см. табл. 83) указан порядок записей и на четной станции.

Приведем дальнейший порядок обработки полученных на станции отсчетов.

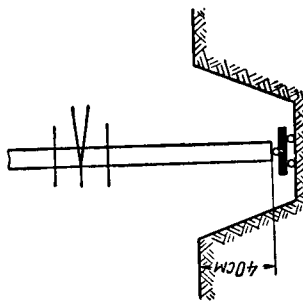
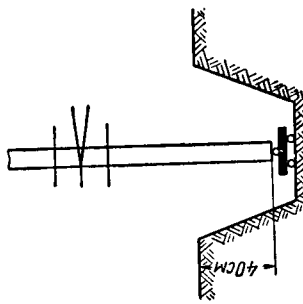
7. Находят превышения в полудециметрах, для этого по графам 6 и 7 табл. 83 вычисляют по основной и дополнительной шкалам разности з—п по рейке (13) и барабану (14) и получают превышение (15). То же самое выполняют по графам 8 и 9, записывая действие под номерами (16), (17), (18). Контролем служит разность между двумя значениями превышений, полученных по основной и дополнительной шкалам, которая не должна превышать 0,7 мм, что соответствует 14 делениям отсчетного барабана. Найденную разность записывают в графу 10, действие (19), а ее накопление по ходу пишут ниже (20).

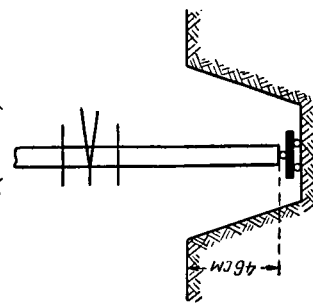
Образец записи в журнале нивелирования II класса

Ход: от грунт. реп. 869 до грунт. реп. 1085 Дата 23. VI. 1974 г. Начало 7 ч 00 мин. Конец 10 ч 30 мин

Условия работы — грунт твердый, бровка дороги

Изображение — отчетливое, спокойное; облачность — ясно
Направление и сила ветра — сев.-вост., слабый

№ шта- тивных № реек	Зарисовка привязок	Отсчеты по дальности- мерным нитям (1/2 дм)				Отсчеты по биссектору нитей (1/2 дм)						Контроль			
						Основная шкала		Дополнительная шкала							
		з	п	4	5	6	7	Р	Б		Р		Б		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
1		(1) 2435	(5) 2380	з	(3) 28,5	(4) 40	(11) 87,7	(12) 88	(25) 59,248						
1-2		(2) 3260	(6) 3215	п	(7) 28,0	(8) 95	(9) 87,3	(10) 47	(26) 59,252						
2		(21) 825	(22) 835	з-п	(13)+0,5	(14)-55	(16)+0,4	(17)+41	(19)+4						
2-1		(24)+0,55	(23)-10/-10	h	(15)+0,445		(18)+0,441	(20)+4	(25) 59,251						
3		(5) 2605	(1) 1945	з	(7) 30,2	(8) 20	(9) 89,4	(10) 71	(26) 59,249						
1-2		(6) 3435	(2) 2775	п	(3) 23,6	(4) 93	(11) 82,9	(12) 42	(19)-2						
		(21) 830	(22) 830	з-п	(13)+6,6	(14)-73	(16)+6,5	(17)+29	+2						
		(24)+6,60	(23) 0/-10	h	(15)+6,527		(18)+6,529								
		2520	2942	з	30,1	91	89,4	47	59,256						
		3510	3930	п	34,4	17	93,6	65	59,248						
1-2		990	з-п	-4,3	+74	-4,2	-18	-8							
		-4,22	+2/-8	h	-4,226		-4,218	-6							
9	Записи на 4-8 станциях не приводятся														
		2421	2612	з	26,3	29	85,5	83	59,254						
		2832	3020	п	28,2	19	87,4	64	59,245						

№ шта- тивов № реек	Зарисовка привязок	Отсчеты по дальности мерным нитям (1/2 дм)				Отсчеты по биссектору нитей (1/2 дм)				Контроль
		з	п	3-п h	Основная шкала	Дополнительная шкала				
						P	B			
1-2	Σ (1-10)	411	408	3-п h	-1,9	+10	-1,9	+19	-9	
10		-1,91	+3/+4	з	-1,890	72	-1,881	24	59,252	
2-1		2450	2791	п	28,6	93	87,9	46	59,253	
		3270	3611	3-п h	32,0	-21	91,3	-22	+1	
21	Σ (10-20)	820	820	з	-3,4	(Σ 4) 441	-3,4	(Σ 12) 636	+9,20	
		-3,41	0/+4 (23)	п	-3,421	(Σ 8) 576	-3,422	(Σ 10) 580		
		(21) 8343	22) 8339	3-п h	(Σ 7) 294,3	26-135	(Σ 9) 886,8	(Σ 28) +56	(Σ 20) +9	
		16859	23) +4	з	(Σ 15) -4,235	347	(Σ 11) 882,5	668		
1-2		16875	-16	п	256,1	505	848,3	608		
		2600	2740	3-п h	298,9	-158	891,3	+60		
		3003	3140	з	-42,8	71	-43,0	20	-18	
		403	400	п	-42,958	76	-42,940	24	59,249	
22		-1,40	+3/-13	3-п h	28,0	-0,5	87,3	-0,4	-1	
		2272	2504	з	29,4	52	88,7	106	59,248	
		2672	2911	п	-1,4	+26	-1,405	81	59,254	
		400	407	з	24,7	26	83,9	+25	59,255	
2-1		-2,32	-7/-20	3-п h	27,1	-2,4	-2,4	+25	+1	
				п	-2,374		-2,375		-18	

№ шта- твов № рек	Зарисовка привязок	Отсчеты по даль- мерным нитям (1/2 дм)		Отсчеты по биссектору нитей (1/2 дм)				Контроль
				Основная шкала		Дополнительная шкала		
		з	п					

Подсчет по секции от грунт. реп. 869 до грунт. реп. 1085

$\Sigma (1-22)$	17662	17682	з	308,8	470	1019,5	794	—18
	17682	—20	п	355,4	607	1066,3	713	
	35344		з—п	—46,6	—137	—46,8	+81	
	17672 × ×100		h	—46,737		—46,719		
	1767 м L=1,8 км		з п з—п h	 (29) Среднее		—46,728 (1/2 дм)		

(30) Измеренное превышение

прямо $h' = -2336,4$ мм

(31) Поправка за среднюю длину

метра реек $\delta_h = 0,1$ мм

(32) Исправленное превышение

прямого хода $h = -2336,5$ мм

Вычислял: А. В. Петров

Во вторую руку: Н. П. Васильев

26 июня 1971 г.

Если на станции разность между превышениями по основной и дополнительной шкалам будет превышать допустимую величину, то все наблюдения на станции следует переделать, предварительно изменив горизонт инструмента не менее чем на три сантиметра. Номер станции сохраняется, но делается приписка «повторная».

8. Расстояния от нивелира до реек находят по разностям отсчетов по дальномерным штрихам, графы 3 и 4, действия (21) и (22). Неравенство плеч на станции допускается один метр, чему в разностях отсчетов, выраженных в полудециметрах, будет соответствовать в записях 20 единицам. Неравенство расстояний записывается в виде дроби: в числителе — разность расстояний на станции, в знаменателе — нарастающий итог этих разностей по ходу (23). Накопление неравенств плеч в секции не должно превышать двух метров, в отсчетах 40 единиц. Надо следить за накоплением неравенств расстояний и своевременно их компенсировать.

В графе 3 записывают контрольное превышение (24) как разность отсчетов 3—п по верхним или нижним дальномерным штрихам. Этот контроль предупреждает грубые просчеты в вычислении превышений.

Дополнительный контроль правильности найденных превышений осуществляется по разностям высот нулей основной и дополнительной шкал реек. Для этого находят разности отсчетов для задней и передней реек, которые записывают в графу «Контроль» (25) и (26).

Например, в образце журнала (см. табл. 83) на 1-й станции разность отсчетов по задней рейке (дополнительная минус основная) $87,788 - 28,540 = 59,248$ (25), а по передней рейке $87,347 - 28,095 = 59,252$ (26).

К о н т р о л ь: $(26) - (25) = (19)$
 $59,252 - 59,248 = +4.$

Некоторые особенности нивелирования II класса в районах севера и северо-востока СССР.

1. Трассу нивелирования выбирают по дорогам, берегам рек, тропам и зимникам во всех случаях, по возможности минуя заболоченные участки и значительные водные препятствия. При необходимости заболоченные участки проходить ранней весной по мерзлому грунту.

2. При нивелировании используют специальные штативы с длиной ног 160—180 см. Для устойчивости прибора при нивелировании по мерзлому грунту или снегу к ногам штатива крепят специальные удлинители или наконечники.

3. Для постановки реек в зависимости от грунта также применяют специальные костыли разной формы и длины.

4. На отдельных станциях допускается неравенство плеч до двух метров, а общее накопление неравенств до трех метров. Допущенное на станции неравенство плеч до 2 м нужно на последующих двух-трех станциях компенсировать.

5. Во время полярного дня рекомендуется нивелирование производить в вечерние и ночные часы, т. е. начинать не ранее 17 ч и заканчивать не позднее 6—7 ч следующего дня.

§ 65. ОБРАБОТКА ЖУРНАЛА НИВЕЛИРОВАНИЯ

По мере прокладки нивелирного хода необходимо систематически проверять правильность произведенных записей и вычислений в полевом журнале. Для этой цели после каждых десяти станций обычно оставляют на странице место для контрольных вычислений (иногда контрольные вычисления ведут в отдельной контрольной ведомости). Систематическая проверка полевых журналов позволяет своевременно предупреждать возможные ошибки и облегчает в дальнейшем подсчет превышений по секции.

В образце полевого журнала (см. табл. 83) дается контрольный подсчет по десяти станциям, который проводится в определенной последовательности (нумерация действий дана по первой станции).

1. По графам 3 и 4 подсчитывают суммы разностей отсчетов по дальномерным штрихам и записывают их ($\Sigma 21$) — ($\Sigma 22$). Разность этих сумм должна согласовываться с последним накоплением на десятой станции (23).

2. По графам 6—9 отдельно по задней и передней рейкам суммируют отсчеты по рейке и барабану и результаты записывают как ($\Sigma 3$) и ($\Sigma 4$), ($\Sigma 7$) и ($\Sigma 8$), ($\Sigma 11$) и ($\Sigma 12$), ($\Sigma 9$) и ($\Sigma 10$). Разности ($\Sigma 3$) — ($\Sigma 7$), ($\Sigma 4$) — ($\Sigma 8$), ($\Sigma 11$) — ($\Sigma 9$) и ($\Sigma 12$) — ($\Sigma 10$) записывают соответственно под номерами действия (25), (26), (27), (28).

3. По тем же графам подсчитывают контрольные суммы ($\Sigma 15$) и ($\Sigma 18$).

Контрольные равенства. Суммарное превышение, подсчитанное по основной шкале для десяти станций ($\Sigma 15$), должно согласовываться с суммарными отсчетами по рейке (25) и барабану (26). Аналогично и по дополнительной шкале ($\Sigma 18$) = (27) + (28). Накопление разностей превышений должно согласовываться с последней цифрой на десятой станции, т. е. ($\Sigma 15$) — ($\Sigma 18$) = (20) на десятой станции.

При подсчете следующих десятков штативов с 11 по 20, с 21 по 30 и далее суммарные графы записываются нарастающими итогами.

Для иллюстрации подсчета превышений по секции в конце образца журнала даны подсчитанные контрольные вычисления по станциям 11—20 и две последние станции секции 21 и 22.

Таким образом, контрольные вычисления по десяти станциям и после каждого последующего десятка, записанные по графам нарастающим итогом,— это фактически подсчет превышений по секции.

Для получения суммарного превышения по всей секции надо только к сумме превышений последнего полного десятка станций прибавить, как остаток, суммарные подсчеты последних станций, число которых менее десяти.

В нашем примере (см. табл. 83) к нарастающим суммам двадцати станций прибавлены данные последних двух станций 21 и 22.

4. Из превышений по основной и дополнительной шкалам, подсчитанным по секции, выводят среднее превышение в полудециметрах (29), затем переводят его значение в миллиметры и записывают с точностью до 0,1 мм (30).

Вычисление поправки за длину среднего метра пары реек и введение ее в измеренное превышение по секции рассмотрим на конкретном примере.

Результаты измерений сводятся в таблицу

№ рейки	Длины интервалов между осями штрихов, мм			
	10—30	30—50	70—90	90—110
4764	1000,05	1000,04	1000,05	1000,04
4765	1000,06	1000,05	1000,05	1000,06

Вычислим среднюю длину метра:

рейки № 4764

$$\frac{1000,05 + 1000,04 + 1000,05 + 1000,04}{4} = 1000,04 \text{ мм};$$

рейки № 4765

$$\frac{1000,06 + 1000,05 + 1000,05 + 1000,06}{4} = 1000,06 \text{ мм.}$$

Средняя длина метра пары реек

$$\frac{1000,04 + 1000,06}{2} = 1000,05 \text{ мм.}$$

Поправочный коэффициент к средней длине реек этого комплекта будет +0,05 мм.

Если предположить, что в результате компарирования средняя длина метра пары реек получилась 999,96 мм, то поправочный коэффициент будет —0,04 мм. Поправка в превышении по секции за среднюю длину метра получается как произведение поправочного коэффициента на превышение.

Пример. Поправочный коэффициент —0,04 мм. Измеренное превышение —13248,6 мм. Поправка в превышение $(-0,04) \times (-13,249) = +0,5$ мм. Исправленное превышение

$$(-13248,6) + (+0,5) = -13248,1 \text{ мм.}$$

Для нашего примера (см. табл. 83) превышение по секции —2336,4 мм, а поправочный коэффициент +0,05 мм. Поправка в превышение $(+0,05) \cdot (-2,336) = -0,1$ мм. Исправленное превышение

$$-2336,4 + (-0,1) = -2336,5 \text{ мм.}$$

В журнале (см. табл. 83) вычисленная поправка записывается в конце секции под средним превышением, действие (31), и находится исправленное превышение (32).

5. Подсчитаем километраж по секции. Для этого складываем отсчеты по графам 3 и 4, т. е. $17662 + 17682 = 35344$, умножаем на коэффициент дальномера 100, переводим в метры и округляем до 0,1. Указанные действия коротко записываются при подсчетах по секции в журнале

$$35344 \cdot 100/2000 = 35344 \cdot 1/20 = 1767 \text{ м} = 1,8 \text{ км.}$$

Если средний уклон по секциям более 0,03, то в средние превышения по секциям вводят поправки за разность температур рек, при которых они компарировались, и при температуре, при которой производилось нивелирование. Поправки в превышения вводятся для прямого и обратного превышений по секции отдельно по формуле

$$\delta_n = \alpha (t_n - t_k) h,$$

где α — коэффициент линейного расширения рек, обычно принимаемый равным 2×10^{-6} ; t_k — температура рек при компарировании; t_n — средняя температура при нивелировании; h — превышение по секции в метрах.

§ 66. ВЕДЕНИЕ ПОЛЕВОЙ ВЕДОМОСТИ ПРЕВЫШЕНИЙ

Полевая ведомость превышений — это сводный документ, в котором концентрируются результаты проделанной работы по нивелированию. Ведомость заполняется систематически, по мере прокладки секций и участков (см. инструкцию по нивелированию, прил. 29).

В ведомость превышений записывают:

- 1) названия нивелирных знаков, их типы, год закладки, описание их местоположений и расстояний между ними;
- 2) даты проложения прямого и обратного ходов по секциям, число штативов, измеренные превышения прямо и обратно и среднее из них. Превышения записываются в метрах до 0,001 м;
- 3) вычисление предварительных высот нивелирных знаков путем передачи средних измеренных превышений, исправленных за невязку, между отметками твердых знаков.

Для примера вычисления высот знаков приводится (табл. 84) часть ведомости превышений граф 1—3, 12—16 (см. инструкцию по нивелированию, прил. 29).

Для прямого и обратного ходов по секциям расхождения между измеренными превышениями не должны превышать $\pm 5 \text{ мм} \sqrt{L}$ в том случае, если среднее число штативов на один километр хода не превышает 15, и $\pm 6 \text{ мм} \sqrt{L}$ — если число штативов больше 15, а также в труднопроходимых районах. Здесь L — длина хода в километрах. Те же допуски установлены для двойного хода, проложенного между фундаментальными реперами. Если расхождение в превышениях будет больше указанных допусков, то секция в одном направлении нивелируется вновь.

В е д о м о с т ь
превышений и высот пунктов нивелирования II класса

№ секции	Тип и номер знака, год закладки	Расстояние между знаками, км		Среднее превышение, м	Поправка за переход к нормальным высотам, м	Поправка из уравнивания, мм	Уравненное превышение, м	Высоты над уровнем моря, м
1	Марка 6187 1940 г.	0,5		—9,4932	—	0,0	—9,4932	<u>81,646</u>
2	Грунт. реп. 2008 Тип 116 1964 г.	6,0		+1,9186	—	—0,2	+1,9184	72,153
3	Грунт. реп. 4258 Тип 116 1964 г.	5,9		—1,1075	—	—0,2	—1,1077	74,071
4	Грунт. реп. 5540 Тип 116 1964 г.	1,6		— 3,8044	—	—0,1	—3,8045	72,964
	Фунд. реп. 92 Тип 140 1940 г.							<u>69,159</u>
Σ		14,0		—12,4865				

Разность высот исходных данных $H_k - H_n = -12,4870$ м

Полученная невязка $V = +0,5$ мм

Допустимая невязка $V_{\text{доп}} = \pm 5$ мм $\sqrt{L} \approx 18,8$ мм

Поправка на 1 км хода $-\frac{V}{L} = \frac{+0,5}{14} = -0,04$ мм

Примечание: поправки за переход к системе нормальных высот вводятся при составлении окончательной ведомости превышений.

Далее поступают так:

а) превышение, явно недопустимое, исключается, а оставшиеся два могут быть взяты в обработку, если они удовлетворяют предъявляемым требованиям и знаки превышений противоположны;

б) в обработку можно взять и все три измеренных превышения, если первоначальные два не будут расходиться более чем на ± 8 мм $\sqrt{L}$ или ± 10 мм $\sqrt{L}$ (в зависимости от числа штативов на 1 км хода), а повторное превышение не будет отличаться от каждого из первоначальных более чем на ± 6 мм $\sqrt{L}$.

Для вывода среднего превышения из трех измерений надо сначала найти среднее из двух измерений одного направления, а затем уже взять среднее из прямого и обратного направлений;

в) если три превышения не будут удовлетворять указанным требованиям пункта (б), то выполняют второе повторное нивелирование в противоположном направлении первому.

В случае больших расхождений на последующих участках необходимо строже соблюдать все требования инструкции по нивелированию II класса с тем, чтобы ослабить влияние систематических ошибок.

§ 67. ОСОБЫЕ СЛУЧАИ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Привязка и включение в ходовую линию фундаментальных и грунтовых реперов, центров триангуляционных и полигонометрических пунктов. Привязка и включение в ходовую линию стенных реперов. В техническом проекте на производство работ по нивелированию заранее предусматривается схема привязки нового нивелирования к исполненным ранее ходам. В проекте указаны нивелирные, триангуляционные, полигонометрические знаки и реперы, морские и речные водомерные посты, фундаментальные реперы, которые подлежат включению или специальной привязке к вновь прокладываемой линии нивелирования. Привязка и включение в ходовую линию фундаментальных и грунтовых реперов, а также центров триангуляционных и полигонометрических пунктов выполняется обычным нивелированием из середины по установленной программе наблюдений на станции для II класса нивелирования. Чтобы установить рейку на головку репера или центра знака, предварительно надо с особой осторожностью убрать верхний слой земли, снять крышку, закрывающую головку репера. По окончании привязки следует крышкой прикрыть головку репера, засыпать землей и полностью восстановить наружное оформление знака. В журнале нивелирования делают зарисовку разреза центра с указанием места установки на нем рейки и расстояния от этой точки до поверхности земли.

При привязке и включении в ходовую линию стенных реперов применяют подвесную рейку. Подвесная рейка имеет длину 1,2 м, на одной ее стороне нанесены и оцифрованы две шкалы — основная и дополнительная с такими же делениями, что и на инварных рейках. Нулевой штрих основной шкалы рейки совмещен с центром круглого отверстия диаметром около двух миллиметров для штифта, на котором рейка подвешивается к стенному реперу. Перед началом полевых работ подвесная рейка компарируется в соответствии с требованиями инструкции [12].

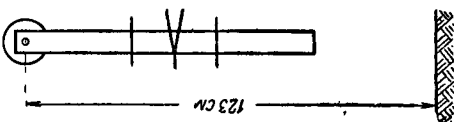
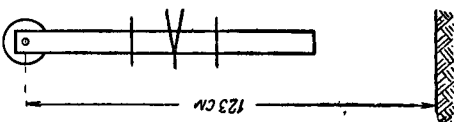
Привязка стенного репера производится дважды с изменением горизонта инструмента не менее чем на 3 см, одновременно перевешивается подвесная рейка. Кроме того, в журнале следует сделать зарисовку с натуры положения рейки относительно репера

Привязка к нивелирной марке

Передняя рейка подвесная

Ход: от грунт. реп. 2134 до стен. реп. 795. Дата: 12 августа 1972 г. Начало: 18 ч 10 мин. Конец: 19 ч 40 мин

Условия работы — грунт твердый. Изображение отсчетное, облачность — пасмурно. Направление и сила ветра — тихо

№ штатива № реп	Зарисовка привязок	Отсчеты по дальномер- ным нитям (1/2 дм)		Отсчеты по биссектору нитей (1/2 дм)						Контроль
		з	п	Основная шкала		Дополнительная шкала				
				Р	Б	Р	Б	Р	Б	
31 2 — подв. М. 795		2703	—826	з	29,7	24	88,9	78	59,254	
		3237	—286	п	—5,6	+47	—64,8	+01	59,246	
		534	540	з — п	+35,3	—23	+153,7	+77	—8	
		+3529	—6/+10	h	+35,277		+153,777		—14	
Контрольный прием				з						
				п						
				з — п						
				h						
		2562	—967	з	28,3	49	87,5	98	59,249	
		3099	—428	п	—7,0	+68	—66,2	+22	59,246	
		537	539	з — п	+35,3	—19	+153,7	+76	—3	
		+35,29	—2/+14	h	+35,281		+153,776		—9	
				з		h	—118,492			
				п			+35,284			
				з — п						
				h						

Вычислял: А. В. Петров

Во вторую руку: Н. П. Васильев

и проекции биссектора нитей на рейке (табл. 85). При привязке необходимо соблюдать равенство расстояний от нивелира до обеих реек.

Положение подвесной рейки относительно центра репера может быть двояко. Так, на рис. 122 рейка повернута вокруг центра репера вверх и биссектор нитей проектируется выше центра репера. В этом случае превышение находится обычным путем. Если биссектор проектируется ниже центра репера, как на рис. 123, то отсчет по подвесной рейке следует записать со знаком минус, оставив отсчет по барабану положительным.

В табл. 85 приведен пример привязки к стенному реперу для случая, когда визирный луч проходит ниже репера.

Поскольку отсчеты по рейкам складываются, то сумма отсчетов по дополнительным шкалам (стало быть, и сумма превышений) будет больше на величину разностей высот нулей основных и дополнительных шкал реек. В приведенном примере сумма разностей высот была

$$59,245 + 59,247 = 118,492.$$

§ 68. ПЕРЕДАЧА ПРЕВЫШЕНИЙ ЧЕРЕЗ ВОДНЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ТОЧЕК ХОДА

Если на пути прокладки хода встречаются водные преграды, по ширине превышающие 65 м, то в этом случае необходимо применить особый прием нивелирования. Для передачи превышения выбирается наиболее узкое место реки с высокими берегами,

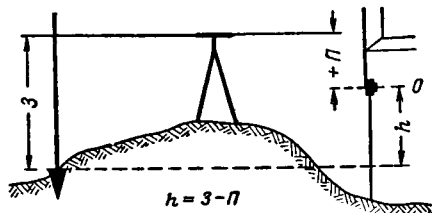


Рис. 122

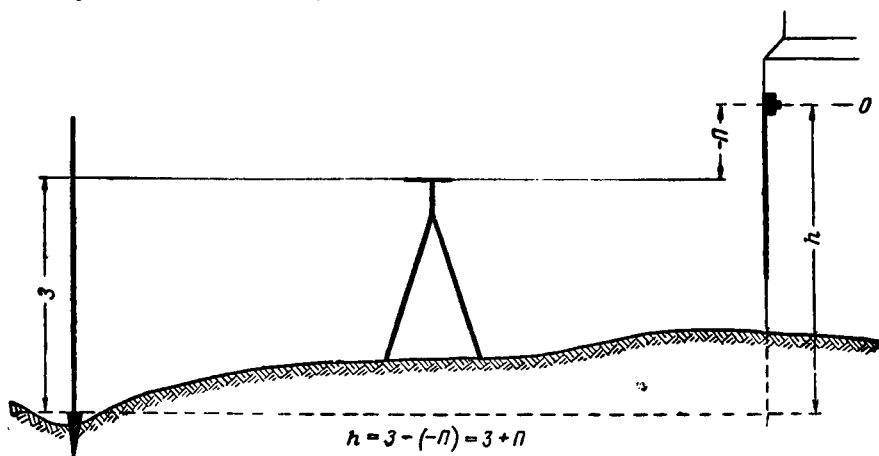


Рис. 123

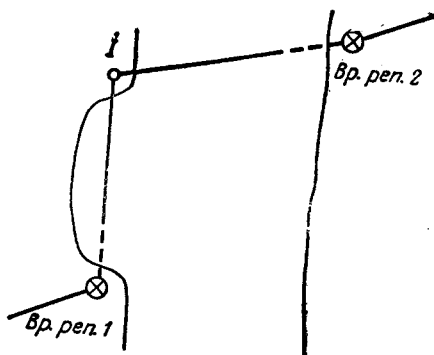


Рис. 124

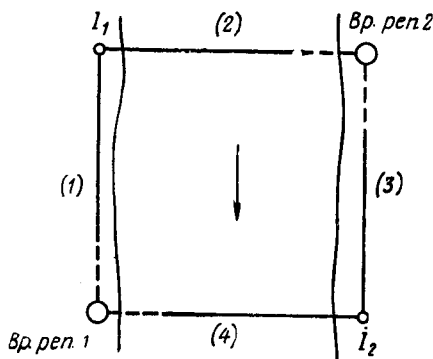


Рис. 126

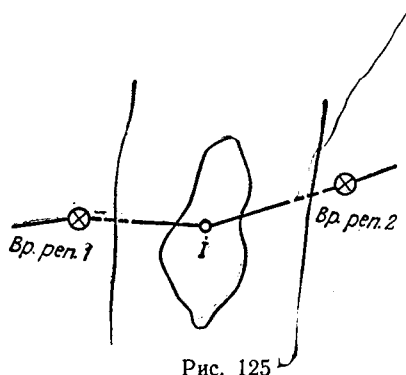


Рис. 125

чтобы обеспечить прохождение визирного луча над поверхностью воды не ниже 3 м. Наблюдения производят в облачные и пасмурные дни, при слабом ветре. Нивелир, предназначенный для передачи превышения через препятствие, следует исследовать на правильность хода фокусирующей линзы (инструкция, прил. 9), а также тщательно выверить угол i , сведя его до минимума — 2—3". В день передачи превышения через препятствие производить исправление нивелира запрещается, но после окончания наблюдений угол i следует проверить.

Рассмотрим два способа нивелирования через препятствие шириной до 150 м.

Первый способ. Применять этот способ можно, если есть возможность установить рейки относительно нивелира в одинаковых условиях над поверхностью воды (рис. 124). В этом случае при нивелировании по каждой шкале рейки делают три отсчета и затем их осредняют. Расхождение между отсчетами на один и тот же штрих рейки допускается до 20 делений барабана. Допуски на расхождения между превышениями, вычисленными из отсчетов по основной и дополнительной шкалам, остаются прежние, т. е. $\pm 0,7$ мм. Обратный ход нивелирования через препятствие следует выполнить в другую половину дня.

Этот способ можно применить для передачи через препятствия до 300 м, если по середине реки найдется остров, позволяющий установить нивелир так, что расстояния до рек будут одинаковыми и меньше 150 м каждое (рис. 125). Порядок наблюдений и записи даются в табл. 86 (пример взят из инструкции, прил. 35, а).

Рекомендуется применять специальные одношкальные рейки со штрихами толщиной 3 мм.

Второй способ. Если нельзя создать одинаковых условий для наблюдения реек, то применяют второй способ, при котором нивелирование ведется с обоих берегов реки (рис. 126). Порядок нивелирования на одном берегу при использовании специальных одношкальных реек будет следующий (нечетная станция):

отсчеты по задней рейке (по три отсчета),
отсчеты по передней рейке,
изменение положения инструмента по высоте,
отсчеты по передней рейке,
отсчеты по задней рейке.

Превышения, вычисленные с разных берегов, могут различаться до 10 мм. В обратном ходе нивелирование выполняется в другую половину дня.

Пример наблюдений дан в табл. 87 (пример взят из инструкции, прил. 35, б).

Нивелирование через препятствия шириной более 150 м выполняют, как правило, одновременно с двух берегов по двум створам с использованием двух нивелиров и двух комплектов реек, снабженных специальными щитками. Методика измерений в зависимости от расстояний различная и приводится в инструкции [12] в разделе «Особые случаи нивелирования I и II классов».

Закрепление точки нивелирного хода на время перерыва в работе.

Если необходимо прервать работу, не закончив ход на постоянном знаке, то следует точку хода надежно закрепить. Лучше всего, по возможности, закрепить точку на временном знаке (пень с вбитым в него гвоздем, костыль, вбитый в стену прочного здания, и другие местные предметы).

Если такой возможности не представится, то поступают так: три последние переходные точки хода прочно закрепляют костылями (рис. 127). Для этого выкапывают три ямы глубиной 0,3 м и в их дно забивают костыли. Затем костыли нивелируют по обычной программе и определяют превышения h'_{12} , h'_{13} и h'_{23} . Костыли закрывают травой и засыпают землей. После перерыва повторяют нивелирование последних двух точек и находят h'_{23} .

Если превышение, полученное после перерыва, не расходится более чем на 1,0 мм (20 делений барабана) со значением, полученным до перерыва, то нивелирование продолжается от костыля № 3. В противном случае нивелируют предыдущую станцию и определяют превышения h'_{12} и h'_{13} . Если разности между превышениями h_{12} лежат в пределах допуска, а между превышениями h_{13} выходят за пределы допуска, то положение кола № 3 нарушено и поэтому надо продолжать нивелирование от кола № 2. Рассмотрим третий вариант, когда разность превышений h_{12} выйдет

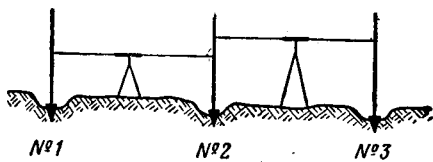


Рис. 127

Нивелирование II класса через препятствие шириной до 150 м

Рейки штриховые, инварные

Ход: от грунт. реп. 14 до грунт. реп. 15. Дата 24 октября 1973 г. Начало: 8 ч 10 мин. Конец: 8 ч 25 мин

Условия работы: грунт — *целина, грунт твердый*. Изображение *спокойное, облачность — пасмурно*Направление и сила ветра — *ветер слабый, t = +16°*

№ шта- тива, № реек	Зарисовка привязок	Отсчеты по дальномер- ным нитям (1/2 дм)			Отсчеты по биссектору нитей (1/2 дм)						Контроль
		з	п		основная шкала			дополнительная шкала			
					Р	Б		Р	Б		
16 1—2	Река Сурхоб Задняя рейка	(1) 1000 (2) 2025 (3) 3050 (39) 2050	(8) 4060 (9) 5087 (10) —* (40) 2054 (41) —4/—10	з п з — п h	(4) 20,2	(5) 76 (6) 80 (7) 72 (24) 76 (12) 05 (13) 00 (14) 10 (28) 05	(19) 79,5	(20) 20 (21) 25 (22) 30 (26) 25 (16) 50 (17) 40 (18) 60 (30) 50	(Среднее)		
	Передняя рейка			з — п h	(27) 50,9		(29) 110,1		(Среднее)		
	Превышение			з — п h	(31) —30,7 (33) —30,629 (38) h _{ср} = — 30,6270	(32) +71	(34) —30,6 (36) —30,625	(35) —25	(37) —4		

* Так как отсчет по основной шкале рейки взять было нельзя (> 60), то дальномерное расстояние найдено как $(40) - [(9) - (8)] \times 2$.

Наблюдал: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

за пределы допуска, то в этом случае нарушилось положение кола № 2 и нивелирование пойдет от кола № 3.

Закрепление точек надо делать в стороне от дороги. Схему закрепления точек надо аккуратно зарисовать в журнале. Все записи отсчетов и превышений для кола, неподвижность которого нарушилась, следует в журнале зачеркнуть и дать соответствующие пояснения.

Таблица 87

Нивелирование II класса через препятствие шириной до 150 м

Рейки одношкальные со штрихами толщиной 3 мм

Ход: от грунт. реп. 14 до грунт. реп. 15. Дата 24 октября 1972 г. Начало: 8 ч 10 мин
Конец: 10 ч 15 мин

Условия работы: грунт твердый, целина

Изображение спокойное; облачность — пасмурно

Ход прямой

Направление и сила ветра 2,5 м/с

№ штатива, № реек	Зарисовка привязок	Отсчеты по дальномерным нитям в 1/2 дм		Отсчеты по биссектору нитей в 1/2 дм						Контроль
		з	п		Основная шкала		Дополнительная шкала			
					Р	Б	Р	Б		
2	Река Сурхоб	2770	1392	з	36,8	02	36,1	24	Задняя рейка	
1—2	Правый берег	3677	2300	п		10		37		Передняя рейка
		4583	3208	з — п		15		32		
		1813	1816 —3/0	h	36,8	09	36,1	31		
			з	23,0	89	22,4	10			
			п		81		12			
			з — п		97		14			
			h	23,0	89	22,4	12			
			з — п							
	Превышение			з — п	+13,8	—80	+13,7	+19	+1 Задняя рейка	
				h	+13,720		+13,719			
		4430	3100	з	52,8	20	53,6	70		
	Правый берег	5272	3937	п		28		75		
			4772	з — п		36				
		—	1672	h	52,8	28	53,6	65		
		1684	+9/+ +12	з	39,1	30	39,9	70	Передняя рейка	
		п		37		90				
		з — п		44		88				
				h	39,1	37	39,9	89		
				з — п						
	Превышение			з — п	+13,7	—0,9	+13,7	—19	+10	
				h	+13,691		+13,681		+11	

Среднее $h = +13,7028$

Наблюдатель: А. В. Петров

Записывал: Н. П. Васильев

ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ НА ПЛОСКОСТИ В ПРОЕКЦИИ ГАУССА — КРЮГЕРА

§ 69. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКЦИИ

Топографо-геодезические работы ведутся на физической поверхности Земли (на суше). В результате обработки полевых материалов получается карта.

Точки земной поверхности переносятся на карту в два этапа:

1 этап — перенос точек с физической земной поверхности на поверхность эллипсоида. Так как небольшую часть поверхности эллипсоида можно принять за горизонтальную плоскость, то часто метод проектирования в геодезии называется методом горизонтальной проекции.

2 этап — перенос точек с поверхности эллипсоида на карту, как на плоскость. Поверхность эллипсоида не разворачивается в плоскость без складок или разрывов, в силу чего всякая проекция неизбежно будет давать искаженное изображение земной поверхности.

Наилучшим образом из числа существующих проекций отвечает нашим требованиям проекция Гаусса — Крюгера, имеющая следующие достоинства:

1) она конформная (равноугольная), т. е. в ней сохраняется равенство углов при переносе их с поверхности эллипсоида на плоскость (это очень важно при ориентировании);

2) изображения бесконечно малых фигур на поверхности эллипсоида и на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера остаются подобными, что практически удобно для опознавания объектов по карте;

3) возможность применения проекции по меридианным шестиградусным координатным зонам делает ее удобной для связи с международной разграфкой листов карт масштаба 1 : 1 000 000;

4) сравнительная простота учета поправок (искажений) направлений и длин линий при переходе с поверхности эллипсоида на плоскость.

§ 70. ЛИНИИ И ПЛОСКОСТИ НА ЭЛЛИПСОИДЕ

Уровенная поверхность в каждой своей точке перпендикулярна к отвесным линиям. Представление об уровенной поверхности дает водная поверхность океанов, морей в ее спокойном уравновешенном состоянии. Геометрическое тело, ограниченное средней уровенной поверхностью, называется геоидом. В СССР за среднюю

уровенную поверхность взята поверхность, совпадающая с нулем Кронштадтского футштока, фиксирующего средний уровень Балтийского моря.

Поверхность геоида настолько сложна, что делает практически невозможным производить на ней математические вычисления геодезических величин. Необходимо было геоид заменить другой, близкой к поверхности геоида, геометрической фигурой, удобной для обработки геодезических измерений. Поверхность геоида довольно близка к поверхности эллипсоида вращения с малым полярным сжатием. Такой эллипсоид называют также сфероидом.

Эллипсоид вращения — это геометрическое тело, полученное от вращения эллипса вокруг его малой оси (рис. 128).

На рис. 128 изображен эллипсоид, полученный от вращения меридианного эллипса $P_cQP_{\text{Ю}}EP_c$ вокруг малой оси $P_cP_{\text{Ю}}$, совпадающей с земной осью вращения. Скружность большого круга $EmQE$, перпендикулярного к оси вращения эллипсоида, называется экватором, окружность малого круга $KILK$, параллельного экватору, называется земной параллелью. Эллипс $P_cImP_{\text{Ю}}nP_c$ как след сечения поверхности эллипсоида плоскостью, проходящей через ось его вращения, называется геодезическим меридианом.

Чтобы поверхность земного эллипсоида была близка к поверхности геоида, необходимо определить его параметры, которые были бы близки к действительным земным размерам. Такими параметрами земного эллипсоида являются: большая полуось a и полярное сжатие

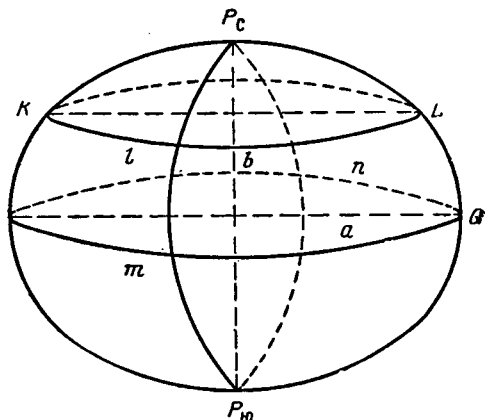


Рис. 128

$$\alpha = \frac{a - b}{a}.$$

Эллипсоид с определенными размерами его полуосей, определенным образом ориентированный в теле Земли и принятый для геодезических работ в данной стране, называется референц-эллипсоидом. У нас с 1946 г. принят для всех астрономо-геодезических и картографических работ референц-эллипсоид Кравцовского с параметрами $a = 6378\,245$ м, $\alpha = 1 : 298,3$. Если представить в масштабе $a = 300$ мм, а сжатие округленно $\alpha = \frac{1}{300}$, то отсюда следует, что малая полуось $b = 299$ мм. Учитывая малость сжатия земного эллипсоида, часто принимают фигуру Земли за сферу.

§ 71. КООРДИНАТЫ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ, ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ, СФЕРИЧЕСКИЕ И ПЛОСКИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ

Положение точки на земной поверхности определяется тремя координатами: широтой, долготой и высотой. Системы координат бывают различными. Широкое распространение имеет система географических координат. По способу определения они делятся на астрономические и геодезические.

Астрономические координаты (широта φ и долгота λ) определяют положение точек на поверхности геоида. Они находятся в результате наблюдений небесных светил. На практике астрономические координаты используются как исходные при обработке основных геодезических сетей. Так, например, на концах базисных сторон звена триангуляции I класса астрономическим методом определяют так называемые пункты Лапласа.

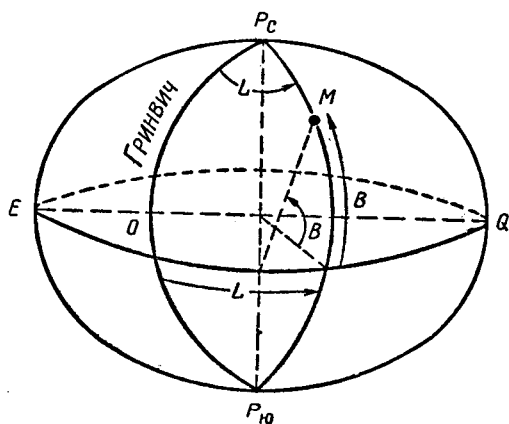


Рис. 129

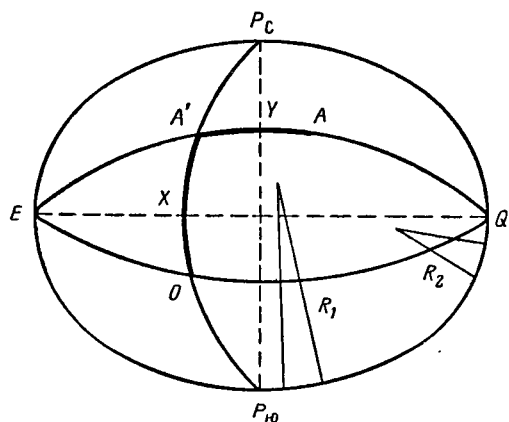


Рис. 130

Геодезические координаты, широта B и долгота L определяют положение точек на поверхности эллипсоида. Их значения находят из геодезических измерений и вычислений. Система геодезических координат является наиболее применяемой в геодезии.

Геодезической широтой B называется угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке с плоскостью экватора (рис. 129). Геодезической долготой L называется двугранный угол между плоскостью геодезического начального меридиана и плоскостью геодезического меридиана данной точки.

Применение геодезических координат не всегда удобно. Это вызвано тем, что в системе геодезических координат стороны в треугольниках триангуляции выражаются в градусной мере, то-

гда как расстояния на земле измеряются в метрах; угловые величины широт и долгот имеют разные линейные значения в зависимости от широты места; вычисления по геодезическим координатам расстояний и азимутов дело довольно сложное (см. главу XII).

Более удобной для этой цели является система прямоугольных сфероидических координат (рис. 130): $P_cOP_{\text{Ю}}$ — осевой меридиан (ось сфероидических абсцисс), EOQ — экватор (ось сфероидических ординат). Если через точку A провести дугу большого круга перпендикулярно к осевому меридиану (дугу первого вертикала), то дуга осевого меридиана OA' — сфероидическая абсцисса точки A , а дуга вертикала $A'A$ — сфероидическая ордината той же точки A . В этой системе координаты точек выражаются в линейной мере.

§ 72. ПОНЯТИЯ О НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЯХ, РАДИУСАХ КРИВИЗНЫ И О ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Прямая AN , перпендикулярная к поверхности эллипсоида, в данной точке A называется нормалью (рис. 131). Плоскость LAK , проходящая через нормаль, называется нормальной плоскостью, а след ее сечения с поверхностью эллипсоида — нормальным сечением. Всякое нормальное сечение есть эллипс. Через нормаль можно провести сколько угодно нормальных сечений, каждое из которых будет отличаться от других своей кривизной. Кривизна кривой в каждой точке характеризуется своим радиусом кривизны. Чем меньше кривизна кривой в данной точке, тем больше радиус кривизны, и наоборот. Если взять меридианное сечение в плоскости бумаги, то радиус кривизны больше к полюсу и меньше к экватору (см. рис. 130).

Из всех нормальных сечений, проведенных через данную нормаль, рассмотрим два. Одно, совпадающее с сечением по меридиану и имеющее наименьший радиус кривизны, обозначается буквой M . Другое, совпадающее с сечением по первому вертикалу и имеющее наибольший радиус кривизны, обозначается буквой N . Значения радиусов кривизны этих сечений выбираются из геодезических таблиц по широте точки. В заключение заметим, что там, где эллипсоидальностью Земли можно пренебречь, например при картографировании в мелких масштабах, ее поверхность принимают за сферу со

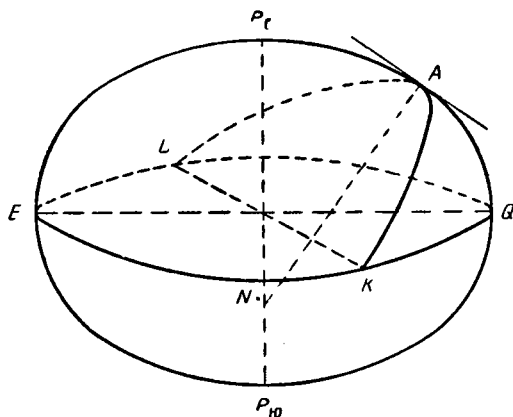


Рис. 131

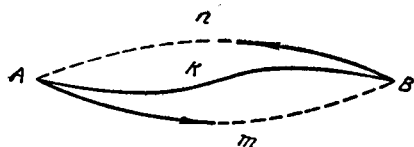


Рис. 132

средним радиусом кривизны, вычисляемым для центральной точки проектируемой части земной поверхности по формуле

$$R_m = \sqrt{MN}.$$

Расстояние между точками понимается как кратчайшее расстояние. На плоскости — это прямая линия. На шаре — это дуга большого круга. На эллипсоиде — это геодезическая линия.

Нормальное сечение, проведенное через точку A по направлению к точке B, не совпадает с нормальным сечением, проведенным из точки B по направлению к точке A (рис. 132). Геодезическая линия АКВ занимает некоторое среднее положение между этими взаимно обратными нормальными сечениями. Разность между длинами нормального сечения и геодезической линии настолько мала, что часто за длину геодезической линии принимают длину дуги нормального сечения, т. е. практически считают взаимно обратные сечения совпадающими.

§ 73. ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЛИН МАЛЫХ ДУГ МЕРИДИАНОВ И ПАРАЛЛЕЛЕЙ

Дугу меридиана не более 45 км можно принять за дугу окружности радиуса M_m на средней широте $B_m = \frac{B_1 + B_2}{2}$ (рис. 133):

$$S_m = \frac{M_m}{\rho''} (B_2 - B_1)'', \quad (40)^*$$

где $\lg \frac{M_m}{\rho''}$ выбирается из таблиц по аргументу R_m .

Задача 16. Вычислить длину дуги меридиана в 10' для широт $B_m = 30^\circ$ и $B_m = 60^\circ$.

Для $B_m = 30^\circ$

$\lg \frac{M_m}{\rho''}$	1.488 4504
$\lg 600''$	2.778 1513
$\lg S_m$	4.266 6017
S_m	18 475,78 м

Для $B_m = 60^\circ$

$\lg \frac{M_m}{\rho''}$	1.490 6379
$\lg 600''$	2.778 1513
$\lg S_m$	4.268 7892
S_m	18 569,03 м

* Для вычисления по таблицам [17] формула (40) логарифмируется.

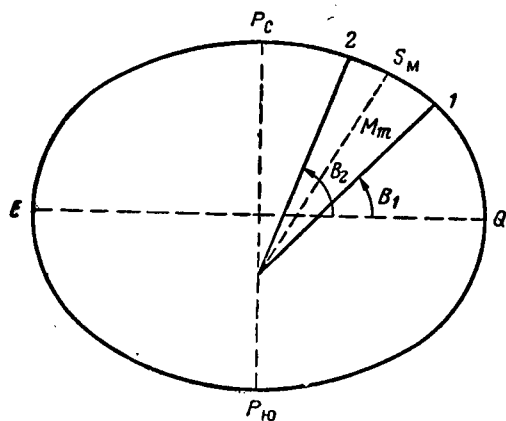


Рис. 133

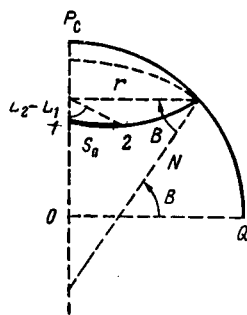


Рис. 134

Разность дуг $\Delta S = 93,25$ м при разности широт $\Delta B = 30^\circ$ не особенно велика, что говорит о незначительном полярном сжатии земного эллипсоида.

Длина дуги параллели как окружности радиуса r (рис. 134) равна

$$S_{\pi} = \frac{r}{\rho''} l'',$$

где

$$r = N \cos B,$$

тогда

$$S_{\pi} = \frac{N}{\rho''} l'' \cos B. \quad (41)$$

Длину дуги можно получить как разность долгот концов дуги параллели $l'' = (L_2 - L_1)''$.

Задача. Вычислить длины дуг параллелей в $10'$ на широтах $B = 30^\circ$ и $B = 60^\circ$.

Для $B = 30^\circ$

$\lg \frac{N}{\rho''}$	1.490 6397
$\lg 600''$	2.778 1513
$\lg \cos 30^\circ$	9.937 5306
$\lg S_{\pi}$	4.206 3216
S_{π}	16 081,32 м

Для $B = 60^\circ$

$\lg \frac{N}{\rho''}$	1.491 3689
$\lg 600''$	2.778 1513
$\lg \cos 60^\circ$	9.698 9700
$\lg S_{\pi}$	3.968 4902
S_{π}	93 00,16 м

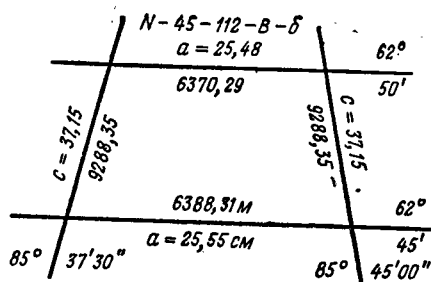


Рис. 135

Одним и тем же градусным размерам дуг параллелей на разных широтах соответствуют далеко различные линейные размеры.

Задача 17. Определить натуральные размеры рамок листа карты по данным рис. 135.

Боковые рамки — суть проекции меридианов, а северная и южная рамки — проекции параллелей. Отсюда

$$(B_C - B_{Ю})'' = 300'';$$

$$B_m = \frac{B_C + B_{Ю}}{2} = 62^\circ 47' 30'';$$

$$L_B - L_3 = 7' 30'' = 450''.$$

По $B_m = 62^\circ 47' 30''$

$\lg \frac{M_m}{\rho''}$	1.490 8174
$- \lg 300''$	2.477 1213
$\lg S_M$	3.967 9387
S_M	9 288,35 м

По $B = 62^\circ 45'$

$\lg \frac{N}{\rho''}$	1.491 4279
$\lg 450''$	2.653 2125
$\lg \cos 62^\circ 45'$	9.660 7459
$\lg S_n$	3.805 3863
S_n	6 388,31 м

По $B = 62^\circ 50'$

$\lg \frac{N}{\rho''}$	1.491 4296
$\lg 450''$	2.653 2125
$\lg \cos 62^\circ 50'$	9.659 5173
$\lg S_n$	3.804 1594
S_n	6370,29 м

Чтобы получить размеры рамок трапеции в масштабе карты, надо их натуральные значения умножить на $\frac{100}{M}$, где M — знаменатель масштаба. Если взять масштаб 1 : 25 000, то вычисленные размеры рамок надо умножать на $100 : 25\,000 = 0,004$; на рис. 135 указаны размеры в сантиметрах.

§ 74. ПОНЯТИЕ О ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ ПОСТРОЕНИИ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ В ПРОЕКЦИИ ГАУССА — КРЮГЕРА

Учитывая незначительное полярное сжатие земного эллипсоида, примем Землю за шар, что облегчит понимание сути проекции без особого ущерба для строгости выводов.

Проведем на шаре оси сферических прямоугольных координат (рис. 136). Через интервалы ΔX по осевому меридиану проведем дуги первых вертикалов, а через интервалы $\Delta Y = \Delta X$ по экватору — дуги малых кругов, параллельных осевому меридиану. Поместим шар в цилиндре так, чтобы касание было по осевому меридиану. Дуги больших кругов, перпендикулярных к осевому меридиану, будем проектировать на поверхность цилиндра из центра шара. Они спроектируются на цилиндр в виде его образующих, касательных к поверхности шара в точках осевого меридиана. Осевой меридиан, касаясь непосредственно поверхности шара, спроектируется в виде кругового поперечного сечения цилиндра.

Дуги малых кругов так проектировать воздержимся. Предварительно развернем боковую поверхность цилиндра в плоскость, тогда осевой меридиан предстанет вертикальной прямой — осью абсцисс. Проекция больших дуг, в том числе и экватора, изобразятся рядом горизонтальных параллельных между собой прямых, отстоящих друг от друга на величину ΔX . Чтобы в проекции получить обычную сетку квадратов, надо выполнить условие равенства отрезков по осям X и Y , т. е. $\Delta X = \Delta Y$. Для этого дуги малых кругов проектируются аналитически, путем вычисления между ними отрезков дуг больших кругов и откладывания их длин в проекции. Соединяя концы отложенных отрезков, получим ряд равноотстоящих на ΔY и параллельных осевому меридиану прямых.

Какие произошли искажения при построении координатной сетки? Для удобства учета искажения будем считать, что проектировался земной шар в натуральную величину.

1. Масштаб по осевому меридиану по построению равен

$$m_0 = \frac{\Delta X}{\Delta X} = 1.$$

2. Масштаб по проекциям дуг больших кругов по построению, так как в проекции они откладывались аналитически, равен

$$m_y = \frac{\Delta Y}{\Delta Y} = 1.$$

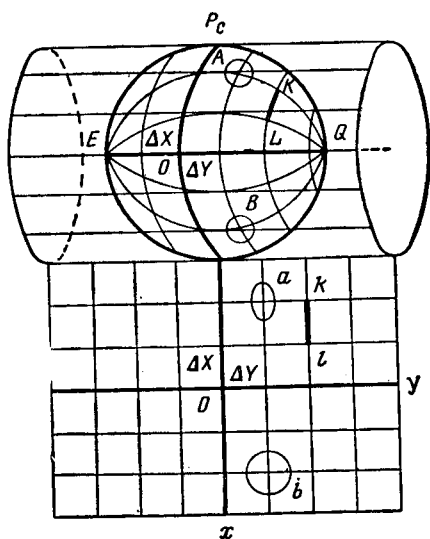


Рис. 136

3. Масштаб по проекциям дуг малых кругов следует определить. Найдем отношение отрезков

$$m_x = \frac{kl}{KL}.$$

В проекции отрезок kl остается постоянным (см. рис. 136), тогда как на шаре он уменьшается по мере удаления от осевого меридиана. Стало быть, всегда сохраняется неравенство

$$kl > KL \text{ и } m_x = \frac{kl}{KL} > 1.$$

Чтобы нагляднее представить характер искажений, возьмем на шаре бесконечно малый кружочек с центром в точке A (см. рис. 136) и найдем его изображение на плоскости с центром в точке a . Согласно рассмотренным масштабам, бесконечно малый кружочек, сохранив свои размеры по ординате, увеличится (растянется в эллипс) по направлению абсциссы.

Для достижения конформности изображения в проекции Гаусса — Крюгера необходимо потребовать, чтобы бесконечно малый кружочек на шаре, например с центром в точке B , изобразился бесконечно малым кружочком и в проекции. Очевидно, такое требование выполнится при условии, если масштаб проекции в каждой точке по всем направлениям будет одинаковым и равным

$$m = m_y = m_x > 1.$$

Иными словами, при построении каждой точки в проекции Гаусса — Крюгера надо аналитически удлинять ее ординату в той пропорциональности, в какой происходит удлинение абсциссы этой точки.

§ 75. УСЛОВИЕ КОНФОРМНОСТИ. МАСШТАБ ПРОЕКЦИИ ГАУССА — КРЮГЕРА

Масштаб проекции непостоянен, он непрерывно меняется при переходе от одной точки к другой. В одной точке по разным направлениям масштаб остается постоянным. Поэтому масштабом проекции следует называть отношение бесконечно малого отрезка проекции к бесконечно малому отрезку на шаре.

Возьмем на шаре (рис. 137, а) бесконечно малую дугу dS и построим ее конформное изображение на плоскости. Проведем через концы дуги AB дуги больших кругов, перпендикулярно к осевому меридиану. Спроектируем точки A и B на плоскость в проекции Гаусса — Крюгера (рис. 137, б). Тогда осевой меридиан и экватор на плоскости изобразятся взаимно перпендикулярными линиями — осями координат, а дуги больших кругов — параллельными прямыми, перпендикулярными к оси x . Так как масштаб по осевому меридиану равен единице, то на проекции сферические абсциссы отложатся соответственно равными отрезками, т. е. $x_a = X_A$ и $x_b = X_B$. Сферические же ординаты точек при построении их в проекции нужно изменить на величину масштаба удлинения

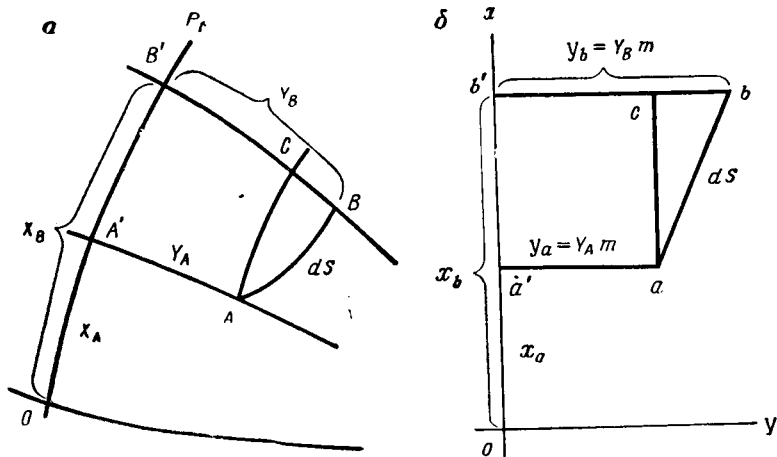


Рис. 137

абсцисс соответствующих точек. Соединив точки a и b , получим бесконечно малую дугу ab на плоскости. Проведем на шаре через точку A дугу малого круга AC параллельно осевому меридиану, которая на плоскости изобразится прямой ac , параллельной оси x . Из свойств конформности проекции следует, что бесконечно малые треугольники ABC и abc подобны. Из подобия заключаем, что

$$\frac{ds}{dS} = \frac{bc}{BC} = \frac{ac}{AC} = m.$$

Для вывода масштаба возьмем отношение

$$m = \frac{ac}{AC}.$$

Из рис. 137 следует, что $ac = a'b' = A'B'$. Следовательно,

$$m = \frac{A'B'}{AC}.$$

Заменим отношение дуг окружностей отношением их радиусов

$$m = \frac{R}{r}, \quad (a)$$

где R — радиус дуги $A'B'$ большого круга, r — радиус дуги AC малого круга.

Обратимся к рис. 138, где сечение по кругу точки A дано в плоскости чертежа. Дуга $A'A = Y$ — сферическая ордината точки A . Как дуга окружности, она равна $Y = R\alpha$, откуда $\alpha = Y/R$. Из $\triangle OAO_1$ найдем

$$r = R \cos \alpha = R \cos \frac{Y}{R}.$$

Подставим это значение в формулу (a) и найдем

$$m = \frac{R}{R \cos \frac{Y}{R}} = \frac{1}{\cos \frac{Y}{R}} > 1,$$

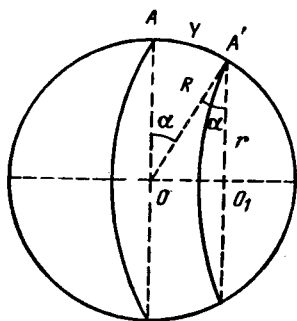


Рис. 138

преобразуем

$$m = \frac{1}{\cos \frac{Y}{R}} = \frac{1}{1 - 2 \sin^2 \frac{Y}{2R}} \times \\ \times \frac{1 + 2 \sin^2 \frac{Y}{2R}}{1 + 2 \sin^2 \frac{Y}{2R}} = \frac{1 + 2 \sin^2 \frac{Y}{2R}}{1 - 4 \sin^4 \frac{Y}{2R}}.$$

В практике применения проекции Гаусса — Крюгера значение $Y/2R$ мало, что позволяет сделать замену $\sin Y/2R = Y/2R$. Тогда перепишем

$$m = \frac{1 + \frac{Y^2}{2R^2}}{1 - \frac{Y^4}{4R^4}}.$$

Выражением $Y^4/4R^4$, по его малости, можно пренебречь, и с некоторым приближением получим

$$m = 1 + \frac{Y^2}{2R^2}.$$

Так как прямоугольные сферические координаты в практике применения не находят, то можно в приведенной формуле сферическую ординату Y заменить плоской ординатой y и формула перепишется

$$m = 1 + \frac{y^2}{2R^2}. \quad (42)$$

Такого приближенного выражения масштаба проекции, однако, вполне достаточно по точности для обработки триангуляции 2 класса и ниже.

Здесь y характеризует удаление точки от осевого меридиана; R — средний радиус кривизны, вычисленный для центральной точки территории, подлежащей обработке. Из формулы следует, что:

- 1) масштаб проекции есть функция ординаты;
- 2) при $y=0$, $m=1$, т. е. на осевом меридиане масштаб равен единице;
- 3) по мере удаления от осевого меридиана на восток и на запад масштаб возрастает в квадрате расстояния, оставаясь всегда больше единицы.

§ 76. НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ СФЕРИЧЕСКОЙ ТРИГОНОМЕТРИИ

Часть сферы ABC (рис. 139), ограниченная тремя пересекающимися дугами больших кругов, называется сферическим треугольником. Стороны как дуги выражаются в градусной мере и измеряются центральными углами, опирающимися на эти сторо-

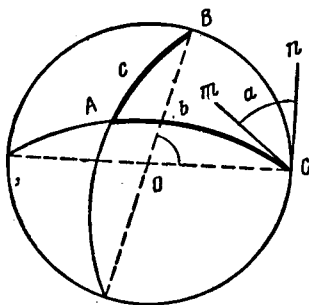


Рис. 139

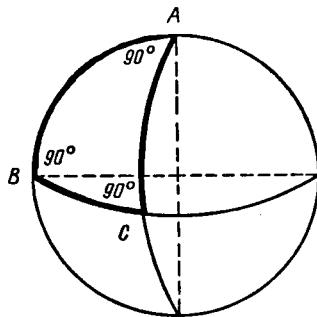


Рис. 140

ны. Например, сторона a измеряется центральным углом BOC . Сферические углы треугольника измеряются плоскими углами, образованными касательными, проведенными из их вершин к сторонам угла как к дугам. Например, угол C измеряется плоским углом mCn . Сумма углов сферического треугольника всегда больше 180° на величину ϵ , называемую сферическим избытком.

Выведем формулу избытка из частного примера (рис. 140).

Сферический треугольник ABC составляет $1/8$ часть сферы. В нем сферический избыток $\epsilon = (90^\circ + 90^\circ + 90^\circ) - 180^\circ = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$. Площадь треугольника как $1/8$ поверхности шара будет равна

$$Q = \frac{4\pi R^2}{8} = \frac{\pi}{2} R^2 = \epsilon R^2,$$

откуда найдем

$$\epsilon = \frac{Q}{R^2}. \quad (a)$$

Величина сферического избытка пропорциональна площади треугольника. Так как треугольники в триангуляции по площади относительно невелики, то по малости избытка можно написать

$$\epsilon'' = \frac{Q_{p''}}{R^2}. \quad (43)$$

Малые сферические треугольники можно принять за плоские. Тригонометрическое выражение площади треугольника

$$Q = \frac{1}{2} ab \sin C.$$

Подставив найденное значение в равенство (43), получим

$$\epsilon'' = \frac{p''}{2R^2} ab \sin C.$$

Обозначим

$$\frac{p''}{2R^2} = f,$$

имеем

$$\epsilon'' = f ab \sin C. \quad (44)$$

Геодетическая величина f находится из таблиц по широте B (см. прил. 2).

Для средних широт $B = 55^\circ$, $f = 0,00253$ на 1 км^2 площади. Если взять равносторонний треугольник со стороной 20 км , то по формуле (44) $\varepsilon'' = 0,00253 \times 20 \times 20 \times 0,866 = 0,88'' \cdot \sin 60^\circ = 0,866$.

Решение по логарифмической схеме

$\lg f$	1.40300	Из таблиц по $B = 55^\circ$ на 1 м^2 . $20 \times 20 \times 1000^2 = 4 \times 10^8 \text{ м}^2$.
$\lg 4 \cdot 10^8$	8.60206	
$\lg \sin 60^\circ$	9.93753	
$\lg \varepsilon''$	9.94259	
ε''	0,88''	

§ 77. ИЗОБРАЖЕНИЕ ЛИНИЙ В ПРОЕКЦИИ ГАУССА — КРЮГЕРА

Построим бесконечно малую дугу AB на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера. По условию конформности изображения (рис. 141) сферическая трапеция $ABB'A'$ (рис. 141, а) подобна плоской трапеции $abb'a'$ (рис. 141, б) (для бесконечно малой фигуры дуги AA' и BB' можно считать параллельными). Из свойств подобия следует, что углы в трапециях должны быть равны. Но этого пока нет, так как в сферической трапеции сумма углов равна $360^\circ + \varepsilon$, тогда как в плоской только 360° . Из рис. 141, б видно, что $\angle A + \angle B = (\angle a + \angle b) + \varepsilon$. Сумма углов в вершинах a и b должна быть увеличена на $\delta_a + \delta_b = \varepsilon$. Для этого точки a и b надо соединить не прямой, а дугой, тогда углы будут $a + \delta_a$ и $b + \delta_b$. Отсюда заключаем, что взятая на сфере дуга AB изобразится на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера кривой ab , обращенной своею вогнутостью в сторону осевого меридиана.

§ 78. РЕДУЦИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ

В предыдущем параграфе установлено, что стороны треугольников триангуляции при проектировании изобразятся на плоскости кривыми, обращенными своею вогнутостью в сторону осевого ме-

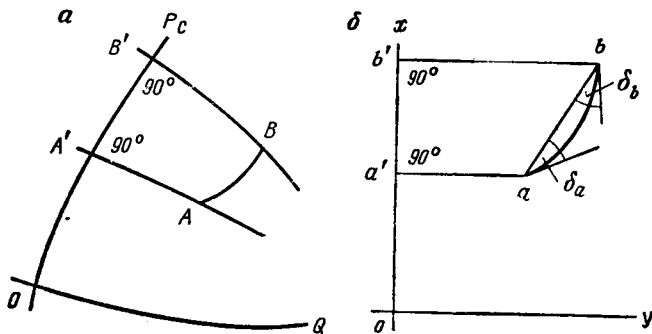


Рис. 141

ридиана. Кривизна этих сторон настолько незначительна, что их заменили прямыми линиями — хордами, стягивающими концы кривых. Если замена кривой хордой практически не вносит в длину линии никаких дополнительных искажений, то в направлении линии эти искажения становятся заметными. На рис. 141, б видно, что направление по дуге — это направление по касательной к ней, и оно отличается от направления по хорде на величины δ_a и δ_b . Как бы малы они не были, пренебрегать ими нельзя. Дело в том, что в триангуляции измеряются направления по сторонам, как по дугам сферических (вернее, сфероидических) треугольников, а на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера считаем эти направления по хордам. Чтобы согласовать измеренные направления по дугам с направлениями по хордам, надо в измеренные направления ввести поправки δ_a и δ_b . Поправки δ получили поэтому название — поправки за кривизну изображения геодезических линий на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера.

Сам процесс вычисления поправок и введения их в измеренные направления называется редуцированием направлений.

Выведем формулу поправок δ , воспользовавшись рис. 141. Если стороны треугольников в среднем составляют 10 км, то поправки для взаимно обратных направлений по абсолютной величине можно принять равными в пределах $0,1''$, но противоположными по знаку, тогда $\delta'_a = -\delta''_b = \frac{\epsilon''}{2}$. Подставив значение ϵ из формулы (43), найдем

$$\delta''_a = -\delta''_b = \frac{Q\rho''}{2R^2}.$$

Площадь трапеции

$$Q = \frac{y_a + y_b}{2} (x_b - x_a) = y_m (x_b - x_a).$$

После подстановки получим

$$\delta''_a = -\delta''_b = \frac{\rho''}{2R^2} y_m (x_b - x_a),$$

но

$$\frac{\rho''}{2R^2} = f$$

и тогда

$$\delta''_a = -\delta''_b = f y_m (x_b - x_a).$$

Чаще в производстве пользуются такой рабочей формулой:

$$\delta''_{1.2} = -\delta''_{2.1} = f y_m (x_1 - x_2). \quad (45)$$

Формула применима для вычисления поправок в триангуляции 3 и 4 классов с точностью $0,1''$. Знаки поправок определяются знаками множителей y_m и $(x_1 - x_2)$. Вычисленные поправки вводятся в измеренные направления со своим знаком.

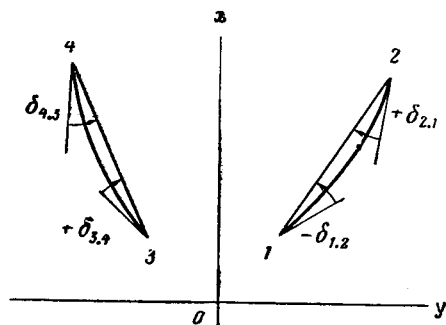


Рис. 142

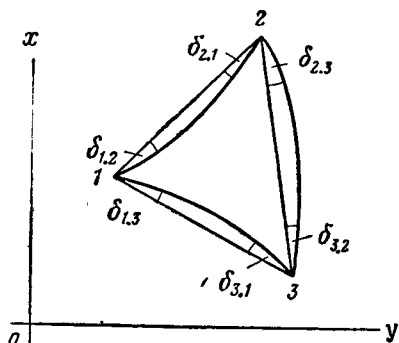


Рис. 143

Более точными формулами, рассчитанными для редуцирования направлений в триангуляции 2 класса с точностью до $0,01''$, являются:

$$\left. \begin{aligned} \delta''_{1,2} &= \frac{f}{3} (x_1 - x_2) (2y_1 + y_2) \\ \delta''_{2,1} &= -\frac{f}{3} (x_1 - x_2) (y_1 + 2y_2) \end{aligned} \right\}. \quad (46)$$

Надо помнить, что в приведенных формулах ордината берется не преобразованная, а ее действительное значение относительно осевого меридиана.

Если иметь ориентированную схему сети триангуляции, то знаки поправок можно определить по графику (рис. 142).

Если переход от касательной к хорде (относительно точки) идет по ходу часовой стрелки, то знак поправки плюс, если против хода — знак минус.

Для вычисления поправок можно пользоваться арифмометром и счетами; таблицами логарифмов и счетами; специальными номограммами и таблицами; логарифмической линейкой; электронно-вычислительной машиной.

Поправка в угол находится как разность поправок правого и левого направлений угла (рис. 143):

$$\Delta_1 = \delta_{1,3} - \delta_{1,2}; \quad \Delta_2 = \delta_{2,1} - \delta_{2,3}; \quad \Delta_3 = \delta_{3,2} - \delta_{3,1}.$$

Если углы сферического треугольника обозначить через $I_0, 2_0, 3_0$, поправки в углы $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$, плоские углы $1, 2, 3$, то можно написать равенства

$$\begin{aligned} 1 &= I_0 + \Delta_1 \\ 2 &= 2_0 + \Delta_2 \\ 3 &= 3_0 + \Delta_3 \\ \hline 1 + 2 + 3 &= I_0 + 2_0 + 3_0 + \Sigma \Delta \\ 180^\circ &= 180^\circ + \epsilon + \epsilon \Delta, \end{aligned}$$

откуда $\Sigma \Delta = -\epsilon$.

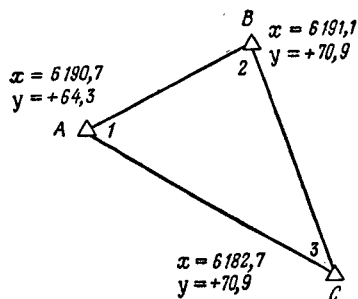


Рис. 144

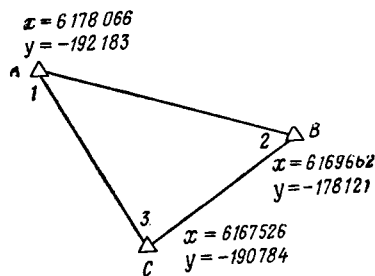


Рис. 145

Сумма поправок в углы сферического треугольника за кривизну изображений линий всегда отрицательна и по абсолютной величине равна сферическому избытку этого треугольника. Указанным свойством пользуются для контроля правильности вычислений поправок в углы треугольников триангуляции.

Задача 18. Дан треугольник 3 класса триангуляции (рис. 144), в котором известны приближенные прямоугольные координаты его вершин и сферический избыток $\epsilon'' = 0,1''$.

Таблица 88

Вычисление поправок
Нелогарифмическая схема

Порядок действий	Обозначения 1 2	A B	A C	B C
	f	0,00253	0,00253	0,00253
1	x_1	6190,7	6190,7	6191,1
3	x_2	6191,1	6182,7	6182,7
5	$x_1 - x_2$	-0,4	+8,0	+8,4
2	y_1	+64,3	+64,3	+70,9
4	y_2	+70,9	+70,9	+70,9
6	$y_m = \frac{y_1 + y_2}{2}$	+67,6	+67,6	+70,9
7	$+ \delta''_{1,2}$	-0,1''	+1,4''	+1,5''
8	$- \delta''_{2,1}$	+0,1''	-1,4''	-1,5''

Контроль вычисления поправок.

Поправка в угол 1 (рис. 144) $\Delta_1 = \delta_{AC} - \delta_{AB} = +1,4'' - (-0,1'') = +1,5''$

2 $\Delta_2 = \delta_{BA} - \delta_{BC} = +0,1'' - (+1,5'') = -1,4''$

3 $\Delta_3 = \delta_{CB} - \delta_{CA} = -1,5'' - (-1,4'') = -0,1''$

$\Sigma \Delta = 0,0$

Сферический избыток $\epsilon = 0,1''$

Примечание. За счет округлений поправок и сферического избытка расхождение может достигать $\pm 0,2''$.

Редуцировать измеренные по сторонам треугольника направления.

Задачу решим по формуле (45), составив табл. 88.

Указанные поправки можно непосредственно выбрать из специальных таблиц [26, 27] по аргументам $(x_1 - x_2)$ и y_m , выраженных в километрах.

Задача 19. Дан треугольник 2 класса триангуляции (рис. 145), в котором известны приближенные прямоугольные координаты его вершин и сферический избыток $\varepsilon = 0,34''$.

Редуцировать измеренные по сторонам треугольника направления. Широта $B = 56^\circ$.

Из таблицы (прил. 2) по аргументу широты находим $\lg f = 1,40290$, откуда $\lg f/3 = 0,92578$. Задачу решим по формуле (46), составив табл. 89.

Таблица 89

Вычисление поправок δ
Логарифмическая схема

Порядок действий	Обозначения	$\frac{A}{B}$	$\frac{A}{C}$	$\frac{B}{C}$
1	x_1	6 178 066	6 178 066	6 169 662
3	x_2	6 169 662	6 167 526	6 167 526
5	$x_1 - x_2$	+8404	+10 540	+2 136
2	y_1	-192 183	-192 183	-178 121
4	y_2	-178 121	-190 784	-190 784
6	$2y_1 + y_2$	-562 487	-575 150	-547 026
7	$y_1 + 2y_2$	-548 425	-573 751	-559 689
14	$\delta_{1.2}$	-3,99"	-5,11"	-0,98"
12	$\lg \delta_{1.2}$	0.60075	0.70840	9.99339
10	$\lg (2y_1 + y_2)$	5.75011	5.75978	5.73801
9	$\lg (x_1 - x_2)$	3.92486	4.02284	3.32960
8	$\lg f/3$	0.92578	0.92578	0.92578
11	$\lg (y_1 + 2y_2)$	5.73912	5.75872	5.74795
13	$\lg (-\delta_{2.1})$	0,58976	0.70734	0.00333
15	$-\delta_{2.1}$	+3,89"	+5,10"	+1,01"

Контроль вычисления поправок

№№ треугольника	Δ_1	Δ_2	Δ_3	$\Sigma \Delta$	ε
1	-1,12"	+4,87"	-4,09"	-0,34"	+0,34"

Задача 20. Линия, длиной не более 10 км, делится осевым меридианом пополам.

Найти поправку в направление этой линии с точностью до $0,1''$.

Ответ: $\delta = 0$.

Задача 21. Линия расположена перпендикулярно к осевому меридиану. Найти поправку в направление этой линии.

Ответ: $\delta = 0$.

Задача 22. Линия длиной 10 км расположена параллельно осевому меридиану на расстоянии $y_m = -100$ км и на широте для средней точки линии $B = 50^\circ$.

Найти поправку в направление этой линии.

Ответ: $\delta = -2,5''$.

§ 79. РЕДУЦИРОВАНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ

Линейные размеры на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера заметно удлиняются за масштаб их изображений. Если взять бесконечно малый отрезок на поверхности эллипсоида $d(S)$, то на плоскости в проекции он изобразится бесконечно малой хордой и связь между ними выразится формулой

$$d(d) = d(S) m = d(S) \left(1 + \frac{y^2}{2R^2}\right).$$

Если вместо бесконечно малого отрезка взять конечную линию S , то ее связь с длиной на плоскости выразится довольно сложной формулой. Если мысленно представить себе конечную линию, состоящую из бесконечного числа бесконечно малых отрезков, то каждый из них будет иметь свой масштаб изображения. Подсчет всей совокупности их удлинений приводит к действию интегрирования.

Ограничив длину линии до 10 км, можно принять, что она изобразится в масштабе ее средней точки (рис. 146). Можно написать

$$d = S \left(1 + \frac{y_m^2}{2R^2}\right) = S + S \frac{y_m^2}{2R^2_m}, \quad (47)$$

где

$$S \frac{y_m^2}{2R^2_m} = \Delta S \quad (48)$$

— поправка в длину линии за масштаб ее изображения в проекции Гаусса — Крюгера.

Поправка всегда положительна, следовательно, линии, измеренные на поверхности эллипсоида, при проектировании на плоскость удлиняются. Процесс вычисления поправок ΔS за масштаб изображения длин линий и введение их в измеренные расстояния называются редуцированием длин линий.

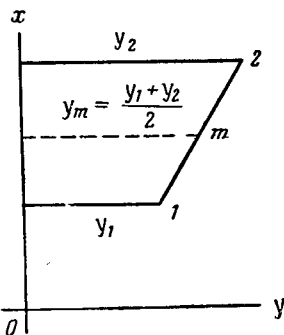


Рис. 146

Если формулу (47) прологарифмировать, выразив поправку в шестом знаке логарифма, то получим

$$\lg d = \lg S + \frac{10^6 \cdot \mu}{2R_m^2} y_m^2, \quad (49)$$

где μ — модуль Бригговых логарифмов, равный 0,434294.

Формула (49) применима в заполняющих сетях 3 и 4 классов триангуляции и в полигонометрии.

Задача 23. Редуцировать длину линии $S=8367,52$ м на плоскость в проекции Гаусса — Крюгера, если средняя ордината линии $y_m=293,6$ км.

Воспользуемся таблицами для логарифмического вычисления координат Гаусса — Крюгера. В них поправочный член

$$\frac{10^6 \cdot \mu}{2R_m^2} y_m^2 = I_s$$

дается в табл. III—1, из которой по $y_m=293,6$ находим $I_s=459$ в единицах шестого знака логарифма

$\lg S$	3.922 597
I_s	0.000 459
$\lg d$	3.923 056
d	8 376,37 м

Линия удлинилась на $8\,376,37 - 8\,367,52 = 8,85$ м при удалении от осевого меридиана на $y_m=293,6$ км, что составляет примерно $1/940$ от длины линии.

Поправку ΔS по формуле (48) можно вводить в измеренные длины сторон полигонометрических ходов 3 и 4 классов.

Задача 24. Редуцировать длину линии $S=2\,537,18$ м на плоскость в проекции, если $y_m=264,8$ км.

Из табл. III—2 для аргумента $y_m=264,8$ км находим

на 2 000 м	1,75 м
500 м	0,43
30	0,03
7	0,01
$S = 2537,18$ м	$\Delta S = 2,22$ м
$d = 2537,18 + 2,22$ м	$= 2539,40$ м

При редуцировании длин сторон заполняющих сетей триангуляции можно применять более точную формулу в логарифмическом виде

$$\lg d = \lg S + \frac{10^7 \cdot \mu}{2R_m^2} y_m^2 + \frac{10^7 \cdot \mu}{24R_m^2} (y_2 - y_1). \quad (50)$$

Задача 25. Редуцировать длину линии $S = 13075,65$ м, для которой $y_m = 134516$ м, а $y_2 - y_1 = -9879$ м, $B = 56^\circ$

Порядок действий	Обозначения	Вычисления	Примечание
1	$\lg \frac{\mu}{2} \cdot 10^7$	6.3368	Постоянное
2	$\lg 1/R_m^2$	6.3895	Табл. V
3	$\lg y_m^2$	0.2575	$\lg y_m = 5,12877$
4	$\lg \frac{10^7 \cdot \mu}{2R_m^2} y_m^2$	2.9838	
5	$\lg S$	4.1164633	
6	$\frac{10^7 \cdot \mu}{2R_m^2}$	963	
7	Π_s	0	
8	$\lg d$	4,1165596	

Порядок действий	Обозначения	Вычисления	Примечание
1	f'	0,532431	Табл. III по $B = 56^\circ$
2	y_m^2	18095	$y_m = 134,516$ км
3	Π_s	+8	Табл. IV по $(y_2 - y_1) \approx 9,9$ км
4	Π_{I_s}	-1	Табл. V по y_m
5	σ_3	18102	

$\Delta S = f' \sigma_3 + 9539 \approx 964$ в ед. 7-го знака логарифма. Поправка в результате вычислений по первому варианту была 963.

Значение 1: R_m^2 выбрано из таблиц проф. Красовского и Изотова по средней широте 56° . Значение третьего члена формулы (50) обозначено в табл. III—3 через Π_s и выбирается по аргументу $(y_2 - y_1) = 9879$ м $\approx 9,9$ км в единицах 8-го знака логарифма. Поправка Π_s всегда положительна. В нашем случае Π_s равна нулю, так как только в 8-м знаке она равна 4-м единицам.

Задачу можно в порядке контроля решить, пользуясь другими таблицами издания 1958 г. В них поправка ΔS вычисляется по формуле

$$\Delta S = \frac{\mu}{2} \left(\frac{y_m}{2R_m} \right)^2 + \frac{\mu}{24} \left(\frac{y_2 - y_1}{R_m} \right)^2 - \frac{\mu}{12} \left(\frac{y_m}{R_m} \right)^4. \quad (51)$$

Приняты обозначения:

$$\frac{\mu \cdot 10^8}{2R^2} = f_1; \quad \frac{(y_2 - y_1)^2}{12} = II_s; \quad \frac{y_m^4}{6R_m^2} = III_s;$$

$$y_m^2 + II_s + III_s = \sigma_3; \quad \Delta S = f' \cdot \sigma_3.$$

§ 80. КООРДИНАТНЫЕ ЗОНЫ

Из существа рассмотренных выше формул вытекает, что с удалением от осевого меридиана величины поправок за кривизну изображения линий возрастают. Усложняется также учет этих искажений. Но главное в том, что при неограниченном удалении от осевого меридиана искажения могут стать столь большими, что все достоинства конформности изображения будут утрачены. Так, если на сфере взять значительно вытянутую по долготе полосу между двумя дугами больших кругов, перпендикулярных к осевому меридиану, то на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера она изобразится в виде раструба, что схематически показано на рис. 147. Конформность изображения сохраняется только для бесконечно малых фигур. Исходя из этого, встала необходимость ограничить удаление от осевого меридиана с расчетом, чтобы при наибольшем удалении искажения длин линий не выходили за пределы графической точности топографических карт. Приблизительно эту величину можно подсчитать, воспользовавшись формулой (48). При топографических съемках длины линий измеряются в среднем с относительной погрешностью 1 : 1000. Вычислим, на каком удалении от осевого меридиана относительное искажение длин линий в проекции Гаусса — Крюгера будет также не превышать 1 : 1000:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{y_m^2}{2R^2} = \frac{1}{1000},$$

откуда

$$y_m^2 = \frac{2R^2}{1000}.$$

Примем приближенно $R \approx 6400$ км, тогда

$$y_m^2 = \frac{2 \cdot 6400 \cdot 6400}{1000}$$

или

$$y_m = \frac{640}{2,2} \approx 290 \text{ км.}$$

Если принять в среднем, что дуге в 1° соответствует 111 км, то

$$y_m = \frac{290}{111} \approx 3^\circ.$$

По этим соображениям и были введены шестиградусные координатные зоны. Практически в пределах зоны не возникает необходимости учета искажений при производстве топографических съе-

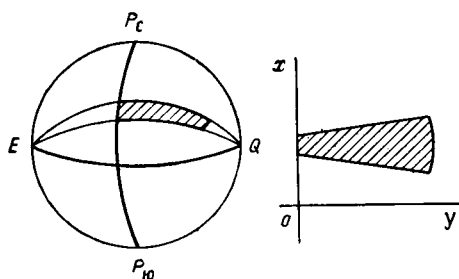


Рис. 147

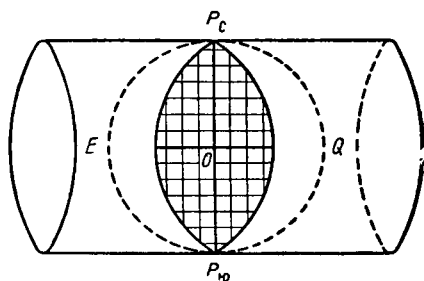


Рис. 148

мок. Каждая зона представляет собой двугульник, ограниченный двумя меридианами, простирающимися от полюса к полюсу (рис. 148). Средний меридиан зоны — меридиан касания цилиндра поверхности сфероид — называется осевым. Его долгота обозначается L_0 . Каждая координатная зона проектируется на плоскость отдельно, относительно своего осевого меридиана. Принцип проектирования для всех зон одинаков. В каждой зоне имеется свое начало координат. Счет абсцисс ведется от экватора, счет ординат ведется от осевого меридиана на восток со знаком плюс, на запад — минус.

В СССР шестиградусные координатные зоны применяются при съемках в мелких и средних масштабах (до масштаба 1 : 10 000) и трехградусные — при крупномасштабных съемках начиная с масштаба 1 : 5000 и крупнее. Счет координатных зон ведется от Гринвича на восток (рис. 149).

Осевым меридианом первой 3-градусной зоны принят осевой меридиан первой 6-градусной зоны, т. е. меридиан с долготой 3° (см. рис. 149). Заметим, что в шестиградусных зонах долгота осевого меридиана есть число нечетное и кратное трем, например 45, 63, 81° и т. д.

Долготу осевого меридиана можно определить и по формуле

$$L_0 = N \cdot 6^\circ - 3^\circ,$$

где N — номер зоны.

В 3-градусных зонах долгота осевого меридиана — любое число, кратное трем. Например, 42, 45, 51, 60° и т. д. Можно подсчитать и по формуле $L_0 = 3^\circ \cdot n$, где n — номер зоны.

6-градусные зоны по долготам совпадают с колоннами листов миллионной карты, счет номеров которых ведется от 180°

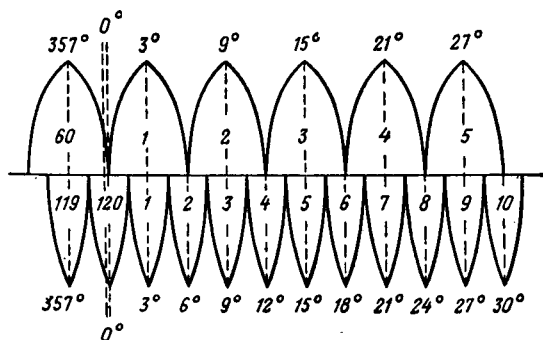


Рис. 149

на восток. Следовательно, номера 6-градусных зон отличаются от соответствующих номеров колонн на 30 единиц, например, колонна 44, номер зоны 14, номер колонны 25, номер зоны 55. Долгота осевого меридиана в первом случае будет $L_0 = 14 \cdot 6^\circ - 3^\circ = 81^\circ$, во втором $L_0 = 55 \cdot 6^\circ - 3^\circ = 327^\circ$.

Изменение знака ординаты при переходе через осевой меридиан создает неудобства при вычислениях. Чтобы устранить этот недостаток, было принято считать для всех точек осевого меридиана ординаты равными 500 000 м, т. е. к действительным значениям ординат, независимо от их знака, надо прибавлять 500 000. Кроме того, чтобы знать, в какой координатной зоне находится точка, впереди преобразованной ординаты приписывается номер зоны. Абсциссы для территории нашей страны положительны. Таким образом, абсциссы и условные (преобразованные) ординаты точек величины всегда положительные и примерно одинаковые по значимости.

Пример. Даны $x = 6\,875\,421,83$; $y = 7\,651\,036,24$. Найти, в какой зоне расположена точка.

Точка находится в 7-й зоне на восток от осевого меридиана. Ее действительная ордината $+151\,036,24$.

$y = 12\,308\,486,53$. Точка находится в 12-й зоне на запад от осевого меридиана. Действительная ордината $-191\,513,47$.

Задача 26. Пункт триангуляции A имеет долготу $L = 79^\circ 53' 14,57''$.

Определить:

по какую сторону от осевого меридиана и на каком расстоянии в 6- и 3-градусных зонах находится этот пункт;

установить номера зоны и номер колонны листа миллионной карты.

1. Ближайшими осевыми меридианами 6-градусных зон для этого пункта будут: западный — с долготой 75° , восточный — с долготой 81° . Так как в пределах зоны максимальное удаление от осевого меридиана 3° , то осевым меридианом будет 81° . Итак, в 6-градусной зоне пункт A находится на запад от осевого меридиана, на расстоянии $l = L - L_0 = 79^\circ 53' 14,57'' - 81^\circ = -1^\circ 06' 45,43''$. Для 3-градусной зоны ближайшие осевые меридианы с долготами: западная — 78° восточная — 81° . Максимальное удаление от осевого меридиана должно быть $1,5^\circ$, поэтому осевым для нашего примера будет меридиан с долготой 81° .

2. Восточный меридиан для 6-градусной зоны будет $81^\circ + 3^\circ = 84^\circ$. Номер зоны $84^\circ : 6^\circ = 14$. Номер колонны 44. Номер 3-градусной зоны найдем как $81^\circ : 3^\circ = 27$.

Задача 27. Точка имеет ординату $y = 15\,215\,431,5$. Определить долготу осевого меридиана 6-градусной зоны, в которой расположена данная точка.

Ответ $L_0 = 87^\circ$.

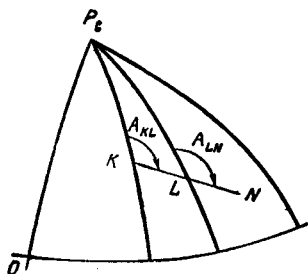


Рис. 150

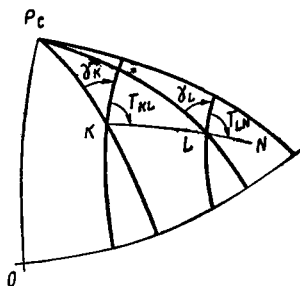


Рис. 151

§ 81. АЗИМУТ И ДИРЕКЦИОННЫЙ УГОЛ. ГАУССОВО СБЛИЖЕНИЕ МЕРИДИАНОВ

Возьмем на эллипсоиде геодезическую линию и на ней ряд точек K, L, N (рис. 150). Геодезическим азимутом линии считается угол между северным направлением геодезического меридиана, проведенного через начальную точку линии и направлением данной линии. Проведем через точки геодезические меридианы, тогда геодезическим азимутом направления KL будет угол A_{KL} , а направления LN — угол A_{LN} . Так как меридианы между собой непараллельны, то значения азимута для одной и той же линии, но в разных ее точках будут различными. На том же основании прямой и обратный азимуты для одной и той же линии будут различаться по величине не ровно на 180° . Эти неравенства в разных точках не одинаковы, что крайне усложняет обработку направлений, ориентированных по азимутам. Неудобства были устранены заменой азимута дирекционным углом.

Проведем через точки K и L дуги, параллельные осевому меридиану (рис. 151). Получим углы T_{KL} и T_{LN} . Эти углы, образованные северным направлением дуг, параллельных осевому меридиану, и направлением данной линии, называются дирекционными углами на эллипсоиде. Они будут равны между собой, а прямой и обратный дирекционные углы для одной и той же линии KL будут различаться ровно на 180° .

$$< T_{LK} = < T_{KL} + 180^\circ. \quad (a)$$

Угол γ , образованный меридианом данной точки и дугой, параллельной осевому меридиану, называется гауссовым сближением меридианов. Обычно слово «Гауссово» опускают. Для точек, лежащих на запад от осевого меридиана, γ берется со знаком минус, на восток — со знаком плюс (рис. 152). Надо помнить, что на чертеже угол гамма следует считать от северного направления истинного меридиана к осевому, причем на восток с плюсом, на запад — с минусом. Связь между геодезическим азимутом и дирекционным углом для одного и того же направления выразится

$$T = A - \gamma. \quad (b)$$

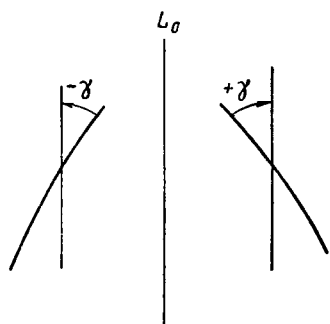


Рис. 152

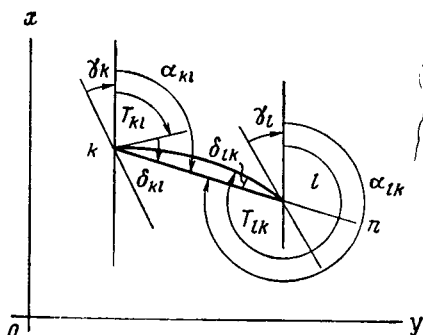


Рис. 153

Если рис. 151 спроектировать с поверхности эллипсоида на плоскость в проекции Гаусса — Крюгера, то по условию равноугольности проекции углы на эллипсоиде и на плоскости сохраняют свое равенство (рис. 153). Однако на плоскости изображенные дуги заменяют хордой, вследствие чего сфероидические дирекционные углы T будут отличаться от плоских дирекционных углов α на величины δ . Так, на рисунке имеем

$$\begin{aligned} \alpha_{kl} &= T_{kl} + \delta_{kl} \\ \alpha_{lk} &= T_{lk} - \delta_{lk} \end{aligned} \quad (6)$$

Знаки поправок определяют при их вычислении. Перепишем равенства (6) для общего случая и подставив вместо T его значение из формулы (6), найдем общую алгебраическую формулу связи между геодезическим азимутом и плоским дирекционным углом для одной и той же линии:

$$\alpha = A - \gamma + \delta. \quad (52)$$

Плоским дирекционным углом называется угол, считаемый от северного направления прямой, параллельной проекции осевого меридиана зоны по ходу часовой стрелки, до направления данной линии*.

Выведем приближенную формулу вычисления угла сближения меридианов по геодезическим координатам данной точки. Проведем в плоскостях меридианов осевого и данной точки A касательные в точках A и A' (рис. 154). Эти касательные пересекутся на продолжении земной оси в точке M под углом сближения меридианов γ . Если через точку A провести параллель, то

$$\gamma'' = \frac{\check{l} \rho''}{A'M}. \quad (2)$$

Дуга параллели радиуса r , согласно формуле (41) (см. § 74),

$$\check{l} = \frac{N}{\rho''} l'' \cos \beta; \quad A'M = N \operatorname{ctg} B.$$

* На карте — это угол между положительным направлением оси x и направлением линии.

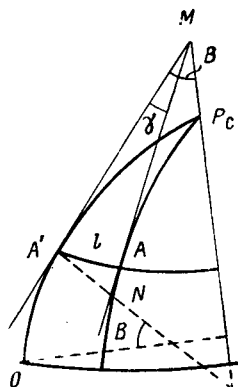


Рис. 154

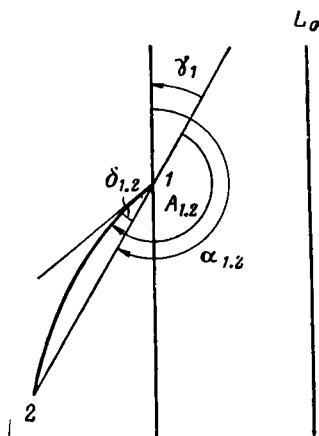


Рис. 155

Подставив в формулу (2) полученные значения, найдем

$$\gamma'' = \frac{N l'' \cos B \varphi''}{\varphi'' N \operatorname{ctg} B} = \frac{l'' \cos B \sin B}{\cos B}; \quad (53)$$

$$\gamma'' = l'' \sin B.$$

Здесь $l'' = L - L_0$.

По формуле (53) γ'' вычисляется в пределах 6-градусной зоны с погрешностью $\pm 4''$, в 3-градусной — с погрешностью $\pm 0,5''$.

На экваторе, где $B = 0^\circ$; $\sin 0^\circ = 0$; $\gamma = 0$.

На полюсе, где $B = 90^\circ$; $\sin 90^\circ = 1$; $\gamma = l''$.

Отсюда в 6-градусной зоне $\gamma_{\max} = \pm 3'$, в 3-градусной зоне $\gamma_{\max} = \pm 1,5'$.

Задача 28. Вычислить угол сближения меридианов в точке с координатами $B = 56^\circ 29' 38''$ и $L = 78^\circ 46' 25''$ для 6-градусной и 3-градусной зон.

Для 6-градусной зоны

$\lg l''$	3.90390
$\lg \sin B$	9.92107
$\lg \gamma''$	3.82497
γ''	$-6683'' = -1^\circ 51' 25''$.

Для 3-градусной зоны

$\lg l''$	3.44483
$\lg \sin B$	9.92107
$\lg \gamma''$	3.36590
γ''	$+2325,2'' = +0^\circ 38' 42,2''$.

Задача 29. Дан геодезический азимут направления $(1-2) = 205^\circ 16' 24,3''$, сближение меридианов в точке $1 \gamma = -1^\circ 47' 38,5''$ и поправка за кривизну изображения $\delta_{1,2} = -1,3''$.

Вычислить дирекционный угол линии $1-2$.

Геометрическое решение (рис. 155):

$$\alpha_{1.2} = A_{1.2} + \gamma_1 - \delta_{1.2} = 205^\circ 16' 24,3'' + 1^\circ 47' 38,5'' - 1,3'' = 207^\circ 04' 01,5''.$$

При геометрическом решении знаки γ и δ во внимание не берутся. Алгебраическое решение:

$$\alpha = A - \gamma + \delta$$

$$\alpha_{1.2} = 205^\circ 16' 24,3'' - (-1^\circ 47' 38,5'') + (-1,3'') = 207^\circ 04' 01,5''.$$

§ 82. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НА ПЕРЕХОД ОТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ТОЧКИ К ПЛОСКИМ ПРЯМОУГОЛЬНЫМ КООРДИНАТАМ ГАУССА — КРЮГЕРА И ОБРАТНО

Вывод полных формул перехода довольно сложен. Рассмотрим только приближенно геометрическую сущность задачи. На эллипсоиде даны геодезические координаты точки A (B и l), где $L - L_0 = l$ (рис. 156, a). Необходимо найти сфероидические прямоугольные координаты этой же точки X и Y , а затем от них перейти к плоским прямоугольным координатам Гаусса x и y .

Длину дуги X' меридиана в линейной мере можно выбрать из геодезических таблиц по широте B точки A . Другое слагаемое $(X - X')$ найдем из решения треугольника AA_1A' , который по его малости можно принять за сферический. Складывая обе найденные дуги, получаем длину сферической абсциссы X .

Так как значение $L - L_0 = l$ ограничено, то можно длину сфероидической ординаты Y в первом приближении принять равной длине дуги параллели AA_1 . Тогда по формуле (41)

$$y = AA_1 \approx \frac{N}{\rho''} l'' \cos B.$$

Найдя сфероидические координаты X и Y , можно перейти к плоским прямоугольным координатам Гаусса (рис. 156, b), исходя из соотношений:

$x = X$, или согласно рисунку (см. рис. 156, a, b).

$$x = X' + (X - X') \approx x' + (x - x')$$

$$y = ym,$$

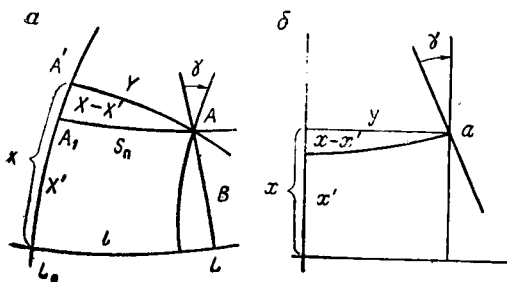


Рис. 156

где m — масштаб проекции.

Одновременно найдем для точки A угол сближения меридианов по формуле (53).

Ниже приводится решение прямой задачи на вычисление плоских прямоугольных координат и сближения меридианов по данным геодезическим координатам и обратной задачи.

Решение прямой задачи на переход от геодезических координат точки к плоским прямоугольным координатам Гаусса — Крюгера

Порядок действий	Обозначения	Вычисления	Примечания
1	B	$54^{\circ}46'31,674''$	
2	L	$43\ 49\ 17,564$	
3	L_0	45°	$l = -1^{\circ}10'42,436'' = -4242,436''$
15	a_2	3539,751	Из табл. 90, б
5	l^2	0,1799826	
19	a_4	0,695	Табл. I по $B = 54^{\circ}46,5'$
7	l^4	0,03239	
21	a'	-0,003	Табличка на полях страницы, $B = 54,8^{\circ}$
25	k_6	+0,001	Табл. II по $l = -1^{\circ}10'42''$, всегда положительна.
16	b_1	178755,739	Из табл. 90, б
4	l''	-0,4242436	Число секунд уменьшено в 10^4 раз
18	c_1	8168,980	Из табл. 90, б
17	b_3	-23,381	Из табл. 90, б
6	l^3	-0,76356	
20	c_3	2,143	Табл. I по $B = 54^{\circ}46,5'$
22	b'	-0,153	Табличка на полях страницы, $B = 54,8^{\circ}$
24	k_5	-0,002	Табл. II по $l = -1^{\circ}10'42''$. Знак как у l .
23	c'	0,000	Табличка на полях страницы, $B = 54,8^{\circ}$
14	X	6072341,204	Из таблицы 90, б
26	$x - X$	+637,1161	См. формулу
27	x	6 072 978,3201	
28	y	-75834,1926	См. формулу
29	γ	-0°57'45,801"	-3465,801" см. формулу
30	y	8424165,807	Преобразованное.

Вычислял: А. В. Петров

17 июня 1974 г.

Геодезические координаты исходного пункта триангуляции Храброво взяты из табл. 35.

Прямая задача. Пункт Храброво $B = 54^{\circ}46'31,674''$; $L = 43^{\circ}49'17,564''$.

Формулы *: 1) $x = X + (x - X)$;

2) $x - X = a_2 l^2 + a_4 l^4 + a' k_6$;

3) $y = b_1 l + B_3 l^3 + b k_5$;

4) $\gamma = cl + c_3 l^3 + c' k_5$.

Решение приведено в табл. 90, а и б.

Обратная задача на вычисление геодезических координат по данным плоским прямоугольным координатам Гаусса — Крюгера пункта триангуляции Храброво: $x = 6072978,320_1$; $y = -75834,192_6$.

* Решение задач произведено по формулам, приведенным в таблицах для вычисления плоских конформных координат Гаусса [27].

Таблица 90, б

Выборка коэффициентов X , a_2 , b_1 , b_2 и c_1 из табл. I
по широте пункта Храброво $B = 54^{\circ}46'31,674''$

Порядок действия n	Название действий	X	a_2	b_1	b_2	c_1
8	Табличные значения по аргументу $B = 54^{\circ}46'$	6071361,763	3540,135	178794,527	-23,366	8168,094
9	Приращения на $100''$ по строке $54^{\circ}46'$	+3092,253	-1,212	-122,453	-0,048	+2,797
10	Поправка из вспомогательных таблицек на $32''$	+2	—	-7	—	—
11	Исправленные приращения $\Delta_{\text{испр}}$	+3092,255	-1,212	-122,460	-0,048	+2,797
12	Поправка за интерполирование ($\Delta_{\text{испр}} \times 31,674$):100	+979,441	-0,384	-38,788	-0,015	+0,886
13	Искомые значения коэффициентов	6072341,204	3539,751	178755,739	-23,381	8168,980

Вычислял: А. В. Петров

17 июня 1974 г.

Таблица 91, а

Решение обратной задачи на переход от плоских прямоугольных координат Гаусса — Крюгера к геодезическим координатам точки

Порядок действий	Обозначения	Вычисления	Примечания
1	x	6 072 978,3201	
2	y	—0,758341926	Уменьшено в 10^5 раз
19	A_2	35,83179	Из табл. 91, а
3	y^2	0,575082	
21	B_3	36,5627	Из табл. 91, а
20	A_4	—0,008016	Из табл. 91, а
4	y^4	0,3307	
22	A'	+0,0007	Из табл. на полях страницы по $B = 54,8^\circ$
27	k_8	+0,001	Табл. II по $l \approx 1^\circ 10' 42''$
23	B'	+0,0233	Табл. на полях страницы см. k_8
28	k_5	—0,003	
18	b_1	178730,506	Из табл. 91, а
24	$B_3 y^2$	+21,0256	См. формулу
25	b_f	178751,533	Из табл. 91, б
11	B_f	$54^\circ 46' 52,2776''$	
29	$(A_2 y^2 + A_4 y^4 + A' k_8)$	—20,6036"	
30	B	$54^\circ 46' 31,6740''$	См. формулу
26	$y: B_f \cdot 10^5$	$-1^\circ 10' 42,4359''$	—4242,4359"
31	$B' k_5$	—1	
32	l	$-1^\circ 10' 42,4358''$	См. формулу
33	L_0	45°	
34	L	$43^\circ 49' 17,5642$	

Вычислял: А. В. Петров

18 июня 1974 г.

Таблица 91, б

Вычисления B_f по аргументу $x = 6\,072\,978,3201$

Порядок действий	Название действия	Вычисления
5	Из табл. I находим ближайшее меньшее значение $x = 6\,0731\,361,763$, которому соответствует $B = 54^\circ 46'$	
6	Приращение на $100''$ по строке B	$\Delta = +3092,253$
7	Дополнительная поправка из вспомогательной таблички за разность $x_{\text{данное}} - x_{\text{табличное}} \approx 1616$	+4
8	Исправленное приращение $\Delta_{\text{испр}}$	+3092,257
9	Поправка за интерполирование $[(6072978,320 - 6071361,763) \times \Delta_{\text{испр}}]:100$	+52,2776"
10	Искомое значение B_f	$54^\circ 46' 52,2776''$

Вычислял: А. В. Петров

16 июня 1974 г.

Выборка коэффициентов B_1 , A_2 , A_4 и B_8 по аргументу $B_f = 54^\circ 46' 52,2776''$

Порядок действий	Название действий	B_1	A_2	A_4	B_8
12	Табличные значения по аргументу $B_f = 54^\circ 46'$	178794,527	35,81264	-0,008016	36,5444
13	Приращения на $100''$ по строке	-122,453	+0,03663	-0,000017	+0,0350
14	Поправки из вспомогательных табличек на $52''$	-11	+1	—	—
15	Исправленное приращение $\Delta_{\text{испр}}$	-122,464	+0,03664	-0,000017	+0,0350
16	Поправки за интерполирование ($\Delta_{\text{испр}} \times \times 52,2776$):100	-64,021	+0,01915	0	+0,0183
17	Искомые значения коэффициентов	178730,506	35,83179	-0,008016	36,5627

Вычислял: А. В. Петров

18 июня 1974 г.

Формулы: 1) $b_f = B_1 + B_3 y^2$;2) $B = B_f - (A_2 y^2 + A_4 y^4 + A' k_6)$;3) $l = y \cdot b_f \cdot 10^5 + B' k_5$;4) $L = L_0 + l$.

Решение приводится в табл. 91, а, б, в.

§ 83. ПЕРЕХОД С ЭЛЛИПСОИДА НА ПЛОСКОСТЬ В ПРОЕКЦИИ ГАУССА — КРЮГЕРА

На поверхности эллипсоида триангуляция будет представлена системой сфероидических треугольников, в которых будут измерены направления (рис. 157). Первоначальными исходными данными для обработки будут:

1) геодезические координаты B и L одного или нескольких пунктов;

2) измеренные длины базисных сторон;

3) их геодезические азимуты A .

В силу конформности изображения измеренные сфероидические углы треугольников триангуляции на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера не искажутся, и поэтому стороны треугольников, как известно, изобразятся кривыми, обращенными своими вогнутостями в сторону осевого меридиана (рис. 158).

Ввиду малой кривизны стороны заменяют хордами, стягивающими концы дуг. В этом случае сфероидические треугольники превратятся в плоские. Отсюда возникает необходимость вводить в измеренные направления поправки, т. е. редуцировать направления.

Длины сторон треугольников искажаются за масштаб их изображения в проекции, и в их длины следует вводить поправки, т. е. редуцировать расстояния. В триангуляции стороны треугольников вычисляются, и если редуцировать направления всех сторон треугольников и длины базисных сторон, то остальные длины сторон будут вычислены уже редуцированными.

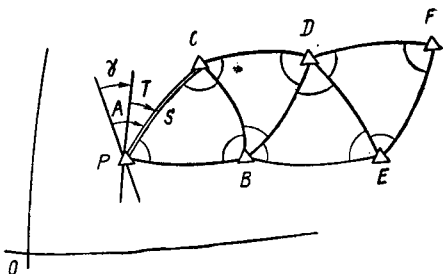


Рис. 157

Для вычисления поправок δ и ΔS требуется заранее знать плоские прямоугольные координаты всех пунктов триангуляции. Так как величины поправок небольшие, то для их вычисления координаты пунктов достаточно получить приближенно. Например, для обработки триангуляции 3 класса можно координаты пунктов находить до 0,1 км.

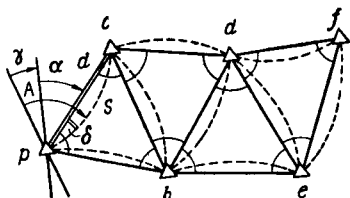


Рис. 158

Таким образом, перечисление триангуляционной сети с поверхности эллипсоида на плоскость происходит в следующей последовательности.

1. По данным геодезическим координатам B и L исходных пунктов вычисляют их прямоугольные координаты Гаусса — Крюгера и сближение меридианов.

2. От исходных геодезических азимутов базисных сторон переходят к сфероидическим дирекционным углам T по формуле $T = A - \gamma$ и принимают $T \approx \alpha'$ за приближенное значение плоского дирекционного угла.

Примечание. При обработке заполняющих сетей 3 класса исходные пункты и стороны высших классов будут даны уже редуцированными на плоскость, и поэтому остается только редуцировать направления сторон треугольников.

3. Вычисляют приближенные координаты определяемых пунктов. Длины сторон берут из предварительного решения треугольников. Углы треугольников, а через них и приближенные дирекционные углы сторон, с точностью до $1''$ вычисляют по приведенным к центрам направлениям. Координаты находят или по логарифмической или нелогарифмической схемам, пользуясь формулами

$$x_2 = x_1 + S_{1.2} \cos \alpha'_{1.2};$$

$$y_2 = y_1 + S_{1.2} \sin \alpha'_{1.2}.$$

По нелогарифмической схеме удобней координаты вычислять по формулам котангенсов углов треугольников (см. § 48). Расхо-

Вычисление приближенных
Нелогарифми

Порядок действий	Исходные 1.	Храбово	Храбово	Сокольники	Елья	Сокольники
	Определяе- мые 2.	Сокольники	Елья		Занино	
1	$\alpha_{исх}$	136°33'13"	136°33'13"	316°33'13"	175°25'54"	355°25'54"
2	Угол	0	57 42 54	38 52 41	74 17 49	46 39 03
3	$\alpha_{опред.}$	136 33 13	78 50 19	355 25 54	101 08 05	42 04 57
4	Контроль- ный угол		83°24'25"		59°03'08"	
14	$x_{ср.}$		6 075 654		6 072 606	
12	$x_{опр.}$	6 057 097	6 075 654	6 075 654	7 062 606	6 072 606
5	$x_{исх.}$	6 072 978	6 072 978	6 057 097	6 075 654	6 057 097
10	Δx	— 15 881	+ 2676	+ 18 557	— 3048	+ 15 509
8	$\cos \alpha$	— 0,72601	+ 0,19357	+ 0,99683	— 0,19311	+ 0,74218
7	S	21 875	13 822	18 616	15 785	20 896
9	$\sin \alpha$	+ 0,68767	+ 0,98109	— 0,07965	+ 0,98118	+ 0,67020
11	Δy	+ 15 043	+ 13 561	— 1483	+ 15 488	+ 14 004
6	$y_{исх.}$	— 75 834	— 75 834	— 60 791	— 62 274	— 60 791
13	$y_{опр.}$	— 60 791	— 62 273	— 622 274	— 46 786	— 46 787
			— 62274		— 46 786	

Вычислял: А. В. Петров

ждение в значениях координат определяемого пункта, полученного из двух задач, не должно превышать 5 м. Для последующего вычисления берут координаты этого пункта как среднее арифметическое из полученных значений.

4. Вычисляют поправки за кривизну изображения линий по формулам

$$\begin{aligned} \delta_{1.2} &= -\delta_{2.1} = f y_m (x_1 - x_2) \quad \text{для 3 класса;} \\ \delta_{1.2} &= \frac{f}{3} (x_1 - x_2) (2y_1 + y_2) \\ \delta_{2.1} &= \frac{f}{3} (x_1 - x_2) (y_1 + 2y_2) \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \delta_{1.2} &= \frac{f}{3} (x_1 - x_2) (2y_1 + y_2) \\ \delta_{2.1} &= \frac{f}{3} (x_1 - x_2) (y_1 + 2y_2) \end{aligned}} \right\} \text{для 2 класса.}$$

Вычисленные поправки контролируются по сферическим избыткам (см. § 78).

5. Вычисляют редуцированные на плоскость направления, для чего в направления, приведенные к центрам знаков, прибавляют вычисленные поправки.

Примечание. Обычно вычисление направлений, редуцированных на плоскость, ведутся непосредственно в карточках предварительной обработки.

координат определяемых пунктов
числовая схема

Ельня	Занино	Чертаново	Занино	Чертаново	Бугайлово
Чертаново		Бугайлово		Захарьино	
101°08'05"	281°08'05"	188°19'07"	8°19'07"	150°55'43"	330°55'43"
32 41 55	87 11 02	37 23 24	113 37 03	29 22 44	38 03 19
68 26 10	8 19 07	150 55 43	121 56 10	121 32 59	8 59 02
60°07'03"		28°59'33"		112°33'57"	
6 082 337		6 066 088		6 075 843	
6 082 337	6 082 337	6 066 087	6 066 089	6 075 844	6 075 842
6 075 654	6 072 606	6 082 337	6 072 606	6 082 337	6 066 088
+ 6683	+ 9731	— 1 6250	— 6517	— 6493	+ 9756
+ 0,36754	+ 0,98947	— 0,87402	— 0,52897	— 0,52324	+ 0,98773
18 183	9835	18 592	12 321	12 410	9877
+ 0,93001	+ 0,14467	+ 0,48590	+ 0,84864	+ 0,85218	+ 0,15616
+ 16 910	+ 1423	+ 9034	+ 10 456	+ 10 576	+ 1542
— 62 274	— 46 786	— 45 364	— 46 786	— 45 364	— 36 330
— 45 364	— 45 363	— 36 330	— 36 330	— 34 788	— 34 788
— 45 364		— 36 330		— 34 788	

20 июня 1974 г.

6. Для окончательного решения треугольников триангуляции (после их уравнивания) и вычисления координат Гаусса пунктов сети необходимо будет:

а) редуцировать длины базисных сторон по формуле (50) или (51) для 2 класса триангуляции;

б) вычислить плоские дирекционные углы базисных сторон по формуле

$$\alpha = A + \gamma - \delta.$$

Выполним редуцирование на плоскость в проекции Гаусса — Крюгера сети треугольников триангуляции 2 класса, приведенной в главе VII «Предварительные вычисления в триангуляции».

Из решения прямой задачи (табл. 90, а) плоские прямоугольные координаты пункта Храброво $x = 6\,072\,978,32$; $y = -75\,834,19$ и сближение меридианов $\gamma = -0^\circ57'45,80''$.

2. Приближенный дирекционный угол базисной стороны Храброво — Сокольники $\alpha' = A - \gamma = 135^\circ35'27'' + 0^\circ57'46'' = 136^\circ33'13''$.

3. Вычисление приближенных координат определяемых пунктов даны в таблицах 92, а, б.

4. Поправки δ можно вычислить как по логарифмической, так и нелогарифмической схемам. В последнем случае координаты

Таблица исходных данных

Название пунктов	Класс	L_0	Геодезические координаты		Геодезический азимут	$\lg S$
			B	L		
Храброво Сокольники Бугайлово Захарьино	1	45°	54°46'31,674"	43°49'17,564"	135°35'26,58"	4.3399489
	2				8°59'01,82"	3.9946040

Примечание. Длина базисной стороны Бугайлово — Захарьино и ее направление даны редуцированными на плоскость.

пунктов выражены в километрах. Значение $1/3 f$ выбирается из таблиц (см. прил. 2) по $B=55^\circ$. В табл. 93 поправки δ вычислены по логарифмической схеме, а проконтролированы по нелогарифмической. При вычислении величин KB и KA отделять 9 десятичных знаков.

5. Контроль вычисления поправок редуций направлений удобно выполнять на схеме сети (рис. 159). Пояснения к схеме:

Вычисление приближенных координат
Логарифмическая

Порядок действий	Исходные 1.	Храброво	Храброво	Сокольники	Елья	Сокольники
	Определяемые 2.	Сокольники	Елья		Занино	
1	$\alpha_{\text{исход}}$	136°33'13"	136°33'13"	316°33'13"	175°25'54"	355°25'54"
2	Угол	0	57 42 54	38 52 41	74 17 49	46 39 03
3	$\alpha_{\text{опред}}$	136 33 13	78 50 19	355 25 54	101 08 05	42 04 57
4	Контрольный угол		83°24'25"		59°03'08"	
16	$x_{\text{ср}}$		6 075 654		6 072 606	
14	$x_{\text{опр}}$	6 057 096	6 075 654	6 075 653	6 072 606	6 072 605
5	$x_{\text{исх}}$	6 072 978	6 072 978	6 057 096	6 075 654	6 057 096
12	Δx	— 15 882	+ 2676	+ 18 557	— 3048	+ 15 509
10	$\lg \Delta x$	4,20089 n	3,42742	4,26851	3,48406 n	4,19057
8	$\lg \cos \alpha_{1, 2}$	9,86094 n	9,28686	9,99862	9,28583 n	9,87050
7	$\lg S_{1, 2}$	4,33995	4,14056	4,26989	4,19823	4,32007
9	$\lg \sin \alpha_{1, 2}$	9,83738	9,99170	8,90118 n	9,99175	9,82622
11	$\lg \Delta Y$	4,17733	4,13226	3,17107 n	4,18998	4,14629
13	ΔY_1	+ 15 043	+ 13 560	— 1483	+ 15 488	+ 14 005
6	$y_{\text{исх}}$	— 75 834	— 75 834	— 60 791	— 62 274	— 60 791
15	$y_{\text{опр}}$	— 60 791	— 62 274	— 62 274	— 46 786	— 46 786
17	$y_{\text{ср}}$		— 62 274		— 46 786	

Вычислял: А. В. Петров

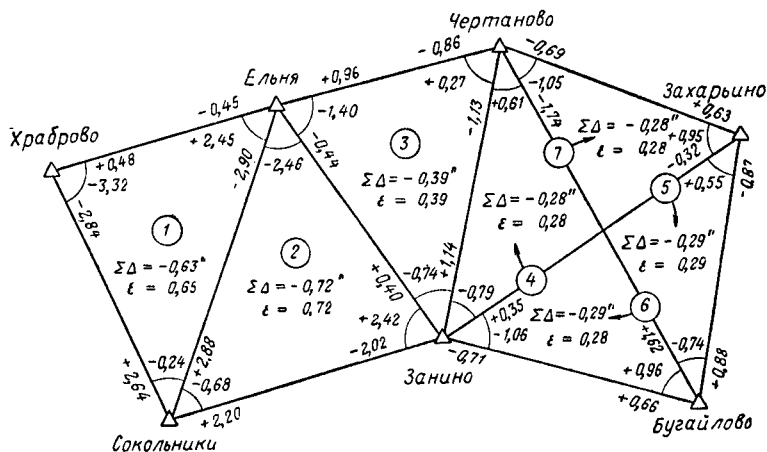


Рис. 159

а) по сторонам треугольников выписываются вычисленные поправки направлений δ ;

Таблица 92, 6

определяемых пунктов
схема

Ельня	Занино	Чертаново	Занино	Чертаново	Бугайлово
Чертаново		Бугайлово		Захарьино	
101°08'05"	281°08'05"	188°19'07"	8°19'07"	150°55'43"	330°55'43"
32 41 55	87 11 02	37 23 24	113 37 03	29 22 44	38 03 19
68 26 10	8 19 07	150 55 43	121 56 10	121 32 59	8 59 02
60°07'03"		28°59'33"		112°33'57"	
6 082 336		6 066 087		6 075 843	
6 082 337	6 082 336	6 066 086	6 066 088	6 075 843	6 075 843
6 075 654	6 072 606	6 082 336	6 072 606	6 082 336	6 066 087
+ 6683	+ 9730	— 16 250	— 6518	— 6493	+ 9756
3,82497	3,98813	4,21084 <i>n</i>	3,81409 <i>n</i>	3,81248 <i>n</i>	3,98927
9,56530	9,99537	9,94152 <i>n</i>	9,72343 <i>n</i>	9,71870 <i>n</i>	9,99464
4,25967	3,99276	4,26932	4,09066	4,09378	3,99463
9,96849	9,16039	9,68653	9,92873	9,93053	9,19356
4,22816	3,15315	3,95585	4,01939	4,02431	3,18819
+ 16 911	+ 1423	+ 9033	+ 10 456	+ 10 576	+ 1542
— 62 274	— 46786	— 45 363	— 46 786	— 45 363	— 36 330
— 45 363	— 45363	— 36 330	— 36 330	— 34 787	— 34 788
— 45 363		— 36 330		— 34 788	

20 июня 1974 г.

Вычисление поправок δ в направления за кривизну изображения геодезических линий на плоскости
в проекции Гаусса — Крюгера

Порядок действий	Обозначения	1. Храброво		Храброво	Соколыньки		Соколыньки		Елья	Елья	Елья
		2. Соколыньки		Елья	Елья		Занино		Черганово	Занино	
1	x_1	6 072 978	6 072 978	6 072 978	6 057 096	6 057 096	6 057 096	6 057 096	6 075 654	6 075 654	6 075 654
3	x_2	6 057 096	6 057 096	6 075 654	6 075 654	6 075 654	6 072 606	6 072 606	6 082 336	6 082 336	6 072 606
5	$x_1 - x_2$	+ 15 882	— 2676	— 2676	— 18 558	— 18 558	— 15 510	— 15 510	— 6682	— 6682	+ 3048
2	y_1	— 75 834	— 75 834	— 75 834	— 60 791	— 60 791	— 60 791	— 60 791	— 62 274	— 62 274	— 62 274
4	y_2	— 60 791	— 62 274	— 62 274	— 183 856	— 183 856	— 168 368	— 168 368	— 45 363	— 45 363	— 46 786
6	$2y_1 + y_2$	— 212 459	— 213 942	— 213 942	— 183 856	— 183 856	— 154 363	— 154 363	— 169 911	— 169 911	— 171 334
7	$y_1 + 2y_2$	— 197 416	— 200 392	— 200 392	— 183 856	— 183 856	— 154 363	— 154 363	153 000	153 000	— 155 864
14	$\delta_{1,2}$	— 2,84"	+ 0,48"	+ 0,48"	+ 2,88"	+ 2,88"	+ 2,20"	+ 2,20"	0,96"	0,96"	— 0,44"
12	$\lg \delta_{1,2}$	0,45405 n	9,68366	9,68366	0,45889	0,45889	0,34275	0,34275	9,98101	9,98101	9,64373 n
10	$\lg (2y_1 + y_2)$	5,32727 n	5,33029 n	5,33029 n	5,26448 n	5,26448 n	5,22626 n	5,22626 n	5,23022 n	5,23022 n	5,23384 n
9	$\lg (x_1 - x_2)$	4,20090	3,42749 n	3,42749 n	4,26853 n	4,26853 n	4,19061 n	4,19061 n	3,82491 n	3,82491 n	3,48401
8	$\lg \frac{1}{\delta}$	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588
11	$\lg (y_1 + 2y_2)$	5,29539 n	5,30188 n	5,30188 n	5,26797 n	5,26797 n	5,18855 n	5,18855 n	5,18469 n	5,18469 n	5,19270 n
13	$\lg (-\delta_{2,1})$	0,42217 n	9,65525	9,65525	0,46238	0,46238	0,30504	0,30504	9,93548	9,93548	9,60259 n
15	$-\delta_{2,1}$	+ 2,64"	— 0,45"	— 0,45"	— 2,90"	— 2,90"	— 2,02"	— 2,02"	— 0,86"	— 0,86"	+ 0,40"
Контроль											

$\frac{1}{\delta} = 0,000843$ на км ²	$K = \frac{1}{\delta} (x_1 - x_2); A = (2y_1 + y_2); B = (y_1 + 2y_2); \delta_{1,2} = KA; \delta_{2,1} = -KB$
K	— 0,01339
$\delta_{1,2}$	— 2,84
$-\delta_{2,1}$	+ 2,64
	— 0,02259
	+ 0,48
	— 0,45
	— 0,01565
	+ 2,88
	— 2,90
	— 0,01307
	+ 2,20
	— 2,02
	— 0,00563
	+ 0,96
	— 0,86
	+ 0,00257
	— 0,44
	+ 0,40

 $1/\delta^2 = 0,000843 \text{ на км}^2$

$$K = 1/\delta^2 (x_1 - x_2); A = (2y_1 + y_2); B = (y_1 + 2y_2); \delta_{1,2} = KA; \delta_{2,1} = -KB$$

K	+0,01339	— 0,02259	— 0,01565	— 0,00563	+ 0,00257
$\delta_{1,2}$	— 2,84	+ 0,48	+ 2,88	+ 0,96	— 0,44
— $\delta_{2,1}$	+ 2,64	— 0,45	— 2,90	— 0,86	+ 0,40

Порядок действий	Обозначения	Занино		Занино		Занино		Черганово		Черганово		Бугайлово	
		Черганово		Захарьино		Бугайлово		Захарьино		Бугайлово		Захарьино	
1	x_1	6 072 606	6 072 606	6 072 606	6 072 606	6 072 606	6 072 606	6 082 336	6 082 336	6 082 336	6 082 336	6 066 087	6 066 087
3	x_2	6 082 336	6 075 843	6 075 843	6 066 087	6 066 087	6 066 087	6 075 843	6 075 843	6 066 087	6 066 087	6 075 843	6 075 843
5	$x_1 - x_2$	- 9730	- 3237	- 3237	+ 6519	+ 6519	+ 6519	+ 6493	+ 6493	+ 16 249	+ 16 249	- 9756	- 9756
2	y_1	- 46 786	- 46 786	- 46 786	- 46 786	- 46 786	- 46 786	- 45 363	- 45 363	- 45 363	- 45 363	- 36 330	- 36 330
4	y_2	- 45 363	- 34 788	- 34 788	- 36 330	- 36 330	- 36 330	- 34 788	- 34 788	- 36 330	- 36 330	- 34 788	- 34 788
6	$2y_1 + y_2$	- 138 935	- 128 360	- 128 360	- 129 902	- 129 902	- 129 902	- 125 514	- 125 514	- 127 056	- 127 056	- 107 448	- 107 448
7	$y_1 + 2y_2$	- 137 512	- 116 362	- 116 362	- 119 446	- 119 446	- 119 446	- 114 939	- 114 939	- 118 023	- 118 023	- 105 906	- 105 906
14	$\delta_{1,2}$	+ 1,14"	+ 0,35"	+ 0,35"	- 0,71"	- 0,71"	- 0,71"	- 0,69"	- 0,69"	- 1,74"	- 1,74"	+ 0,88"	+ 0,88"
12	$\lg \delta_{1,2}$	0,05680	9,54445	9,54445	9,85363 n	9,85363 n	9,85363 n	9,83702 n	9,83702 n	0,24070 n	0,24070 n	9,94635	9,94635
10	$\lg (2y_1 + y_2)$	5,14281 n	5,10843 n	5,10843 n	5,11362 n	5,11362 n	5,11362 n	5,09869 n	5,09869 n	5,10400 n	5,10400 n	5,03120 n	5,03120 n
9	$\lg (x_1 - x_2)$	3,93811 n	3,51014 n	3,51014 n	3,81418	3,81418	3,81418	3,81245	3,81245	4,21082	4,21082	3,98927 n	3,98927 n
8	$\lg 1/3f$	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588	0,92588
11	$\lg (y_1 + 2y_2)$	5,13834 n	5,06581 n	5,06581 n	5,07717 n	5,07717 n	5,07717 n	5,06047 n	5,06047 n	5,07197 n	5,07197 n	5,02492 n	5,02492 n
13	$\lg (-\delta_{2,1})$	0,05233	9,50183	9,50183	9,81723 n	9,81723 n	9,81723 n	9,79880 n	9,79880 n	0,20867 n	0,20867 n	9,94007 n	9,94007 n
15	$-\delta_{2,1}$ Контроль	- 1,13"	- 0,32"	- 0,32"	+ 0,66"	+ 0,66"	+ 0,66"	+ 0,63"	+ 0,63"	+ 1,62"	+ 1,62"	- 0,87"	- 0,87"

 $1/3f = 0,000843$ на км²

$$K = 1/3f (x_1 - x_2); A = (2y_1 + y_2); B = (y_1 + 2y_2); \delta_{1,2} = KA; \delta_{2,1} = -KB$$

K	- 0,00820	- 0,00273	+ 0,00550	+ 0,01370	- 0,00823
$\delta_{1,2}$	+ 1,14	+ 0,35	- 0,71	- 1,74	+ 0,88
$-\delta_{2,1}$	- 1,13	- 0,32	+ 0,61	+ 1,62	- 0,87

Вычислял: А. В. Петров

21 июня 1974 г.

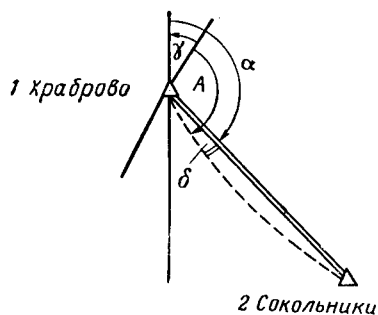


Рис. 160

б) вычисленные поправки в угол как разности поправок направлений записываются внутри углов. Так, например, поправка в угол п. Храброво будет $-2,84-0,48 = -3,32$;

в) в середине треугольника записывается сумма поправок в углы этого треугольника, которая должна равняться величине сферического избытка, взятого с обратным знаком. Допуск $\pm 0,02''$.

6. Заключительным этапом редуцирования направлений является составление сводки, приведенной в табл. 94.

Таблица 94
Сводка направлений, приведенных к центрам знаков и редуцированных на плоскость

№ п/п	Название пунктов	Название направлений	Направления, привязанные к центрам знаков	δ	δ_0	Направления, редуцированные на плоскость
1	Храброво	3. Ельня	0°00'00,00"	+0,48"	0,00	0°00'00,00"
		2. Сокольники	57 42 53,70	-2,84	-3,32	57 42 50,38
2	Сокольники	1. Храброво	0 00 00,00	+2,64	0,00	0 00 00,00
		3. Ельня	38 52 41,47	+2,88	+0,24	38 52 41,71
		4. Занино	85 31 44,16	+2,20	-0,44	85 31 43,72
3	Ельня	5. Чертаново	0 00 00,00	+0,96	0,00	0 00 00,00
		4. Занино	32 41 55,21	-0,44	-1,40	32 41 53,81
		2. Сокольники	106 59 44,24	-2,90	-3,86	106 59 40,38
4	Занино	1. Храброво	190 24 09,58	-0,45	-1,41	190 24 08,17
		2. Сокольники	0 00 00,00	-2,02	0,00	0 00 00,00
		3. Ельня	59 03 05,63	+0,40	+2,42	59 03 08,05
		5. Чертаново	146 14 07,46	+1,14	+3,16	146 14 10,62
		7. Захарьино	212 48 56,12	+0,35	+2,37	212 48 58,49
5	Чертаново	6. Бугайлово	259 51 10,63	-0,71	+1,31	259 51 11,94
		7. Захарьино	0 00 00,00	-0,69	0,00	0 00 00,00
		6. Бугайлово	29 22 43,63	-1,74	-1,05	29 22 42,58
		4. Занино	66 46 07,18	-1,13	-0,44	66 46 06,74
6	Бугайлово	3. Ельня	126 53 12,89	-0,86	-0,17	126 53 12,72
		4. Занино	0 00 00,00	+0,66	0,00	0 00 00,00
		5. Чертаново	28 59 32,18	+1,62	+0,96	28 59 33,14
7	Захарьино	7. Захарьино	67 02 50,79	+0,88	+0,22	67 02 51,01
		6. Бугайлово	0 00 00,00	-0,87	0,00	0 00 00,00
		4. Занино	65 54 55,87	-0,32	+0,55	65 54 56,42
		5. Чертаново	112 33 59,27	+0,63	+1,50	112 34 00,77

Вычислял: А. В. Петров

22 июня 1974 г.

Редуцирование длины базисной стороны

Обозначения	Вычисления	Примечание
y_2 y_1	—60,791 —75,834	В километрах По $x_m = \frac{x_1 + x_2}{2} = 6065$ м Табл. III по $B_m = 54^\circ 35'$ Табл. IV по $y_2 - y_1 = 15,04$
$y_2 - y_1$	+15,043	
y_m	—68,312	
B_m	$54^\circ 35'$	
f'	0,532597	
y_m^2	4667	
Π_s	+19	250 единиц в 7-м знаке логарифма
σ_s $f'\sigma_s$	4686 2496	

$$\lg S_{1,2} = 4.3399489$$

$$\frac{f'\sigma_s}{S} = 250$$

$$\lg d_{1,2} = 4.3399739$$

Вычисление координат п. Сокольники

$$\alpha_{1,2} = 136^\circ 33' 09,54''$$

$\lg \Delta x$	4.2009145	x_1	6 072 978,32	$y_1 - 75\,834,19$
$\lg \cos \alpha_{1,2}$	9.8609406	Δx	—15 882,34	$\Delta y + 15\,044,07$
$\lg d_{1,2}$	4.3399739			
$\lg \sin \alpha_{1,2}$	9.8373913	x_2	6 057 095,98	$y_2 - 60\,790,12$
$\lg \Delta y$	4.1773652		Преобразованное	$y_2 = 8\,439\,209,88$

Редуцирование геодезических азимутов и длин базисных сторон. Азимут направления 1. Храбро-во — 2. Сокольники.

Геометрическое решение (рис. 160).

Данные:

$$A_{1,2} = 135^\circ 35' 26,58'';$$

$$\gamma_1 = -0^\circ 57' 45,80'';$$

$$\delta_{1,2} = -2,84'';$$

$$\alpha_{1,2} = A_{1,2} + \gamma_1 - \delta_{1,2} = 135^\circ 35' 26,58'' + 0^\circ 57' 45,80'' - 2,84'' = 136^\circ 33' 09,54''.$$

Алгебраическое решение.

$$\alpha_{1.2} = A_{1.2} - \gamma_1 + \delta_{1.2} = 135^\circ 35' 26,58'' - (-0^\circ 57' 45,80'') + \\ + (-2,84'') = 136^\circ 33' 09,54''.$$

Сторона 1. Храброво — 2. Сокольники.

Решение приводится в табл. 95. При вычислении пользуются таблицами для вычисления плоских конформных координат [27].

§ 84. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ИЗ ОДНОЙ КООРДИНАТНОЙ ЗОНЫ В ДРУГУЮ

Каждая координатная зона представляет самостоятельную систему координат со своим началом. Вполне понятно, что при выполнении геодезических работ на стыке двух соседних зон неизбежно возникает необходимость вычисления координат всех пунктов от одного начала. Задача преобразования координат состоит в том, чтобы по координатам пункта x_1 и y_1 , отнесенным к осевому меридиану одной зоны, определить координаты x_2 и y_2 этого же пункта, только относительно осевого меридиана смежной зоны.

Такую задачу приходится решать в случаях, когда:

1) уравнивают сети триангуляции или полигонометрии, пункты которых расположены в двух смежных зонах;

2) геодезические работы выполняются вблизи границы двух 6-градусных зон и вследствие заметных искажений длин встает необходимость перейти от 6-градусной зоны к 3-градусной, если осевым меридианом последней служит раздельный меридиан 6-градусной зоны;

3) наконец, для пунктов триангуляции, расположенных в полосе перекрытия, которые должны иметь координаты, отнесенные к началам обеих смежных зон.

Обычно преобразование координат производится по специальным таблицам, позволяющим перевычислять координаты с различной точностью от 0,001 до 2 м.

Рассмотрим таблицы А. И. Вировца и Б. Н. Рабиновича для преобразования прямоугольных координат [5]. Преобразование координат производится по формулам

$$x_2 = x_0 + (a + b\Delta y \cdot 10^{-10}) \Delta y + c; \\ y_2 = \Delta y + (a_1 + b_1\Delta y \cdot 10^{-10}) \Delta y + c_1; \\ \Delta y = y_1 - y_0.$$

Величины x_0 , y_0 , a , b , a_1 и b_1 выбираются из табл. I [5] по аргументу x_1 . При вычислении на арифмометре, интерполируя для промежуточных значений величин x_0 , y_0 , a , на рычажки арифмометра устанавливают дробную часть — остаток от целых километров x_1 и умножают последовательно на табличные разности Δ .

Коэффициенты a_1 , b и b_1 изменяются медленно, поэтому их интерполируют в уме. При вычислении выражений

$$(a + b\Delta y \cdot 10^{-10}) \Delta y \text{ и}$$

$$(a_1 + b_1\Delta y \cdot 10^{-10}) \Delta y$$

величину Δy достаточно взять с округлением до 0,1 м. Коэффициенты c и c_1 выбираются из таблиц II и III по аргументам x_1 и Δy . Поправка c получает знак, обратный Δy , поправка c_1 сохраняет табличный знак.

Приведем пример преобразования координат с использованием таблиц. Дан пункт P ($x_1=6123716,82$; $y_1=8283453,65$), который лежит в восточной 6-градусной зоне. Перевести координаты пункта P в западную 6-градусную зону. Такое преобразование производится в два этапа:

I этап — переход из 6-градусной зоны в 3-градусную,

II этап — переход из 3-градусной в смежную 6-градусную зону.

Таблица 96

Переход из восточной зоны в западную

Порядок действий	Обозначения	Вычисления		Примечание
		I этап	II этап	
1	x_1	6123716,82	6118511,38	Отделить 9 знаков
2	y_1	+216546,35	+25511,04	
3	y_0	190998,75	19122,70	
7	Δy	+25547,60	—165711,66	
12	$(a_1 + b_1\Delta y \cdot 10^{-10}) \Delta y$	—36,56	+162,99	
14	c_1	0,00	+0,05	Отделить 6 знаков
16	y_2	+25547,60	—165548,62	
4	x_0	6119609,24	6114401,32	
13	$(a + b\Delta y \cdot 10^{-10}) \Delta y$	—1097,86	+7120,28	
15	c	0,00	+0,81	
17	x_2	6118511,38	6121522,41	
5	a	—0,04297570	—0,04295130	
8	$b\Delta y \cdot 10^{-10}$	+256	—1660	
10	$a + b\Delta y \cdot 10^{-10}$	—0,4297314	—0,04296790	
6	a_1	—0,00137144	—0,00137145	
9	$b_1\Delta y \cdot 10^{-10}$	—5973	+38790	
11	$a_1 + b_1\Delta y \cdot 10^{-10}$	—0,00143117	—0,00098355	

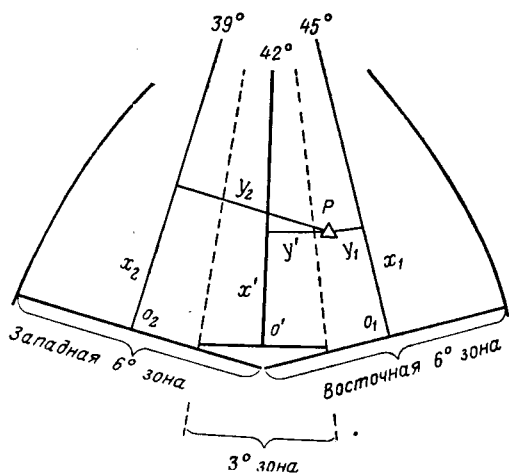


Рис. 161

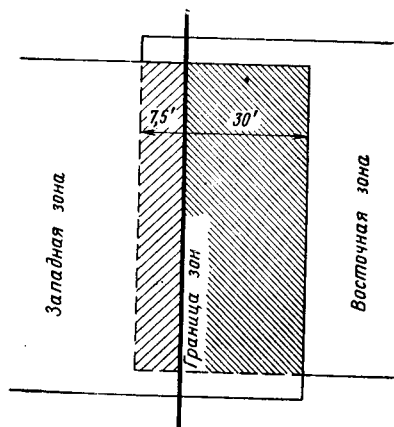


Рис. 162

В нашем примере осевым меридианом западной зоны будет меридиан 39° (рис. 161).

В первом этапе из западной 6-градусной зоны координаты (x_1, y_1) пере-вычисляются в 3-градусную зону относительно осевого меридиана 42° . Во втором этапе полученные координаты (x', y') из 3-градусной зоны преобразуются в западную 6-градусную зону относительно осевого меридиана 39° (x_2, y_2) .

Для решения задачи берется действительное значение ординаты. Надо помнить, что при переходе из восточной зоны в западную ордината вводится в задачу с обратным знаком, а вычисленному значению y_2 приписывают обратный знак. Действительное $y_1 = -216\,546,35$. Решение на преобразование координат из восточной зоны в западную придется в табл. 96.

Относительно осевого меридиана западной зоны координаты пункта P будут: $x_2 = 6\,121\,522,41$; $y_2 = +165\,548,62$.

Для контроля решим обратную задачу (табл. 97).

Получим те же координаты восточной зоны:

$x_1 = 6123716,83$; $y_1 = -216546,36$ (8233453,64).

Чтобы облегчить использование координат на стыке зон, установлена так называемая зона перекрытий, в пределах которой каждый опорный пункт имеет координаты в двух системах: в системе зоны, где пункт расположен, и в системе соседней перекрывающейся зоны.

Каждая координатная зона перекрывает соседнюю восточную меридианной полосой в $30'$, а соседнюю западную — в $7,5'$. Таким образом, общая ширина полосы взаимного перекрытия соседних зон $37,5'$ по долготе, причем западная зона перекрывает восточную на $30'$, а восточная западную на $7,5'$ (рис. 162).

Переход из западной зоны в восточную

Порядок действий	Обозначения	Вычисления		Примечание
		I этап	II этап	
1	x_2	6121522,41	6118511,38	
2	y_2	+165548,62	—25511,38	
3	y_0	191093,18	191222,70	
7	Δy	—25544,56	—216733,75	
12	$(a_1 + b_1 \Delta y \cdot 10^{-10}) \Delta y$	+33,51	+187,28	
14	c_1	0,00	+0,11	
16	y_1	—25511,05	—216546,36	
4	x_0	6117413,78	6114401,32	
13	$(a + b \Delta y \cdot 10^{-10}) \Delta y$	+1097,60	+9313,71	
15	c	0,00	+1,80	
17	x_1	6118511,38	6123716,83	
5	a	—0,04296542	—0,04295130	
8	$b \Delta y \cdot 10^{-10}$	—256	—2172	
10	$a + b \Delta y \cdot 10^{-10}$	—0,04296798	—0,04297302	
6	a_1	—0,00137145	—0,00137145	
9	$b_1 \Delta y \cdot 10^{-10}$	+5975	+50733	
11	$a + b_1 \Delta y \cdot 10^{-10}$	—0,00131170	—0,00086412	

ПОНЯТИЕ О РЕШЕНИИ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ЭЛЛИПСОИДЕ

§ 85. РЕШЕНИЕ ТРЕУГОЛЬНИКОВ

Полосу поверхности земного сфероида шириной 200 км (приблизительно 2° по широте) можно принять за часть поверхности шара с радиусом, равным среднему радиусу кривизны R средней параллели полосы. Так как стороны триангуляции в большинстве случаев короче 60 км, то сфероидальные треугольники можно считать сферическими с углами, равными измеренным на местности, и решать эти треугольники по формулам сферической тригонометрии. Можно эту задачу еще упростить и решать треугольники как плоские по формулам линейной тригонометрии, применив теорему Лежандра. Из теоремы Лежандра следует, что малый сферический треугольник можно решать как плоский, стороны которого соответственно равны сторонам сферического треугольника, а углы равны измеренным, уменьшенным каждый на $\frac{1}{3}$ сферического избытка этого треугольника.

Пусть измерены углы A, B, C треугольника ABC триангуляции, ϵ — сферический избыток. Тогда плоские углы треугольника, согласно теореме Лежандра, соответственно будут

$$A_1 = A - \frac{1}{3} \epsilon; B_1 = B - \frac{1}{3} \epsilon; C_1 = C - \frac{1}{3} \epsilon. \quad (54)$$

Сферический избыток вычисляется по формуле (22) главы VIII. Пример решения треугольника триангуляции I класса приводится в табл. 98 (рис. 163).

Дано: $\lg S_{AB} = 4,3399489$
 $\epsilon = 1,12''$

Сферические углы уравни.

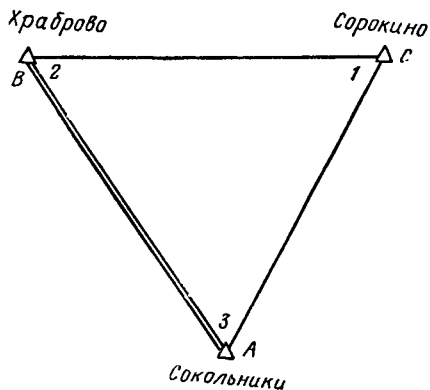


Рис. 163

§ 86. РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ЭЛЛИПСОИДЕ

Сущность прямой геодезической задачи заключается в том, чтобы по геодезическим координатам точки I , длине линии на сфероне и ее геодезическому азимуту вычислить

№ углов	Название вершин	Уравненные углы			Логарифмы синусов углов	Логарифмы противолежащих сторон
		Сферические	$1/3\epsilon$	Плоские		
1	C	56°21'13,41"	—0,373"	56°21'13,037"	9.9203702	4.3399469
2	B	64 21 00,47	—0,373	64 21 00,097	9.9549443	4.3745230
3	A	59 17 47,24	—0,374	59 17 46,866	9.9344074	4.3539861
	Σ	180°00'01,12"	+1,120	180°00'00,000"		

геодезические координаты точки 2 и обратный геодезический азимут линии 1—2.

Дано: для точки 1: $B_1, L_1, S_{1,2}, A_{1,2}$.

Определить для точки 2: $B_2, L_2, A_{2,1}$.

В геодезической практике решение прямой геодезической задачи применяется в рядах триангуляции 1 класса, при этом различают случаи, когда данная и определяемая точки удалены одна от другой на длину стороны треугольника 30—40 км и на длину звена триангуляции, т. е. на 200—250 км.

Сущность обратной геодезической задачи заключается в вычислении длины линии, прямого и обратного азимутов ее по геодезическим координатам концов линии.

Прямая и обратная геодезические задачи на сфероиде называются главными геодезическими задачами.

Одним из методов определения положения пункта прямой геодезической задачи является способ вспомогательного треугольника. Имеем точку 1 с координатами B_1, L_1 (рис. 164). Определяемая точка 2 отстоит от точки 1 на расстоянии $S_{1,2}$, азимут линии 1—2 равен $A_{1,2}$.

На меридиане точки 1, $R1$ выберем вспомогательную точку C таким образом, чтобы нормальное сечение, проведенное через точку 2, образовывало в точке C прямой угол. Проведем параллель точки $C—CD$. Она пересечет меридиан точки 2— $P2$ в точке D . Через точку 2 проведем меридиан $P'2$ параллельный $P1$, тогда угол $P2P'$ будет сближением меридианов t . Из рис. 164 и 165 следует, что

$$B_2 = B_1 + b_0 - d;$$

$$L_2 = L_1 + t;$$

$$A_{2,1} = A_{1,2} \pm 180^\circ + t - \epsilon,$$

где b_0 — разность широт точек вспомогательной C и исходной 1; d — разность широт

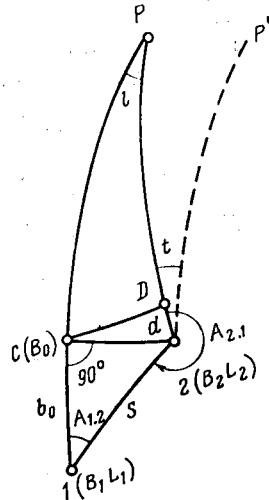


Рис. 164

точек C и определяемой 2; l — разность долгот точек 1, 2; t — сближение меридианов; ε — сферический избыток вспомогательного треугольника $1C2$.

Полные формулы для вычисления этих величин имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} u &= S \cos A_{1.2}; \quad v = S \sin A_{1.2} \\ \beta'' &= (1)_1 u''; \quad \gamma'' = (2)_0 v \\ \lg b_0 &= \lg \beta'' - (4)_1 u + (5)_1 v^2 + (6)_1 u^2 \\ \lg c'' &= \lg \gamma'' - \frac{1}{2} (5)_1 u^2; \quad B_0 = B_1 + b_0 \\ \lambda'' &= c \sec B_0; \quad \tau'' = c'' \operatorname{tg} B_0 \\ \lg l'' &= \lg \lambda'' - 2v\tau^2 + (9)_0 \lambda^4; \quad L_2 = L_1 + l \\ \lg l'' &= \lg \tau'' - v\tau^2 - v\lambda^2 + (7)_0 \lambda^2 \\ A_{2.1} &= A_{1.2} \pm 180^\circ + t - \varepsilon \\ \lg d &= \lg \delta - v\tau^2 - \frac{1}{2} v\lambda^2 + (8)_0 \lambda^2; \quad B_2 = B_0 - d \\ \delta &= (3)_0 c \tau \varepsilon'' = \frac{bc}{2\rho''}; \quad v = \frac{10^8 \mu}{6\rho''} \end{aligned} \right\} \quad (55)$$

Полные формулы (55) применяются при длинах геодезических линий, больших 30 км, для широт, не превышающих 70° .

Для вычислений нужно применять 8-значные таблицы логарифмов чисел и натуральных тригонометрических функций; широты и долготы вычисляются до $0,0001''$, азимуты до $0,001''$. При расстояниях до 30 км для решения прямой геодезической задачи применяются упрощенные формулы Шрейбера, вычисления в этом случае производятся 7-значными таблицами логарифмов по схеме, приведенной в табл. 99. Рассмотрим формулы и порядок вычислений.

1. Вычисляют широту вспомогательной точки C — B_0 :

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= B_1 + b_0; \quad \lg b_0 = \lg \beta'' - (4)_1 u + (5)_1 v^2 \\ \beta'' &= (1)_1 u; \quad u = S \cos A_{1.2}; \quad v = S \sin A_{1.2} \\ (1)_1 &= \frac{\rho''}{M_1}; \quad (4)_1 = \frac{3 \cdot 10^8 \mu}{4N_1} l \sin 2B_1; \quad (5)_1 = \frac{10^8 \mu}{3M_1 N_1} \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

Логарифмы величин (1), (4), (5) выбираются из «Таблиц для вычисления геодезических координат» [2] по широте B_1 .

2. Вычисляют широту B_2 и долготу L_2 точки 2.

$$\left. \begin{aligned} B_2 &= B_0 - d; \quad L_2 = L_1 + l; \quad \delta'' = (3)_0 c'' \tau'' \\ \lg d &= \lg \delta'' - v\tau^2 - \frac{1}{2} v\lambda^2; \quad \tau'' = c \operatorname{tg} B_0 \\ \lg l &= \lg \lambda'' - 2v\tau^2; \quad \lambda'' = c'' \sec B_0 \\ \lg c'' &= \lg \gamma'' - \frac{1}{2} (5)_1 u^2; \quad \gamma'' = (2)_0 v \end{aligned} \right\} \quad (57)$$

где $(2)_0 = \frac{\rho''}{N_0}$; $(3)_0 = \frac{1}{2\rho''} \cdot \frac{N_0}{M_0}$; $v = \frac{10^8 \mu}{6\rho''}$.

Логарифмы величин $(2)_0$, $(3)_0$ выбирают из «Таблиц для вычисления геодезических координат» по аргументу B_0 , логарифмические поправки νx^2 , $(\nu \tau^2, \nu \lambda^2)$ приведены там же в табл. II и выбираются соответственно по аргументам $\lg \tau$, $\lg \lambda$. Поправки вычислены в единицах 8-го знака логарифма, при введении их нужно уменьшать в 10 раз.

3. Вычисляют азимут линии 2—1 $A_{2.1}$. Из рис. 165 следует:

$$A_{2.1} = A_{1.2} \pm 180^\circ + t_1 - \epsilon, \quad (58)$$

где

$$\lg t = \lg \tau - \nu \lambda^2 - \nu \tau^2; \quad \epsilon'' = \frac{b_0 c}{2 \rho^2}.$$

Для решения обратной геодезической задачи на расстоянии до 30 км удобно применять формулы Гаусса со средними аргументами:

$$b = B_2 - B_1; \quad l = L_2 - L_1; \quad B_m = \frac{1}{4} (B_2 + B_1), \quad (59)$$

$$\lg a = \lg l \sin B_m + \Delta \lg a, \quad (60)$$

$$\left. \begin{aligned} \lg P &= \lg S \sin A_m = \lg \frac{l \cos B_m}{(2)_m} + \Delta \lg l \\ \lg Q &= \lg S \cos A_m = \lg \frac{b}{(1)_m} + \Delta \lg b \end{aligned} \right\}, \quad (61)$$

$$\left. \begin{aligned} \lg \lg A_m &= \lg P - \lg Q \\ A_{1.2} &= A_m - \frac{1}{2} a; \quad A_{2.1} = A_m + \frac{1}{2} a + 180^\circ \end{aligned} \right\}, \quad (62)$$

$$\lg S = \lg P - \lg \sin A_m = \lg Q - \lg \cos A_m, \quad (63)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta \lg a &= + \frac{3}{4} \nu b^2 + \frac{1}{4} \nu (l^2 \cos^2 B_m) \\ \Delta \lg b &= \Delta \lg (S \cos A_m) = - \frac{1}{4} \nu l^2 - \frac{1}{4} \nu (l^2 \sin^2 B_m) \\ \Delta \lg l &= \Delta \lg (S \sin A_m) = + \frac{1}{4} \nu b^2 - \frac{1}{4} \nu (l^2 \sin^2 B_m) \end{aligned} \right\}. \quad (64)$$

Последовательность решения обратной задачи.

1. По данным координатам концов линии (B_1, L_1) (B_2, L_2) вычисляем b , l , B_m [по формулам (59)].

2. Вычисляем значения $\lg P$ и $\lg Q$ [формула (61)], где поправочные члены $\Delta \lg l$ и $\Delta \lg b$ вычисляются по формулам (64), пользуясь величинами, выбранными из таблиц νx^2 по аргументам: $\lg l \sin B_m$, $\lg b$, $\lg l$, $\Delta \lg l$, $\Delta \lg b$ в единицах 8-го знака логарифма, при учете их нужно уменьшать в 10 раз.

3. Вычисляем $\lg \lg A_m$ [формулы (62)] и затем A_m . По знаку P и O определяем четверть, в которой располагается линия [см. пример (табл. 100)].

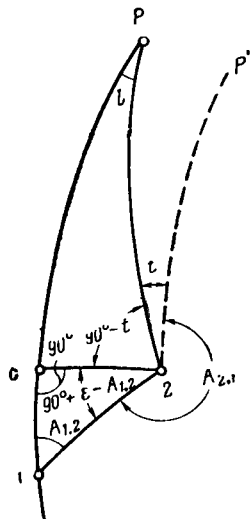


Рис. 165

1. Решение прямых геодезических задач на сфере
(способ вспомогательной точки; формулы Шрейбера)

Последовательность вычислений	Элементы формул	1. Название исходного пункта 2. Название определяемого пункта				Примечание		
		1. Храброво 2. Сокольников		1. Храброво 2. Сорокино			1. Сокольников 2. Сорокино	
3	$A_{1,2}$ исходн.	135°35'26,580"		135°35'26,580"		315°47'03,110"		Выписывают до 0,001", табл. 98
4	Сферический угол треугольника	—		—64 21 00,470		+59 17 47,240		
6	$A_{1,2}$	135 35 26,580		71 14 26,110		15 04 50,350		
56	$+t_1$	+11 35,925		+16 20,015		+4 42,321		
57	$-\varepsilon$	—0,605		+0,382		+0,337		
58	$A_{1,2} \pm 180$	315 35 26,580		251 14 26,110		195 04 50,350		
59	$t_1 - \varepsilon$	+11 36,530		—16 19,632		+4 41,984		
60	$A_{2,1}$	315 47 03,110		251 30 45,742		195 09 32,334		
Контроль	Разность азимутов	56°21'13,408"						
	Сферический угол треугольника	56°21'13,41"						

1	B_1	54°46'31,6740"	54°46'31,6740"	54°38'05,4838"	Выписывают до 0,0001"
26	b_0	— 8 25,3541	+ 3 54,9736	+ 12 19,6560	
27	$B_0 = B_1 + b_0$	54 38 06,3199	54 50 26,6476	54 50 25,1408	
52	d	0,8351	1,6435	0,1367	Выписывают до 0,0001"
53	B_2	54 38 05,4848	54 50 25,0041	54 50 25,0041	
	B_{2cp}		54°50'25,0041"		
2	L_1	43 49 17,5640	43 49 17,5640	44 03 30,9551	Выписывают до 0,0001"
54	l	+ 14 13,3911	+ 19 58,7163	+ 19 58,3255	
55	L_2	44 03 30,9551	44 09 16,2803	44 09 16,2806	
	L_{2cp}		44°09'16,2804"		В ед. 7-го знака логарифма
25	$lg b_0$	2.703 5958 n	2.371 0190	2.869 0297	
24	$-(4)_1u + (5)_1v^2$	+ 58,9	— 7,2	— 72,8	
12	$lg \beta''$	2.703 5899	2.371 0197	2.869 0370	Из геодезических таблиц по аргументу B_1
11	$lg (l)_i$	8.509 7243	8.509 7243	8.509 7345	
10	$lg u$	4.193 8656	3.861 2954	4.359 3025	
8	$lg \cos A_{1.2}$	9.853 9167	9.507 3093	9.984 7795	В ед. 7-го знака логарифма
5	$lg S$	4.339 9489	4.353 9861	4.374 5230	Табл. 98
7	$lg \sin A_{1.2}$	9.844 9610	9.976 2937	9.415 2714	В ед. 7-го знака логарифма

Последовательность вычислений	Элементы формул	1. Название исходного пункта 2. Название определяемого пункта		Примечание
		1. Храброво 2. Сокольников	1. Храброво 2. Сорокино	
9	$\lg v$	4.184 9099	4.330 2798	Из геодезических таблиц по аргументу B_0 В ед. 7-го знака логарифма
28	$\lg (2)_0$	8.508 7552	8.508 7503	
30	$\lg \gamma''$	2.693 6651	2.839 0301	
31	$-1/2 (5)_1 u^2$	-4,4	-1,0	-9,3
13 21 $\lg (4)_1$	$-(4)_1 u$	8.50994	8.50994	(4), (5) — из геодезических таблиц по аргументу B_1
15 22 $\lg u$	$+(5)_1 v^2$	4.19387	3.86130	
18 23 $\lg (4)_1 u$	$+(5)_1 u^2$	2.70381	2.37124	
19— $\lg (5)_1 v^2$	1.92011	87	2.21083	8.51072 4.35930 2.87002 1.12988
17	$2 \lg v$	8.36982	8.66054	В ед. 5-го знака логарифма Из геодезических таблиц по аргументу B_1
14	$\lg (5)_1$	3.55029	3.55029	
16	$2 \lg u$	8.38774	7.72259	
20	$\lg (5)_1 u^2$	1.93803	1.27288	В ед. 7-го знака логарифма
45	$\lg r_1$	2.842 5623	2.991 2323	
42	$-\gamma^2 - \gamma r^2$	-20,6	-40,8	
36	$\lg r''$	2.842 5644	2.991 2364	
34	$\lg \lg B_0$	0.148 8997	0.152 2064	
32	$\lg c'' = \lg \gamma - 1/2 (5)_1 u^2$	2.693 6647	2.839 0300	
33	$\lg \sec B_0$	0.237 4851	9.760 3103	7.57958 3.55030 8.71860 2.26890 2.450 7432 2.450 7435 0.152 1997 2.298 5438 9.760 3148

35	$\lg \lambda''$	2.931 1496	3.078 7197	2.538 2290	Из геодезических таблиц по аргументу B_0
43	$-2\sqrt{\tau^2}$	— 16,4	— 32,6	— 2,8	
46	$\lg l''$	2.931 1480	3.078 7164	2.538 2287	
29	$\lg (3)_0$	4.385 524	4.385 515	4.385 515	
37	$\lg c''$	2.693 665	3.839 030	2.298 544	В ед. 6-го знака логарифма
38	$\lg \tau''$	2.842 564	2.991 236	2.450 743	
39	$\lg \delta''$	9.921 753	0.215 781	9.134 802	
44	$-\sqrt{\tau^2} - 1/2\sqrt{\lambda^2}$	— 1,4	— 2,8	— 0,2	
47	$\lg''$	9.921 752	0.215 778	9.134 802	Из геодезических таблиц по аргументу $\lg \lambda \lg \tau$ В ед. 8-го знака логарифма
48	$\lg b_0$	2.7036	2.3710	2.8690	
49	$\lg c$	2.6937	2.8390	2.8986	
50	$\lg (1:2p'')$	4.3845	4.3845	4.3845	
51	$\lg \epsilon''$	9.7817	9.5945	9.5521	
40	$\sqrt{\lambda^2}$	124	245	20	
41	$\sqrt{\tau^2}$	82	163	14	

15 января 1974 г.

Вычислял: А. В. Попов

2. Решение обратной геодезической задачи
Формулы Гаусса со средними аргументами

Таблица 100

Последовательность вычисления	Элементы формул	Пункты: 1. Храброво 2. Сокольные	Примечания	Последовательность вычисления	Элементы формул	Пункты: 1. Храброво 2. Сокольные	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8
1	B_1	54°46'31,6740"		17	$\lg l \sin B_m$	2.842 9391	
3	B_2	54 38 05,4848	С 1 по 9-е действие вычисления ведутся до 0,0001"	18	$\lg l \cos B_m$	2.692 9136	
5	B_m	54 42 18,5794		19	$-1/4\sqrt{(l \sin B_m)^2}$	-2,0	
6	b	-8 26,1892		21	$+1/4\sqrt{b^2}$	+1,1	
7	b^a	-5 06,1892		22	$\Delta \lg l$	-0,5	
2	L_1	43 49 17,5640		20	$-1/4\sqrt{(l \sin B_m)^2}$	-2,0	Величины (19), (20), (21), (23), (25), (26) выбираются из геодезических таблиц
4	L_2	44 03 30,9551		23	$-1/2\sqrt{l^2}$	-6,2	(табл. $\sqrt{x^2}$) по аргументам
8	l	+14 13,3911		24	$\Delta \lg B$	-8,2	$\lg (l \sin B_m)$,
9	l''	+8 53,3911		25	$+1/2\sqrt{(l \cos B_m)^2}$	+2,1	$\lg (l \cos B_m)$,
10	$\lg l$	2.931 1480	Вычисляется по 7-м таблицам логарифмов	26	$+3/4\sqrt{b^2}$	+3,3	$\lg l$, $\lg b$

14	$\lg \cos A_m$	9.761 7656	27	$\Delta \lg a$	+5,4
16	$\lg (2)_m$	8.508 7535	32	$\lg P$	4.184 1600
22	$\Delta \lg l$	+0,9	33	$\lg Q$	4.194 5826 n
28	$\lg P = \lg S \sin A_m$	4.184 1600	34	$\lg \lg A_m$	9.989 5774 n
31	$\lg \sin A_m$	9.844 2112	35	A_m	44° 18' 45,178"
33	$\lg S$	4.339 9488	36	$-1/2a$	135 41 14,822
11	$\lg b''$	2.704 3128	37		-5 48,265
15	$\lg (1)_m$	8.509 7294	38	$A_{1,2} = A_m - 1/2a$	135° 35' 26,557"
24	$\Delta \lg b$	-8,2	39	$A_m \pm 180^\circ$	315 41 14,822
29	$\lg \theta = \lg S \cos A_m$	4.194 5826	40	$+1/2a$	+5 48 265
32	$\lg \cos A_m$	9.854 6337		$A_{2,1} = A_m \pm 180^\circ + 1/2a$	315 47 03 087
34	$\lg S$	4.339 9489			
12	$\lg l''$	2.931 1480			
13	$\lg \sin B_m$	9.911 7911			
27	$\Delta \lg a$	+5,4			
30	$\lg a''$	2.842 9396			
31	a''	696,530"			

Вычислял: А. В. Попов

15 января 1974 г.

4. Вычисляем величину a формул (60), (64), затем прямой и обратный азимуты $A_{1.2}$, $A_{2.1}$ по формулам (62).

5. Дважды вычисляем значение $\lg S$ по формуле (63).

Пример.

1) вычислить координаты пунктов триангуляции 1 класса Сокольники и Сорокино (см. рис. 163, табл. 98);

2) решить обратную задачу по линии Храброво — Сокольники (см. табл. 100).

При решении использованы таблицы [27].

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица
для вычисления поправок за центрировку в редукции

$M + \theta$	l_c и l_r в сантиметрах										$(M + \theta)$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0°30'	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0°30'
1 0	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29	0,32	0,36	1 0
30	0,05	0,11	0,16	0,22	0,27	0,32	0,38	0,43	0,49	0,54	30
2 0	0,07	0,14	0,22	0,29	0,36	0,43	0,50	0,58	0,65	0,72	2 0
30	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81	0,90	30
3 0	0,11	0,22	0,32	0,43	0,54	0,65	0,76	0,86	0,97	1,08	3 0
30	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	1,26	30
4 0	0,14	0,29	0,43	0,58	0,72	0,86	1,01	1,15	1,29	1,44	4 0
30	0,16	0,32	0,48	0,65	0,81	0,97	1,13	1,29	1,46	1,62	30
5 0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,80	5 0
30	0,20	0,40	0,59	0,79	0,99	1,19	1,38	1,58	1,78	1,98	30
6 0	0,22	0,43	0,65	0,86	1,08	1,29	1,51	1,72	1,91	2,16	6 0
30	0,23	0,47	0,70	0,93	1,17	1,40	1,63	1,87	2,10	2,33	30
7 0	0,25	0,50	0,75	1,01	1,26	1,51	1,76	2,01	2,26	2,51	7 0
30	0,27	0,54	0,81	1,08	1,35	1,62	1,88	2,15	2,42	2,69	30
8 0	0,29	0,57	0,86	1,15	1,44	1,72	2,01	2,30	2,58	2,87	8 0
30	0,30	0,61	0,91	1,22	1,52	1,83	2,13	2,44	2,71	3,05	30
9 0	0,32	0,65	0,97	1,29	1,61	1,94	2,26	2,58	2,90	3,23	9 0
30	0,31	0,68	1,02	1,36	1,70	2,04	2,38	2,72	3,06	3,40	30
10 0	0,36	0,72	1,07	1,43	1,79	2,15	2,51	2,87	3,22	3,58	10 0
30	0,38	0,75	1,13	1,50	1,88	2,26	2,63	3,01	3,38	3,76	30
11 0	0,39	0,79	1,18	1,57	1,97	2,36	2,75	3,15	3,51	3,94	11 0
30	0,41	0,82	1,23	1,64	2,06	2,47	2,88	3,29	3,70	4,41	30
12 0	0,43	0,86	1,29	1,72	2,14	2,57	3,00	3,43	3,86	4,29	12 0
30	0,45	0,89	1,34	1,79	2,23	2,68	3,12	3,57	4,02	4,46	30
13 0	0,46	0,93	1,39	1,86	2,32	2,78	3,25	3,71	4,18	4,64	13 0
30	0,48	0,96	1,44	1,93	2,11	2,89	3,37	3,85	4,33	4,82	30
14 0	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	2,99	3,49	3,99	4,49	4,99	14 0
30	0,52	1,03	1,55	2,07	2,58	3,10	3,61	4,13	4,65	5,16	30
15 0	0,53	1,07	1,60	2,14	2,67	3,20	3,74	4,27	4,80	5,34	15 0
30	0,55	1,10	1,65	2,20	2,76	3,31	3,86	4,41	4,96	5,51	30
16 0	0,57	1,14	1,71	2,27	2,84	3,41	3,98	4,55	5,12	5,69	16 0
30	0,59	1,17	1,76	2,34	2,93	3,51	4,10	4,69	5,27	5,86	30
17 0	0,60	1,21	1,81	2,41	3,02	3,62	4,22	4,82	5,13	6,03	17 0
30	0,62	1,24	1,86	2,46	3,10	3,72	4,34	4,96	5,58	6,20	30
18 0	0,64	1,27	1,91	2,55	3,19	3,82	4,46	5,10	5,71	6,37	18 0
30	0,65	1,31	1,96	2,62	3,27	3,93	4,58	5,24	5,89	6,51	30
19 0	0,67	1,34	2,01	2,69	3,36	4,03	4,70	5,37	6,04	6,72	19 0
30	0,69	1,38	2,07	2,75	3,44	4,13	4,82	5,51	6,20	6,89	30
20 0	0,71	1,41	2,12	2,82	3,53	4,23	4,94	5,64	6,35	7,05	20 0
30	0,72	1,44	2,17	2,89	3,61	4,33	5,06	5,78	6,50	7,22	30
21 0	0,74	1,48	2,22	2,96	3,70	4,44	5,17	5,91	6,65	7,39	21 0
30	0,76	1,51	2,27	3,02	3,78	4,54	5,29	6,05	6,80	7,56	30

θ M +	l_c и l_r в сантиметрах										(M + θ)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
22 0	0,77	1,55	2,32	3,09	3,86	4,64	5,40	6,18	6,95	7,78	22 0
30	0,79	1,58	2,32	3,09	3,86	4,74	5,53	6,31	7,10	7,89	30
23 0	0,81	1,61	2,42	3,22	4,03	4,84	5,64	6,45	7,25	8,00	23 0
30	0,82	1,64	2,47	3,29	4,11	4,93	5,76	6,58	7,40	8,22	30
24 0	0,84	1,68	2,52	3,36	4,19	5,03	5,87	6,71	7,55	8,30	24 0
30	0,86	1,71	2,57	3,42	4,28	5,13	5,99	6,84	7,70	8,55	30
25 0	0,87	1,74	2,62	3,49	4,36	5,23	6,10	6,97	7,85	8,72	25 0
30	0,89	1,78	2,66	3,55	4,44	5,33	6,22	7,10	7,99	8,88	30
26°0'	0,90	1,81	2,71	3,62	4,52	5,43	6,33	7,23	8,14	9,04	26°0'
30	0,92	1,84	2,76	3,68	4,60	5,52	6,44	7,36	8,28	9,20	30
27 0	0,94	1,87	2,81	3,75	4,68	5,62	6,55	7,49	8,43	9,36	27 0
30	0,95	1,90	2,86	3,81	4,76	5,71	6,67	7,62	8,57	9,52	30
28 0	0,97	1,94	2,91	3,87	4,84	5,81	6,78	7,75	8,72	9,68	28 0
30	0,98	1,97	2,95	3,94	4,92	5,91	6,89	7,87	8,86	9,84	30
29 0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	29 0
30	1,02	2,03	3,05	4,06	5,08	6,09	7,11	8,13	9,14	10,16	30
30 0	1,03	2,06	3,09	4,13	5,16	6,19	7,22	8,25	9,28	10,31	30 0
30	1,05	2,09	3,14	4,19	5,23	6,28	7,33	8,37	9,42	10,47	30
31 0	1,06	2,12	3,19	4,25	5,31	6,37	7,44	8,50	9,56	10,62	31 0
30	1,08	2,16	3,23	4,31	5,39	6,47	7,54	8,62	9,70	10,78	30
32 0	1,09	2,19	3,28	4,37	5,47	6,56	7,65	8,74	9,84	10,93	32 0
30	1,11	2,22	3,32	4,43	5,54	6,65	7,76	8,87	9,97	11,08	30
33 0	1,12	2,25	3,37	4,49	5,62	6,74	7,86	8,99	10,11	11,23	33 0
30	1,14	2,28	3,42	4,55	5,69	6,83	7,97	9,11	10,25	11,38	30
34 0	1,15	2,31	3,46	4,61	5,77	6,92	8,07	9,23	10,38	11,53	34 0
30	1,17	2,34	3,50	4,67	5,84	7,01	8,18	9,35	10,51	11,68	30
35 0	1,18	2,37	3,55	4,73	5,92	7,10	8,28	9,46	10,65	11,83	35 0
30	1,20	2,40	3,59	4,79	5,99	7,19	8,38	9,58	10,78	11,98	30
36 0	1,21	2,42	3,64	4,85	6,06	7,27	8,49	9,70	10,91	12,12	36 0
30	1,23	2,45	3,68	4,91	6,13	7,36	8,59	9,81	11,04	12,27	30
37 0	1,24	2,48	3,72	4,97	6,21	7,45	8,69	9,93	11,17	12,41	37 0
30	1,26	2,51	3,77	5,02	6,28	7,53	8,79	10,04	11,30	12,56	30
38 0	1,27	2,54	3,81	5,08	6,35	7,62	8,89	10,16	11,43	12,70	38 0
30	1,28	2,57	3,85	5,14	6,42	7,70	8,99	10,27	11,56	12,84	30
39 0	1,30	2,60	3,89	5,19	6,49	7,79	9,09	10,38	11,68	12,98	39 0
30	1,31	2,62	3,94	5,25	6,56	7,87	9,18	10,50	11,81	13,12	30
40 0	1,33	2,65	3,98	5,30	6,63	7,96	9,28	10,61	11,93	13,26	40 0
41 0	1,35	2,71	4,06	5,41	6,77	8,12	9,47	10,83	12,18	13,53	41 0
42 0	1,38	2,76	4,14	5,52	6,90	8,28	9,66	11,04	12,42	13,80	42 0
43 0	1,41	2,81	4,22	5,63	7,03	8,44	9,85	11,25	12,66	14,07	43 0
44 0	1,43	2,87	4,30	5,73	7,16	8,60	10,03	11,46	12,90	14,33	44 0
45 0	1,46	2,92	4,38	5,83	7,29	8,75	10,21	11,67	13,13	14,59	45 0
46 0	1,48	2,97	4,45	5,93	7,42	8,90	10,39	11,87	13,35	14,84	46 0
47 0	1,51	3,02	4,53	6,03	7,54	9,05	10,56	12,07	13,58	15,09	47 0
48 0	1,53	3,07	4,60	6,13	7,66	9,20	10,73	12,26	13,80	15,33	48 0
49 0	1,56	3,11	4,67	6,23	7,78	9,34	10,90	12,45	14,01	15,57	49 0
50 0	1,58	3,16	4,74	6,32	7,90	9,48	11,06	12,64	14,22	15,80	50 0
51 0	1,60	3,21	4,81	6,41	8,01	9,62	11,22	12,82	14,43	16,03	51 0
52 0	1,63	3,25	4,88	6,50	8,13	9,75	11,38	13,00	14,63	16,25	52 0
53 0	1,65	3,29	4,94	6,59	8,24	9,88	11,53	13,18	14,83	16,47	53 0
54 0	1,67	3,34	5,01	6,67	8,34	10,01	11,68	13,35	15,02	16,69	54 0
55 0	1,69	3,38	5,07	6,76	8,45	10,14	11,83	13,52	15,21	16,90	55 0
56 0	1,71	3,42	5,13	6,84	8,55	10,26	11,97	13,68	15,39	17,10	56 0

M + θ	l_c и l_r в сантиметрах										(M + θ)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
57 0	1,73	3,46	5,19	6,92	8,65	10,38	12,11	13,81	15,57	17,30	57 0
58 0	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,24	13,99	15,74	17,49	58 0
59 0	1,77	3,54	5,30	7,07	8,84	10,61	12,38	14,14	15,91	17,68	59 0
60 0	1,79	3,57	5,36	7,15	8,93	10,72	12,50	14,29	16,08	17,86	60 0
61 0	1,80	3,61	5,41	7,22	9,02	10,82	12,63	14,43	16,24	18,04	61 0
62 0	1,82	3,64	5,46	7,28	9,11	10,93	12,75	14,57	16,39	18,21	62 0
63 0	1,84	3,68	5,51	7,35	9,19	11,03	12,86	14,70	16,54	18,38	63 0
64 0	1,85	3,71	5,56	7,42	9,27	11,12	12,98	14,83	16,69	18,54	64 0
65 0	1,87	3,74	5,61	7,48	9,35	11,22	13,09	14,96	16,82	18,69	65 0
66 0	1,88	3,77	5,65	7,54	9,42	11,31	13,19	15,07	16,96	18,84	66 0
67 0	1,90	3,80	5,70	7,59	9,49	11,39	13,29	15,19	17,09	18,99	67 0
68 0	1,91	3,82	5,74	7,65	9,56	11,47	13,39	15,30	17,21	19,12	68 0
69 0	1,93	3,85	5,78	7,70	9,63	11,55	13,48	15,41	17,33	19,26	69 0
70 0	1,94	3,88	5,81	7,75	9,69	11,63	13,57	15,51	17,44	19,38	70 0
71 0	1,95	3,90	5,85	7,80	9,75	11,70	13,65	15,60	17,55	19,50	71 0
72 0	1,96	3,92	5,89	7,85	9,81	11,77	13,73	15,69	17,66	19,62	72 0
73 0	1,97	3,95	5,92	7,89	9,86	11,84	13,81	15,78	17,75	19,83	73 0
74 0	1,98	3,97	5,95	7,93	9,91	11,90	13,88	15,86	17,84	19,83	74 0
75 0	1,99	3,98	5,98	7,97	9,96	11,95	13,95	15,94	17,93	19,92	75 0
76 0	2,00	4,00	6,00	8,01	10,01	12,01	14,01	16,01	18,01	20,01	76 0
77 0	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,06	16,08	18,09	20,10	77 0
78 0	2,02	4,04	6,05	8,07	10,09	12,11	14,12	16,14	18,16	20,18	78 0
79 0	2,02	4,05	6,07	8,10	10,12	12,15	14,17	16,20	18,22	20,31	79 0
80 0	2,03	4,06	6,09	8,13	10,16	12,19	14,22	16,25	18,28	20,31	80 0
81 0	2,04	4,07	6,11	8,15	10,19	12,22	14,26	16,30	18,34	20,37	81 0
82 0	2,04	4,09	6,13	8,17	10,21	12,26	14,30	16,34	18,38	20,43	82 0
83 0	2,05	4,09	6,14	8,19	10,24	12,28	14,33	16,38	18,43	20,47	83 0
84 0	2,05	4,10	6,15	8,21	10,26	12,31	14,36	16,41	18,46	20,51	84 0
85 0	2,05	4,11	6,16	8,22	10,27	12,33	14,38	16,44	18,49	20,55	85 0
86 0	2,06	4,12	6,17	8,23	10,29	12,35	14,40	16,46	18,52	20,58	86 0
87 0	2,06	4,12	6,18	8,24	10,30	12,36	14,42	16,48	18,54	20,60	87 0
88 0	2,06	4,12	6,18	8,25	10,31	12,37	14,43	16,49	18,55	20,61	88 0
89 0	2,06	4,12	6,19	8,25	10,31	12,37	14,44	16,50	18,56	20,62	89 0
90 0	2,06	4,13	6,19	8,25	10,31	12,38	14,44	16,50	18,56	20,63	90 0

Таблица величин f^* , $\frac{1}{3} f$ и $\lg f$ для вычисления сферических избытков
треугольников и поправок δ за приведение измеренных направлений
на плоскость $\varepsilon'' = fab \sin C$

B	f	$\frac{1}{3} f$	$\lg f$	B	f	$\frac{1}{3} f$	$\lg f$
30	0,002444	0,0008479	7,40545 ⁻¹⁰	60	0,002527	0,0008422	7,40254 ⁻¹⁰
31	43	77	537	61	26	20	245
32	43	75	528	62	26	19	237
33	42	73	518	63	25	17	228
34	42	72	500	64	25	15	220
35	41	70	499	65	24	14	219
36	40	68	490	66	24	12	204
37	40	66	480	67	23	11	197
38	39	64	470	68	22	10	190
39	39	62	460	69	22	08	183
40	0,002538	0,0008460	7,40450	70	0,002522	0,0008407	7,40176
41	37	58	440	71	22	406	170
42	37	56	430	72	21	405	164
43	36	54	420	73	21	403	158
44	36	52	410	74	21	402	152
45	35	50	400	75	20	401	147
				76	20	400	142
				77	20	399	137
				78	20	399	133
46	35	48	390	79	19	398	129
47	34	46	379	80	0,002519	0,000397	7,40125
48	33	44	369				
49	33	42	359				
50	0,002532	0,0008441	7,40349				
51	32	39	339				
52	31	37	329				
53	30	35	319				
54	30	33	310				
55	29	31	300				
56	29	29	290				
57	28	27	281				
58	28	26	272				
59	27	24	263				

* Таблицы составлены для случая, когда стороны выражены в километрах, при вычислении сторон в метрах в характеристике логарифма f писать единицу, т. е. 1,000000.

Коэффициенты K для вычисления поправок
в направления за центрировки и редукции

$$K = \rho'' \frac{\sin(M + \Theta)}{1000}$$

$(M + \Theta)$	K	$(M + \Theta)$	K	$(M + \Theta)$	K	$(M + \Theta)$	K
0°00'	0,00	12°00'	42,88	24°00'	83,90	36°00'	121,24
15	0,90	15	43,76	15	84,72	15	121,97
30	1,80	30	44,64	30	85,54	30	122,69
45	2,70	45	45,52	45	86,35	45	123,41
1 00	3,60	13 00	46,40	25 00	87,17	37 00	124,13
15	4,50	15	47,28	15	87,99	15	124,85
30	5,40	30	48,14	30	88,80	30	125,57
45	6,30	45	49,03	45	89,61	45	126,28
2 00	7,20	14 00	49,90	26 00	90,12	38 00	126,99
15	8,10	15	50,77	15	91,23	15	127,70
30	9,00	30	51,64	30	92,04	30	128,40
45	9,90	45	52,52	45	92,84	45	129,11
3 00	10,80	15 00	53,39	27 00	93,64	39 00	129,81
15	11,69	15	54,25	15	94,44	15	130,50
30	12,59	30	55,12	30	95,24	30	131,20
45	13,49	45	55,99	45	96,04	45	131,89
4 00	14,39	16 00	56,85	28 00	96,84	40 00	132,58
15	15,29	15	57,72	15	97,63	15	133,29
30	16,18	30	58,58	30	98,42	30	133,96
45	17,08	45	59,44	45	99,21	45	134,61
5 00	17,98	17 00	60,31	29 00	100,00	41 00	135,32
15	18,87	15	61,17	15	100,79	15	136,00
30	19,77	30	62,03	30	101,57	30	136,68
45	20,67	45	62,88	45	102,35	45	137,35
6 00	21,56	18 00	63,74	30 00	103,13	42 00	138,02
15	22,46	15	64,59	15	103,91	15	138,69
30	23,35	30	65,45	30	104,69	30	139,35
45	24,24	45	66,30	45	105,46	45	140,01
7 00	25,14	19 00	67,15	31 00	106,23	43 00	140,67
15	26,03	15	68,00	15	107,00	15	141,33
30	26,92	30	68,85	30	107,77	30	141,98
45	27,82	45	69,70	45	108,54	45	142,63
8 00	28,71	20 00	70,55	32 00	109,30	44 00	143,28
15	29,60	15	71,39	15	110,07	15	143,93
30	30,49	30	72,24	30	110,83	30	144,57
45	31,38	45	73,08	45	111,58	45	145,21
9 00	32,27	21 00	73,92	33 00	112,34	45 00	145,85
15	33,16	15	74,76	15	113,09	15	146,49
30	34,04	30	75,60	30	113,85	30	147,12
45	34,93	45		45	114,59	45	147,75

(M + θ)	K	(M + θ)	K	(M + θ)	K	(M + θ)	K
10 00	35,82	22°00'	77,27	34°00'	115,34	46°00'	148,37
15	36,70	15	78,10	15	116,09	15	149,00
30	37,59	30	78,98	30	116,83	30	149,62
45	38,47	45	79,76	45	117,57	45	150,24
11 00	39,36	23 00	80,59	35 00	118,31	47 00	150,85
15	40,24	15	81,42	15	119,04	15	151,47
30	41,12	30	82,25	30	119,78	30	152,07
45	42,00	45	83,07	45	120,51	45	152,68
48 00	153,28	54 00	166,87	60 00	178,63	72 00	196,17
15	153,89	15	167,40	30	179,52	30	196,72
30	154,48	30	167,92	61 00	180,40	73 00	197,25
45	155,08	45	168,44	30	181,27	30	197,77
49 00	155,67	55 00	168,96	62 00	182,12	74 00	198,27
15	156,26	15	169,48	30	182,96	30	198,76
30	156,85	30	169,99	63 00	183,78	75	199,74
45	157,43	45	170,50	30	184,59	76	200,14
50 00	158,01	56 00	171,00	64 00	185,39	77	200,98
15	158,59	15	171,50	30	186,17	78	201,76
30	159,16	30	172,00	65 00	186,94	79	202,48
45	159,73	45	172,50	30	187,69	80	203,13
51 00	160,30	57 00	172,99	66 00	188,43	81	203,73
15	160,86	15	173,48	30	189,16	82	204,26
30	161,42	30	173,96	67 00	189,87	83	204,73
45	161,98	45	174,44	30	190,56	84	205,14
52 00	162,54	58 00	174,92	68 00	191,25	85	205,48
15	163,09	15	175,40	30	191,91	86	205,76
30	163,64	30	175,87	69 00	192,56	87	205,98
45	164,19	45	176,34	30	193,20	88	206,14
53 00	164,73	59 00	176,80	70 00	193,83	89	206,23
15	165,27	15	177,27	30	194,43	90	206,26
30	165,81	30	177,72	71 00	195,03		
45	166,34	45	178,18	30	195,61		

1. Ангелов С. А. Таблица поправок за центрировку и редукцию. М., Геодезиздат, 1951. 64 с.
2. Ассур В. Л., Кутузов М. Н., Муравин М. М. Высшая геодезия. М., «Недра», 1971. 384 с. с ил.
3. Ассур В. Л., Муравин М. М. Руководство по летней геодезической и топографической практике. М., «Недра», 1975. 397 с. с ил.
4. Вировец А. М. Высшая геодезия. Часть 1. М., «Недра», 1970. 248 с. с ил.
5. Вировец А. М., Рабинович Б. М. Таблицы для преобразования прямоугольных координат. М., Геодезиздат, 1954. 134 с.
6. Высшая геодезия. М., «Недра», 1970. 512 с. с ил. Авт.: В. Г. Зданович, А. Н. Белоликов, Н. А. Гусев, К. А. Звонарев.
7. Геодезия, часть II. М., Геодезиздат, 1954. 281 с. с ил. Авт.: Б. П. Ермолов, П. С. Закатов, М. Н. Кутузов и др.
8. Государственный стандарт Союза ССР на методы испытаний и поверок теодолитов, выпускаемых по ГОСТу 20063—74. М., Изд-во стандартов, 1975. 60 с. с ил.
9. Дурнев А. И. Высшая геодезия. Выпуск 1. М., «Недра», 1967. 260 с. с ил.
10. Закатов П. С. Курс высшей геодезии. М., «Недра», 1964. 405 с. с ил.
11. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. М., «Недра», 1966. 341 с. с ил.
12. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., «Недра», 1974. 160 с. с ил.
13. Инструкция по полигонометрии и трилатерации. М., «Недра», 1976. 104 с. с ил.
14. Инструкция по вычислению нивелировок. М., «Недра», 1971. 108 с. с ил.
15. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М., «Недра», 1973. 176 с. с ил.
16. Коськов Б. Н. Справочное руководство по съемке городов. М., «Недра», 1974. 407 с. с ил.
17. Красовский Ф. Н., Изотов А. А. Таблицы для логарифмических вычислений координат Гаусса — Крюгера. М., Геодезиздат, 1946. 106 с.
18. Лебедев Н. Н. Курс инженерной геодезии. М., «Недра», 1974. 360 с. с ил.
19. Практикум по высшей геодезии. М., «Недра», 1968. 306 с. с ил. Авт.: Ф. Ф. Павлов, Б. И. Беляев, О. Д. Вострова и др.
20. Практическое руководство по вычислению триангуляции. Вып. II. М., РИО ВТС, 1961. 446 с. с ил.
21. Рабинович Б. Н. Практикум по высшей геодезии. М., Геодезиздат, 1951. 304 с. с ил.
22. Руководство по геодезии. М., РИО ВТС, 1953. 52 с. с ил.
23. Руководство по применению стальных знаков в полигонометрических и теодолитных ходах. М., «Недра», 1976. 55 с. с ил.
24. Справочник геодезиста. Под редакцией Большакова В. Д. и Левчука Г. П. М., «Недра», 1975. 526 с. с ил.
25. Судakov С. Г. Основные геодезические сети. М., «Недра», 1975. 368 с. с ил.
26. Таблицы для вычисления плоских конформных координат Гаусса. М., Геодезиздат, 1958. 120 с.
27. Таблицы для вычисления геодезических координат для широт от 30 до 70°. М., Геодезиздат, 1958. 55 с.
28. Шишкин В. Н. Реконструкция пунктов триангуляции. М., Геодезиздат, 1959. 74 с. с ил.

Предисловие	3

Глава I

Общие сведения о триангуляции, трилатерации и полигонометрии

§ 1. Метод триангуляции	5
§ 2. Метод трилатерации	8
§ 3. Метод полигонометрии	8

Глава II

Действие погрешностей в триангуляции

§ 4. Предвычисление погрешностей в триангуляции	10
§ 5. Формулы вычисления связующих и промежуточных сторон триангуляции	12
§ 6. Погрешность вычисленных сторон треугольника. Погрешность геометрической связи	14
§ 7. Средняя квадратическая погрешность логарифма связующей стороны ряда триангуляции	18
§ 8. Понятие о выгоднейшей форме треугольника	24
§ 9. Понятие об обратном весе логарифма стороны	25
§ 10. О точности передачи азимутов в триангуляции	28
§ 11. Понятие о продольном и поперечном сдвигах ряда	29

Глава III

Составление предварительного проекта триангуляции и рекогносцировка пунктов

§ 12. Подготовка к составлению предварительного проекта	32
§ 13. Собственно проектирование	34
§ 14. Расчет высоты знака	36
§ 15. Составление предварительного проекта триангуляции 2 класса	41
§ 16. Рекогносцировка пунктов триангуляции	48

Глава IV

Базисные измерения

§ 17. Краткие сведения о базисных измерениях	51
§ 18. Краткие сведения о светодальномерах	51

Глава V

Приборы, применяемые в триангуляции

§ 19. Устройство теодолита ОТ-02	53
§ 20. Отсчитывание по горизонтальному и вертикальному кругам теодолита ОТ-02	58
§ 21. Особенности устройства теодолита ОТ-02М	61
§ 22. Оптический теодолит Т2	62
§ 23. Оптическая система теодолита Т2	64
§ 24. Отсчитывание по горизонтальному и вертикальному кругам теодолита Т2	66
§ 25. Особенности устройства оптических теодолитов ТБ-1 и Т1	68
§ 26. Поверки теодолита ОТ-02	68

§ 27. Особенности поверок теодолитов ОТ-02М, Т2, ТБ-1	73
§ 28. Исследование оптического теодолита ОТ-02	76
§ 29. Исследование теодолита Т2	95

Глава VI

Методы измерения горизонтальных углов и направлений в триангуляции

§ 30. Основные требования и правила наблюдений	101
§ 31. Способ круговых приемов (способ Струве)	104
§ 32. Способ измерения горизонтальных углов во всех комбинациях (способ Шрейбера)	113
§ 33. Другие способы измерения горизонтальных углов в триангуляции	120
§ 34. Привязка ориентирных пунктов	122
§ 35. Введение в горизонтальные направления поправок за наклон вертикальной оси вращения инструмента	126
§ 36. Способы определения элементов приведений	128
§ 37. Измерение зенитных расстояний	137
§ 38. Определение высоты знака	139
§ 39. Полевые вычисления в триангуляции	144

Глава VII

Предварительные вычисления в триангуляции

§ 40. Цель, содержание и последовательность предварительных вычислений	162
§ 41. Подготовка исходных данных	163
§ 42. Составление рабочей схемы триангуляции	163
§ 43. Приближенное решение треугольников и вычисление сферических избытков	166
§ 44. Вычисление поправок за центрировку и редукцию	169
§ 45. Схемы и методы вычисления поправок за центрировку и редукцию	170
§ 46. Карточка предварительной обработки триангуляции	171
§ 47. Оценка точности угловых измерений в триангуляции	186
§ 48. Вычисление рабочих координат определяемых пунктов триангуляции	193

Глава VIII

Геодезическое нивелирование

§ 49. Применение геодезического нивелирования. Формула одностороннего геодезического нивелирования	196
§ 50. Вычисление коэффициента C по измеренным превышениям	198
§ 51. Уравнивание высот способом последовательных приближений	201

Глава IX

Полигонометрия

§ 52. Классификация полигонометрических ходов и полигонов и схемы их построения	207
§ 53. Особенности угловых измерений в полигонометрии	209
§ 54. Измерение сторон полигонометрии	211
§ 55. Привязка полигонометрических ходов к опорным пунктам	218
§ 56. Параллактическая полигонометрия	224
§ 57. Полевая предварительная обработка результатов наблюдений	225

Глава X

Нивелирование II класса

§ 58. Краткие сведения о государственной нивелирной сети	227
§ 59. Приборы, применяемые для нивелирования II класса	228
§ 60. Нивелирные рейки	232
§ 61. Поверки нивелиров НА-1 и Н2	233

§ 62. Исследование нивелира НА-1	238
§ 63. Исследование нивелирных реек	248
§ 64. Нивелирование II класса	254
§ 65. Обработка журнала нивелирования	261
§ 66. Ведение полевой ведомости превышений	263
§ 67. Особые случаи нивелирования	265
§ 68. Передача превышений через водные препятствия. Закрепление точек хода	267

Глава XI

Прямоугольные координаты на плоскости в проекции Гаусса—Крюгера

§ 69. Основные сведения о проекции	272
§ 70. Линии и плоскости на эллипсоиде	272
§ 71. Координаты астрономические, геодезические, сферические и плоские прямоугольные	274
§ 72. Понятия о нормальных сечениях, радиусах кривизны и о геодезиче- ской линии	275
§ 73. Вычисление длин малых дуг меридианов и параллелей	276
§ 74. Понятие о геометрическом построении координатной сетки в прое- кции Гаусса — Крюгера	279
§ 75. Условие конформности. Масштаб проекции Гаусса — Крюгера	280
§ 76. Некоторые сведения из сферической тригонометрии	282
§ 77. Изображение линий в проекции Гаусса — Крюгера	284
§ 78. Редуцирование направлений	284
§ 79. Редуцирование длин линий	289
§ 80. Координатные зоны	292
§ 81. Азимут и дирекционный угол. Гауссово сближение меридианов . . .	295
§ 82. Решение задачи на переход от геодезических координат точки к плоским прямоугольным координатам Гаусса—Крюгера и обратно . . .	298
§ 83. Переход с эллипсоида на плоскость в проекции Гаусса — Крюгера . .	302
§ 84. Преобразование координат пунктов из одной координатной зоны в другую	312

Глава XII

Понятие о решении прямой и обратной геодезических задач на эллипсоиде

§ 85. Решение треугольников	316
§ 86. Решение прямой и обратной геодезических задач на эллипсоиде . .	316
Приложения	327
Список литературы	333

ИБ № 1447

*Павел Артемьевич Болотов
Инна Александровна Рейман
Степан Ванифатьевич Шубин*

ПРАКТИКУМ ПО ОСНОВНЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ РАБОТАМ

Редактор издательства *Н. В. Протопопова*
Переплет художника *Г. Р. Левина*
Художественный редактор *В. В. Евдокимов*
Технические редакторы *В. В. Соколова, Л. Н. Шиманова*
Корректор *Т. Ю. Шульц*

Сдано в набор 20/XII 1976 г. Подписано в печать 17/V 1977 г. Т-09645. Формат 60×90^{1/16}. Бумага № 1. Печ. л. 21,0. Уч.-изд. л. 21,90. Тираж 17 600 экз. Заказ 7-19/4646-15. Цена 90 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
Харьковская книжная фабрика «Коммунист» республиканского производственного объединения «Полиграфкинг» Госкомиздата УССР. Харьков, ул. Энгельса, 11.