

FOR THE PEOPLE OF THE UNITED STATES

И. С. ТРЕВОГО
П. М. ШЕВЧУК

ГОРОДСКАЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЯ



И. С. ТРЕВОГО
П. М. ШЕВЧУК

ГОРОДСКАЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЯ



МОСКВА «НЕДРА» 1986

Тревого И. С., Шевчук П. М. Городская полигонометрия. — М.: Недра, 1986.—199 с., с ил.

Освещены основные вопросы подготовки и проведения полевых работ при создании планового геодезического обоснования городов методом полигонометрии с учетом новых достижений науки и производства. Отражены особенности светодальномерного метода построения ходов и сетей городской полигонометрии. Изложены основы метрологического обеспечения угловых и линейных измерений и детально описан процесс измерения углов и линий. Рассмотрены возможности применения гиротеодолитов в полигонометрии, привязочные работы и предварительная обработка полевых материалов.

Для работников геодезического производства, выполняющих полевые работы.

Табл. 24, ил. 69, список лит. — 42 назв.

Рецензент: *Г. С. Бронштейн*, канд. техн. наук (Московский институт инженеров транспорта)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для обеспечения крупномасштабных съемок, удовлетворения потребностей проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации инженерных сооружений в городах строят геодезическую основу, состоящую из пунктов государственной геодезической сети, в основном 2—4 классов, геодезических сетей сгущения 1 и 2 разрядов и съемочных сетей.

Городская полигонометрия благодаря ряду преимуществ и использованию новой высокопроизводительной техники в настоящее время является одним из основных и перспективных методов построения планового геодезического обоснования в городах. В небольших городах и поселках полигонометрия 4 класса, 1 и 2 разрядов часто является первичной геодезической основой.

Вопросы, связанные с разработкой и совершенствованием методов построения оптимальных по качеству и экономическим показателям полигонометрических сетей, глубоко исследованы многими известными советскими учеными-геодезистами. Наиболее современной, написанной с учетом последних достижений геодезической науки и практики, является фундаментальная книга заслуженного деятеля науки и техники, профессора В. Д. Большакова и профессора Ю. М. Маркузе «Городская полигонометрия» (М., Недра, 1979 г.).

Эта работа, ставшая по праву настольной книгой геодезистов, посвящена уравниванию и основам проектирования полигонометрии.

Подготовка и выполнение полевых работ в городской полигонометрии описаны в книгах Н. А. Кузина и Н. Н. Лебедева «Практическое руководство по городской и инженерной полигонометрии» (М., Недра, 1954 г.); Б. И. Коськова «Городская полигонометрия» (М., Недра, 1962 г.) и др. В этих книгах нашли отражение широко применявшиеся в то время и мало используемые теперь методы построения полигонометрии, рассчитанные на измерение сторон ходов подвесными мерными приборами параллактическим и короткобазисным методами, оптическими дальномерами.

За прошедшие годы накоплен огромный опыт работ и объем исследований по совершенствованию и снижению трудоемкости метода полигонометрии и в первую очередь в связи с внедрением в линейные измерения точных топографических электронных светодальномеров с высоким уровнем автоматизации. Городская полигонометрия стала на качественно новый путь развития, и Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500, введенная в действие в 1983 г., рекомендует основным методом построения плановых сетей 4 класса, 1 и 2 разрядов светодальномерную полигонометрию.

В книге рассматриваются полевые работы в полигонометрии с учетом состояния развития и метрологического обеспечения измерительной

техники. Детально описан процесс измерения углов и линий. С необходимой полнотой анализируются основные источники ошибок угловых и линейных измерений и рассчитаны допуски на них исходя из соотношения влияния этих ошибок в ходе.

Важным фактором, ограничивающим точность угловых измерений на городских улицах, является горизонтальная рефракция. Ее учету посвящен отдельный параграф.

Обеспечение единства линейных измерений может быть достигнуто при соблюдении требований метрологической аттестации, поэтому в книге детально рассматривается эталонирование топографических светодальномеров.

С расчетом на перспективу в книге рассмотрена возможность замены в городской полигонометрии угловых измерений азимутальными, т. е. построение гирополлигонометрии, и отмечены значительные преимущества такого метода.

Одним из важных этапов создания современных полигонометрических сетей на территории городов и промышленных предприятий является координирование стенных знаков и привязка к ним. Этот вопрос и многие другие нашли отражение в книге.

Канд. техн. наук И. С. Тревого написаны гл. 2, 3, 6, § 1, 2 с соответствующими приложениями, канд. техн. наук П. М. Шевчуком — гл. 4, 5, 7, 8, § 3, 4.

ГЛАВА 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РЕКОГНОСЦИРОВКА И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ПУНКТОВ ГОРОДСКОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ

§ 1. Цели и особенности создания полигонометрических сетей на городских территориях

В СССР быстро растут города. За годы Советской власти появилось почти 1200 новых городов. Если в 1917 г. только два города страны — Москва и Ленинград имели население более полумиллиона жителей, то по результатам переписи 1979 г. таких городов уже 45, причем 20 из них имеют более миллиона жителей.

Бурный рост городов сопровождается резким увеличением их площади, появлением крупных промышленных объектов, многоэтажных строений, больших транспортных магистралей; во многих городах строятся и эксплуатируются метрополитены, возводятся сложные и уникальные инженерные сооружения.

Естественно, что развитие города требует создания надежной геодезической основы. Наиболее рациональным и массовым методом построения планового геодезического обоснования на застроенных территориях и промышленных площадках является городская полигонометрия.

Сети городской полигонометрии опираются на пункты государственной геодезической сети, чаще на пункты триангуляции, расположенные на территории населенного пункта или за его пределами.

Создаваемая сеть городской полигонометрии в первую очередь должна удовлетворять требованиям крупномасштабных съемок до масштаба 1 : 500 включительно и обеспечивать создание крупномасштабных планов на территорию города.

Плотность геодезической основы для производства крупномасштабных съемок на застроенных территориях должна быть доведена до 4-х пунктов триангуляции и полигонометрии на 1 км². Для целей инженерных изысканий и геодезического обеспечения крупного гражданского и промышленного строительства сеть пунктов полигонометрии еще более уплотняется — до 8 на 1 км².

Угловые измерения в сети городской полигонометрии осуществляют точными оптическими теодолитами.

Для линейных измерений имеют различные приборы, применение которых, в основном, определяет название методов построения полигонометрии. В частности, это светодальномерный метод, полигонометрия с измерением сторон подвесными мерными приборами, дальномерный метод, параллактический и короткобазисный параллактический методы.

Наиболее распространенным и эффективным является светодально-

мерный метод. Однако в ряде случаев еще находят применение традиционные методы линейных измерений: инварными проволоками, дальномерами, оптическими дальномерами, короткобазисный.

§ 2. Нормативные требования, предъявляемые к построению городской полигонометрии

В зависимости от площади города, его формы, обеспеченности пунктами государственной геодезической сети городская полигонометрия может строиться в виде отдельных ходов, опирающихся на два исходных пункта высшего класса (разряда) и два исходных дирекционных угла, или сети, покрывающей всю территорию города.

Полигонометрические сети в городах состоят из ходов 4 класса, 1 и 2 разрядов. Полигонометрия 4 класса, создаваемая в городах, существенно отличается от полигонометрии 4 класса государственной геодезической сети. Ее развивают в соответствии со специальными требованиями, изложенными в инструкции [15].

ТАБЛИЦА 1

Основные нормативные показатели городской полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов

Основные показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Предельная длина хода, км:			
отдельного	15	5	3
между исходной и угловой точками	10	3	2
между узловыми точками	7	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	30	15	9
Длина стороны хода, км:			
наибольшая	2,0	0,8	0,35
наименьшая	0,25	0,12	0,08
средняя расчетная	0,5	0,3	0,2
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Относительная ошибка хода, не более	1 : 25 000	1 : 10 000	1 : 5 000
Средняя квадратическая ошибка измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах), угловые секунды, не более	3	5	10
Угловая невязка хода или полигона (n — число углов в ходе), угловые секунды, не более	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$

Допускаются некоторые отклонения от требований, приведенных в табл. 1. При измерении сторон полигонометрии светодальномерами в отдельных случаях разрешается увеличивать длины привязочных сторон до 30 %. В порядке исключения допускается абсолютная невязка 10 см в ходах полигонометрии 1 разряда длиной до 1 км и 2 разряда — до 0,5 км. Если в ходах 1 и 2 разрядов не чаще, чем через 15 сторон и не реже, чем через 3 км хода определены дирекционные углы сторон с ошибкой менее 7", то длины полигонометрических ходов сторон допустимо увеличивать до 30 %.

Проложение висячих ходов не допускается.

На исходных пунктах измеряют примычные углы.

В исключительных случаях, при утрате наружных знаков и отсутствии видимости с земли между исходными пунктами допускается: прокладывать ходы без угловой привязки на одном из исходных пунктов; осуществлять координатную привязку к пунктам геодезической сети.

При этом в обоих случаях для контроля угловых измерений используют дирекционные углы на ориентирные пункты государственной геодезической сети или дирекционные углы примычных сторон, полученные из астрономических (со средней квадратической ошибкой менее 7") или гироскопических (со средней квадратической ошибкой менее 15") определений.

Проложение замкнутых ходов, опирающихся на один исходный пункт, допускается в отдельных случаях в разрядной полигонометрии при условии, что в слабом месте таких ходов будут определены два дирекционных угла двух смежных сторон со средней квадратической ошибкой менее 7".

При построении городской полигонометрии возможно параллельное следование ходов одного класса или разряда. Если их длина приближается к предельной, то расстояние между их ближними пунктами должно быть более 2,5 км для 4 класса и 1,5 км для 1 разряда. При меньших расстояниях ближайшие пункты следует связывать ходами того же класса или разряда.

При параллельном следовании ходов полигонометрии 4 класса и 1 разряда допустимое минимальное расстояние между ними 1,5 км. Если это условие не выполняется, между ближайшими пунктами этих ходов надо проложить связующий ход полигонометрии 1 разряда.

Пункты городской полигонометрии, расположенные на застроенной территории и на промышленных площадках, закрепляют постоянными центрами или стенными знаками установленных типов. За городом, в сельской местности, постоянными центрами закрепляют не все пункты полигонометрии, а разреженно, через 500 — 1000 м. При этом центры располагают попарно, обеспечивая закрепление обоих концов линии. Узловые точки подлежат обязательному закреплению постоянными центрами.

Высоты всех закрепленных точек полигонометрической сети определяют, как правило, геометрическим нивелированием.

В пересеченной местности для обеспечения крупномасштабных съемок с сечением рельефа через 2 и 5 м высоты точек полигонометрии можно определить с помощью тригонометрического нивелирования.

§ 3. Составление технического проекта

Геодезическая сеть города при достаточной плотности пунктов государственной геодезической сети строится в виде систем ходов полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов, опирающихся на пункты высших классов. В отдельных случаях в качестве исходных для полигонометрии 4 класса могут быть использованы пункты триангуляции 4 класса.

Во всех случаях проектируемые геодезические сети должны опираться не менее чем на три пункта государственной геодезической сети.

Опыт показывает, что наиболее целесообразной формой геодезического обоснования в городах при достаточной плотности пунктов государственной геодезической сети является полигонометрия 4 класса с дальнейшим ее сгущением разрядной полигонометрией (рис. 1). Это

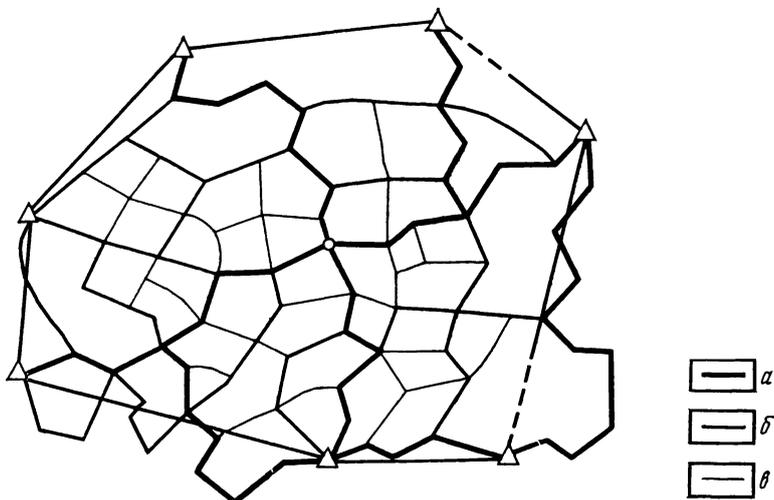


Рис. 1. Схема городской геодезической сети. Полигонометрия: *а* — 4 класса, *б* — 1 разряда, *в* — 2 разряда

объясняется тем, что плотность пунктов полигонометрии 4 класса значительно выше, чем плотность пунктов триангуляции. Это обеспечивает лучшую возможность для проложения ходов полигонометрии 1 и 2 разрядов. Кроме того, пункты полигонометрии 4 класса служат исходными при создании обоснования крупномасштабных съемок и выполнении различных инженерных работ.

В условиях сильно пересеченной или всхолмленной местности и множества узких криволинейных улиц, когда проложить полигонометрию 4 класса невозможно, целесообразно создавать городские геодезические сети построением триангуляции 3 и 4 классов с последующим сгущением ходами полигонометрии 1 и 2 разрядов.

С целью обеспечения большей жесткости сети и уменьшения ошибок исходных данных следует стремиться к сокращению многоступенчатости геодезической сети, ограничиваясь развитием полигонометрии 4 класса и 1 разряда. Следует, однако, помнить, что построение одноклассных сетей имеет отрицательные стороны. Восстановление линий или проложение новых ходов связано с необходимостью нового полного уравнивания сети, а большая разность в длинах сторон исходной и одноклассной сетей затрудняет привязку последней. В то же время ступенчатое построение существенно облегчает организацию полевых и каме-

ральных работ; поэтому установление оптимального числа ступеней требует детального обоснования в техническом проекте.

Работы на застроенной части города сопряжены с рядом трудностей, которые ограничивают возможности повышения точности угловых и линейных измерений. Так, сочетание каменной застройки с зелеными насаждениями создает на городских улицах устойчивые температурные поля, в результате чего измеряемые углы искажаются влиянием горизонтальной рефракции. В экстремальных условиях рефракционные искажения углов могут достигать десятков секунд (см. § 9).

Из-за коротких сторон в ходах полигонометрии ощутимыми являются ошибки визирования, большее влияние на точность угловых измерений оказывают ошибки в определении элементов центрирования и редукции. Отрицательное влияние на проведение в городе геодезических работ в дневное время оказывает движение пешеходов и городского транспорта. Все эти и многие другие факторы должны учитываться при проектировании опорных геодезических сетей в городах. Поэтому при разработке оптимального варианта схемы городской геодезической сети следует исходить из следующих основных положений:

а) развитие городской геодезической сети должно осуществляться с учетом перспективы роста города не менее чем на 10—15 лет;

б) городская геодезическая сеть должна развиваться на основе государственной геодезической сети 2, 3 и 4 классов;

в) ходы полигонометрии следует проектировать по улицам и проездам с наиболее благоприятными условиями для измерения углов и линий, избегая чередования слишком коротких и длинных линий, требующих изменения фокусировки трубы при измерении углов.

При этом следует прокладывать новые ходы по возможности по трассам старых ходов, используя сохранившиеся знаки, для обеспечения надежной связи новой и старой геодезических сетей.

При проектировании ходов городской полигонометрии необходимо рассчитать ожидаемые средние квадратические ошибки определения пунктов полигонометрии и относительные ошибки ходов, и если они окажутся недопустимыми, то проект необходимо пересмотреть.

Особенно полезно выполнить оценку составленного проекта после рекогносцировки его в поле, вычисляя ожидаемые ошибки определения координат узловых пунктов и относительные ошибки ходов.

Ожидаемая средняя квадратическая ошибка в положении конечной точки полигонометрического хода с примерно равными сторонами, опирающегося на два исходных пункта и дирекционных угла, в случае предварительного исправления углов может быть рассчитана по известным формулам:

для вытянутых ходов

$$M^2 = [m_s^2] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}; \quad (1)$$

для изогнутых ходов

$$M^2 = [m_s^2] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D_{0i}^2], \quad (2)$$

где m_s — средняя квадратическая ошибка измерения стороны хода светодальномером, в короткобазисном или параллактическом методах; n — число сторон в ходе; m_α — средняя квадратическая ошибка измерения угла; $L \approx [S]$ — длина замыкающей, равная длине вытянутого хода; D_{0i} — расстояние от центра тяжести до i -й вершины хода.

При измерении линий проволоками формулы (1) и (2) примут вид

$$M^2 = \mu^2 [S] + \lambda^2 [S]^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [S^2] \frac{n+3}{12}; \quad (3)$$

$$M^2 = \mu^2 [S] + \lambda^2 L^2 + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} [D_{0i}^2], \quad (4)$$

где μ и λ — коэффициенты случайного и систематического влияний. При расчетах M нужно использовать значения m_α , m_s , μ и λ , соответствующие применяемому прибору и классу (разряду) полигонометрии. Коэффициент λ целесообразно принимать равным $(1/50)\mu$.

Чтобы определить значения $[D_{0i}^2]$ в формулах (2) и (4), необходимо знать координаты центра тяжести хода. Для вычисления ожидаемой точности вполне достаточно определить их графически. Для этого составляют чертеж хода в масштабе 1 : 5000 или 1 : 10 000, на котором соединяют начальную и конечную точки хода прямой линией. Эту линию принимают за ось абсцисс. Считая первую точку хода началом координат, определяют графически как можно точнее координаты x и y каждой точки хода. Координаты центра тяжести вычисляют по формулам

$$x_0 = [x_i]/n; \quad y_0 = [y_i]/n, \quad (5)$$

где x_0 , y_0 — координаты центра тяжести хода; x_i , y_i — координаты точек поворота, определенные по чертежу; n — число точек поворота, включая конечные точки хода.

Для первой точки хода $x = 0$ и $y = 0$, для конечной точки — $y = 0$, а x определяется из чертежа.

По полученным координатам x_0 и y_0 наносят на чертеж центр тяжести, от которого графически определяют величины D_{0i} для каждой точки хода.

Как правило, ожидаемые средние квадратические ошибки проектируемых ходов любой формы вычисляют по формулам вытянутого хода.

Дело в том, что при одной и той же длине вытянутого и изогнутого ходов по формуле вытянутого хода всегда получаем преувеличенное значение M , так как последний член формул (1), (3) всегда больше последнего члена формул (2), (4). Таким образом, применяя для вычисления ожидаемой средней квадратической ошибки формулу для вытянутого хода, мы создаем некоторый запас точности.

Предельную относительную невязку хода вычисляют по формуле

$$2M/[S] \leq 1/T, \quad (6)$$

где T — знаменатель допустимой относительной ошибки хода соответствующего класса (разряда).

Оценку точности составленного проекта полигонометрической сети обычно выполняют методом последовательных приближений. Сущность его заключается в том, что ожидаемые ошибки определения положения узловых пунктов вычисляют приближениями как среднее весовое из ошибок ходов, сходящихся в данном узловом пункте.

В первом приближении система ходов, сходящихся в каждой узловой точке, рассматривается как самостоятельная система, опирающаяся на пункты, ошибки в положении которых равны нулю. В качестве примера рассмотрим сеть полигонометрических ходов, показанную на рис. 2.

В зависимости от типов применяемых приборов по формулам (1) — (4) вычисляют по каждому ходу ожидаемую среднюю квадратическую ошибку положения узлового пункта:

M_1 — по ходу 1 от пункта А,

M_2 — по ходу 2 от пункта В,

M_3 — по ходу 3 от пункта II.

Тогда веса определения узлового пункта I будут равны

$$p_1 = c/M_1^2, \quad p_2 = c/M_2^2, \quad p_3 = c/M_3^2.$$

Средняя квадратическая ошибка определения положения узлового пункта I в первом приближении будет равна

$$M_I^2 = c/P_I; \quad P_I = p_1 + p_2 + p_3.$$

Так же подсчитывают ожидаемую среднюю квадратическую ошибку определения положения узлового пункта II по ходам 3, 4 и 5:

$$M_{II}^2 = c/P_{II}; \quad P_{II} = p_3 + p_4 + p_5.$$

Эти расчеты выполняют в предпологая, что ошибки исходных данных равны нулю.

Во втором приближении в качестве ошибок исходных данных в пунктах I и II принимают ошибки их определения, полученные в первом приближении. Тогда для пункта I:

$$p'_1 = c/M_1^2; \quad p'_2 = c/M_2^2; \quad p'_3 = c/(M_3^2 + M_{II}^2).$$

Аналогично для пункта II:

$$p'_3 = c/(M_3^2 + M_I^2); \quad p'_4 = c/M_4^2; \quad p'_5 = c/M_5^2.$$

В третьем приближении в качестве ошибок исходных данных принимают ошибки определения положения узловых пунктов I и II, полученных во втором приближении, и т. д.

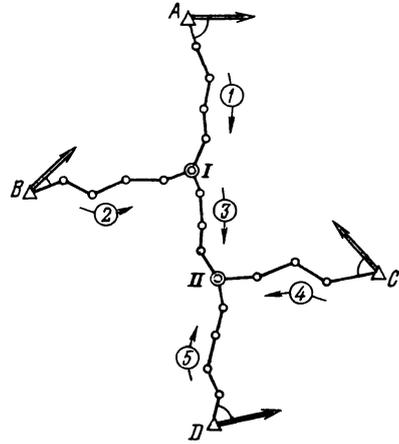


Рис. 2. Сеть полигонометрии с узловыми точками

Приближения продолжают до тех пор, пока в двух последних приближениях будут получены практически одинаковые средние квадратические ошибки. Обычно даже в сложных сетях можно ограничиться тремя приближениями.

Далее необходимо подсчитать по каждому ходу предельную относительную ожидаемую ошибку. Для этого подсчитывают величину ожидаемых ошибок узловых пунктов, пользуясь формулой

$$M^2 = (M_n^2 + M_k^2)/2.$$

Общая ожидаемая ошибка по ходу будет равна

$$M_{\text{общая}}^2 = M^2 + M_i^2,$$

где M_n и M_k — ожидаемые ошибки определения положения начальной и конечной точек хода; M_i — ошибка в ходе с номером i , обусловленная ошибками угловых и линейных измерений.

Предельные относительные ошибки ходов подсчитывают по формуле (6). Они должны укладываться в допуски, установленные инструкцией [15] для полигонометрии соответствующего класса (разряда).

Следует помнить, что передача дирекционного угла на линию, расположенную в середине хода, приводит к некоторому уменьшению поперечного сдвига точек. К более существенному уменьшению поперечных сдвигов точек вытянутого полигонометрического хода приводит уменьшение числа сторон [18], поэтому соблюдение требования допуска Инструкции о числе точек поворота в ходах полигонометрии, которых должно быть не более 15, является одним из главных условий получения хороших результатов.

Привычно утверждение, что наилучшей формой полигонометрического хода является вытянутый ход. Однако результаты исследований [17] утверждают обратное. В вытянутом ходе, эквивалентном изогнутому по длине, числу сторон и показателям точности, определение положения пунктов хода оказывается менее точным, чем в изогнутом. Это объясняется тем, что точность определения положения пунктов хода зависит не только от формы хода, но и от длины, числа сторон, точности угловых и линейных измерений и т. д.

Все факторы, влияющие на точность определения, учитываются коэффициентом Q , который, согласно [17], численно равен отношению поперечной и продольной ошибок средней точки прямолинейного хода, имеющего такие же характеристики, как и изогнутый ход с одним изломом и углами $\varphi = 45^\circ$ (угол между замыкающей и направлением хода), т. е.

$$Q_{\text{ср}} = m_{u_{\text{ср}}} / m_{t_{\text{ср}}}.$$

Коэффициент Q определяется отношением влияния ошибок угловых q_β и линейных q_s измерений на положение конечной точки хода. Для вытянутого хода $q_\beta = m_u$, а $q_s = m_s$, поэтому

$$Q = q_\beta / q_s = m_u / m_s.$$

Если предположить, что на точность хода, в основном, влияют

случайные ошибки, то по исследованиям [17] для траверсной полигонометрии влияние формы хода проявляется в наибольшей степени при повышении точности линейных измерений.

При $Q = 4$ прямолинейный ход имеет ошибку положения наиболее слабого пункта $m_{с.л.}$, в 1,5—2 раза большую, чем ломаные ходы (рис. 3). При $Q_{ср} = 1$ прямолинейный ход на 5—25% точнее, чем ломаные ходы.

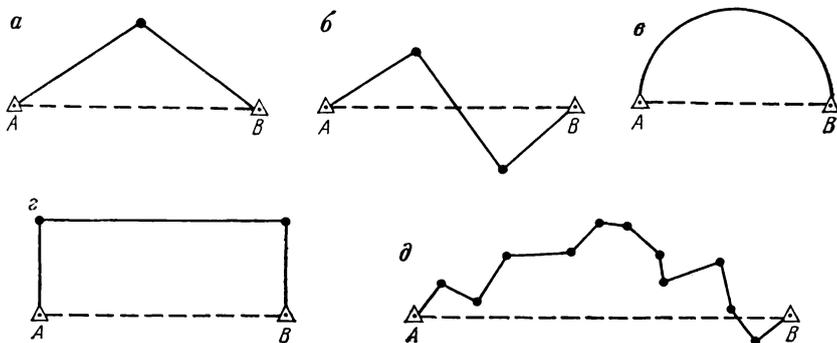


Рис. 3. Схемы полигонометрических ходов различной формы

При $Q_{ср} = 1/4$ изогнутые ходы несколько точнее прямолинейного. Замкнутый ход во всех случаях имеет наименьшую точность $m_{асл}$ определения дирекционных углов, а величина ошибки $m_{с.л.}$ на 10—40% больше, чем в прямолинейном.

По исследованиям, выполненным для светодальномерной полигонометрии [34], предпочтительным также является случай, когда $Q > 1$. При $Q = 5$, что соответствует современным светодальномерам, ошибки $m_{с.л.}$ для ломаных ходов на 10—30% меньше, чем для прямолинейного. При $Q = 2$ и $Q = 1$ ошибки $m_{с.л.}$ практически одинаковы во всех ходах.

Ошибки $m_{асл}$ ходов произвольной формы увеличиваются с уменьшением Q . При $Q = 5$ все значения $m_{асл}$ меньше $m_{з}$ и $m_{асл}$ вытянутого хода, за исключением замкнутого хода. При $Q = 2$ ошибки $m_{асл}$ ходов произвольной формы либо равны, либо несколько уступают ошибке $m_{асл}$ в вытянутом ходе. Если $Q = 1$, что $m_{асл}$ изогнутых ходов в среднем в 1,5 раза больше, чем в вытянутом ходе, и больше $m_{з}$.

Величина отношения $M : m_{с.л.}$, подтверждая результаты [17], находится в пределах 1,9—4,5 и заметно превышает известное соотношение 2,0—2,5.

Влияние формы хода на его точность в значительной мере обуславливается методом уравнивания. Все эти факторы необходимо учитывать при составлении графической части проекта городской полигонометрической сети.

В настоящее время оценку проекта полигонометрической сети можно выполнить на ЭВМ по готовым программам.

В основу такой методики, изложенной в работе [1], положены матрицы коэффициентов нормальных уравнений для различных моделей сети. Обращая ее по стандартной программе на ЭВМ, получаем необходимые данные для оценки точности значений дирекционных углов узловых направлений и координат узловых пунктов.

Расчеты допустимых ошибок угловых и линейных измерений приведены в гл. 2 и 3.

Перед составлением технического проекта следует уточнить границы съемки, получить данные о сохранности пунктов государственной и городской геодезических сетей, изучить материалы топографо-геодезических работ прошлых лет и после этого выбрать оптимальный вариант проектируемой геодезической сети города. При этом, на основе полученных данных о сохранности пунктов, обосновывается необходимость их розыска и обследования. Как показывает практика, сплошной розыск пунктов полигонометрии, закрепленных грунтовыми знаками, через 12—15 лет является экономически нецелесообразным, так как процент сохранившихся пунктов весьма незначителен.

Проект городской полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов составляется, как правило, на картах масштабов 1 : 10 000 — 1 : 25 000 с учетом данных о ранее выполненных геодезических работах, материалов специального обследования, перспективы развития города согласно генеральному плану.

Для крупных городов для этой цели могут быть использованы карты масштаба 1 : 50 000 или 1 : 100 000. Пользуясь координатами, на карты наносят все существующие пункты государственной геодезической сети и пункты старых геодезических сетей. После этого проектируют новые ходы полигонометрии, руководствуясь требованиями, изложенными в § 2 и табл. 1.

Ходы полигонометрии располагают равномерно по всей территории города с таким расчетом, чтобы длины одиночных теодолитных и съемочных ходов, прокладываемых между пунктами полигонометрии, были не более величин, приведенных в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

Допустимые длины ходов между исходными пунктами, км

Масштаб съемки	Для застроенных и открытых территорий		Для территорий, закрытых древесной и кустарниковой растительностью
	1/T=1/3000	1/T=1/2000	1/T = 1/2000
1 : 5000	6,0	4,0	6,0
1 : 2000	3,0	2,0	3,6
1 : 1000	1,8	1,2	1,5
1 : 500	0,9	0,6	—

Составленный проект городской геодезической сети согласовывается с геодезической службой города, после чего направляется на рекогносцировку.

§ 4. Рекогносцировка ходов и закрепление пунктов полигонометрии

Рекогносцировка ходов городской полигонометрии и выбор мест для закрепления пунктов является одним из самых ответственных процессов. От качества рекогносцировки зависят устойчивость и долговечность заложённых знаков, производительность труда при выполнении угловых и линейных измерений, объёмы вычислительных работ, точность определения координат пунктов полигонометрии, качество создаваемой геодезической сети. Поэтому данную работу следует поручать наиболее опытным работникам.

Перед началом рекогносцировки графический проект городской полигонометрии, составленный на карте, согласовывается со всеми городскими организациями, эксплуатирующими подземные коммуникации. В процессе согласования уточняются наличие инженерных подземных сетей и других сооружений вдоль ходов полигонометрии, намечаются участки, где закладка грунтовых полигонометрических знаков должна производиться только в присутствии представителей этих организаций.

При рекогносцировке уточняют направление ходов, намечают места закладки полигонометрических знаков, которые должны обеспечивать их долговременную сохранность, удобство при работе с инструментами, выбирают типы центров.

Сохранность геодезических знаков на долгие годы имеет первостепенное значение при создании геодезического обоснования на любом из участков. Можно сделать геодезическое обоснование высокой точности, но если сохранность знаков не обеспечивается, то ценность этой работы ничтожно мала. Поэтому нельзя устанавливать грунтовые знаки на проезжих частях улиц, на оползнях, осыпях, пашне, болотах, вблизи карьеров и котлованов, вблизи зданий с установленными в них ударными механизмами, так как при работе последних нарушается устойчивость приборов в процессе полевых измерений.

В застроенной части города знаки полигонометрии располагают, как правило, на углах кварталов, чтобы обеспечить наиболее простую связь съёмочных ходов с пунктами полигонометрии, выбирая места закладки знаков вне проезжей части улиц, на краях тротуаров и обочинах дорог и по возможности на теневых сторонах улиц. При выборе типов центров здесь предпочтение следует отдавать стенным знакам, которые являются более долговечными, просты при закладке, не требуют согласований с организациями, ведающими подземными коммуникациями.

Места закладки стенных знаков выбирают с соблюдением следующих условий:

а) здания и сооружения, на которых устанавливают стенные знаки, могут быть удалены от временных грунтовых точек вспомогательного хода не более чем на 20 м, чтобы обеспечить необходимую точность измерения расстояний до стенных знаков;

б) для установки стенных знаков выбирают места на стенах зданий и сооружений на высоте 0,3—1,2 м от поверхности земли с та-

ким расчетом, чтобы архитектурные элементы и конструктивные выступы не препятствовали постановке инвентарной рейки на закладываемой знак;

в) если пункт сети закрепляется системой из нескольких знаков, то все они должны быть установлены на одном уровне в пределах 10 см;

г) между временными точками и центрами ственных знаков визирный луч должен проходить не ниже чем на 0,5 м от поверхности местных предметов;

д) вспомогательный ход следует прокладывать по той стороне улицы, которая дает возможность непосредственно с пунктов хода определять большее число ственных знаков; пункты вспомогательного хода необходимо располагать не ближе 2 м (в пределах фокусировки инструмента) от линии застройки квартала;

ж) положение ственных знаков должно давать возможность свободно развигать ходы по направлениям улиц, идущих от перекрестка ственные знаки, закладываемые на углу здания, должны располагаться не ближе 0,3 м от угла.

Полигонометрические ходы должны не пересекаться на линиях ходов, а примыкать к их поворотным точкам.

При рекогносцировке следует учитывать методы измерения сторон в ходах полигонометрии. При измерении сторон проволоками не следует допускать углов наклона более 5° , при короткобазисном параллактическом или параллактическом методах следует учитывать форму звена, при светодальномерных измерениях лучше измерять стороны средней или предельной длины с наименьшим влиянием внешних условий.

Не следует допускать в ходах полигонометрии чередования слишком коротких и длинных сторон, полигонометрические знаки следует намечать на примерно равных расстояниях. Наличие короткой стороны рядом с длинной вызывает необходимость изменения фокусировки трубы, а это снижает точность угловых измерений.

Особое внимание при рекогносцировке следует уделять привязке ходов полигонометрии к исходным пунктам. При привязке к пунктам триангуляции места закладки знаков полигонометрии надо выбирать таким образом, чтобы линия для передачи дирекционного угла со стороны триангуляции на линию полигонометрического хода были не короче средней расчетной, указанной в табл. 1.

Если на пункте триангуляции нет с земли видимости на смежные пункты, то азимутальную привязку к стороне триангуляции следует осуществлять через вспомогательное направление на достаточно удаленный и хорошо видимый с центра пункта предмет (см. рис. 56).

При непосредственной передаче дирекционного угла на конечную линию полигонометрического хода AI путем измерения примычного угла β со столика сигнала последний может быть заметно искажен влиянием ошибки центрирования инструмента. Как известно, ошибка графического определения элементов центрирования может достигать 5 мм. При длине линии $AI = 300$ м это даст ошибку в примычном угле, равную $3,5''$.

Если пункт триангуляции расположен на здании, то при привязке

к такому пункту требуется передать его координаты на пункт полигонометрии. Для этого при рекогносцировке следует наметить такую схему передачи координат, в которой треугольники были бы близки к равносторонним, а длина стороны, через которую осуществляется передача дирекционного угла на линию полигонометрического хода, была бы не короче 200 м (см. рис. 55).

Рекогносцировку начинают от исходного пункта. Выбрав на местности первую точку хода, устанавливают на ней вешку и переходят по направлению проектируемого хода для выбора следующей точки. Наличие видимости между точками устанавливают при помощи теодолита или бинокля. При выполнении рекогносцировки ранней весной следует учитывать, что с распусканием листьев видимость по выбранным направлениям может не быть. При выборе мест закладки центров знаков и установлении видимости между ними следует учитывать необходимость наибольшего ослабления влияния горизонтальной рефракции, которая может существенно проявляться при прохождении визирного луча ближе 2 м от зданий на солнечной стороне и 1 м на теневой [36].

При выборе узловых точек одновременно намечают места закладки смежных с ними знаков по всем ходам, которые сходятся в этом узле.

В намеченных для закрепления пунктов местах ставят вешки, забивают колья или штыри, которые окапывают канавками, а на асфальте делают пометки масляной краской и привязывают их не менее чем тремя промерами к постоянным предметам местности с зарисовкой специальный абрис.

По окончании рекогносцировки представляют следующие материалы:

а) схему ходов полигонометрии после рекогносцировки, где соответствующими условными знаками показывают грунтовые и стенные знаки, указывают названия и высоты пунктов, пункты, совмещенные со старыми знаками, привязочные направления;

б) карточки зарисовки и привязки мест закладки новых пунктов полигонометрии;

в) материалы согласования проекта с городскими организациями;

г) пояснительную записку, в которой наряду с данными о выполненной работе по рекогносцировке излагаются предложения по дальнейшему производству геодезических работ, по изготовлению и закладке центров, типов знаков, организации работ по измерению углов и линий, особые случаи привязки, рекомендации о выборе базы партий, соображения по комплектованию бригад рабочей силой, сведения о наличии строительных материалов и др.

Представленные материалы используются для уточнения проекта городской полигонометрической сети и для организации и производства полевых геодезических работ, в первую очередь при закладке центров полигонометрических знаков.

З а к р е п л е н и е п у н к т о в п о л и г о н о м е т р и и при развитии геодезического обоснования на промышленных площадках и в населенных пунктах производится постоянными ценгами согласно

требованиям, изложенным в [37]. Типы центров разработаны с учетом устойчивости знаков, различных физико-географических условий, испытываемой механической нагрузки и химического воздействия, а также с учетом механического изготовления и закладки их.

Грунтовые центры закладываются, как правило, на незастроенных территориях, а на застроенной территории там, где невозможна установка стенного знака и допустимо производство земляных работ. Однако закладка грунтовых знаков, особенно в крупных городах, значительно усложняется все растущим подземным хозяйством, а быстрый рост городов, реконструкция проездов и кварталов, усовершенствование дорожных покрытий приводят к уничтожению в течение десяти лет до 50% заложенных пунктов. В зимнее время снежный покров и обледенение значительно затрудняют розыск грунтовых знаков, кроме того, их закладка дорожке, чем закладка стенных центров.

Стенные знаки по сравнению с грунтовыми имеют ряд существенных преимуществ, и им, при возможности, следует отдавать предпочтение. Они более устойчивы, стоимость их изготовления и закладки значительно меньше, ими удобнее пользоваться в любое время года. Однако закрепление пунктов полигонометрии стенными знаками возможно только на застроенной части города, что составляет всего 30% от общего числа пунктов сети [10].

В настоящее время пункты полигонометрии закрепляются грунтовыми центрами типа 1 г. р., 2 г. р., 3 г. р., 4 г. р., 5 г. р., 6 г. р. и стенными знаками двух типов — 7 г. р. и 8 г. р. [15].

Грунтовые центры по своей конструкции различаются в зависимости от глубины промерзания грунта. В районах с неглубоким промерзанием закладываются центры типа 1 г. р., а в районах глубокого промерзания и многолетней мерзлоты — 2 г. р. и 3 г. р.

Грунтовый центр пункта полигонометрии 2, 3 и 4 классов для районов с неглубоким промерзанием грунта (до 1,5 м) типа 1 г. р. применяется для закрепления, как правило, всех узловых пунктов, а также пунктов полигонометрии 4 класса через каждые 0,5—2 км по ходу при отсутствии каменных (бетонных) фундаментов для закладки стенных реперов. В этом случае центр типа 1 г. р. одновременно является и нивелирным знаком. Он состоит из трех частей:

а) бетонного якоря в виде плиты диаметром 50 см и высотой 20 см с круглым отверстием диаметром 14—18 см; основание якоря должно располагаться на 50 см ниже наибольшей глубины промерзания и не менее 120 см от поверхности земли;

б) асбоцементной или металлической трубы диаметром 12—16 см и толщиной стенок не менее 15 мм, которая заполняется цементным раствором, или железобетонного пилона круглого (диаметр 12—16 см) или прямоугольного сечения, или рельса. В верхний конец трубы (пилон) вмонтируют марку;

в) предохранительного чугунного колпака с опорным бетонным кольцом и металлической крышкой.

В районах с глубоким промерзанием грунта (свыше 1,5 м) и в районах распространения многолетней мерзлоты закладываются трубчатые центры типа 2 г. р. с бетонным якорем в виде плиты диаметром

50 см и высотой 20 см. Для их изготовления используют трубу диаметром 60 мм и толщиной стенок 3 мм, к верхнему концу которой приваривается марка. Основание бетонного якоря закладывается на 50 см ниже наибольшей глубины промерзания грунта и на 100 см ниже наибольшей глубины оттаивания грунта. При закладке центров методом бурения или протаивания применяются центры типа 3 г. р.

В скальных породах, выходящих на земную поверхность или залегающих на глубине до 80 см, закладывается центр типа 4 г. р., представляющий собой марку, заложенную непосредственно в скалу, над которой устанавливается бетонный монолит в виде усеченной пирамиды с верхним основанием 12×12 см, куда вмонтируется чугунная марка. Ширина нижнего основания бетонного монолита выбирается в зависимости от глубины залегания скальных пород от 30 до 50 см. При залегании скальных пород на глубине более 80 см на пунктах закладываются центры типа 1 г. р.

Центры типа 1 г. р., 2 г. р., 3 г. р., 4 г. р., 7 г. р., 8 г. р., одновременно используются и как реперы нивелирования 2, 3 и 4 классов.

Центры типа 5 г. р. и 6 г. р. закладываются в районах сезонного промерзания грунта на незастроенной территории, а также на застроенной территории там, где невозможна установка стенного знака.

Центр типа 5 г. р. состоит из двух частей:

а) бетонного монолита в виде усеченной четырехгранной пирамиды с нижним основанием 30×30 см, верхним — 12×12 см и высотой 20 см с вмонтированной в него маркой;

б) бетонного монолита в виде усеченной четырехгранной пирамиды с нижним основанием 50×50 см, верхним основанием 12×12 см и высотой 40 см с вмонтированной маркой.

Монолиты закладывают так, чтобы оси марок находились на одной отвесной линии, глубина закладки нижнего центра 0,7 м. Верхний монолит устанавливается на слой цементного раствора толщиной не менее 3 см.

Центр типа 6 г. р. представляет собой бетонный монолит в виде усеченной четырехгранной пирамиды с нижним основанием 40×40 см, верхним основанием 15×15 см и высотой 20 см с заделанной в него металлической трубой диаметром 35—60 мм и толщиной стенок не менее 3 мм. К верхнему концу трубы приваривается марка. Над центром устанавливается чугунный колпак с крышкой и опорными бетонными кольцами или кирпичной кладкой, заменяющей их.

Для обеспечения большей устойчивости и сохранности знаков боковые грани колпаков заливают бетонным раствором.

На незастроенной территории вместо предохранительных металлических колпаков можно использовать бетонные, железные асбоцементные или железобетонные крышки.

Следует помнить, что центры типа 5 г. р. и 6 г. р. не могут служить реперами нивелирования. Поэтому при закреплении ходов полигонометрии этими центрами необходимо обеспечить в застроенной части населенного пункта закладку стенных знаков не реже чем через 200 — 300 м вдоль ходов полигонометрии, а на незастроенной территории — центров типа 1 г. р. через 0,5—2 км.

Стенные знаки закладывают в прочные каменные, кирпичные, бетонные и железобетонные здания и сооружения на высоте 0,3—1,2 м от поверхности земли. Отверстие для закладки знаков просверливают соответствующим буром, мотоперфоратором или пробивают шлямбуром или зубилом. Пробитое отверстие тщательно промывают водой, а затем заполняют жидким раствором цемента состава 1 : 1. Хвостовую часть знака вдавливают в цементный раствор так, чтобы знак принял необходимое положение, после чего стену вокруг знака заштукатуривают.

Для кирпичных стен раствор приготавливают жидкий, для блочных и панельных — более густой.

Растворы с мелким песком менее прочны, чем с крупным. Присутствие в песке торфа, перегноя, глины отрицательно сказывается на прочности бетона. Загрязнение песка не должно превышать 2% его массы. Загрязненная вода также значительно понижает прочность бетона, и для закладки стенных знаков такая вода не должна применяться. При закладке стенных знаков ранней весной и поздней осенью, при температуре воздуха ниже $+3^{\circ}\text{C}$, воду следует подогревать.

Стенной знак типа 7 г. р. представляет собой металлический стакан, который с помощью выстрела из монтажного пистолета СМП-3м крепится дюбелем к стене здания или сооружения. Центром пункта служит отверстие диаметром 2 мм.

Стенной знак типа 8 г. р. соответствует типу стенового чугунного репера. Центром пункта служит отверстие диаметром 2 мм, просверленное в верхней части сферической головки знака.

На знаках типов 7 г. р. и 8 г. р. должна быть надпись, состоящая из начальных букв названия организации и номера знака.

Наземные рабочие центры пунктов полигонометрии на участках местности с твердым покрытием закрепляют горизонтальными марками, коваными гвоздями, железными костылями, штырями из обрезков труб, арматуры и т. п., которые забивают в асфальтовое покрытие или бетонируют в грунте. Центры таких знаков, как и всех остальных, фиксируют просверленным отверстием.

Рабочие центры у одиночных стенных знаков можно закреплять гвоздями на асфальтовом покрытии и деревянными кольями с гвоздем на открытом грунте. Нумерацию систем стенных знаков производят следующим образом [25]:

а) если система стенных знаков является самостоятельным пунктом сети, то этой системе присваивают номер основного знака. Например: ст. п. п. 14 (ст. зн. 14, 121, 98) — стеной полигонометрический знак № 14, состоящий из трех знаков — № 14, 121, 98.

Наземному рабочему центру или временной точке в системе стенных знаков, закрепленных гвоздями, костылями и т. д., присваивают номер основного знака: вр. т. 14: — временная точка системы стенных знаков № 14. Если наземный рабочий центр закреплен горизонтальной маркой с номером, то ему присваивается номер, подписанный на марке: вр. т. 214 — временная точка системы стенных знаков № 14;

б) если система стенных знаков дублирует грунтовый знак, то всей системе знаков присваивают номер грунтового знака с указанием

в скобках номеров входящих в нее ственных знаков. Например: п.п. 32 (ст. зн. 38, 24, 92) — грунтовой полигонометрический знак № 32, продублированный ственными знаками № 38, 24, 92.

Основным в приведенных системах является средний знак, в системе из двух ственных знаков основным служит левый знак.

Наружное оформление мест расположения геодезических пунктов на незастроенной территории, в зависимости от класса пункта, можно выполнять следующими способами:

а) над центром пункта устанавливают металлическую пирамиду на бетонных якорях; на пахотных землях пирамиду окапывают канавкой глубиной 0,8 м;

б) на расстоянии 1,5 м от центра устанавливают опознавательный железобетонный столб размером 15 × 15 × 160 см; для лучшего опознавания выступающую над поверхностью земли часть столба окрашивают в желтый цвет с горизонтальными черными полосами.

Кроме того, на металлической пирамиде крепится, а в опознавательный столб цементируется металлическая табличка с надписью «Геодезический пункт, охраняется государством».

На пунктах, где установка опознавательных знаков (пирамида, столб) невозможна, на ближайшем от пункта местном предмете (строение, забор, телеграфный столб и др.) укрепляют металлический трафарет с начальными буквами организации, производящей геодезические работы, и номером знака. Лицевую сторону трафарета окрашивают желтой краской, надписи делают черной.

КАРТОЧКА ЗАКЛАДКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПУНКТА			
ПУНКТ ПОЛИГОНОМЕТРИИ I РАЗРЯДА №49			
<p>Схема местоположения пункта</p> <p>Масштаб 1:1000</p>	<p>Описание местоположения пункта</p> <p><i>г.Воронков, ул. Кольцевая, напротив дома №20</i></p> <p>Центр — стандартный, тип 5 гр. в соответствии с Центрами геодезических пунктов для территории городов, поселков и промышленных площадок (ГУТК, 1972 г.)</p>		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; height: 40px;">Наружный знак</td> <td style="width: 50%; height: 40px;">Разрез центра</td> </tr> </table>	Наружный знак	Разрез центра
Наружный знак	Разрез центра		
" " 19 __ г.	Составил: _____ (должность, фамилия, подпись) Нач. партии		

рис. 4. Карточка закладки пункта

Каждый установленный полигонометрический знак привязывают к наиболее устойчивым контурам местности не менее чем тремя промерами, а его местоположение тщательно зарисовывают в карточках закладки. Расстояния измеряют стальной рулеткой с точностью до 1 см.

Карточки закладки пунктов полигонометрии (рис. 4) являются основными документами при последующем розыске центров, поэтому точность выполненных привязок должна быть высокой, а их вычерчивание и оформление весьма аккуратными и полными.

Все заложенные знаки сдаются для наблюдения за сохранностью управлению главного архитектора города по актам установленного образца.

В результате выполненных работ по закладке пунктов полигонометрии представляются к сдаче следующие материалы:

- а) схема геодезической сети с номерами заложенных знаков, рабочих центров и временных точек;
- б) карточки закладки пунктов полигонометрии;
- в) акты о сдаче знаков на наблюдение за сохранностью;
- г) краткая объяснительная записка о выполненных работах.

ГЛАВА 2

УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 5. Теодолиты для угловых измерений в городской полигонометрии

Геодезическое приборостроение осуществляет серийный выпуск отечественных оптических теодолитов шести типов: Т1, Т2, Т5, Т15, Т30, Т60, предусмотренных ГОСТ 10529—79.

Для угловых измерений в городской полигонометрии в основном применяют точные оптические теодолиты (табл. 3) отечественного и зарубежного производства: Т2, 2Т2, Т5, 2Т5К, Theo 010А, ТеВ1, Theo 020А и т. п.

Современные точные оптические теодолиты приспособлены для работы по трехштативной системе, при положительных и отрицательных температурах. Теодолиты снабжены стеклянными горизонтальными и вертикальными угломерными кругами, оптическими центрирами. Зрительные трубы, преимущественно астрономические, имеют внутреннюю фокусировку, окулярная трубка отсчетного микроскопа находится рядом с окуляром зрительной трубы.

Ряд узлов и деталей теодолитов унифицированы. Лимбы угломерных кругов разделены на 360°.

Теодолит Т2 (рис. 5). Точный оптический теодолит с цилиндрической системой вертикальных осей применяют для измерения углов в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов.

Отсчетывание по кругам осуществляется с помощью оптического микрометра, размещенного в одной из колонок теодолита. В другой колонке расположен вертикальный круг.

Технические характеристики теодолитов

Основные параметры	T2	2T2	Theo 010A	Te-B1	T5	T5K	2T5	2T5K	Theo 020A
	СССР		ГДР	ВНР	СССР				ГДР
Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла, угловые секунды, не более	±2	±2	±1	±2	±5	±5	±5	±5	±3
Увеличение зрительной трубы, крат, не менее	25	27,5	30	30	27	27,5	27,5	27,5	25
Диаметр свободного отверстия объектива зрительной трубы, мм, не менее	35	35	40	45	35	38	38	38	36
Наименьшее расстояние визирования, м, не более	1,5	1,5	1,5	2	2,5	2	1,5	1,5	1,5
Фокусное расстояние объектива, мм	250	—	270	240	253	218,5	—	—	275
Диаметры кругов, мм, не более:									
горизонтального	100	100	86	93	100	105	100	105	86
вертикального	72	72	60	60	72	72	72	72	86
Цена деления лимба, угловые минуты	20	20	20	20	60	60	60	60	60
Цена деления оптического микрометра, угловые секунды	1	1	1	1	60	60	60	60	60
Цена деления уровня (на 2 мм), угловые секунды:									
при алидаде горизонтального круга	15	15	20	20	25—30	30	30	30	30
при алидаде вертикального круга	20	15	20	20	15	—	30	—	—
Масса теодолита, кг, не более	5,2	4,2	4,5	5,5	3,6	3,5	3,8	3,6	4,2
Диапазон действия компенсатора, угловые минуты	—	—	—	—	—	3,5	—	3,5	4
Точность компенсации, угловые секунды	—	—	—	—	—	2	—	2	1

В теодолите использован принцип совмещенного отсчета по двум диаметрально противоположным сторонам угломерных кругов. Поле зрения отсчетного микроскопа представлено на рис. 6. В левом (большом) окошке видно изображение штрихов лимба основной (вверху) и диаметрально противоположной (внизу) сторон круга. Цена наименьшего деления на лимбе, ограниченного двумя бифилярными штрихами на горизонтальном круге или двумя одинарными штрихами на вертикальном круге, равна 20'. Градусные деления подписаны.

В правом окошке видны часть десятиминутной шкалы микрометра и неподвижный отсчетный индекс. Цена деления шкалы микрометра 1". Слева от шкалы дана оцифровка минут, справа — десятков секунд.

Для взятия отсчета необходимо вращением головки 7 микрометра тщательно совместить в левом окошке изображения верхних и нижних штрихов лимба. Отсчет градусов осуществляют по верхнему изо-

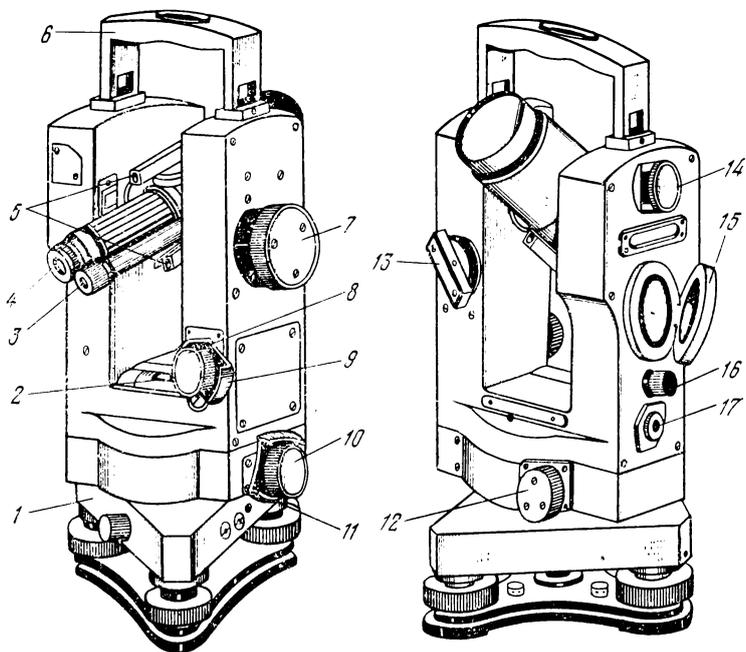


Рис. 5. Теодолит Т2:

1 — подставка, 2 — цилиндрический уровень, 3 — окуляр отсчетного микроскопа, 4 — окуляр зрительной трубы, 5 — коллиматорный визир, 6 — ручка для переноски, 7 — головка оптического микрометра, 8, 9 — наводящий и зажимной винты зрительной трубы, 10, 11 — наводящий и зажимной винты алидады горизонтального круга, 12 — ручка перестановки горизонтального круга, 13 — ручка переключателя кругов, 14 — поворотная призма, 15 — зеркало, 16 — установочный винт уровня вертикального круга, 17 — окуляр оптического центра

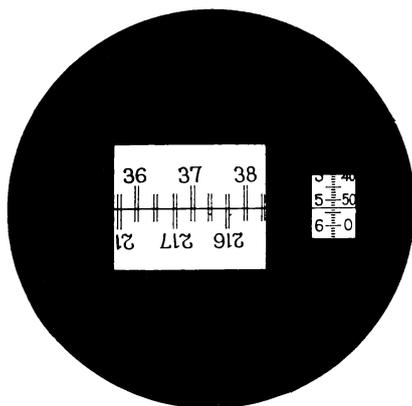


Рис. 6. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т2. Отсчет по горизонтальному кругу $36^{\circ} 55' 53,1''$

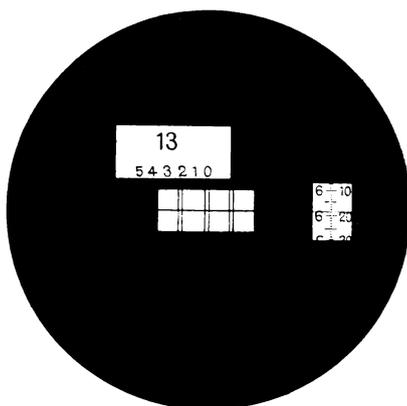


Рис. 7. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т2. Отсчет по горизонтальному кругу $13^{\circ} 36' 19,2''$

бражению. Десятки минут определяют по числу интервалов,* заключенных между зафиксированным верхним и отличающимся от него на 180° нижним градусными штрихами.

По неподвижному индексу шкалы микрометра отсчитывают единицы минут, секунды и десятые доли секунд.

Полный отсчет получают путем сложения полученных значений (см. рис. 6).

За основное принято рабочее положение Т2, когда вертикальный круг расположен слева от наблюдателя.

Т е о д о л и т 2 Т 2. Этот прибор относится к группе унифицированных теодолитов серии «2Т». Устройство и назначение прибора те же, что и у точного теодолита Т2, однако есть отличительные особенности.

Уменьшена высота прибора за счет более короткой зрительной трубы. Сетка нитей зрительной трубы теодолита 2Т2 неподвижна. Для коррекции коллимационной ошибки служит специальное клиновое кольцо, поворачивая которое можно добиться смещения вертикальной оси трубы относительно горизонтальной.

Теодолит 2Т2 уже за счет уменьшения размера оптического микрометра. Винты управления расположены более удобно, что освобождает наблюдателя от дополнительных движений.

Для сокращения времени поиска визирной цели теодолит 2Т2 снабжен кругом-искателем, градусное деление которого можно видеть через два иллюминатора. В теодолите 2Т2 за основное принято положение вертикального круга слева от наблюдателя.

Одной из основных особенностей является новая система отсчитывания по микроскопу. В поле зрения отсчетного микроскопа видны три окошка (рис. 7). В центральном окошке осуществляется совмещение изображений штрихов диаметрально противоположных сторон угломерного круга. Далее в верхнем окошке отсчитывают градусы и десятки минут. При этом отсчет градусов производят в пределах шкалы десятков минут, обозначенной цифрами 0—5. Цифра, соответствующая числу десятков минут, находится под числом градусов.

Единицы минут, секунды и десятые доли секунд, как и у теодолита Т2, отсчитывают по неподвижному индексу шкалы микрометра.

Т е о д о л и т Т е о 0 1 0 А (рис. 8). Секундный оптический теодолит Theo 010А выпускается Народным предприятием «К. Цейсс, Йена» (ГДР) взамен известного прибора Theo 010. Этот теодолит с цилиндрической неповторительной системой вертикальных осей.

Как Т2 и 2Т2, теодолит Theo 010А может широко применяться при угловых измерениях в сетях городской полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов, но содержит ряд существенных индивидуальных отличий.

Зрительная труба Theo 010А с внутренней фокусировкой и прямым изображением предмета. Уровень при вертикальном круге заменен компенсатором с предельным наклоном вертикальной оси $\pm 4'$. На одной оси совмещены зажимные рычажные устройства 11 и 13 флажкового

* Штрихи верхнего и нижнего изображений движутся навстречу друг другу с одинаковой скоростью, поэтому цена деления уменьшается в два раза.

типа соответственно для алидады и зрительной трубы (см. рис. 8), а также головка переключателя кругов 8. Кроме того, фиксацию алидады и трубы можно выполнять одновременно при помощи рычажного устройства 12.

Поле зрения отсчетного микроскопа изображено на рис. 9. В нижнем окошке совмещают верхние и нижние бифилярные штрихи поворотом

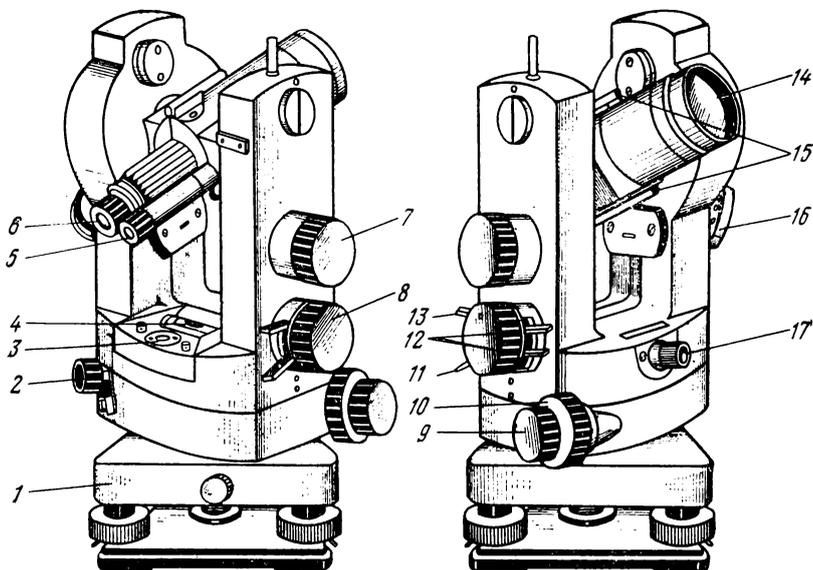


Рис. 8. Теодолит Theo 010А:

1 — подставка, 2 — ручка перестановки горизонтального круга, 3 — круглый уровень, 4 — цилиндрический уровень, 5 — окуляр отсчетного микроскопа, 6 — окуляр зрительной трубы, 7 — головка оптического микрометра, 8 — головка переключателя кругов, 9, 10 — наводящие винты трубы и алидады, 11, 13 — зажимные устройства для автономного закрепления алидады и трубы, 12 — зажимное устройство для одновременного закрепления алидады и трубы, 14 — объектив зрительной трубы, 15 — коллиматорный визир, 16 — зеркало, 17 — окуляр оптического центра

головки 7 оптического микрометра. Для получения полного отсчета производят отсчет градусов в верхнем левом окошке поля зрения, десятков минут — в одном из центральных малых окошек и единиц минут, секунд и десятых долей секунд — по неподвижному индексу шкалы микрометра в правом окошке.

Для удобства измерений поле зрения микроскопа имеет разную окраску при отсчитывании по горизонтальному и вертикальному кругам.

В последнее время начат выпуск новой унифицированной модели Theo 010В, которая по основным техническим параметрам соответствует теодолиту Theo 010А.

Т е о д о л и т Т 5 (рис. 10). Точный повторительный оптический теодолит Т5 с цилиндрической системой вертикальных осей применяется для угловых измерений в разрядной полигонометрии.

Соединение горизонтального круга с алидадой осуществляется на-

жатием защелки 3. С помощью клавиши 2 алидада и лимб разъединяются. Зрительная труба дает обратное изображение. За основное принято рабочее положение теодолита, когда вертикальный круг находится справа от наблюдателя. Т5 снабжен уровнями при горизонтальном и вертикальном кругах. Зажимные и наводящие винты соосны.

Рис. 9. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Theo 010A. Отсчет по горизонтальному кругу $116^{\circ} 33' 15,0''$

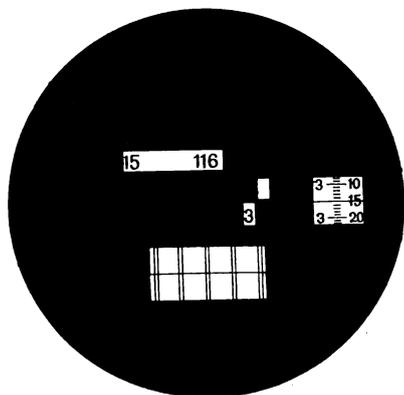
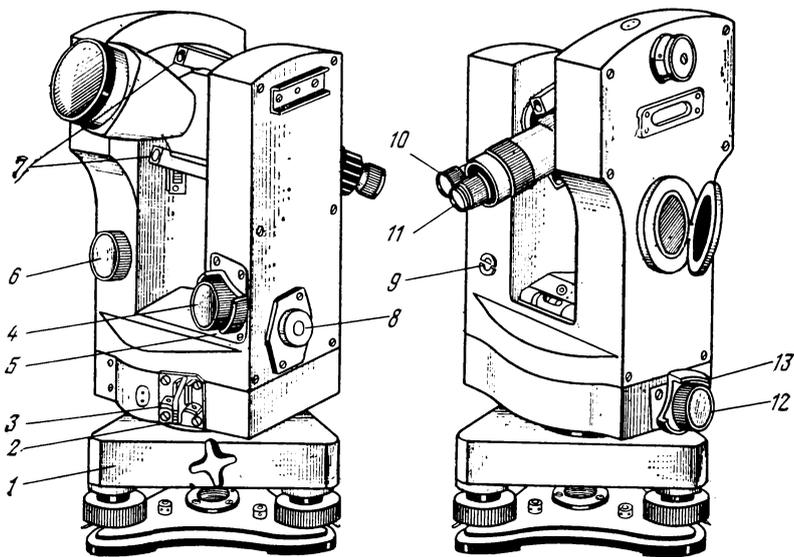


Рис. 10. Теодолит Т5:

1 — подставка, 2, 3 — защелка и клавиша повторительного устройства, 4, 5 — наводящий и зажимной винты зрительной трубы, 6 — установочный винт уровня, 7 — визир, 8 — окуляр оптического центра, 9 — юстировочный винт уровня, 10 — окуляр отсчетного микроскопа, 11 — окуляр зрительной трубы, 12, 13 — наводящий и зажимной винты алидады горизонтального круга



В поле зрения одностороннего отсчетного микроскопа одновременно видны изображения штрихов горизонтального (Г) и вертикального (В) кругов (рис. 11). На лимбах нанесены и подписаны градусные деления.

Шкалы отсчетного микроскопа содержат по 60 делений. Отсчетным индексом является градусный штрих. Точность отсчитывания $0,1'$.

Теодолит Т5К. В отличие от Т5 теодолит Т5К неповторительный. Перемещение горизонтального круга осуществляется вручную.

Вместо уровня при вертикальном круге у Т5К имеется оптический компенсатор (характеристики см. в табл. 3). Кремальера вынесена на колонку. За основное принято рабочее положение теодолита при вертикальном круге справа от наблюдателя.

Для отсчитывания применен односторонний шкаловой микроскоп. Изображение его поля и принцип отсчитывания у теодолитов Т5К и Т5 одинаковы (см. рис. 11).

Теодолиты 2Т5 и 2Т5К (рис. 12). Точные оптические теодолиты 2Т5 и 2Т5К являются представителями унифицированного

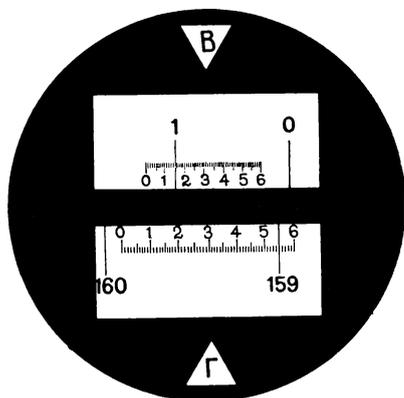
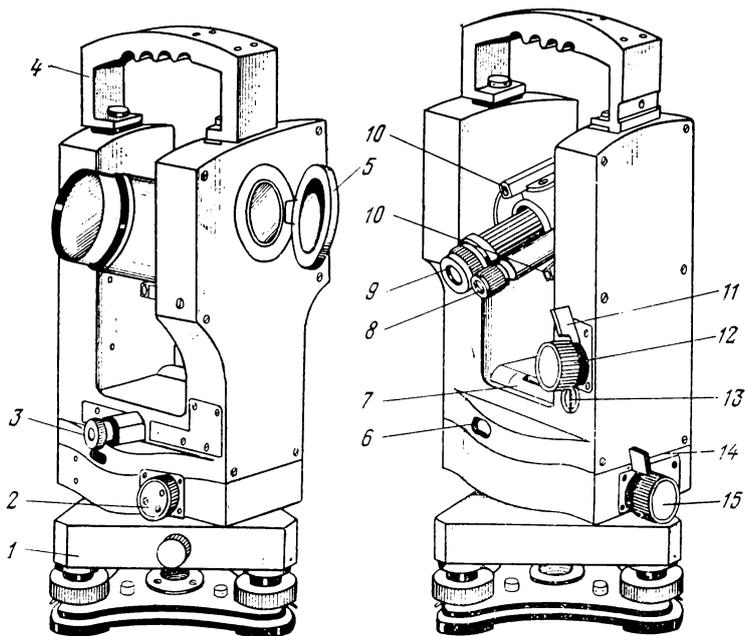


Рис. 11. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т5. Отсчет по горизонтальному кругу $159^{\circ}55,0'$, отсчет по вертикальному кругу $1^{\circ}15,0'$

Рис. 12. Теодолит 2Т5К:

1 — подставка, 2 — ручка перестановки горизонтального круга, 3 — окуляр оптического центра, 4 — ручка для переноски, 5 — зеркало, 6 — иллюминатор, 7 — цилиндрический уровень, 8 — окуляр отсчетного микроскопа, 9 — окуляр зрительной трубы, 10 — коллиматорный визир, 11, 12 — зажимной и наводящий винты зрительной трубы, 13 — юстировочный винт уровня, 14, 15 — зажимной и наводящий винты алидады горизонтального круга



ряда серии «2Т» и имеют некоторые одинаковые с 2Т2 узлы и детали. Их прототипы — Т5 и Т5К.

Оба прибора имеют цилиндрическую неповторительную систему вертикальных осей, но предусмотрена возможность превращения их в повторительные. Зрительные трубы 2Т5 и 2Т5К, как и у 2Т2, короткие,

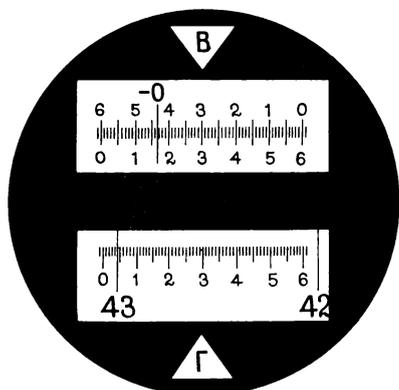


Рис. 13. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т5. Отсчет по горизонтальному кругу $43^{\circ} 04,9'$, отсчет по вертикальному кругу $-0^{\circ} 16,5'$

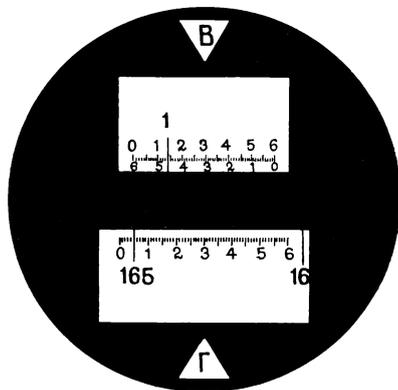


Рис. 14. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т5К. Отсчет по горизонтальному кругу $165^{\circ} 04,9'$, отсчет по вертикальному кругу $1^{\circ} 14,0'$

переводятся через зенит обоими концами и снабжены поворотным клиновым кольцом для устранения коллимационной ошибки.

Теодолиты имеют круг-искатель с иллюминаторами для взятия отсчетов с точностью до 1° .

Перестановка горизонтального круга осуществляется ручкой 2. (рис. 12). Ручка 4 для переноски прибора при необходимости снимается, а на ее место может быть установлен приемопередатчик светодальномера СМ-5 или СТ-5.

Как и у всех теодолитов серии «2Т», для 2Т5 и 2Т5К за основное принято положение, при котором вертикальный круг расположен слева от наблюдателя.

Теодолит 2Т5 снабжен уровнем, а 2Т5К — оптическим компенсатором при вертикальном круге.

Поля зрения отсчетных микроскопов теодолитов 2Т5 и 2Т5К приведены соответственно на рис. 13 и 14. Вертикальный круг разбит на

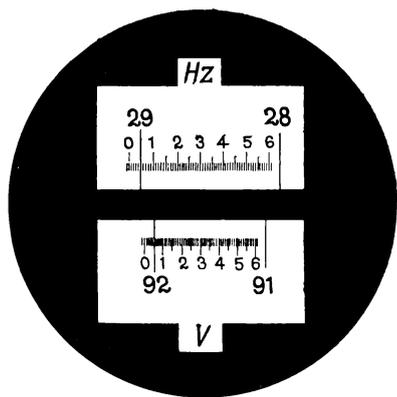


Рис. 15. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Theo 020A. Отсчет по горизонтальному кругу $29^{\circ} 05,0'$, отсчет по вертикальному кругу $92^{\circ} 05,2'$

4 сектора, из которых 2 противоположных имеют положительную оцифровку от 0° до 75° и 2 других отрицательную — от -0° до -75° . Значения 0° и -0° отстоят на 1° . Шкала вертикального круга имеет две оцифровки: верхнюю — для отсчитывания положительных углов наклона (при положительных градусных делениях) и нижнюю — для отсчитывания отрицательных углов наклона (при появлении знака минус перед градусным делением).

Изображения кругов в поле зрения отсчетного микроскопа обозначены буквами «В» и «Г» и окрашены в два разных цвета.

Теодолит Theo 020 А. Это точный оптический теодолит с цилиндрической повторительной системой вертикальных осей, пригодный для измерения углов в разрядной полигонометрии по трехштативной системе. Имеет оптический центрир, шкаловый микроскоп с точностью отсчитывания $6''$, зрительную трубу прямого изображения, компенсатор при вертикальном круге и др.

Многие узлы и детали заимствованы у теодолита Theo 010А. Поле зрения отсчетного микроскопа с примером отсчитывания приведено на рис. 15. Изображения горизонтального и вертикального кругов в поле зрения соответственно обозначены H_z и V и окрашены в 2 разных цвета. Кроме того, во избежание ошибок, по желанию оператора, при измерении горизонтальных углов изображение вертикального круга может быть отключено.

§ 6. Поверка и исследование точных теодолитов

Теодолиты должны удовлетворять ряду технологических и геометрических условий, вытекающих из принципа измерения горизонтальных и вертикальных углов. Поэтому в процессе эксплуатации их подвергают тщательной поверке. Последовательность выполнения отдельных операций поверки должна исключать нарушение одного условия невыполнением другого и предусмотрена ОСТ 68-8.4—83. Ряд метрологических характеристик (рен, эксцентриситет и т. п.) получают из исследования теодолитов.

На периодичность проведения поверки и исследования влияют условия эксплуатации и стабильность работы теодолитов.

Рассмотрим последовательно операции поверки и исследования точных оптических теодолитов, обязательно выполняемые перед началом полевых работ.

Осмотр теодолита. До начала угловых измерений следует проводить детальный осмотр теодолитного комплекта. Осмотром выявляют механические повреждения, вмятины и т. п., затрудняющие работу с прибором. Комплектность теодолита должна соответствовать перечню принадлежностей, приведенному в паспорте или описании прибора.

Проверяют работоспособность замков и винтов, фиксирующих установку теодолита в футляре; плавность вращения его отдельных частей, зажимных и наводящих винтов; работоспособность повторительного устройства; правильность фиксации зеркала отсчетной системы; исправность электроосвещения прибора; четкость и контрастность изо-

бражений в отсчетном микроскопе и зрительной трубе; отсутствие перекоса изображения штрихов лимба в отсчетном микроскопе и т. д.

Вращение подъемных винтов подставки теодолита должно быть легким и плавным. Выполнение этого требования достигается регулировкой хода каждого подъемного винта путем ограниченного вращения в нужную сторону регулировочной гайки.

Подставка и штатив теодолита должны обеспечивать его азимутальную устойчивость. После установки теодолита на штативе в рабочее положение крест сетки нитей зрительной трубы тщательно наводят на удаленную точку. Легким усилием разворачиваем головку штатива в одну сторону, а затем в противоположную. Если после каждого действия изображение возвращается на крест нитей, то штатив достаточно устойчив. В противном случае необходимо затянуть винты головки и ножек штатива и повторить поверку.

Аналогично, прилагая легкие усилия, поворачивают подставку, убеждаясь в ее устойчивости. Если изображение точки не вернулось на крест сетки и отстоит от него на величину, превышающую двойную толщину нити сетки, то подъемные винты имеют качку и их необходимо дополнительно регулировать. После регулировки винтов поверку повторяют.

Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга теодолита должна быть перпендикулярна к его вертикальной оси. Установив уровень параллельно двум подъемным винтам и приведя пузырек в нуль-пункт, поворачивают алидаду на 180° . Если пузырек уровня отклонился более чем на два деления, то, действуя исправительными винтами уровня, его смещают в сторону нуль-пункта на половину дуги отклонения. Поверку повторяют.

Ось круглого уровня при алидаде горизонтального круга должна быть параллельна вертикальной оси теодолита. Поверка может быть выполнена как для цилиндрического уровня. Однако при наличии двух уровней юстировку круглого ведут исправительными винтами после точной установки теодолита в рабочее положение по цилиндрическому уровню.

Сетка нитей должна быть установлена правильно. После установки теодолита в рабочее положение наводят трубу на хорошо видимую точку и вращают вокруг горизонтальной оси. Если при этом точка пройдет вдоль вертикального штриха и посередине между нитями биссектора, то сетка установлена верно. Если обнаружено смещение наблюдаемой точки более чем на две толщины нити, то окуляр с сеткой необходимо развернуть в нужную сторону.

Смещение визирной оси по азимуту при вращении зрительной трубы вокруг горизонтальной оси теодолита не допускается. При работе наводящим винтом трубы наблюдают перемещение удаленной точки по вертикальной нити сетки. При обнаружении смещения трубы по азимуту дефект устраняется в условиях мастерской.

Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита. Приведя теодолит в рабочее положение, визируют зрительную трубу на удаленную точку, обеспечивающую

горизонтальное положение трубы. Берут отсчеты по горизонтальному кругу при положениях Л и П. Коллимационную ошибку c получают по формуле

$$c = 0,5 (Л - П). \quad (7)$$

Для устранения коллимационной ошибки измеряют положение визирной оси трубы, перемещая сетку нитей в горизонтальном направлении после установки на горизонтальном круге отсчета $Л - c$ или $П + c$.

С целью исключения влияния эксцентриситета на величину коллимационной ошибки в теодолитах с односторонним отсчитыванием, программу измерений выполняют дважды, причем после взятия отсчетов $Л_1$ и $П_1$ теодолит поворачивают в подставке на 180° и берут отсчеты $Л_2$ и $П_2$. Величину c вычисляют по формуле

$$c = (1/4) [(Л_1 - П_1 \pm 180^\circ) + (Л_2 - П_2 \pm 180^\circ)].$$

У теодолитов серии «2Т» сетка нитей закреплена неподвижно. Устранение коллимационной ошибки осуществляют поворотом зрительной трубы с помощью клинового кольца (см. § 5) на величину c . Поверку повторяют. Согласно ГОСТ 10529—79 допустимая величина коллимационной ошибки $5''$ и $15''$ соответственно для теодолитов типа Т2 и Т5.

Место нуля МО (место зенита МЗ) вертикального круга должно быть равным или близким нулю. МО — это отсчет по вертикальному кругу, при котором визирная ось трубы горизонтальна, а пузырек уровня находится в нуль-пункте. При МЗ, равном 0° , визирная ось занимает отвесное положение.

Для определения МО или МЗ зрительную трубу приведенного в рабочее положение теодолита тщательно наводят на удаленную точку и берут отсчеты по вертикальному кругу при положениях Л и П после установки пузырька уровня вертикального круга в нуль-пункт.

Значения МО и МЗ для точных теодолитов вычисляют по формулам

$$МО = [П + (Л + 180^\circ)]/2; \quad МЗ = (Л + П + 360^\circ)/2.$$

Теодолиты 2Т5 и 2Т5К имеют двойную оцифровку шкалы отсчетного микроскопа вертикального круга, поэтому для них

$$МО = (Л + П)/2.$$

Для исправления МО в теодолитах Т5 и 2Т5 пузырек уровня приводят в нуль-пункт и на вертикальном круге устанавливают отсчет, равный МО. Далее наводящим винтом уровня устанавливают отсчет, равный 0° , а отклонившийся пузырек уровня возвращают в нуль-пункт юстировочными винтами.

В теодолитах с компенсаторами Т5К и 2Т5К для исправления МО зрительную трубу, наведенную на точку, из наблюдений которой определяли МО, наклоняют наводящим винтом на величину МО. Затем, действуя юстировочными винтами сетки нитей, аккуратно перемещают ее в вертикальном направлении до совмещения средней нити сетки с наблюдаемой точкой. Чтобы при этом не нарушить условия перпенди-

кулярности осей, определение и исправление коллимационной ошибки и МО надо выполнять совместно.

При исправлении МЗ в теодолитах Т2, 2Т2 и им подобных совмещают концы пузырька уровня вертикального круга и устанавливают отсчет на вертикальном круге, равный $MZ + 90^\circ$. Далее, вращая наводящий винт, точно совмещают изображения штрихов в большом окошке отсчетного микроскопа, а юстировочными винтами уровня совмещают концы пузырька.

Поверку повторяют. Согласно ГОСТ 10529—79, МО (МЗ) не должно превышать $10''$ и $15''$ соответственно для теодолитов типов Т2 и Т5.

Значения коллимационной ошибки c и места нуля МО (МЗ), определенные по разноудаленным визирным целям, должны быть постоянными. Величина c , как и МО (МЗ), может изменяться вследствие неправильного хода фокусирующей линзы и внецентренного положения визирной оси трубы.

Поверку этого условия рекомендуется выполнять по наблюдениям 3—4-х разноудаленных от теодолита точек, начиная с 10 м. Полученные значения МО (МЗ) целесообразно использовать во время работы для соответствующих расстояний.

Согласно ГОСТ 10529—79 допустимая ошибка хода фокусирующей линзы равна $2''$ и $3''$ соответственно для теодолитов типов Т2 и Т5.

Горизонтальная ось теодолита должна быть перпендикулярна его вертикальной оси. Неперпендикулярность осей теодолита (i) определяют по изменению коллимационных ошибок c_1 , c и c_2 при наблюдении визирных целей, видимых под углом наклона $\nu_1 \geq 20^\circ$, $\nu = 0^\circ$ и $\nu_2 \geq -20^\circ$ и расположенных в одном створе до 1° .

Для выполнения поверки теодолит устанавливают вблизи высокой стены или другого высокого предмета так, чтобы можно было наблюдать точки, расположенные под углами наклона ν_1 , ν и ν_2 . После приведения теодолита в рабочее положение каждую точку наблюдают при двух положениях вертикального круга (эти действия составляют один прием) и обязательно четным числом приемов для исключения качки вертикальной оси.

Значение i определяют по формуле

$$i = 0,5 (c_1 \operatorname{ctg} \nu_1 - c \operatorname{cosec} \nu_1 + c_2 \operatorname{ctg} \nu_2 - c \operatorname{cosec} \nu_2)$$

или

$$i = 0,5 (c_1 - c_2) \operatorname{ctg} \nu_1,$$

если $|\nu_1 = \nu_2|$. Величины c вычисляют по формуле (7).

Согласно ОСТ 68-8.4—83 число приемов должно быть 6 и 8 соответственно для теодолитов типов Т2 и Т5, а допустимые значения i — $10''$ и $15''$.

Недопустимый наклон i горизонтальной оси теодолита устраняется в мастерской.

Визирная ось оптического визира должна быть параллельна визирной оси трубы. Зрительную трубу наводят на визирную цепь, расположенную на расстоянии более 150 м, а затем, рабочая наводящими винтами теодолита, на нее точно наводят перекрестие визиров. При

существенном смещении креста сетки нитей с визирной цели угловую величину смещения по горизонтали и вертикали измеряют теодолитом. Если она более $2'$, то положение оптического визира исправляют.

Визирная ось оптического центрира, встроенную в алидадную часть теодолита, должна быть совмещена с его вертикальной осью вращения. Это условие проверяется наблюдением положения центра сетки оптического центрира относительно точки местности при вращении алидадной части теодолита, установленного над этой точкой. Если при вращении изображение точки сходит с центра сетки более чем на три толщины нити ($0,5$ мм на местности), то необходимо отсоединить крышку оптического центрира, ослабить винты окулярного колена и слегка переместить его в плоскости боковой крышки. Поверку повторяют.

В теодолитах 2Т юстировку оптического центрира выполняют в мастерской, исправляя положение прямоугольной призмы, изменяющей направление визирной оси оптического центрира на 90° .

Юстировку рекомендуется проводить при максимально возможном удалении от точки местности.

Компенсатор отсчетной системы вертикального круга должен обеспечивать постоянство отсчета при наклонах вертикальной оси теодолита в допустимых пределах. Теодолит приводят в рабочее положение, расположив один из подъемных винтов по направлению точки визирования. Тщательно наводят зрительную трубу на точку и берут отсчет по вертикальному кругу. Повернув алидаду на 90° , наклоняют вертикальную ось теодолита подъемным винтом на 2—3 деления уровня и, визируя на ту же точку, берут второй отсчет. Аналогично осуществляют наклон в противоположную сторону и берут третий отсчет. Для теодолитов Т5К, 2Т5К различие отсчетов не должно превышать $0,1'$.

Для проверки пределов компенсации устанавливают теодолит по уровню и берут отсчет по вертикальному кругу. Далее вращают подъемный винт (расположенный в коллимационной плоскости) до тех пор, пока отсчет по вертикальному кругу не перестанет изменяться, и берут второй отсчет. Аналогично, при вращении в противоположную сторону, берут третий отсчет. Разность второго и третьего отсчетов является диапазоном работы компенсатора и должна быть не менее $6'$ для теодолита Т5К и $7'$ для 2Т5К. Первый отсчет позволяет определять асимметрию действия компенсатора.

Юстировку выполняют в мастерской, очень осторожно перемещая груз компенсатора (при обнаружении перекомпенсации или недокомпенсации) и вращая винт-упор компенсатора (при несимметрии его работы).

Определение ошибок совмещения концов изображений штрихов горизонтального и вертикального кругов. Средняя квадратическая ошибка одного совмещения определяется по формуле

$$m = \sqrt{d^2/2n},$$

где d — разности отсчетов при двух совмещениях штрихов круга, n — число установок.

На произвольных (например, через 15° для горизонтального и через 5° для вертикального кругов) установках лимба производят по два совмещения штрихов и вычисляют разности d_i соответствующих отсчетов по микрометру. Порядок записи отсчетов и их обработка сведены в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4

Определение ошибок совмещения штрихов оптического микрометра теодолита Т2 № 107699

Установка алидады	Головка микрометра справа				Головка микрометра слева				d^*
	Отсчеты по микрометру		$d = II - I$	d^*	Установка алидады	Отсчеты по микрометру		$d = II - I$	
	при I совмещении	при II совмещении				при I совмещении	при II совмещении		
Горизонтальный круг									
0°	26,2"	26,4"	+0,2"	0,04	180°	5,0"	4,8"	-0,2"	0,04
15	19,6	19,0	-0,6	0,36	195	11,2	11,6	+0,4	0,16
30	25,2	25,8	+0,6	0,36	210	27,4	27,4	0,0	0,00
45	14,4	14,0	-0,4	0,16	225	8,0	8,1	+0,1	0,01
60	11,2	11,4	+0,2	0,04	240	17,6	17,0	-0,6	0,36
75	27,6	26,8	-0,8	0,64	255	45,2	45,2	0,0	0,00
90	28,2	27,6	-0,6	0,36	270	34,4	34,5	+0,1	0,01
105	16,8	17,4	+0,6	0,36	585	18,6	18,2	-0,4	0,16
120	31,8	32,8	+1,0	1,00	300	43,2	43,4	+0,2	0,04
135	23,9	24,4	+0,5	0,25	315	9,0	5,6	+0,6	0,36
150	12,6	12,6	0,0	0,00	330	32,2	32,5	+0,3	0,09
165	18,2	18,4	+0,2	0,04	345	54,4	54,8	+0,4	0,16
								[dd] =	5,00

Вертикальный круг

84	34,2	35,0	+0,8	0,64	90	11,2	11,0	-0,2	0,04
85	16,4	16,8	+0,4	0,16	91	18,4	17,8	-0,6	0,36
86	21,2	21,4	+0,2	0,04	92	24,4	25,0	+0,6	0,36
87	12,4	12,6	+0,2	0,04	93	8,2	8,8	+0,6	0,36
88	20,0	20,6	+0,6	0,36	94	14,4	14,2	-0,2	0,04
89	14,6	14,0	-0,6	0,36	95	17,8	17,2	-0,6	0,36
								[dd] =	3,12

Средняя квадратическая ошибка одного совмещения:

для горизонтального круга

$$m = \sqrt{[dd]/2n} = \sqrt{5,00/48} = \pm 0,32'',$$

для вертикального круга

$$m = \sqrt{[dd]/2n} = \sqrt{3,12/24} = \pm 0,36''.$$

Совмещение изображений штрихов следует заканчивать вращением головки оптического микрометра по ходу часовой стрелки.

Для теодолитов типа Т2 ошибка m не должна превышать 0,5" и 0,6" соответственно для горизонтального и вертикального кругов.

Исследование систематических ошибок оптического микрометра. Шкала микрометра должна быть равномерной (одномасштабной). Несоблюдение этого условия ведет к появлению систематических ошибок оптического микрометра, о которых судят по отклонениям от среднего значения измеряемого малого угла β , укладываемогося целое число раз в пределах шкалы микрометра.

Для теодолитов типа Т2 измеряют угол β , равный $1'$ или $2'$ на 10 или 5-и установках микрометра. Визирная марка (листок бумаги с двумя тонкими вертикальными штрихами) крепится на стене. Интервалы l между штрихами рассчитывают по формуле

$$l = (\beta S) / \rho,$$

где S — расстояние до марки.

На всех установках зрительную трубу наводят сначала на левое, потом на правое направления, а затем наоборот.

Программа исследований состоит из двух прямых и двух обратных ходов. Порядок записи и обработки результатов показан в табл. 5, где приведены прямой и обратный ходы.

Максимальное отклонение (полученное из всех измерений) от среднего значения угла β не должно превышать $1,5''$.

Определение мертвого хода головки оптического микрометра. Мертвый ход определяют двойным совмещением изображений штрихов, вращая головку микрометра по ходу и против хода часовой стрелки. Средняя разность $d_{\text{ср}}$, полученная из текущих разностей d_i на n установках лимба ($0^\circ, 30^\circ, \dots, 330^\circ$) при положениях микрометра справа и слева, характеризует систематическую часть мертвого хода. По отклонениям $v_i = d_i - d_{\text{ср}}$ определяют среднюю квадратическую ошибку m_d одной разности. Мертвый ход оптического микрометра не должен превышать $1,5''$ для теодолитов типа Т2 и $0,2'$ для теодолитов типа Т5.

Определение рена оптического микрометра. Под реном r оптического микрометра понимают разность номинальной величины полуделения лимба и его значения, полученного с помощью микрометра.

Рен горизонтального и вертикального кругов определяют путем сравнения длины шкалы микрометра с полуделением круга, видимым в фокальной плоскости отсчетного микроскопа.

Изображения диаметрально противоположных краев лимба попадают в поле зрения отсчетного микроскопа разными оптическими путями, поэтому различают рен верхнего $r_{\text{в}}$ и нижнего $r_{\text{н}}$ изображений. Кроме того, на величину рена влияют ошибки делений круга и эксцентриситет.

Для определений рена последовательно измеряют полуделения верхнего и нижнего изображений лимба, по всему кругу через $45^\circ 20'$, начиная с $0^\circ 00'$, в прямом ходе и с $337^\circ 40'$ в обратном. Программа измерений включает два прямых и два обратных хода. На шкале оптического микрометра устанавливают отсчет, близкий к нулю, а наводящим винтом алидады совмещают штрихи A и $(A + 180^\circ)$ верхнего и нижнего изображений круга. Затем дважды делают отсчеты по шкале микрометра при трех точных совмещениях: a — при совмещении изображений штрихов A и $(A + 180^\circ)$; b — при совмещении

Исследование систематических ошибок оптического микрометра
теодолита Т2 № 107699

Уста-новка	Направле-ния: лево (Л) право (П)	Отсчет по микрометру	Л _{ср} П _{ср}	Углы из полупри-ема	Отсчет по микрометру	Л _{ср} П _{ср}	Углы из полупри-ема	Сред-ний угол	Укло-нение от сред-него
1	Л	0'02,0" 02,2	0'02,1" 0 58,5	56,4"	0'02,0" 02,0	0'02,0" 0 58,0	56,0"	56,2"	-0,2"
	П	0 58,2 58,8			0 57,6 58,4				
2	Л	1 03,0 02,6	1 02,8 1 59,4	56,6	1 03,0 03,4	1 03,2 1 58,4	55,2	55,9	+0,1
	П	1 59,0 59,8			1 58,2 58,6				
3	Л	2 02,2 02,8	2 02,5 2 58,9	56,4	2 01,8 02,6	2 02,2 2 57,7	55,5	56,0	0
	П	2 58,6 59,2			2 57,6 57,8				
4	Л	3 03,2 03,6	3 03,4 3 59,1	55,7	3 04,6 04,0	3 04,3 3 59,1	54,8	55,2	+0,8
	П	3 58,6 59,6			3 59,0 59,2				
5	Л	4 01,0 01,0	4 01,0 4 56,8	55,8	4 02,0 02,0	4 02,1 4 58,2	56,1	56,0	0
	П	4 56,6 57,0			4 58,0 58,4				
6	Л	5 00,2 00,6	5 00,4 5 56,9	56,5	5 02,4 02,6	5 02,5 5 59,0	56,5	56,5	-0,5
	П	5 56,8 57,0			5 58,8 59,2				
7	Л	6 01,2 01,6	6 01,4 6 58,6	57,2	6 00,8 00,6	6 00,7 6 58,3	57,6	57,4	-1,4
	П	6 58,2 59,0			6 58,0 58,6				
8	Л	7 02,0 02,4	7 02,2 7 58,2	56,0	7 01,0 01,2	7 01,1 7 57,1	56,0	56,0	0
	П	7 58,0 58,4			7 56,8 57,4				
9	Л	8 03,6 04,2	8 03,9 8 59,1	55,2	8 00,8 01,4	8 01,1 8 55,8	54,7	55,0	+1,0
	П	8 59,0 59,2			8 56,0 55,6				
10	Л	9 01,6 01,2	9 01,4 9 57,2	55,8	9 02,6 02,8	9 02,7 9 58,1	55,4	55,6	+0,4
	П	9 57,0 57,4			9 58,0 58,2				
							Средний угол 56,0"		

изображений штрихов ($A - i$) и ($A + 180^\circ$); c — при совмещении изображений штрихов A и ($A + 180^\circ - i$), где i — цена наименьшего деления на лимбе.

Для теодолита 2Т2 отсчет a получают путем совмещения изображения бифилярных штрихов, расположенных в середине центрального окошка поля зрения отсчетного микроскопа (см. рис. 7), находящегося под цифрой 0 шкалы десятков минут.

Перестановку лимба при определении рена вертикального круга производят через $2^\circ 20'$. В прямом ходе используют установки $80^\circ 00'$, $82^\circ 20'$, ..., $94^\circ 20'$, а в обратном — $97^\circ 40'$, $95^\circ 20'$, ..., $83^\circ 20'$.

Рены r_B , r_H , r и Δr вычисляют по формулам

$$r_B = (a - b)\mu + i/2; \quad r_H = (a - c)\mu + i/2;$$

$$r = 0,5(r_B + r_H); \quad \Delta r = r_B - r_H,$$

где μ — цена деления шкалы оптического микрометра.

В табл. 6 приведен пример записи и обработки результатов измерений при определении рена из одного прямого и обратного ходов. Величины r и Δr согласно ОСТ 68-8.4—83 не должны превышать $1''$ для горизонтального и $2''$ — для вертикального кругов. В противном случае оптическая система юстируется в мастерской или вводят в результаты измерений поправки $\delta_r = (2r/i)c$, где c — отсчет по шкале микрометра.

Определение рена шкалового микроскопа. Рен шкалового микроскопа представляет собой разность между номинальной величиной деления лимба и его значением, полученным с помощью шкалы отсчетного микроскопа.

Для определения рена шкалового микроскопа тщательно совмещают изображение градусного штриха горизонтального или вертикального кругов с нулевым штрихом шкалы микроскопа, а соседнее изображение градусного штриха используют в качестве индекса для отсчета по шкале. Выполняют один прямой и обратный ходы с перестановкой горизонтального круга через 60° (0° , 60° , ..., 300° в прямом и 330° , 270° , ..., 30° в обратном ходах) и вертикального круга через 3° (354° , 357° , 0° ..., 9° в прямом и 7° , 4° , ..., 352° в обратном ходах).

Полученные разности позволяют получить рен, величина которого согласно ОСТ 68-4.8—83 не должна превышать $3''$ для горизонтального и вертикального кругов.

Исследование правильности вращения алидады горизонтального круга вокруг вертикальной оси теодолита. Вертикальную ось теодолита приводят в рабочее положение по тщательно поверенному (с точностью 0,5 деления) уровню при алидаде горизонтального круга. Если цена деления уровня $\tau \geq 10''$, то желательно использовать дополнительный накладной уровень с $\tau \geq 10''$ на 2 мм. На установках алидады 0° , 30° , ..., 330° производят отсчеты Л и П по концам пузырька уровня. Измерения проводят при двух оборотах алидады в прямом и обратном направлениях.

Для каждой установки вычисляют изменения v_i наклона оси уровня

$$v_i = [(Л + П)_i - (Л + П)_0](\tau/2),$$

Определение рена оптического микрометра теодолита Т2
№ 107699 (горизонтальный круг)

Прямой ход						Обратный ход					
Уста- новка	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i> - <i>b</i>	<i>a</i> - <i>c</i>	Уста- новка	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i> - <i>b</i>	<i>a</i> - <i>c</i>
	0' +	10' +	10' +	+ 10'	+ 10'		0' +	10' +	10' +	+ 10'	+ 10'
0°00'	-0,1" +1,0	+1,4" +0,2	+1,2" +1,2	-1,5" +0,8	-1,3" -0,2	22°20'	+1,6" +1,2	+1,8" +1,8	+0,8" +1,2	-0,2" -0,6	+0,8" 0,0
45 20	+0,3 +2,1	+1,8 +1,2	+1,4 +1,8	-0,35 -1,5 +0,9	-0,75 -1,1 +0,3	67 40	+1,0 +1,2	+2,4 +1,8	+1,8 +2,2	-0,40 -1,4 -0,6	+0,40 -0,8 -1,0
90 40	+2,0 +1,2	+3,2 +2,4	+3,6 +3,2	-0,30 -1,2 -1,2	-0,40 -1,6 -2,0	112 00	+1,7 +2,6	+3,2 +3,4	+4,0 +3,4	-1,00 -1,5 -0,8	-0,90 -2,3 -0,8
135 00	-0,8 -1,0	-1,4 -1,6	-1,0 -1,0	-1,20 +0,6 +0,6	-1,80 +0,2 0,0	157 20	+1,0 +1,2	+3,0 +3,0	+3,4 +3,0	-1,15 -2,0 -1,8	-1,55 -2,4 -1,8
180 20	-0,2 -0,4	+1,0 +1,4	+1,6 +2,2	+0,60 -1,2 -1,8	+0,10 -1,8 -2,6	202 40	+1,0 +1,6	+2,0 +2,8	+1,8 +1,8	-1,90 -1,0 -1,2	-2,10 -0,8 -0,2
225 40	+0,4 +0,8	+1,4 +1,6	+1,2 +1,2	-1,50 -1,0 -0,8	-2,20 -0,8 -0,4	247 00	-1,2 -1,0	-1,0 -0,4	0,0 +0,2	-1,10 -0,2 -0,6	-0,50 -1,2 -1,2
270 00	+1,2 +2,0	0,0 +0,6	+1,8 +2,0	-0,90 +1,2 +1,4	-0,60 -0,6 -0,00	292 20	+1,2 +1,6	-0,2 0,0	+0,2 +0,6	-0,40 +1,4 +1,6	-1,20 +1,0 +1,0
315 20	+0,8 +0,8	+0,6 +1,2	+1,2 +0,8	+1,30 +0,2 -0,4	-0,30 -0,4 0,0	337 40	+0,2 +1,0	+1,8 +1,8	+2,0 +1,4	+1,50 -1,6 -0,8	+1,00 -1,8 -0,4
				-0,10 -0,20	-0,20					-1,20 -1,10	-1,10
				Среднее	-0,31 -0,77					Среднее	-0,71 -0,74

$$r_B = [-0,31 + (-0,71)]/2 = -0,52''; \quad r = [-0,52 + (-0,76)]/2 = 0,64'';$$

$$r_H = [-0,77 + (-0,74)]/2 = 0,76''; \quad \Delta r = +0,24''.$$

где

$$(\text{Л} + \text{П})_0 = \frac{1}{n} \sum_1^n (\text{Л} + \text{П})_i,$$

n — число установок в прямом или обратном направлении. По величинам v_i строят две кривые и подбирают выравнивающую кривую, близкую к синусоиде. Качество осевой пары теодолита оценивают по амплитуде синусоид, которая не должна превышать цены деления уровня. В противном случае надо вводить поправки по графику или применять накладной уровень.

Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга

теодолитов с оптическим микрометром. Об элементах эксцентриситета алидады теодолита судят по разностям v_i , получаемым при установках алидады на $0^{\circ}05'$, $30^{\circ}05'$, ..., $330^{\circ}05'$, по формуле

$$v_i = 2 (A - A_1) \quad (8)$$

при наличии неподвижного индекса в поле зрения оптического микроскопа (теодолиты типа ТБ-1) или по формуле

$$v_i = 4 (A - A_1) \quad (9)$$

при отсутствии неподвижного индекса (теодолиты типа Т2). В формулах (8) и (9) A — отсчет по шкале микрометра при совмещении изображений диаметрально противоположных штрихов лимба, A_1 — отсчет по шкале микрометра при совмещении исследуемого штриха с неподвижным индексом или штрихом вертикального круга.

Для выбора последнего, установив отсчет $5'$ на шкале микрометра, и совместив штрихи 0° и 180° , поворотом переключателя кругов на 45° добиваются одновременного появления в поле зрения отсчетного микроскопа штрихов вертикального (вверху) и горизонтального (внизу) кругов. Наклоняя трубу ее наводящим винтом, совмещают один из штрихов вертикального круга со штрихом 180° . Далее на период исследования труба должна оставаться неподвижной.

Если при каждой установке алидады $A = 5'00''$, а совмещение изображений штрихов горизонтального круга осуществлять наводящим винтом, то формула (9) примет вид

$$v_i = 4 (5' - A_1). \quad (10)$$

Следует помнить, что измеренные микрометром величины несовпадения штриха горизонтального круга с неподвижным индексом составляют $0,5v_i$, так как имеет место одностороннее отсчитывание. Поэтому в формулу (8) введен коэффициент 2. Кроме того, при совмещении штриха горизонтального круга со штрихом-индексом вертикального круга оба они движутся навстречу друг другу на равную величину, поэтому в формулах (9) и (10) применяется коэффициент 4.

Отсчеты A и A_1 производят при двух совмещениях. Порядок записи и обработки результатов измерений приводится в табл. 7. Измерения проводят при двух оборотах алидады в прямом и двух в обратном направлениях.

При исследовании теодолита 2Т2 следует принять во внимание особенности работы с его отсчетной системой, описанные при определении рена.

Элементы эксцентриситета могут быть получены графически. На рис. 16 приведен график эксцентриситета алидады по данным табл. 7 осредняющей синусоидой. Основными параметрами при построении графика являются: двойной эксцентриситет алидады — $2e_a = 12,4''$; отсчет по оси φ , свободный от влияния эксцентриситета, соответствующий проекции точки пересечения восходящей ветви синусоиды с осью симметрии — $\varphi_a = 150^{\circ}$; максимальное отклонение графика от выравнивающей кривой — $\sigma_a = 1,3''$ и линейный элемент эксцентриситета, рассчитанный аналитически $e_a = 2,6$ мкм.

Исследования эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита
 Theo 010А № 159 884

$$v_i = 4(A - A_1)_i$$

Уста- новка	Прямой ход			Обратный ход			v_{cp}
	A	A ₁	v	A'	A' ₁	v'	
0°05'	10,4"	12,2"		08,8"	11,2"		
	10,2	13,2		09,4	10,2		
	10,3	12,7	-9,6"	09,1	10,7	-6,4"	-8,0"
30 05	10,6	13,2		09,6	13,0		
	11,0	14,6		10,2	12,4		
	10,8	13,9	-12,4	09,9	12,7	-11,2	-11,7
60 05	10,4	13,0		10,2	14,8		
	09,6	14,2		11,4	14,4		
	10,0	13,6	-14,4	10,8	14,6	-15,2	-14,8
90 05	10,4	13,0		10,8	14,4		
	10,4	13,8		11,6	13,2		
	10,4	13,4	-12,0	11,2	13,8	-10,4	-11,2
120 05	10,8	12,8		10,0	11,0		
	11,4	13,4		09,2	11,6		
	11,1	13,1	-8,0	09,6	11,3	-6,8	-7,4
150 05	10,6	10,8		10,8	10,8		
	10,0	10,4		11,6	11,4		
	10,3	10,6	-1,2	11,2	11,1	+0,4	-0,4
180 05	10,8	10,2		12,4	11,4		
	11,4	09,4		12,0	10,8		
	11,1	09,8	+5,2	12,2	11,1	+4,4	+4,8
210 05	10,6	09,2		12,0	10,8		
	11,4	08,4		12,8	10,0		
	11,0	08,8	+8,8	12,4	10,4	+8,0	+8,4
240 05	10,0	07,2		10,0	07,6		
	10,6	08,2		10,8	07,2		
	10,3	07,7	+10,4	10,4	07,4	+12,0	+11,2
270 05	09,4	08,2		11,6	10,4		
	09,8	07,0		12,4	09,0		
	09,6	07,6	+8,0	12,0	09,7	+9,2	+8,6
300 05	10,0	09,6		10,0	09,8		
	11,2	09,0		10,8	08,6		
	10,6	09,3	+5,2	10,4	09,2	+4,8	+5,0
330 05	12,0	11,0		10,6	11,0		
	11,2	11,8		11,4	11,6		
	11,6	11,4	+0,8	11,0	11,3	-1,2	-0,2

Величина v_0 характеризует смещение оси симметрии. Отклонение σ_a ломаных линий от кривой не должно превышать $15''$. Колебание величин ϑ должно быть менее $40''$.

Исследование эксцентриситета горизонтального круга теодолитов с оптическим микрометром. Это исследование выполняется ана-

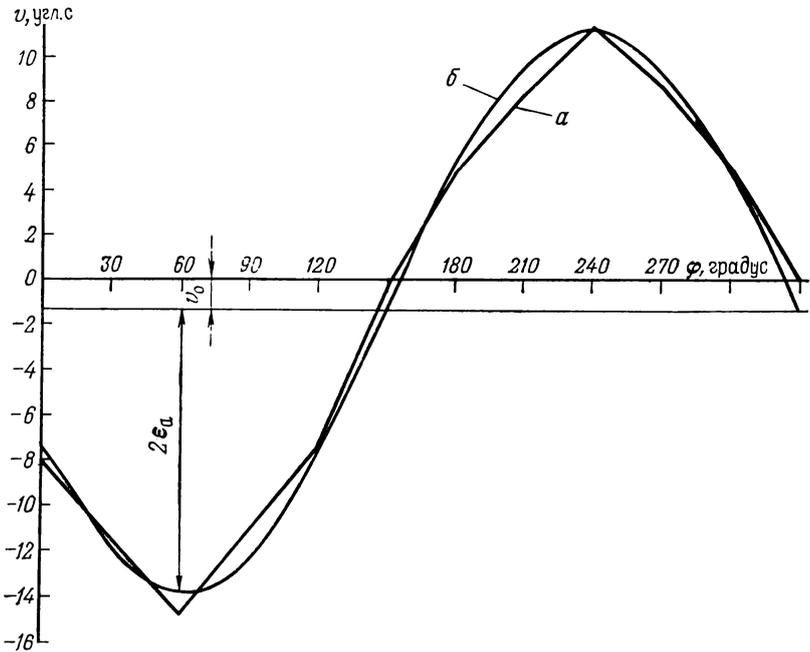


Рис. 16. График эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита Theo 010А № 159 984:

а — по результатам наблюдений, *б* — выравнивающая кривая (осредняющая синусоида)

логично предыдущему, но при неподвижной алидаде. Совмещение изображений штрихов выполняют ручкой перестановки лимба с последующим уточнением наводящим винтом. Программа исследования состоит из прямого и обратного хода.

Графическое представление, элементы эксцентриситета горизонтального круга и допуски остаются те же, что и для эксцентриситета алидады.

Определение максимального значения углового эксцентриситета теодолитов с оптическим микрометром. Максимальная величина углового эксцентриситета алидады ε_{\max} состоит из эксцентриситета круга ε_{κ} и эксцентриситета осевой системы ε_0 , характеризующего несовпадение осей алидады и круга, т. е.

$$\varepsilon_{\max} = |\varepsilon_{\kappa}| + |\varepsilon_0|,$$

где

$$\epsilon_0 = \sqrt{\epsilon_a^2 + 2\epsilon_a \epsilon_k \cdot (\varphi_a - \varphi_k) + \epsilon_k^2}.$$

Элементы с индексом «к» относятся к кругу. Допустимая величина $2\epsilon_{\max}$ не должна превосходить $40''$.

На рис. 17 показано определение ϵ_{\max} графическим способом путем построения треугольника эксцентриситетов по известным элементам $\varphi_a = 150^\circ$, $\varphi_k = 196^\circ$, $2\epsilon_a = 12,4''$, $2\epsilon_k = 8,2''$ при помощи транспор-

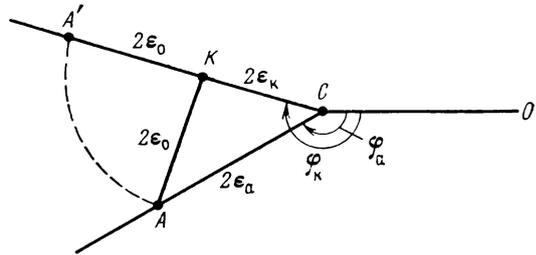


Рис. 17. Определение максимального значения эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита Theo 010A № 159 884

тира, масштабной линейки и циркуля. Максимально допустимое значение $2\epsilon_{\max} = 17,1'' < 40''$ выражено отрезком CA' ($2\epsilon_0 = 8,9''$).

Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга оптических теодолитов с односторонним отсчетом. Для теодолитов типа Т5 с односторонним шкаловым микроскопом порядок исследования следующий. Теодолит устанавливают на ровной площадке, а вокруг через $45^\circ \pm 2^\circ$ на расстоянии 30—50 м от прибора располагают визирные марки.

После тщательной установки теодолита и марок в рабочее положение измеряют все направления при вращении алидады дважды прямо (при КП) и дважды обратно (при КЛ). Разности v_i вычисляют по формуле

$$v_i = \Pi_{\text{сп}} - Л_{\text{сп}} + 180^\circ.$$

Элементы эксцентриситета быстро и точно определяют описанным выше графическим методом. Допуски те же. Так как в разности v_i вошла двойная коллимационная ошибка $2c$, то ось симметрии синусоиды будет отстоять от оси абсцисс на ее величину. Лучше сразу исключить $2c$, тогда

$$v'_i = v_i - [v_i]/n.$$

Исследование может быть выполнено и по наблюдениям одной удаленной визирной цели. Для этого после каждой установки алидады теодолит поворачивают в подставку, визируют на точку и берут отсчеты при положениях КП и КЛ. Другие действия остаются без изменений.

Исследование эксцентриситета горизонтального круга оптических теодолитов с односторонним отсчетом. Теодолит устанавливают на штативе, а с двух сторон, под углом, близким к 180° , располагают две марки на удалении 30—50 м и одинаковой высоте.

После тщательного приведения приборов в рабочее положение два-

ды измеряют этот угол при одном положении вертикального круга при установках лимба 0° , 45° , ..., 315° и 315° , 270° , ..., 0° . Однако вращение алидады надо осуществлять только в пределах 180° , что позволит сохранить постоянным влияние колебания вертикальной оси на величину угла. В результате при дальнейшей обработке эта постоянная часть исключается.

Разности v_i вычисляют по формуле

$$v_i = \beta_i - \frac{1}{n} \sum_1^n \beta_i,$$

где β_i — среднее значение измеренного угла на одной установке, n — число таких углов.

Элементы эксцентриситета горизонтального круга получают графически, так же как и для теодолитов с оптическими микрометрами. Допуски те же. Несовпадение оси симметрии с осью абсцисс укажет на возможное влияние качки вертикальной оси теодолита.

Определение максимального значения углового эксцентриситета алидады оптических теодолитов с односторонним отсчетом. Методика определения ϵ_{\max} для точных оптических теодолитов одинакова. Максимально допустимое значение углового эксцентриситета алидады для теодолитов типа Т5—2 $\epsilon_{\max} \leq 40''$.

§ 7. Визирные марки и оптические центры

Для выполнения угловых измерений в полигонометрии применяются визирные марки.

При работе по трехштативной системе подставки приборов для установки теодолитов и марок, а при совместном измерении углов и линий и для установки приемопередатчика и отражателей центрируют над пунктами сети оптическими центрирами. Рассмотрим устройство и поверки этих приборов.

Визирные марки (рис. 18) представляют собой металлический щиток, скрепленный с втулкой, устанавливаемой в подставку, окрашенный в два контрастных цвета с обеих сторон. По оси симметрии марки нанесена полоска, служащая визирной целью. Цвета и форма раскраски марок разнообразны.

Марки, входящие в комплект визирных целей для теодолита Т2, окрашены яркой флуоресцентной краской и обеспечивают наблюдение направлений до 5 км. Марки снабжены круглым уровнем и подсветкой для визирования в ночных условиях. При угловых измерениях плоскость марки должна быть установлена перпендикулярно к линии визирования.

Оптические центры изготавливают с прямой и ломаной зрительной трубой.

В настоящее время геодезическая промышленность производит оптические двусторонние центриры ОДО (рис. 19) с ломаной трубой. Направление центрирования (вверх или вниз) устанавливается руч-

кой 3. В рабочее положение прибор приводится с помощью двух взаимно перпендикулярных цилиндрических уровней 2.

Центрирование прибора над точкой выполняют последовательными приближениями, перемещая ножки штатива на местности и подставку с центриром на головке штатива и изменяя длину ножек штатива. Ра-

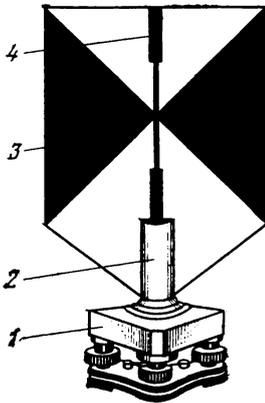


Рис. 18. Визирная марка:
1 — подставка, 2 — втулка, 3 — металлический щиток, 4 — визирная цель

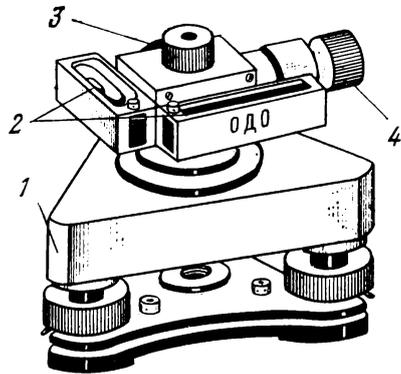


Рис. 19. Оптический двусторонний центрир ОДО с ломаной зрительной трубой:
1 — подставка, 2 — цилиндрический уровень, 3 — ручка перевода направления центрирования, 4 — окуляр оптического центрира

боту заканчивают, когда крест нитей сетки трубы точно совмещен с точкой местности, а пузырек уровня находится в нуль-пункте.

Визирные марки и оптические центриры должны удовлетворять следующим условиям.

Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения марки, а оси цилиндрических уровней центрира должны быть перпендикулярны к оси его вращения. Эти условия проверяются обычным образом.

Оси симметрии и вращения марки должны быть совмещены. Теодолит и марку располагают на расстоянии $S \approx 5$ м и приводят в рабочее положение. С помощью теодолита определяют и фиксируют на марке ось ее вращения. Далее наблюдают направления n_1 и n_3 , совпадающие с левым и правым краями марки, и n_2 , пересекающее ось вращения марки.

Величину l несимметрии марки можно определить по формуле

$$l = \delta S / \rho,$$

где $\delta = (n_2 - n_1) - (n_3 - n_2)$.

Величина δ не должна превышать 1 мм. В противном случае марку нельзя применять для угловых измерений.

Визирная ось зрительной трубы оптического центрира должна совпадать с осью его вращения. Проверку выполняют так же как для оптического центрира теодолита Т2. Юстировку осуществляют исправительными винтами сетки нитей, перемещая ее на половину отклонения от точки местности.

§ 8. Источники ошибок и расчет точности угловых измерений

Измерение горизонтальных углов в городской полигонометрии сопровождается ошибками редукации, центрирования, приборными, собственно измерений, влияния внешней среды и исходных данных.

Ошибки редукации и центрирования возникают вследствие неточной установки над центрами пунктов визирных целей и теодолита. Для ослабления их влияния применяют оптические центриры.

Приборные ошибки вызваны несоблюдением ряда технологических и геометрических условий и включают: ошибки делений лимба, отсчетной системы, эксцентриситет, наклон лимба, коллимационную ошибку, наклон горизонтальной оси, неустойчивость теодолита. Влияние приборных ошибок учитывается при оптимальной методике угловых измерений и введением доправок.

Ошибка собственно измерения угла складывается из ошибок визирования и отсчитывания (личной ошибки наблюдателя), возникающих вследствие неточного определения оси симметрии визирных целей, неточного совмещения изображений штрихов лимба, и может быть ослаблена выравниванием яркости визирных целей, кругов и т. п.

Ошибки, вызванные влиянием внешней среды, объясняются горизонтальной рефракцией, качеством изображений и колебанием визирных целей, помехами и неустойчивостью приборов из-за интенсивного движения транспорта, неравномерным освещением визирных марок, воздействием солнечной радиации на приборы и т. п. Влияние внешней среды может быть исключено или ослаблено выбором благоприятного времени наблюдений и учетом ряда рекомендаций по построению городской полигонометрии.

Ошибка исходных данных не искажает результаты измерения углов, но влияет на величину невязки. Поэтому ее принимают во внимание как источник ошибок при расчетах точности.

Расчет точности в полигонометрии ведут для наиболее длинного (слабого) хода сети, предполагая его вытянутым. Обычно допускают, что ошибки угловых q_β и линейных q_S измерений в равной степени влияют на положение конечной точки хода. В этом случае влияние одного источника ошибок на каждый угол определяют по формуле

$$m_c = \rho/2T \sqrt{n+3} \quad (11)$$

для случайных ошибок и по формуле

$$\Delta\beta = \sqrt{2} \rho/T (n+1) \quad (12)$$

для систематических ошибок, где $\rho = 206\,265''$, T — знаменатель относительной невязки, n — число сторон в ходе.

Однако в светодальномерной полигонометрии $Q = q_\beta : q_S > 1$ может достигать 5 единиц и более [34]. Принимая для вытянутого хода

$$q_\beta = m_u = \frac{m_\beta}{\rho} L \sqrt{\frac{n+3}{12}} \quad (13)$$

или

$$q_{\beta} = m_u = \frac{Q[S]}{2T \sqrt{1+Q^2}}, \quad (14)$$

где m_u и m_{β} — средняя квадратическая ошибка поперечного сдвига и измерения угла, L — длина замыкающей хода, $[S]$ — периметр хода, исходя из формул (13), (14),

$$m_{\beta} = \rho \frac{m_u}{L} \sqrt{\frac{12}{n+3}} = \rho \frac{Q}{2T \sqrt{1+Q^2}} \sqrt{\frac{12}{n+3}}. \quad (15)$$

Для расчета влияния одного источника ошибок случайного характера на измерение угла m_C уменьшим m_{β} в $\sqrt{6}$ раз, т. е.

$$m_C = \frac{\rho Q}{2T \sqrt{1+Q^2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{n+3}}. \quad (16)$$

Соответственно для определения влияния одного источника ошибок систематического характера получим

$$\Delta\beta = 2\rho Q/T (n+1) \sqrt{1+Q^2}. \quad (17)$$

При $Q = 1$ формулы (16) и (17) превращаются в (11) и (12).

В Инструкции [15] ошибка m_{β} — нормированная величина (см. табл. 1), поэтому в данном случае примем

$$m_C = m_{\beta} / \sqrt{6} = 3''/2,45 = 1,2''$$

для полигонометрии 4 класса $m_C = 2$, и $4,1''$ для 1 и 2 разрядов.

Рассмотрим отдельно источники ошибок угловых измерений.

Ошибка редукции выражается случайной величиной e_1 , влияние m_p которой на результат измерения горизонтального угла определяется формулой

$$m_p^2 = m_{p_1}^2 + m_{p_2}^2 = \rho^2 \frac{e_1^2}{2} \left(1/S_1^2 + 1/S_2^2 \right).$$

Допуская $S_1 \approx S_2 \approx S$, получим

$$m_p = \rho e_1/S,$$

а полагая $m_p = m_C$, будем иметь

$$e_1 = m_C \cdot S/\rho.$$

Для полигонометрии 4 класса при $S=500$ м (см. табл. 1) получим $e_1 = 2,9$ мм, при минимальной длине стороны $S_{\min}=250$ м — $e_1^{\min}=1,4$ мм. Соответственно, для полигонометрии 1 разряда — $e_1 = 2,9$ мм и $e_1^{\min} = 1,2$ мм, для 2 разряда — $e_1 = 4$ мм и $e_1^{\min} = 1,6$ мм.

Ошибка центрирования характеризуется случай-

ной величиной e , влияние которой на величину угла выражается формулой

$$m_{\text{ц}} = \frac{\rho e}{\sqrt{2} S_1 S_2} L, \quad (18)$$

где L — диагональ, соединяющая визирные цели. Из (18) следует, что величина e оказывает наибольшее влияние при углах $\beta = 180^\circ$ и минимальных длинах сторон. Допуская $S_1 \approx S_2 \approx S$ и $m_{\text{ц}} = m_{\text{с}}$, получим

$$e = m_{\text{с}} \cdot S / \rho \sqrt{2} = e_1 / \sqrt{2}.$$

Для полигонометрии 4 класса при $S=500$ м и $S_{\text{min}}=250$ м получим $e = 2$ мм, $e^{\text{min}} = 1$ мм. Для полигонометрии 1 и 2 разрядов, соответственно, $e = 2$ мм, $e^{\text{min}} = 0,8$ мм и $e = 2,8$ мм и $e^{\text{min}} = 1,1$ мм. Из анализа величин e_1 и e следует, что визирные цели и теодолит следует устанавливать над центрами с точностью 1 мм. Такую точность обеспечивают оптические центриры.

Следует принимать во внимание, что в городских условиях устойчивость теодолита и марок может быть нарушена из-за влияния интенсивного движения транспортных средств и работающего промышленного оборудования. Поэтому необходимо постоянно следить за устойчивостью приборов и при необходимости производить уточнения.

Для исключения влияния ошибок редукции и центрирования на результаты измерения углов применяют трехштативную систему. Выполняют и совместные измерения углов и линий (с одних штативов).

Приборные ошибки имеют систематический характер. Применение для угловых измерений современных оптических теодолитов и соответствующей методики позволяет уменьшить влияние большинства этих ошибок до пренебрегаемо малых величин.

Так, для ослабления влияния ошибок делений лимба измерение углов ведут на разных установках лимба, поворачивая его между приемами на один и тот же угол. Рен отчетной системы исправляют или же вводят поправки за рен в отсчеты по микрометру. Влияние эксцентриситета алидады и лимба исключается при отсчетах, путем совмещения изображений диаметрально противоположных штрихов лимба в поле зрения отчетного микроскопа. Влияние наклона лимба будет минимальным, если в процессе измерений вертикальная ось теодолита будет оставаться отвесной. Обеспечение устойчивости теодолита достигается тщательным выполнением поверки, описанной в § 6, и надежной установкой штатива. Для предотвращения кручения головки штатива и температурных деформаций прибора теодолит защищают от солнца зонтом. Влияние коллимационной ошибки c и наклона i горизонтальной оси теодолита исключается при осреднении результатов измерений, выполненных при двух положениях вертикального круга. Однако наклон горизонтальной оси, вызванный отклонением вертикальной оси теодолита от отвесного положения, не исключается и при двух положениях вертикального круга.

Рассмотрим этот источник ошибок. Его влияние Δi на измеряемый угол носит случайный характер и определяется известной формулой

$$\Delta i = i (\operatorname{tg} \nu_1 - \operatorname{tg} \nu_2),$$

где ν_1 и ν_2 — углы наклона направлений.

Очевидно, что величина $\Delta i = 0$ при $\nu_1 = \nu_2$ и весьма значима при $\nu_1 = -\nu_2 = \nu$. В этом случае

$$\Delta i = 2i \operatorname{tg} \nu.$$

Допуская, что $\Delta i = m_c$, получим

$$i \leq m_c / 2 \operatorname{tg} \nu.$$

Если принять $\nu = 5^\circ$ и $m_c = 1,2''$ (полигонометрия 4 класса), то в этом случае наклон горизонтальной оси за счет вертикальной не должен превышать $7''$.

Этот источник ошибок приобретает особое значение в случае привязки к пунктам, расположенным на высоких строениях. Например, при $\nu_1 = 30^\circ$ и $\nu_2 = 0^\circ$ величина i не должна превосходить $1,2'' / \operatorname{tg} 30^\circ = 2,1''$.

Соблюдения этого условия добиться трудно. Поэтому при визировании с большими углами наклона надо особо тщательно приводить вертикальную ось теодолита в отвесное положение, брать отсчеты по уровню при алидаде горизонтального круга и вводить поправки в измеренные направления. Желательно в таких случаях использовать накладной уровень.

Ошибка собственно измерения угла является случайной. При измерении углов способом круговых приемов она определяется формулой

$$m'_\beta = \pm \frac{1}{n} \sqrt{m_b^2 + \frac{m_o^2}{2}},$$

где n — число приемов, m_b — ошибка визирования, m_o — ошибка отсчета.

Ошибка визирования m_b зависит от ряда факторов: от остроты зрения наблюдателя, увеличения трубы, вида сетки нитей, формы, размеров и освещенности визирных целей, состояния атмосферы и т. п.

В оптических теодолитах за ошибку отсчета m_o принимают ошибку совмещения изображений штрихов лимба. Установлено, что при электрическом освещении $m_o = \pm 0,34''$, а при естественном $m_o = \pm 1''$.

Принимая для неблагоприятных условий $m_b = 2''$ и $m_o = 2''$ и допуская $m'_\beta = m_c$, рассчитаем число приемов измерения угла по формуле

$$n = (2m_b^2 + m_o^2) / 2m_c^2.$$

Для полигонометрии 4 класса при $m_c = 1,2''$, $n \approx 4$. Инструкция

предусматривает измерение углов с некоторым запасом точности — в полигонометрии 4 класса шестью круговыми приемами.

Внешняя среда оказывает влияние как на теодолит, так и на точность визирования. Понижение точности визирования порождает значительные случайные и систематические ошибки. Влияние внешней среды на прибор может быть ослаблено методикой работы.

Наибольшие искажения результатов угловых измерений в городе происходят из-за влияния горизонтальной рефракции. Этот вопрос рассматривается отдельно в § 9.

На качество угловых измерений в городских условиях и на территории промышленных предприятий существенно влияет загрязнение атмосферы. При плохой видимости растет продолжительность и снижается точность угловых измерений.

Под влиянием конвекционных потоков (термическая турбулентность) в приземном слое воздуха происходит колебание изображений визирных целей. При сильных колебаниях воздуха марки становятся расплывчатыми, что мешает точному визированию. Особенно заметны колебания изображений в близполуденное время при прохождении визирного луча вблизи поверхности земли или предметов.

Заметные колебания могут наблюдаться при порывистом ветре вследствие дрожания штатива.

Для ослабления влияния внешней среды угловые измерения стремятся выполнять в периоды спокойных изображений и при малых колебаниях визирных целей в утреннее и вечернее время.

Близполуденный период (2—3 часа) должен быть исключен из наблюдений даже в пасмурную погоду.

§ 9. Влияние и учет горизонтальной рефракции при измерении углов в городской полигонометрии

Вследствие действия солнечной радиации на застроенных территориях могут образовываться малые, но весьма устойчивые и мощные рефракционные поля. Локальные поля рефракции постоянного направления могут также возникать у стен промышленных сооружений, нагреваемых или охлаждаемых в течение технологических процессов.

Горизонтальные градиенты показателя преломления таких полей вблизи излучающих тепло стен могут принимать значения, превышающие на 2—3 порядка соответствующие градиенты рефракционного поля над городом. Поэтому влияние горизонтальной рефракции на угловые измерения в сетях городской полигонометрии, ходы которой прокладывают вдоль улиц, а измерения ведут со штативов, может быть весьма значительным и иметь систематический характер.

Горизонтальную рефракцию можно учитывать на стадии проектирования сети, при реализации программы измерений, а также при математической обработке результатов измерений, вводя поправки на основании измеренных метеозлементов. Последний путь наиболее трудоемкий.

Исследованиям горизонтальной рефракции в городской полигонометрии посвящены работы [22, 36] и др.* В них показано, что рефракция у стен зданий бывает весьма значительной, однако действующие в геодезическом производстве нормативные документы еще не дают четких указаний по ее учету.

О влиянии горизонтальной рефракции в городской полигонометрии можно судить по характеру температурного поля улицы или дневному ходу горизонтальных углов.

Рассмотрим результаты [36] многодневных синхронных угловых и метеорологических измерений, выполненных в 1979—1981 гг.

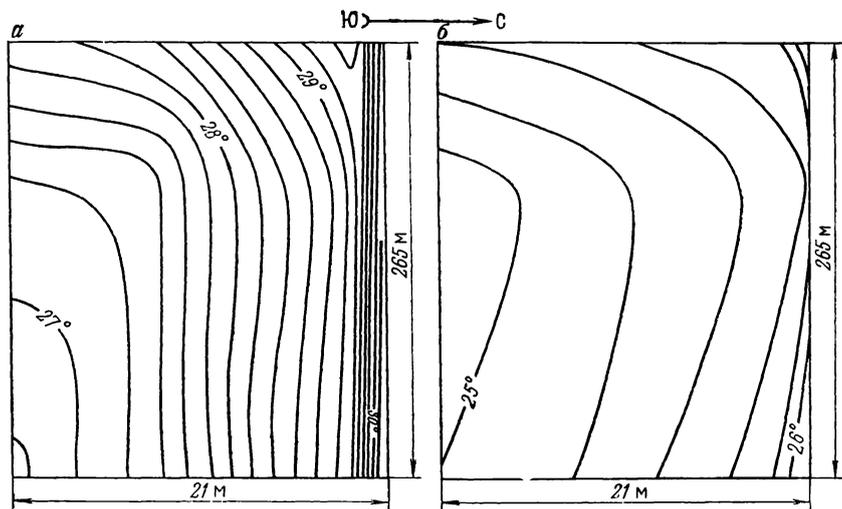


Рис. 20. Карты изотерм температурного поля улицы (12.07.1980 г.):
а — на 13 ч, б — на 20 ч

в двух крупных городах (южном и в средней полосе) на улицах с различными ориентировкой, характером застройки, плотностью зеленых насаждений, рельефом, шириной тротуаров и проезжей части и т. п.

Анализ карт изотерм (рис. 20, а, б) позволяет сделать общий вывод, что изотермы температурного поля улиц, как правило, параллельны линии застройки, достигая наибольшей интенсивности вблизи излучающих тепло стен зданий. Для улиц, имеющих одностороннюю застройку и продольный уклон, изотермы могут пересекать их проезжую часть. При плотной двусторонней застройке изотермы на протяжении дня параллельны линиям застройки.

* Зюзин А. С. Характер температурного поля в городе и явление аномальной боковой рефракции. — Изв. АН УССР. Сер. геодез., 1959, № 2, с. 326—329.
Островский А. Л. Исследование по боковой рефракции в полигонометрии. — Львов, ЛПИ, 1958.

Температурное поле улицы летом в ясную погоду наиболее однородно утром до 9—11 ч и вечером с 16—19 ч (в зависимости от ориентировки улицы и др., т. е. в периоды благоприятных видимостей). Горизонтальные градиенты вблизи стен максимальны по направлению, перпендикулярному к линии застройки, и достигают 0,5—0,6 °С, а иногда 1°С и более на 1 м.

Влияние температурных градиентов особенно велико в солнечную погоду при отсутствии ветра и деревьев, затеняющих стены построек, при сплошной застройке или у стен зданий большой протяженности. Важную роль в этом играют высота и азимут Солнца. Количество лучистой энергии, поступающей на вертикальные стены за определенный промежуток времени, можно подсчитать по формуле

$$S' = S \cos h \cdot \cos (A - a),$$

где S — прямая радиация, h — высота Солнца, A и a — соответственно азимуты Солнца и нормали к стене.

В полуденные часы, когда величина h наибольшая, наблюдается максимальное значение радиации у южных стен. При этом образуются самые мощные поля рефракции и предельные горизонтальные градиенты температуры, величины которых зависят от степени поглощения радиации стенами зданий, их материала и цвета, шероховатости поверхности и т. п. Следует помнить, то облицовка зданий ведет к ослаблению теплопоглощающих свойств стен.

Вблизи восточных и западных стен максимальные градиенты температуры и углы рефракции наблюдались в периоды, когда $A = a$, и некоторое время при $A > a$. В целом они меньше, чем у южных стен, например, в жаркий солнечный день интенсивность прямой солнечной радиации с 10 ч (когда $A = a$ для восточных стен) до 13 ч (когда $A = a$ для южных стен) возростала почти в 2 раза.

В пасмурную погоду и на теневой стороне улицы градиенты температуры ослабевают в несколько раз и становятся малозначительными. Однако направление градиента вблизи стен оставалось нормальным к линии застройки. По исследованиям [22], аналогичная ситуация наблюдается ночью.

Таким образом, рефракционное поле улицы по классификации [22] следует отнести к полям второго рода, не изменяющим в течение суток направление градиента показателя преломления.

Анализ графиков дневного хода горизонтальных углов показал, что максимальные искажения получили углы, измеряемые в жаркую, ясную и безветренную погоду. Так, у открытой Солнцу и обращенной к югу южной стены здания, вдоль которой проходило одно из направлений длиной $S = 100,2$ м на расстоянии $l = 0,7$ м от облицованной светлой плиткой стены здания, горизонтальный угол изменился на 13,5" в период с 7 до 13 ч 7.08.1979 г. (рис. 21).

Одна из сторон угла, измеренного 6.07.1980 г., была расположена вблизи обращенной к востоку и покрытой светлой плиткой стены

заводского корпуса ($l = 0,5-1,0$ м, $S = 282$ м). В итоге к 11 ч угол изменился на $12''$ (см. рис. 21).

Одно из направлений угла, измеренного 13.07.1980 г., проходило вблизи обращенной на запад сплошной двухэтажной застройки ($l = 1,0-1,5$ м, $S = 320$ м). К 17 ч угол изменился на $7''$ (см. рис. 21).

Еще более мощное поле рефракции образовалось у длинной, обращенной на юго-запад стены девятиэтажного кирпичного жилого

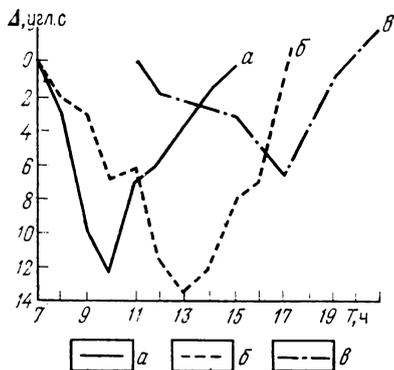


Рис. 21. Графики дневного хода горизонтальных углов летом в ясную жаркую безветренную погоду у стен различной ориентировки:

а — восточной, *б* — южной, *в* — западной

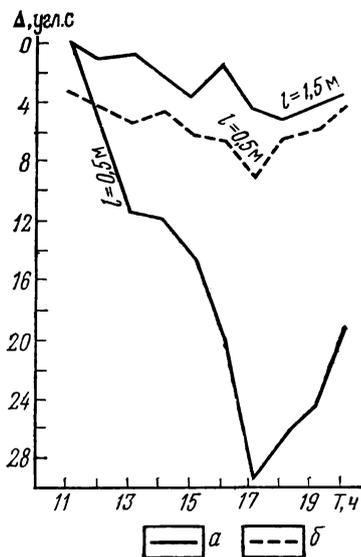


Рис. 22. График дневного хода горизонтального угла в ясную жаркую безветренную погоду у длинной юго-западной стены многоэтажного жилого дома (24.07.1981 г.):

а — по результатам наблюдений, *б* — после введения поправок за рефракцию

дома. При длине стороны угла $S = 204$ м и $l = 0,5$ м ход угла за время наблюдений составил $28''$ (рис. 22, *а*).

Для сопоставления графиков дневного хода углов следует помнить, что величина рефракции прямо пропорциональна расстоянию.

Анализ часовых и дневных сумм прихода прямой солнечной радиации показал, что в отмеченные дни они оказались большими. Например, по интенсивности радиации 24.07.1981 г. было на пятом месте среди дней месяца. Надо полагать, что по крайней мере 10—15 дней в летний месяц можно ожидать появления сильных полей рефракции на городских улицах.

В жаркую, но ветреную погоду дневной ход горизонтальных углов оказался меньше ожидаемого. Например, при умеренном ветре его максимум, при измерениях у обращенных к югу сторон улиц 14.07.1980 г. и 19.07.1981 г., не превышал $10''$.

Сравнение поперечных температурных профилей улиц, по-

строенных для ветреной и безветренной погоды, убеждает в большей однородности температурного поля и заметном уменьшении горизонтальных градиентов температуры вблизи нагретых стен при ветре.

На одной из улиц 8—9.07.1980 г. вели измерения у обращенной к юго-востоку стены, частично затененной кронами деревьев. Несмотря на ясную и жаркую погоду и значительную суммарную (480 м) длину визирных лучей, проходящих вдоль ли-

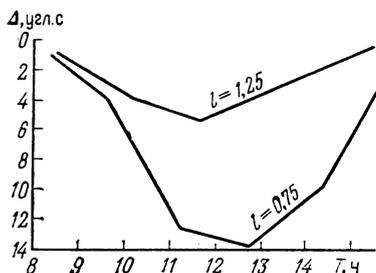


Рис. 23. График дневного хода горизонтального угла в солнечную погоду при разном удалении от стены здания

нии застройки при $l = 0,5$ м, максимальное отклонение угла достигло лишь $16''$ к 12 ч.

Из анализа всех графиков в совокупности следует, что по мере удаления визирных лучей от нагретых стен размах дневного хода углов в общем случае быстро уменьшается. Однако даже при $l = 1,5$ м влиянием рефракции в большинстве случаев нельзя пренебрегать. В ясную погоду при $l = 1,5$ м размах дневного хода углов составил $2—8''$. Например, 24.07.1981 г. он сократился с $28''$ при $l = 0,5$ м до $5''$ при $l = 1,5$ м (см. рис. 22). Однако если оба направления угла прошли бы вблизи стены, то искажение угла горизонтальной рефракцией могло возрасти вдвое. Влияние рефракции (рис. 22, б) может быть заметным и при $l = 2$ м.

При прочих равных условиях замечено, что размах дневного хода углов больше на улицах со сплошной застройкой капитальными зданиями. Надо полагать, что разреженная застройка создает условия, когда горизонтальный градиент температуры вдоль визирного луча распределяется в основном случайным образом, ослабляя влияние горизонтальной рефракции.

Сопоставляя экспериментальные данные в городах, широты которых существенно различаются, нельзя утверждать, что характер и мощность локального рефракционного поля городской улицы зависит от широты места. Это согласуется с известными из метеорологии сведениями, что приход прямой солнечной радиации весной и летом незначительно растет в сторону низких широт.

Существенные искажения углов горизонтальной рефракции вблизи линии застройки на городских улицах обнаружены также весной и осенью (рис. 23)*.

* Зюзин А. С. Боковая рефракция при измерении углов на пунктах городской полигонометрии. — Геодезия и картография, 1956, № 6, с. 18—26.

Поправки за горизонтальную рефракцию можно определить по известной формуле Б. Н. Рабиновича

$$\delta'' = -10,9'' \frac{B}{T^2} S \frac{dT}{dy},$$

принимая поле рефракции однородным, или Х. Морица [49]

$$\delta'' = \frac{\rho''}{S \sin Z} \int_0^S \frac{1}{n} \frac{dn}{dy} x dx \quad (19)$$

— для неоднородного поля рефракции.

Здесь B — давление в мм рт. ст., T — температура по шкале Кельвина, S — длина замыкающей пространственной световой кривой, dT/dy — горизонтальный градиент (средний горизонтальный градиент) температуры по направлению, перпендикулярному к визирному лучу, $\rho'' = 206\,265''$, Z — зенитное расстояние, n — показатель преломления воздуха, dn/dy — горизонтальный градиент n на дифференциально малом отрезке dx пути луча.

Вычисления по формуле (19) трудоемкие. Приняв $n = 1$, что справедливо с ошибкой 0,03%, и выполнив ряд преобразований, эту формулу можно представить в виде*

$$\delta'' = \frac{\rho}{S} \sum_1^k \left(\frac{dn}{dy} \right)_i x_i \Delta x_i,$$

где dn/dy выражено через соответствующий градиент температуры dT/dy , определяемый по картам изотерм,

$$\frac{dn}{dy} = -105,25 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{B}{T^2} \cdot \frac{dT}{dy}.$$

Вместе с тем, учет горизонтальной рефракции в городской полигонометрии путем определения и введения поправок является весьма трудоемким и кропотливым процессом, выполнение которого целесообразно лишь в особых случаях.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы и рекомендации.

На улицах городов образуются мощные поля рефракции второго рода (определяемые преимущественно температурным полем), в которых вектор градиента показателя преломления воздуха на протяжении суток остается постоянным.

Влияние горизонтальной рефракции весьма ощутимо, достигая в экстремальных условиях десятков секунд, и зависит от ориентировки улиц, времени года и суток, характера застройки, состояния погоды, длины направления и удаления его от стен зданий, наличия растительности на улице и т. п.

* *Островский А. Л., Тревого И. С.* Исследование горизонтальной рефракции в триангуляционной сети приморского города. — *Геодезия и картография*, 1983, № 11, с. 19—24.

Изотермы температурного поля улиц преимущественно следуют линии застройки, а горизонтальные градиенты температуры в непосредственной близости к излучающим тепло стенами зданий могут достигать $0,6^{\circ}\text{C}$ и более на 1 м и максимальны в периоды дня, когда лучи солнца направлены перпендикулярно к линиям застройки. В эти же периоды наблюдаются наибольшие углы рефракции на улицах разной ориентировки. Максимальные искажения углов городской полигонометрии, при прочих равных условиях, имеют место у обращенных к югу стен и возрастают по мере приближения к ним визирных лучей.

Для ослабления и учета горизонтальной рефракции в городской полигонометрии необходимо:

а) ходы полигонометрии по возможности прокладывать по сторонам улиц, обращенным на север, северо-восток и северо-запад;

б) выявлять и избегать объекты, создающие мощные тепловые потоки вблизи сторон хода;

в) удалять стороны полигонометрии от освещенных солнцем стен зданий не менее чем на 2 м, а на теневой стороне улицы — на 1 м;

г) избегать прохождения визирных лучей вблизи высоких зданий большой протяженности;

д) угловые измерения на солнечной стороне проводить в пасмурную, переменную ветреную погоду или ночью; в ясную погоду летом целесообразно организовывать измерения до 9—11 ч и после 15—19 ч, в зависимости от ориентировки улиц;

е) чаще осуществлять привязку к пунктам триангуляции или гироскопическое ориентирование отдельных сторон.

Рациональное проектирование городских полигонометрических сетей и использование благоприятных периодов для угловых измерений позволит отказаться от трудоемкого пути определения поправок за горизонтальную рефракцию.

§ 10. Измерение горизонтальных углов

Измерение углов на пунктах полигонометрии производят способом измерения отдельного угла или способом круговых приемов, если число направлений более двух, то по трехштативной или мно-гоштативной системе.

Количество приемов измерений отдельного угла или число круговых приемов приведены ниже.

Теодолиты	Количество приемов		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
T1 и ему равноточные	4	—	—
T2 и ему равноточные	6	2	2
T5 и ему равноточные	—	3	2

Измерение горизонтальных углов в городской полигонометрии следует проводить в периоды благоприятных видимостей при спокойных или слабо колеблющихся изображениях визирных целей.

При наблюдениях на пункте необходимо придерживаться следующих рекомендаций: не изменять фокусировку зрительной трубы и отсчетного микроскопа во время наблюдений; при вращении теодолита вокруг вертикальной оси уровень при алидаде горизонтального круга не должен отклоняться более чем на два деления; наведение на визирные цели надо завершать вращением наводящего винта на ввинчивание; отсчеты по шкале оптического микрометра следует производить дважды после совмещения изображений штрихов вращением головки микрометра на ввинчивание; в процессе измерений необходимо контролировать и, при необходимости, корректировать центрирование приборов.

Один прием измерений отдельного угла состоит из визирования зрительной трубы на левую визирную цель, двух совмещений изображений штрихов и взятия двух отсчетов; поворота алидады по ходу часовой стрелки, визирования на правую марку, двойного совмещения и отсчитывания; перевода трубы через зенит и поворота алидады по ходу часовой стрелки на 180° , наведения на правую марку и двойного совмещения и отсчитывания; поворота алидады по ходу часовой стрелки на величину дополнения измеряемого угла до 360° , визирования зрительной трубы на левую визирную цель и двойного совмещения и отсчитывания.

Вращение алидады в одну сторону производят для исключения возможного увлечения лимба. Во втором приеме вращение алидады осуществляют в противоположном направлении.

Измерение угла способом круговых приемов состоит из наведения трубы на начальное направление, а затем последовательно на все остальные, вращая алидаду по ходу часовой стрелки, и заканчивают полуприем наведением на начальное направление (при каждом наведении делают по два совмещения изображений штрихов лимба и по два отсчета). Между полуприемами трубу переводят через зенит и выполняют последовательное наведение против хода часовой стрелки, начиная и заканчивая начальным направлением.

За начальное выбирают направление с хорошо видимой визирной целью.

При переходе от одного приема к другому, начиная с 0° , осуществляют перестановки лимба на угол $\gamma = 180^\circ/n + \delta$, где n — число приемов, $\delta = 10$ или $5'$.

В табл. 8 приведены допуски [15], в пределах которых должны находиться результаты измерения отдельных углов и направлений.

Приемы, не удовлетворяющие установленным допускам, а также приемы, при выполнении которых были нарушены условия наблюдений (смещен прибор, допущен просчет и т. п.), не заканчиваются и наблюдаются вновь на тех же установках лимба.

Повторные измерения следует выполнять после окончания наблюдений по основной программе.

Если среднее значение угла (направления), полученное из основного и повторного приемов, удовлетворяет установленным допускам, то оно принимается в дальнейшую обработку. В про-

Допуски на измерение углов и направлений

Элементы измерений, к которым относятся допуски	Типы приборов		
	T1 и ему равноточные	T2 и ему равноточные	T5 и ему равноточные
1. Расхождение значений одного и того же угла, полученного из двух полуприемов	6"	8"	0,2'
2. Колебание значений угла, полученных из разных приемов	5	8	0,2
3. Расхождение результатов наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема	6	8	0,2
4. Колебание значений направлений, приведенных к общему нулю в отдельных приемах	5	8	0,2

тивном случае в обработку принимается только повторный прием. Результаты измерения углов и приемов записываются в журналы установленной формы. Образец вычислений в журнале при измере-

ТАБЛИЦА 9

Образец журнала измерения углов способом круговых приемов

Пункт 1. Прием 1,2. Дата 24.06.80. Время 9 ч 15 мин. Ветер слабый. Погода пасмурная. Видимость хорошая. Изображение спокойное.								
Направление	Круг	Отсчеты по лимбу	Отсчеты по микрометру		$\frac{a' + a''}{2}$	Л - П	$\frac{Л + П}{2}$	Значение направления
			a'	a''				
A	Л	0°00'	30,2"	30,8"	30,5"	-9,3"	35,2"	0°00'00,0"
	П	180 00	40,0	39,6	39,8			
B	Л	72 11	56,4	57,2	56,8	-8,0	00,8	72 11 25,6
	П	252 12	05,0	04,6	04,8			
C	Л	192 47	30,8	31,6	31,2	-3,4	32,9	192 46 57,7
	П	12 47	34,4	34,8	34,6			
A	Л	0 00	32,6	33,2	32,9	-5,9	35,8	—
	П	180 00	39,2	38,4	38,8			
A	Л	30 05	22,2	23,0	22,6	-6,9	26,0	0 00 00,0
	П	210 05	30,0	29,0	29,5			
B	Л	102 16	46,4	46,0	46,2	-6,0	49,2	72 11 23,2
	П	282 16	51,8	52,6	52,2			
C	Л	222 52	20,0	20,8	20,4	-7,2	24,0	192 46 58,0
	П	42 52	28,0	27,2	27,6			
A	Л	30 05	24,6	25,6	25,1	-6,7	28,4	—
	П	210 05	31,2	32,4	31,8			

Незамыкание $\Delta_{Л} = +2,4''; +2,5''$ $\Delta_{П} = -1,0''; +2,3'';$
 $\Delta_{ср} = +0,7''; +2,4''$ Наибольшее $\Delta (Л - П) = -5,8''; -1,2''.$

нии углов способом круговых приемов теодолитом Т2 приведен в табл. 9.

Страницы полевого журнала нумеруются ОТК. Вычисления в журнале должны быть полностью закончены и проверены до перехода на следующую точку.

Записи измерений, в основном, ведут шариковой ручкой, четко, не допуская исправлений. Результаты не принятых в обработку измерений в журнале зачеркивают с указанием причины.

Исправление ошибок в вычислениях, обнаруженных во время проверки журналов, производят путем аккуратного зачеркивания неверных цифр и записи верных над ними.

По результатам измерений на пункте в журнале составляется сводка результатов измерений и выводится среднее значение углов или направлений.

По окончании угловых измерений проверенные и оформленные журналы сдают для дальнейшей обработки.

ГЛАВА 3

ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 11. Светодалномеры для измерения сторон полигонометрии

К настоящему времени в геодезическом производстве основательно внедрены точные и высокопроизводительные светодалномеры. Теперь можно с уверенностью утверждать, что светодалномерный метод линейных измерений, благодаря своей оперативности, эффективности, комфортности и т. п. практически вытеснил традиционные в ближайшем прошлом методы измерения сторон городской полигонометрии.

Имеются реальные перспективы создания высокоточных и эффективных радиодальномеров для измерения коротких расстояний, но пока в городской полигонометрии основной объем линейных измерений выполняют топографическими светодалномерами.

В комплект светодалномера, как правило, входят: приемопередатчик с автономным электронным блоком или без него, отражатели, штативы, оптические центры, блоки питания и зарядное устройство, метеоприборы (барометр-анероид, психрометр или термометр-пращ) и др.

Для измерения расстояния между точками *A* и *B* (рис. 24) над одной из них устанавливают на штативе и центрируют приемопередатчик, а на другой — отражатель и определяют время распространения электромагнитных колебаний до отражателя и обратно.

По характеру излучения светодалномеры делятся на импульсные и фазовые. При работе импульсным дальномером наклонные расстояния *D* определяются по формуле

$$D = v\tau/2 \text{ или } D = c\tau/2n, \quad (20)$$

где v — рабочая скорость света в атмосфере, τ — время распространения электромагнитных волн, c — скорость распространения электромагнитных волн (скорость света) в вакууме, равная $299\,792\,458 \pm 1,2 \text{ м/с}^*$, n — показатель преломления воздуха.

Эти светодальномеры обладают большой оперативностью, однако существующие еще технические трудности фиксации времени τ меж-

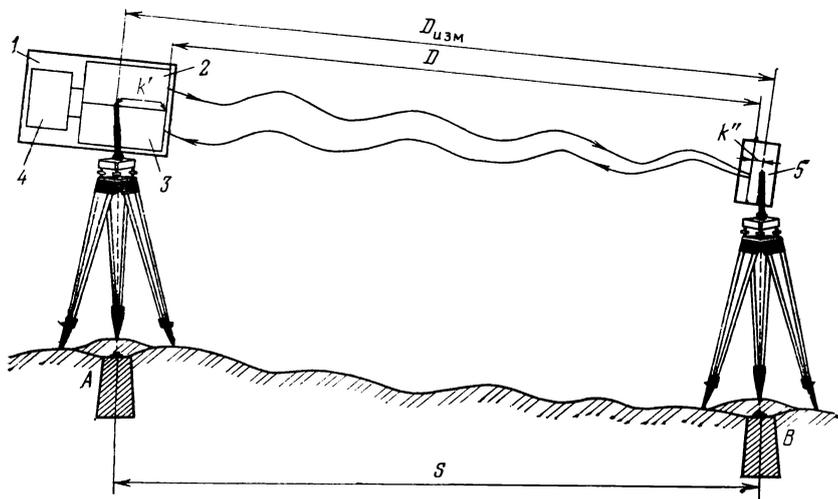


Рис. 24. Схема измерения расстояния фазовым светодальномером:
1 — приемопередатчик, 2 — передающее устройство, 3 — приемное устройство, 4 — фазометр, 5 — отражатель

ду моментами излучения и приема импульсов препятствуют достижению высокой точности измерения расстояний.

В отличие от импульсных фазовые светодальномеры обеспечивают требуемую точность и получили широкое распространение в практике линейных измерений при построении геодезических сетей.

Измерение расстояния фазовым дальномером производится с помощью модулированного светового потока и основано на известной связи времени и фазы колебания, являющейся линейной функцией времени. Несущей частотой является частота излучения света.

Колебания модулированного светового потока направляются на дистанцию передающим устройством 2 (см. рис. 24), улавливаются отражателем 5 и после отражения от него возвращаются в приемное устройство 3 и регистрируются фазометром 4.

Колебания светового потока описываются выражением

$$u = A \sin(\omega\tau + \varphi_0) = A \sin \varphi,$$

* Данное значение скорости света принято на XVI Генеральной Ассамблее МГТС в 1976 г. в Гренобле (Франция).

где A — амплитуда колебаний, ω — круговая частота колебания, φ_0 — начальная фаза колебания, ψ — текущая фаза. На протяжении пути, равного $2D$, модулированный световой поток затратил время τ , поэтому текущая фаза возвратившегося колебания ψ' изменится на величину $\omega\tau$, а разность фаз излучаемого и принятого колебания φ выразится формулой

$$\varphi = \psi' - \psi = \omega\tau. \quad (21)$$

Из теории гармонических колебаний известно, что

$$\omega = 2\pi f, \quad (22)$$

где f — модулирующая частота. С учетом (22) из формулы (21) найдем τ :

$$\tau = \varphi/2\pi f. \quad (23)$$

После подстановки (23) в формулу (20) получим

$$D = c\varphi/4\pi fn. \quad (24)$$

Таким образом, если будут известны f , n и c , определение расстояния сводится к измерению разности фаз. Однако фазовый индикатор регистрирует ее только в пределах одного периода изменения фазы (от 0 до 2π). Электромагнитные колебания, проходя путь $2D$, совершают N полных фазовых циклов (периодов колебаний) и попадают в светоприемное устройство светодальномера с некоторым сдвигом фазы $\Delta\varphi$, который и фиксируется фазоизмерительным устройством.

Поэтому разность фаз в общем случае выразится формулой

$$\varphi = \varphi' + \Delta\varphi = 2\pi N + \Delta\varphi, \quad (25)$$

где φ — разность фаз, кратная 2π , а $N = \varphi'/2\pi$. Принимая во внимание, что длина волны модуляции λ равна

$$\lambda = v/f = c/f \cdot n, \quad (26)$$

и учитывая формулы (25) и (26), по (24) получим

$$D = \lambda(N + \Delta N)/2, \quad (27)$$

где $\Delta N = \Delta\varphi/2\pi$ — дробная часть фазового цикла.

Если предположить, что длина полуволны модуляции света является длиной условного мерного прибора, укладываемогося N раз в измеряемом расстоянии, то величину ΔN можно считать своеобразным домером.

При выполнении измерений на одной частоте возникает неопределенность в определении расстояния D по формуле (27), так как в этом случае кроме D неизвестно еще и N . Это обстоятельство принято называть неоднозначностью. Для ее исключения значение N можно определять по известным величинам λ_i и ΔN_i разными методами в зависимости от способа индикации модулированного све-

тового потока. По этому признаку фазовые дальномеры разделяют на визуальные и фотоэлектрические.

Для визуальных светодальномеров, широко применявшихся ранее, исключение неоднозначности осуществлялось по методу плавного изменения частот, а для современных дальномеров с фотоэлектрической регистрацией модулированного светового потока применяют метод фиксированных частот.

С 1 января 1984 г. в СССР введен новый ГОСТ 19223—82 «Светодальномеры геодезические. Общие технические условия», в котором в зависимости от назначения, дальности и точности выделены три условные группы светодальномеров: Г — применяемые в государственной геодезической сети, П — в прикладной геодезии и маркшейдерии, Т — в геодезических сетях сгущения и для выполнения топографических съемок.

Основная метрологическая характеристика светодальномеров выражена формулой

$$m_D = a + b \cdot 10^{-6} D, \quad (28)$$

где m_D — допустимое значение средней квадратической ошибки в рабочем диапазоне, a и b — коэффициенты, выбираемые из табл. 10.

ТАБЛИЦА 10

Значения коэффициентов a и b

Группа	a , мм	b , мм	Предел измерения, км	
			нижний	верхний
Г	5; 10	1; 2	0,5	15 — 50
П	0,3; 0,5; 1,2	0,5; 1; 2; 3	0,002	0,1—3
Т	5; 10	2; 3; 5	0,002	1 — 15

Шифр выпускаемых светодальномеров выражает его принадлежность к соответствующей группе, а также верхний предел измерения. Например, СТ5 — светодальномер топографический для измерения дальностей до 5 км.

В табл. 11 приведены основные технические характеристики ряда отечественных и зарубежных светодальномеров, дальномерных насадок на теодолиты и электронных тахеометров, которыми можно измерять стороны городской полигонометрии.

Обращает на себя внимание незначительная продолжительность измерения для подавляющего большинства приборов. Средние квадратические ошибки измерения расстояний, в основном, находятся в диапазоне 1—2 см.

При построении городских полигонометрических сетей в нашей стране наибольшее распространение в последние годы получили светодальномеры 2СМ-2, ЕОК 2000, СМ-5, МСД-1М, СТ5 и другие, электронные тахеометры Та5, ЕОТ 2000, Recota.

Светодальномер 2СМ-2

Топографический светодальномер 2СМ-2 (рис. 25) — широко распространенный прибор для измерения сторон в полигонометрии.

В комплекте светодальномера есть приемопередатчик, автономный электронный блок, по два источника питания, отражателя и

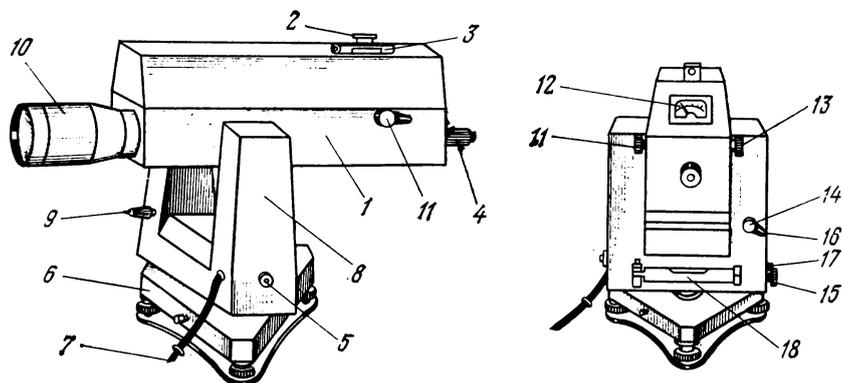


Рис. 25. Приемопередатчик 2СМ-2:

1 — головка, 2 — колпачок лампочки подсветки, 3 — коллиматорный визир, 4 — окуляр, 5 — оптический центрир, 6 — подставка, 7 — кабель, 8 — колонка, 9 — ручка ФЭУ, 10 — объектив, 11 — ручка «Дист.—ОКЗ», 12 — контрольный прибор, 13 — ручка уровня сигнала, 14, 15 — наводящие винты, 16, 17 — закрепительные винты, 18 — уровень

оптических центрира, три штатива, термометр-пращ, барометр-анероид и т. д.

В светодальномере, являющемся электронно-оптической системой, используется фазовый метод измерения расстояния с фотоэлектрической индикацией разности фаз дискретным (цифровым) фазометром.

Он относится к группе малых гетеродинных светодальномеров, имеет небольшой вес, компактен и рассчитан на работу в дневное и ночное время. Источником излучения служит полупроводниковый светодиод на основе арсенида галлия. Длина эффективной волны излучения 0,91 мкм (инфракрасная область спектра).

Оптическое излучение светодиода приобретает амплитудную модуляцию внутри источника излучения от генератора модулирующей частоты ГМЧ и с помощью передающей оптической системы направляется на трипельпризменный отражатель (рис. 26). Одновременно напряжение с ГМЧ и гетеродина преобразуется в низкочастотный сигнал, который избирательно усиливается в усилителе опорного канала $У_1$, получает фазовую задержку в фазовращателе ФВ и через усилитель $У_2$, формирователь импульсов ФИ₂ и усилитель $У_3$ в виде последовательных опорных импульсов попадает в логическое устройство и счетчик.

Шифр прибора	Страна-изготовитель	Точность измерений, мм; мгон.	Диапазон измерений, м	Основная частота модуляции, МГц	Масса, кг	Потребляемая мощность, Вт	Время измерения, мин	Температурный диапазон, °С
Светодальномеры								
2СМ-2	СССР	20	2—2000	15	22	20	2	-35—+40
СТ5	СССР	$10 + 5 \cdot 10^{-6} D$	2—5000	15	18	4,5	0,15	-30—+40
СМ-5	СССР	30	2—500	15	20	6	0,15	-30—+40
СМ-3	СССР	30	20—2000	30	48	5	10	-40—+50
СТ-65	СССР	$14 + 3 \cdot 10^{-6} D$	100—2000	25	70	30	15	-5—+40
ТД-2	СССР	$10 + 2 \cdot 10^{-6} D$	140—5000	15	85	90	15	-15—+40
МСД-1М	СССР	$2 + 5 \cdot 10^{-6} D$	4—500	150	27	2,5	8	-10—+40
ЕОК 2000	ГДР	$5 + 4 \cdot 10^{-6} D$	1,3—2500	30	36	8—20	2	-25—+45
МА 100	Великобритания	$1,5 + 2 \cdot 10^{-6} D$	3000	—	16	13	2	—
НР 3800	США	$6 + 10 \cdot 10^{-6} D$	3000	—	8	12	8	—
Eldi	ФРГ	$10 + 2 \cdot 10^{-6} D$	3000	—	4	4	0,15	—
ME 3000	Швейцария	$1 \cdot 10^{-6} D$	3000	500	12	16	3	—
Светодальномерные насадки								
ДНК-2	СССР	$20 + 20 \cdot 10^{-6} D$	4—400	—	1,4	3,5	10	-40—+50
Дистомат	Швейцария	$5 + 5 \cdot 10^{-6} D$	1000	—	7,0	10	0,15	—
Геодиметр 12	Швеция	$5 + 10 \cdot 10^{-6} D$	0,8—5000	15	2,8	17	0,25	-20—+50
Аклингер	Канада	6	1200	—	—	—	0,02	—
Телемер DNI	ПНР	10—20	2000	—	2,0	—	2	—
СД	Великобритания	$5 + 5 \cdot 10^{-6} D$	2000	—	2,5	12	—	—
Di 10	Швейцария,	10	2000	15	2,0	15	0,25	-20—+50
Eldi 1	Франция	5—20	5000	—	8,0	—	0,10	—

Eldi 2	ФРГ	7-20	3000	—	4,2	—	0,10	—
Eldi 3	ФРГ	10-20	1500	—	3,8	—	0,10	—
HP 3820A	США	$5 + 1 \cdot 10^{-6} D$	5000	—	9,5	—	0,03	-10—+40
RED-1A	Япония	10	2500	—	3,5	—	—	—

Электронные тахеометры

Та 5	СССР	20; 1,8	2-2500	15	12,5	10	0,35	-30—+40
СМ 4	ФРГ	$5-10+2 \cdot 10^{-6} D$; 10	1500	—	9	—	0,10	—
Reg Elta 14	ФРГ	5-10; 1,0	1200	15	21,5	20	0,10	—
Геодинетр 710	Швеция	$5 + 10 \cdot 10^{-6} D$; $0,3$	5000	—	14	—	0,20	—
ЕОТ 2000	ГДР	$6 + 2 \cdot 10^{-6} D$; $0,3$	0,2-2000	15	11	13-20	0,15	-25—+45
Recota	ГДР	$5 + 2 \cdot 10^{-6} D$; $0,5$	3000	—	12	7	0,15	—
Reta	ГДР	$5 + 2 \cdot 10^{-6} D$; $1,0$	3000	—	11	12	0,15	—
Tachumat	Швейцария	$5+5 \cdot 10^{-6} D$; 0,6	2000	30	13	16	0,20	—
Wild T2/D I3S	Швейцария	$5+5 \cdot 10^{-6} D$; 0,3	2000	20	6,3	17	—	—
HP 3820A	США	$5+5 \cdot 10^{-6} D$; 0,6	4000	10	10,8	—	—	—
Elta-2	ФРГ	$5+2 \cdot 10^{-6} D$; 0,2	4000	10	12	—	—	—
Elta-4	ФРГ	$5+2 \cdot 10^{-6} D$; 1,0	3000	10	6,5	—	—	—

П р и м е ч а н и е. Почти у всех названных приборов излучателем служит светодиод, за исключением СТ-65 и ТД-2 (лампа накалывания) ME 3000 (ксеноновая лампа) и Геодинетр 710 (оптический кварцевый генератор).

Для тахеометров приведена точность измерения горизонтальных углов в мгон.

Отраженный световой поток проходит через приемную оптическую систему приемопередатчика и попадает на демодулятор ФЭУ. На пути к ФЭУ в приемной оптической системе находятся интерференционный светофильтр, ограничивающий влияние вредных засветок в дневное время, а также полевая диафрагма, регулирующая уровень сигнала, поступающего на ФЭУ.

В ФЭУ оптический сигнал преобразуется в электрический, гетеродинируется, как в опорном канале, и усиливается. Гетеродинный процесс протекает вследствие поступления частоты гетеродина на дисковый электрод. Далее образовавшийся низкочастотный сигнал проходит через фильтр LC, согласующий усилитель СУ и

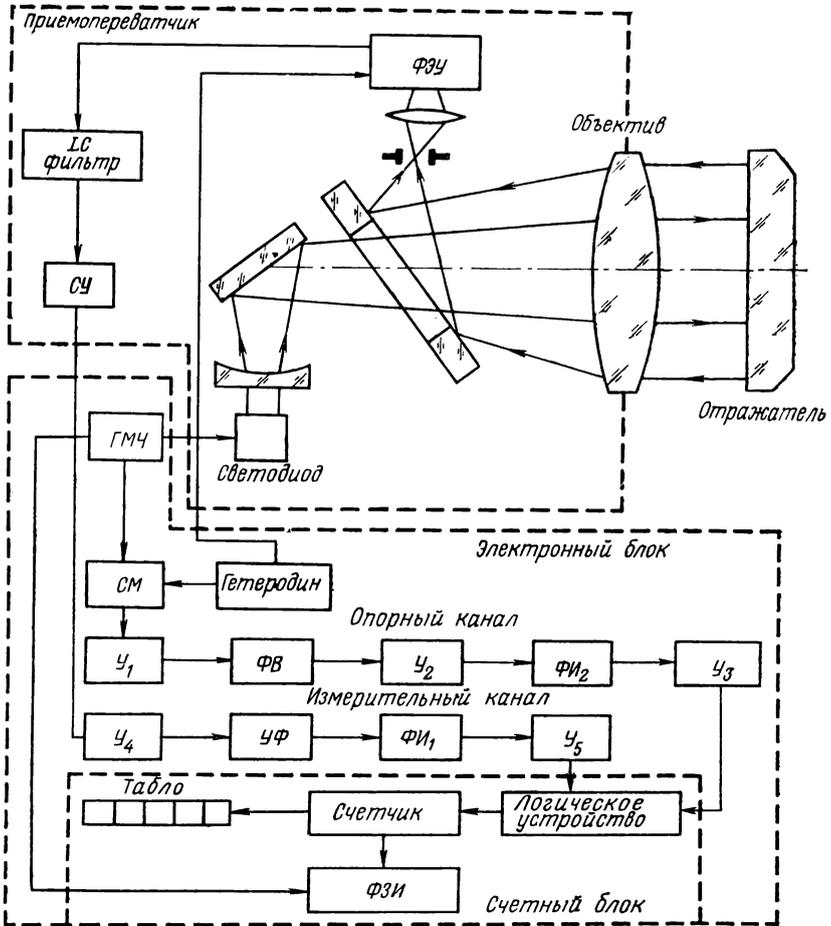


Рис. 26. Блок-схема светодальномера 2СМ-2:

СУ — согласующий усилитель, ГМЧ — генератор модулирующей частоты, ФЭУ — фотоэлектронный умножитель, СМ — смеситель, У — усилитель, ФВ — фазовращатель, ФИ — формирователь импульсов, УФ — узкополосный фильтр, ФЗИ — формирователь заполняющих импульсов

низкочастотный усилитель $У_4$ измерительного канала электронного блока. Затем сигнал следует через схему установки начальных отсчетов, фильтруется узкополосным фильтром $УФ$, поступает на формирователь коротких импульсов $ФИ_1$ и через усилитель амплитуды импульсов $У_5$ в виде последовательности прямоугольных импульсов разностей частот попадает в логическое устройство и счетчик счетного блока.

Таким образом, в логическое устройство поступают опорный и измерительный сигналы по соответствующим каналам. В счетном блоке дальномера измеряется фазовый сдвиг между опорным и поступившим с дистанции сигналами путем сравнения по длительности сформированных эталонных временных интервалов с временным интервалом между опорным и измерительным импульсами на трех автоматически переключаемых частотах. Результат измерения просчитывается двоично-десятичными счетчиками и выдается на табло в цифровом виде в миллиметрах.

Для исключения неоднозначности измерения ведут на трех масштабных частотах модуляции: $f_1 = 149,85$ кГц; $f_2 = 1498,5$ кГц и $f_3 = 14985$ кГц. При установленном табличном значении скорости света $v = 299\,700$ км/с им соответствуют длины волн модуляции $\lambda_1 = 2000$ м; $\lambda_2 = 200$ м и $\lambda_3 = 20$ м. Частота f_3 вырабатывается кварцевым генератором, работающим в режиме принудительного термостатирования, а f_1 и f_2 получаются электрическим делением частоты f_3 на 10 и на 100.

Подобранная сетка масштабных частот удобна, так как позволяет выдавать на табло результаты измерений в метрах и его долях.

Исключение неоднозначности при работе дальномером 2СМ-2 происходит автоматически (без участия оператора) по методу фиксированных частот с последовательным уменьшением длин волн. Рассмотрим этот метод.

Запишем формулу (27) для трех длин волн модуляции:

$$D = \lambda_3 (N_3 + \Delta N_3)/2; \quad (29)$$

$$D = \lambda_2 (N_2 + \Delta N_2)/2; \quad (30)$$

$$D = \lambda_1 (N_1 + \Delta N_1)/2. \quad (31)$$

Преобразуем выражение (30) и найдем N_1 :

$$N_1 = \frac{D}{\lambda_1/2} - \Delta N_1. \quad (32)$$

Приравняем правые части формул (29) и (30), (30) и (31) и получим

$$\lambda_3 N_3/2 + \lambda_3 \Delta N_3/2 = \lambda_2 (N_2 + \Delta N_2)/2; \quad \lambda_2 N_2/2 + \lambda_2 \Delta N_2/2 = \lambda_1 (N_1 + \Delta N_1)/2. \quad (33)$$

Из равенства (33) найдем N_2 и N_3 :

$$N_2 = (\lambda_1/\lambda_2) (N_1 + \Delta N_1) - \Delta N_2. \quad (34)$$

$$N_3 = (\lambda_2/\lambda_3) (N_2 + \Delta N_2) - \Delta N_3. \quad (35)$$

В формулах (32), (34) и (35) величины λ_1 , λ_2 , λ_3 известны, а фазовые домеры ΔN_1 , ΔN_2 , ΔN_3 получим при измерениях на трех частотах. Неизвестными остаются N_1 , N_2 , N_3 и D , но их больше, чем уравнений, поэтому следует знать приближенное значение измеряемой дальности $D_{\text{п}}$.

Рассмотрим числовой пример исключения неоднозначности при $D_{\text{п}} = 2,4$ км; $\Delta N_1 = 0,560$; $\Delta N_2 = 0,760$; $\Delta N_3 = 0,179$.

По формуле (31) найдем

$$N_1 = \frac{D_{\text{п}}}{\lambda_1/2} - \Delta N_1 = 2,4 - 0,560 = 1,840.$$

Округлим результат до целого значения и получим $N_1 = 2$.

Подставим в формулу (34) значение N_1 , тогда

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (N_1 + \Delta N_1) - \Delta N_2 = 10 (2 + 0,560) - 0,760 = 24,840 \approx 25.$$

Наконец, по формуле (35) найдем

$$N_3 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} (N_2 + \Delta N_2) - \Delta N_3 = 10 (25 + 0,760) - 0,179 = 256,421 \approx 256.$$

Для нахождения N_1 по формуле (32) требуется знать $D_{\text{п}}$, но ввести эту величину в электронный блок дальномера нельзя. Поэтому в схеме «логика» всегда $N_1 = 0$. Нетрудно видеть, что в этом случае для расматриваемого примера $N_3 = 56$, а не 256.

Если теперь в формулу (29) последовательно подставить $N'_3 = 256$ и $\Delta N_3 = 0,179$, а также $N''_3 = 56$ и $\Delta N_3 = 0,179$, то соответственно получим

$$D' = \lambda_3 (N'_3 + \Delta N_3)/2 = 10 (256 + 0,179) = 2561,790 \text{ м};$$

$$D'' = \lambda_3 (N''_3 + \Delta N_3)/2 = 10 (56 + 0,179) = 561,790 \text{ м}.$$

Таким образом, импульсный счетчик электронного блока всегда будет показывать величину меньше 1000 м. Для получения полной длины линии, измеряемой дальномером 2СМ-2, приближенное расстояние следует знать с точностью до 1 км.

Счетчик электрического блока, работая в режиме интегрирования, регистрирует число заполняющих импульсов, автоматически накапливая и осредняя 128 измерений. На табло появляется среднее значение $D_{\text{дист}}$ в мм, равное

$$D_{\text{дист}} = \lambda_3 (N_3 + \Delta N_3)/2.$$

Измерение расстояния ведут в двух режимах — «Дист» и «ОКЗ». Линия ОКЗ представляет собой трипельпризменный элемент, который периодически вводится в оптическую систему дальномера для ослабления влияния фазовых задержек сигналов, возникающих в электронной части светодальномера в процессе работы. Измерения в

режиме «ОКЗ» выполняют в каждом приеме на основной частоте модуляции f_3 . Результат измерения на ОКЗ $L_{\text{ОКЗ}}$, считанный с цифрового табло, вычитается из результата, полученного в режиме «Дист».

С учетом величин $D_{\text{дист}}$, $L_{\text{ОКЗ}}$ и принимая во внимание, что измерения, как правило, ведут несколькими приемами, получим

$$D'_{\text{изм}} = (D_{\text{дист}} - L_{\text{ОКЗ}})_{\text{ср.}}$$

Учитывая соответствующие поправки и установленную однозначность измерения, получим окончательную формулу для определения наклонного расхождения

$$D = D'_{\text{изм}} + n \cdot 1000 + k + \Delta D_{t, P} + \Delta D_g, \quad (36)$$

или

$$D = D_{\text{изм}} + k + 1 \cdot 10^{-5} K_A + \Delta D_g,$$

где n — число уложений по 1000 м в измеряемом отрезке, k — постоянная приборная поправка светодальномера, $\Delta D_{t, P}$ и ΔD_g — соответственно поправки за влияние температуры и давления воздуха и за циклическую ошибку. Величины $\Delta D_{t, P}$ и K_A определяются с помощью таблицы или номограммы (см. прил. 1).

Постоянная поправка светодальномера $k = k' + k''$ (см. рис. 24), где величины k' и k'' обусловлены несовмещением точек излучения и приема сигнала с вертикальной осью вращения приемопередатчика, а также точек отражения сигнала с вертикальной осью вращения отражателя.

Приемопередатчик 2СМ-2 посылает амплитудно-модулированное световое излучение на дистанцию и принимает отраженное излучение, превращает световой сигнал в электрический и преобразовывает его в низкочастотный и т. п. Приемопередатчик состоит из головки 1 и колонки 8. В головке размещены элементы оптической системы, ФЭУ, излучатель и усилитель мощности масштабных частот. Основные части и детали управления прибором иллюстрированы на рис. 25.

Передающая, приемная и визирная оптические системы соосно совмещены в приемопередатчике. Для трех систем используется один трехлинзовый объектив. Передающая и визирная системы разделены светоделительной пластинкой, наклоненной к визирной оси на 45° . Пластинка отражает излучение светодиода, но пропускает лучи видимой части спектра. Периодически в оптическую схему приемопередатчика вводят линию ОКЗ.

Приемопередатчик устанавливают на подставку 6 и соединяют кабелем 7 с электронным блоком светодальномера. Наличие съемной подставки обеспечивает возможность использования светодальномера для трехштативной системы измерения углов и линий.

Электронный блок предназначен для автоматического измерения фазовых домеров и исключения неоднозначности из результатов измерений. Кроме того, он служит для генерации масштабных гетеродинных частот, усиления и фильтрации сигнала, логической обработки отсчетов на частотах f_1 , f_2 , f_3 , и их индикации на цифровом табло.

Основные узлы электронного блока имеют выходы на лицевую панель (рис. 27). Крышкой 15 закрыт доступ к подстроечнику масштабной частоты f_3 и разъему для подключения частотомера.

Для светодальномера 2СМ-2 характерна блокировка счета в случае появления препятствия или резкого ухудшения условий видимости в

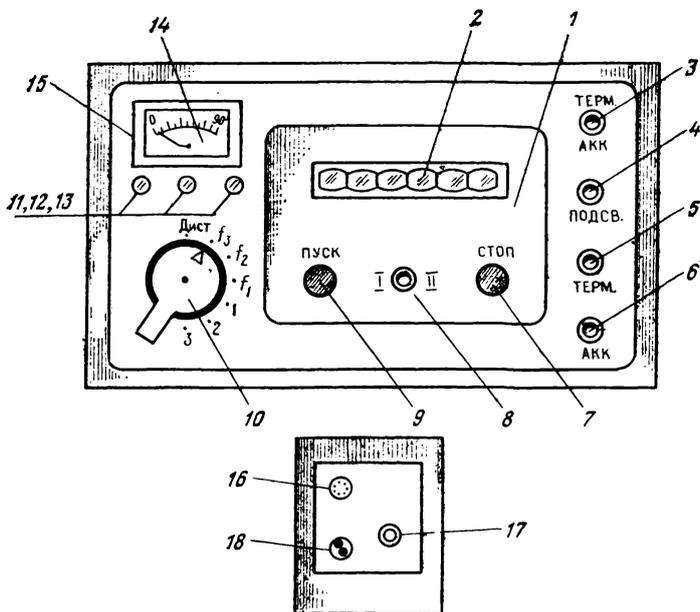


Рис. 27. Электронный блок 2СМ-2:

1 — лицевая панель счетного блока, 2 — цифровое табло, 3 — тумблер дополнительного переключателя режимов работы электронного блока, 4 — тумблер включения подсветки, 5 — тумблер включения термостата, 6 — тумблер включения питания, 7 — кнопка «стоп» для включения счетного блока, 8 — тумблер переключения режимов работы счетного блока, 9 — кнопка «пуск» для включения счетного блока, 10 — основной переключатель режимов работы электронного блока, 11, 12, 13 — подстроечные потенциометры нулевых отсчетов частот, 14 — контрольный прибор, 15 — крышка, 16 — разъем для подключения приемопередатчика, 17 — разъем для подключения питания, 18 — гнездо для подключения тройника

сторе измеряемой линии. После устранения помехи счет возобновляется.

Отражатель представляет собой панель, на которой можно установить до пяти блоков по три трипельпризмы, в зависимости от дальности и условий прохождения сигнала. При работе в темноте отражатель оборудуют фонарем для облегчения визирования. Отражатель устанавливается в подставке, снабжен уровнем и коллиматорным визиром.

В качестве источника питания используются никель-кадмиевые аккумуляторы (12 штук в футляре), дающие напряжение на выходе 12—15 В. Аккумуляторы рассчитаны на 1000 зарядов.

Светодальномер ЕОК 2000

Малый светодальномер ЕОК 2000 производства Народного предприятия «К. Цейсс, Иена» (рис. 28) хорошо зарекомендовал себя при линейных измерениях в полигонометрии. На рис. 29 представлена блок-схема прибора.

В комплект светодальномера входят приемопередатчик, два отражателя, три штатива, блок питания и др.

Светодальномер пригоден для работы по трехштативной системе. Предприятие-изготовитель гарантирует измерение расстояний от 0,3

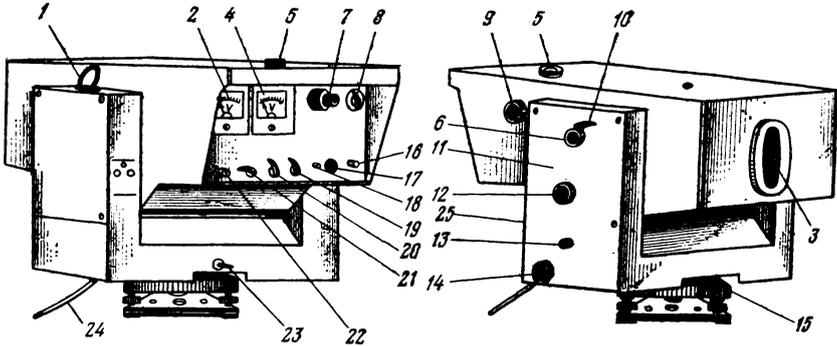


Рис. 28. Светодальномер ЕОК 2000:

1 — круглый уровень, 2 — контрольный прибор, 3 — световое отверстие, 4 — нуль-индикатор для компенсации разности фаз, 5 — оптический визир, 6 — фокусирующий винт, 7 — окуляр зрительной трубы, 8 — переключатель частот, 9 — головка фазовращателя, 10, 23 — зажимные винты, 11 — колонка, 12, 14 — наводящие винты, 13 — оптический центрир, 15 — подставка, 16 — выключатель счетчика, 17 — счетчик фазовращателя, 18 — выключатель, 19, 20, 21 — переключатели режимов работ, 22 — переключатель серого клина, 24 — кабель, 25 — переключатель ФЭУ

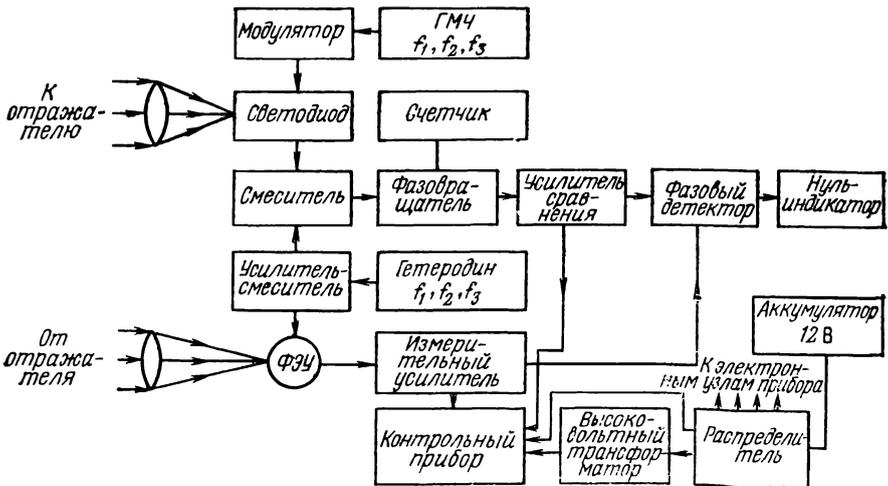


Рис. 29. Блок-схема светодальномера ЕОК 2000

до 2500 м со средней квадратической ошибкой 10 мм, однако она может быть уменьшена практически в два раза, если воспользоваться рекомендациями [3], [35] по эталонированию прибора и оптимизации программы измерений.

В качестве источника питания, как правило, используют аккумулятор напряжением 12 В.

ЕОК 2000 — фазовый светодальномер с фотоэлектрической индикацией разности фаз. Кроме основного излучателя (светодиода на основе арсенида галлия) приемопередатчик снабжен дополнительным источником света видимой области спектра (прожектором) для быстрого отыскания отражателя при работе в темноте. Передающая и приемная оптические системы прибора отдельные, однако используют одно световое отверстие 3 (см. рис. 28). Диаметры их объективов соответственно 32 и 35 мм. Приемопередатчик ЕОК 2000 снабжен круглым уровнем 1, оптическим центриром 13 и оптическим визиром 5, зажимными 10, 23 и наводящими 12, 14 винтами для точной установки и правильного наведения на отражатель. На панели управления прибором расположен контрольный прибор 2, нуль-индикатор 4, переключатель частот 8, переключатели режимов работ 19, 20, 21 и серого клина 22, выключатели 16 и 18, а также счетчик фазовращателя. Показания счетчика при необходимости легко привести к нулю. Головка фазовращателя 9 находится на боковой стенке корпуса.

Отражатель ЕОК 2000 трипельпризменный, состоящий из 9 съемных элементов. Одной призмы достаточно для измерения линий до 400 м, трех — до 1 км, девяти — более 1 км. Отражатель устанавливается на подставку. В рабочее положение он приводится с помощью оптического центрира, круглого уровня и оптического визира.

Светодальномер работает на трех фиксированных частотах — $f_1 = 30$ МГц, $f_2 = 33$ МГц и $f_3 = 30,3$ МГц.

Основная частота модуляции f_1 . Ей соответствует длина волны модуляции $\lambda_1 = 10$ м. Так как частоты модуляции мало различаются между собой, то в данном случае применим метод исключения неоднозначности на близких частотах.

Принимая во внимание, что $f_1 < f_3 < f_2$, и допуская, что фазовые домеры ΔN_1 , ΔN_2 , ΔN_3 измерены безошибочно, на основании формул (26) и (27) можно записать равенство

$$D = v(N_1 + \Delta N_1)/2f_1 = v(N_3 + \Delta N_3)/2f_3 = v(N_2 + \Delta N_2)/2f_2. \quad (37)$$

Отсюда

$$2D(f_3 - f_1) = v(N_3 - N_1 + \Delta N_3 - \Delta N_1); \quad (38)$$

$$2D(f_2 - f_1) = v(N_2 - N_1 + \Delta N_2 - \Delta N_1).$$

Из формул (38) получим

$$D = v(N_{3,1} + \Delta N_{3,1})/2(f_2 - f_1) = (\lambda_{3,1}/2)(N_{3,1} + \Delta N_{3,1}); \quad (39)$$

$$D = v(N_{2,1} + \Delta N_{2,1})/2(f_2 - f_1) = (\lambda_{2,1}/2)(N_{2,1} + \Delta N_{2,1}) \quad (40)$$

$$\text{или } D = v(N_{3,1} + \Delta N_{3,1})/2(30,3 - 30,0) = 500(N_{3,1} + \Delta N_{3,1}); \quad (41)$$

$$D = \frac{v(N_{2,1} + \Delta N_{2,1})}{2(33,0 - 30,0)} = 500(N_{2,1} + \Delta N_{2,1}). \quad (42)$$

В формулах (39), (40) выражения $(f_3 - f_1)$ и $(f_2 - f_1)$ — фиктивные разностные частоты, которым соответствуют фиктивные длины волн $\lambda_{3,1} = 1000$ м и $\lambda_{2,1} = 100$ м. Зная приближенное расстояние $D_{\text{п}}$, по формулам (39) и (41) найдем

$$N'_{3,1} = D_{\text{п}}/0,5\lambda_{3,1} - \Delta N_{3,1} = D_{\text{п}}/500 - \Delta N_{3,1}.$$

Округляя $N'_{3,1}$ до целого числа получим $N_{3,1}$. Используя выражения (39)—(42), найдем

$$N'_{2,1} = \frac{f_2 - f_1}{f_3 - f_1} (N_{3,1} + \Delta N_{3,1}) - \Delta N_{2,1} = 10(N_{3,1} + \Delta N_{3,1}) - \Delta N_{2,1}$$

и, после округления до целого числа, получим $N_{2,1}$.

Выполнив несложные преобразования, из выражений (37)—(42) получим

$$N'_1 = \frac{f_1}{f_2 - f_1} (N_{2,1} - \Delta N_{2,1}) - \Delta N_1 - 10(N_{2,1} - \Delta N_{2,1}) - \Delta N_1,$$

а в результате округления значения N'_1 до целого числа, получим N_1 . Таким образом, неоднозначность в результатах измерений исключена.

Из исследований по исключению неоднозначности для светодальномера 2СМ-2 очевидно, что светодальномер ЕОК 2000 однозначно измеряет расстояния до 500 м. Исключение неоднозначности происходит автоматически при выполнении программы измерений на трех частотах. Оператор считывает со счетчика фазовращателя три последовательных отсчета R_1 , R_2 и R_3 . Шкала круга фазовращателя разделена на 1000 делений, что соответствует разности фаз в 360° или расстоянию 5, 50 или 500 м в зависимости от модулирующей частоты. Благодаря этому результат измерения получается в метрах и его долях. В итоге отсчет R_1 (несущий информацию об измерении на основной частоте f_1) принимает значение менее 5 м, R_2 и R_3 — соответственно менее 50 и 500 м. Предварительное значение расстояния D получают как полусумму отсчетов R_1 , R_2 и R_3 (см. табл. 14).

Для определения наклонного расстояния, измеряемого светодальнономером ЕОК 2000, используют формулы

$$D = D'_{\text{изм}} + n \cdot 500 + k + \Delta D_{t,p} + \Delta D_f + \Delta D_g,$$

$$D = D_{\text{изм}} + k + 1 \cdot 10^{-6} D_{\text{изм}} (K_A + K_f) + \Delta D_g, \quad (43)$$

где $D'_{\text{изм}}$ — средний результат измерения с учетом ОКЗ, n — число уложений по 1000 м в измеренном расстоянии, k — постоянная приборная поправка светодальномера, $\Delta D_{t,p}$, ΔD_f , ΔD_g — соответственно поправки в измеренные расстояния за влияние атмосферы, за температурный уход основной масштабной частоты и за циклическую ошиб-

ку фазовращателя. Величины ΔD_f , K_f и ΔD_g определяются по графикам, прилагаемым к описанию прибора или полученным из исследования светодальномера. Величины $\Delta D_{t, P}$ и K_A выбираются из таблицы (см. прил. 3), составленной при средних метеорологических условиях: $t = 15^\circ\text{C}$, $P = 987$ гПа, $e = 13$ гПа, соответствующих групповой скорости распространения света $v = 299\,711,41$ км/с.

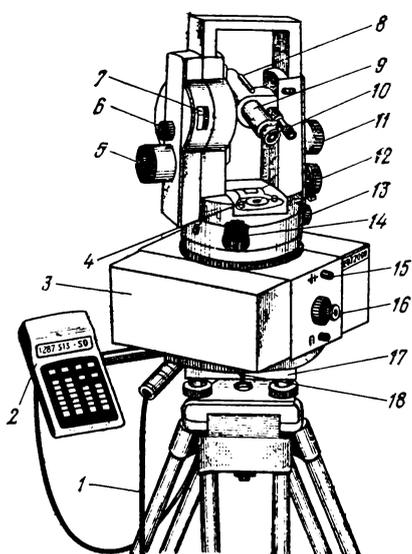
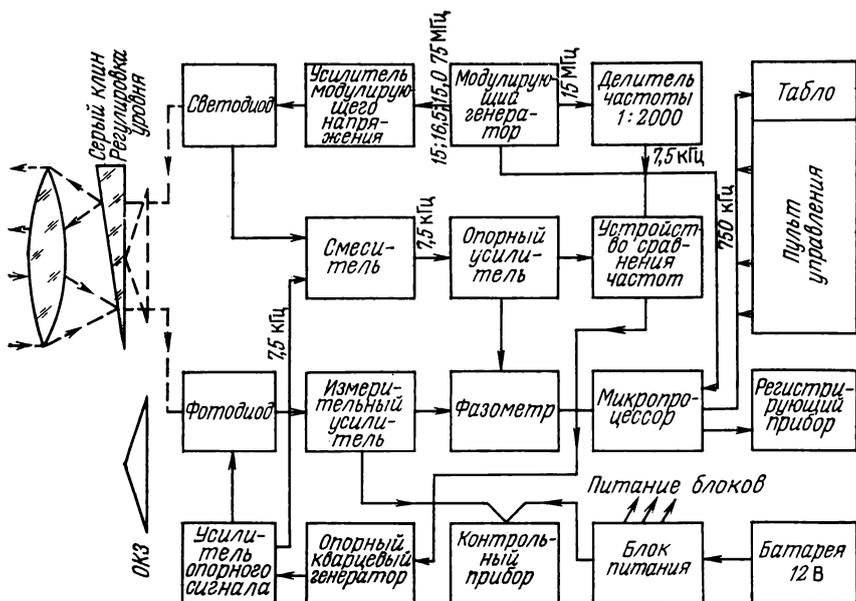


Рис. 30. Электронный тахеометр ЕОТ 2000:

1 — кабель, 2 — пульт управления, 3 — блок питания, 4 — цилиндрический и круглый уровни, 5 — лампа освещения, 6 — ручка серого клина (регулировка уровня сигнала), 7 — стрелочный прибор, 8 — коллиматорный визир, 9 — окуляр зрительной трубы, 10 — отсчетный микроскоп, 11 — головка оптического микрометра, 12 — переключатель кругов, 13 — наводящее устройство, 14 — ручка перестановки горизонтального круга, 15 — контрольная кнопка напряжения питания, 16 — оптический центр, 17 — подставка, 18 — главный выключатель

Рис. 31. Блок-схема тахеометра ЕОТ 2000



Электронный тахеометр ЕОТ 2000

С 1977 по 1982 г. Народное предприятие «К. Цейсс, Иена» выпускало электронный тахеометр ЕОТ 2000 (рис. 30). В городской полигонометрии он используется для измерения линий и углов. Блок-схема прибора приведена на рис. 31. Тахеометр ЕОТ 2000 является комбинацией фазового электронно-оптического светодальномера и точного теодолита Theo 010А. Углы отсчитываются визуально обычным образом. Вертикальный круг снабжен автоматическим индексом.

Основу комплекта прибора составляют комбинированный блок, объединяющий приемопередатчик, угломерную часть и микропроцессор, автономный пульт управления (электронный микрокалькулятор) с 20 клавишами, три трипельпризменных отражателя и штатива, источник питания и т. п. Светодальномерной частью можно в любое время суток измерять расстояния до 2000 м со средней квадратической ошибкой около 10 мм. Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла одним приемом равна 0,3 мгон. Источником питания служат никель-кадмиевые аккумуляторы напряжением 12 В.

Как и ЕОК 2000, тахеометр ЕОТ 2000 снабжен источником видимого света (прожектором) для быстрого отыскания цели в темноте.

В качестве излучателя в ЕОТ 2000 используется люминесцентный светодиод. Длина эффективной волны излучения 0,86 мкм. На расстоянии 1 км площадь сечения светового пучка составляет 0,5 м². Модулирующее излучение происходит по току накачки. Отраженный световой сигнал с дистанции принимается фотодиодом Аваланжа.

Прибор работает без термостата на трех масштабных частотах — $f_1 = 15$ МГц, $f_2 = 16,5$ МГц, $f_3 = 15,075$ МГц. Частоты f_2 и f_3 используют для исключения неоднозначности по методу близ частот (как для ЕОК 2000), которое производится автоматически. Точная частота модуляции f_1 соответствует средним атмосферным условиям: $v = 299\,711,41$ км/с, $t = 15^\circ\text{C}$, $P = 987$ гПа, $e = 13$ гПа и равна $f_1 = 14\,985\,570$ Гц. Ее стабильность $2 \cdot 10^{-6}$. Длина волны модуляции основной частоты составляет 20 м.

Электронный тахеометр ЕОТ 2000 однозначно измеряет расстояния до 2 км. Продолжительность одного измерения составляет 10 с, а его результат выдается на цифровое табло. По желанию оператора через автономный пульт управления в микропроцессор может быть введена дополнительная информация и получены горизонтальное проложение линии, превышение приемопередатчика и отражателя и т. п.

Электронный тахеометр сконструирован таким образом, что расчетная величина постоянной поправки практически равна нулю. Поправки за влияние атмосферы вводятся через пульт управления. Их величины могут быть выбраны из таблицы (см. прил. 3). Временные препятствия, появляющиеся между приемопередатчиком и отражателем, лишь увеличивают время измерения и практически не влияют на результат измерения. Отражатели снабжены оптическим центриром, круглым уровнем и визиром. Одной трипельпризмы достаточно для измерения отрезка до 400 м, трех — до 700 м, семи — до 1000 м и блока 3×7 — до 2000—3000 м.

Светодальномер СТ5

Новый серийно выпускаемый с 1984 г. отечественный светодальномер СТ5 (рис. 32) является электронно-оптической системой, в которой используется фазовый метод измерения расстояний.

В комплект прибора входят приемопередатчик, два трипельпризменных отражателя и источника питания, блок контрольного отсчета,

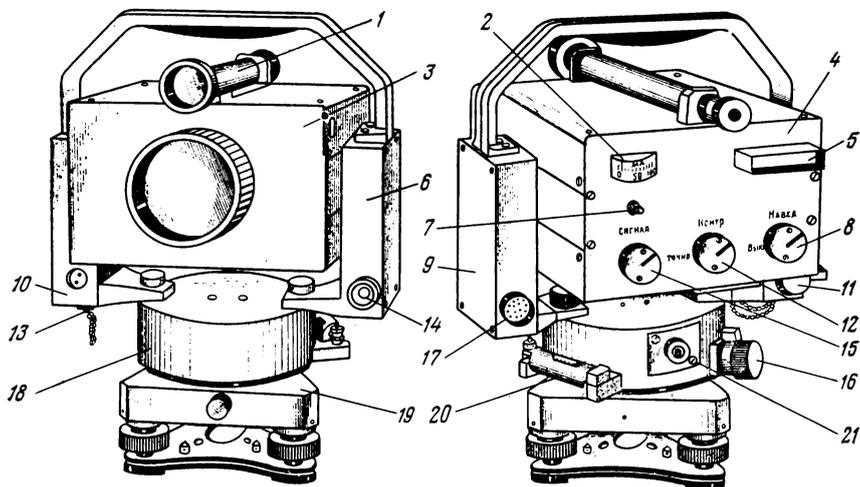


Рис. 32. Светодальномер СТ5:

1 — зрительная труба, 2 — стрелочный прибор, 3 — головка, 4 — лицевая панель, 5 — цифровое табло, 6, 10 — стойки колонки, 7 — ручка установки контрольного отсчета, 8, 12 — переключатели режима работ, 9 — крышка, 11, 16 — наводящие винты, 13 — разъем для подключения накопителя информации, 14 — разъем для кабеля, 15 — регулировка уровня сигнала, 17 — микрофон, 18 — основание, 19 — подставка, 20 — цилиндрический уровень, 21 — оптический центрир

два оптических центрира, три штатива, метеоприбор, зарядное устройство, разрядное устройство и др.

Светодальномер рассчитан на измерение линий полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов при работе по трехштативной системе. В отличие от 2СМ-2 новая модель СТ5 имеет ряд преимуществ. Возросла дальность действия до 3 км при использовании шести призм отражателя и метеорологической видимости не менее 20 км и до 5 км при отражателе из 18 призм, метеорологической видимости не менее 40 км, слабой солнечной засветке и слабой турбулентности атмосферы.

Точность измерений СТ5 более высокая и характеризуется средней квадратической ошибкой (в мм) $m_D = 10 + 5 \cdot 10^{-6}D$.

Приемопередатчик можно устанавливать как на подставке (автономный прибор), так и на теодолит 2Т (электронный тахеометр). Светодальномер СТ5 компактен и легче 2СМ-2. У него значительно выше уровень автоматизации измерений. Снижена трудоемкость операционного цикла. Измерение эталонного отрезка в режиме ОКЗ происходит автоматически в общем цикле измерения. Время одного измерения

составляет 10 с. Моменты приема отраженного сигнала демодулятором (ФЭУ) и окончания счета сопровождаются звуковыми сигналами. При работе светодальномера постоянная поправка сводится к нулю при помощи контрольного отсчета (значение контрольного отсчета дано в паспорте). Приемопередатчик снабжен выходом для подключения накопителя информации. Прибор работает без термостата.

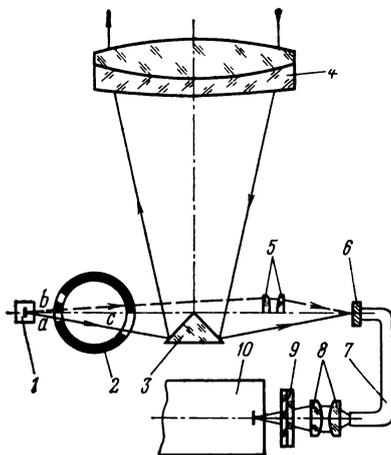


Рис. 33. Оптическая схема светодальномера СТ5:

1 — лазерный диод, 2 — диафрагма переключателя, 3 — разделительная призма, 4 — объектив, 5 — блок ОКЗ, 6 — полевая диафрагма, 7 — световод, 8 — объектив, 9 — интерференционный фильтр, 10 — ФЭУ

Светодальномер СТ5 экономичен. Потребление энергии составляет 4,5 Вт. При работе в режиме «Наведение» часть электронных схем временно отключается, уменьшая потребляемую мощность до 2,5 Вт. Счетный блок и цифровое табло включаются только на период счета и индикации. Принцип действия светодальномера поясняют его оптическая схема (рис. 33) и блок-схема (рис. 34).

Передающая и приемная оптические системы СТ5 совмещены. В качестве источника излучения применен лазерный диод 1. Прибор работает на двух фиксированных частотах. В режиме «Точно» на частоте $f_1 = 14\,985,5$ кГц ($\lambda_1 = 20$ м) и в режиме «Грубо» на частоте 149,855 кГц.

Модулированное излучение, направляемое на дистанцию импульсами длительностью 10 нс, проходит отверстия *a* и *c* диафрагмы 2, переключается призмой 3 и превращается в параллельный пучок объективом 4. Отраженный световой поток вновь проходит через объектив 4 и призму 3, фокусируется в плоскости полевой диафрагмы 6 и через световод 7, объектив 8 и интерференционный фильтр 9 (применяется для ослабления фоновой засветки ФЭУ) попадает в ФЭУ 10. Здесь принятый сигнал детектируется и превращается в низкочастотный, а далее через фильтр низких частот ФНЧ, усилитель 3, усилитель-ограничитель, схему совпадения, схему коррекции постоянной и коммутатор 4 попадает в счетный узел светодальномера (сигнальные импульсы). Одновременно в счетный узел направляются через коммутатор 2 опорные импульсы.

Измерение фазовых сдвигов, несущих информацию об измеряемом расстоянии, производится путем преобразования их во временной интервал. Этот интервал между каждым опорным и следующим за ним сигнальным импульсом пропорционален измеряемому расстоянию и измеряется методом подсчета уложившихся в нем заполняющих импульсов, следующих с частотой 1498,55 кГц. Для ослабления ошибки, вызванной флуктуацией фазы принятого колебания, импульсный счетчик дискретно-числовой фазометра автоматически накапливает и осредняет 1600 результатов измерения фазового домера.

Частота следования излучаемых импульсов f_1 вырабатывается задающим кварцевым генератором. Остальные частоты (их значения выписаны на блок-схеме светодальномера) получаются делением f_1 . Частоты f_3 и f_4 следования импульсов вспомогательного генератора стабилизированы фазовой подстройкой частоты.

Подстройка частот вспомогательным генератором под частоту опорного генератора осуществляется с расчетом, чтобы однозначное измерение расстояния осуществлялось на отрезке до 1000 м.

По командам программного устройства счетного блока результат измерения на каждой из частот f_1 и f_2 индуцируется на цифровом табло с учетом ОКЗ до миллиметра за 4 с и автоматически повторяется.

Светодальномер СТ5 состоит из головки 3 (см. рис. 32), колонки 6, 10 и основания 18. В головке находятся передающая и приемная оптические системы, излучатель ФЭУ, элементы электронной схемы.

Под крышкой 9 находятся гнезда для подключения частотомера. Для установки на теодолит 2Т основание светодальномера отделяется, а приемопередатчик устанавливается на место ручки-переноски.

Источником питания светодальномера служат никель-кадмиевые аккумуляторы общим напряжением 6 В.

Для получения наклонного расстояния D применяется формула

$$D = D'_{\text{изм}} + n \cdot 1000 + \Delta D_{t,p} + \Delta D_f + \Delta D_g \quad (44)$$

или

$$D = D_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-5} D_{\text{изм}} (K_A + K_f) + \Delta D_g \quad (45)$$

где $D'_{\text{изм}}$ — среднее из отсчетов в режиме «Точно» по нескольким приемам, n — число уложений по 1000 м в измеряемом расстоянии, $\Delta D_{t,p}$, ΔD_f , ΔD_g — поправки за влияние атмосферы, за температурный уход частоты и за циклическую ошибку. Величины $\Delta D_{t,p}$ и K_A определяют с помощью номограммы или таблицы (см. прил. 2). Величины ΔD_f и K_f получают, используя график, приведенный в паспорте прибора.

В светодальномере происходит блокировка счета при возникновении временного препятствия на пути светового сигнала. Кроме того, приемопередатчик отключается автоматически при сверхнормативном напряжении источника питания.

В режиме «Контроль» по показателям стрелочного прибора можно оценить напряжение, выделяемое источником питания, а с цифрового табло снимают информацию для определения поправки за температурный уход частоты кварцевого генератора.

Установка приемопередатчика и отражателей в рабочее положение осуществляется обычным образом при помощи уровней, оптических центриров и визиров, а также наводящими винтами приемопередатчика. При работе на коротких отрезках на объектив необходимо одевать аттенюатор ($D \leq 500$ м).

По своим техническим данным, экономичности и оперативности измерений светодальномер СТ5 является высокопроизводительным

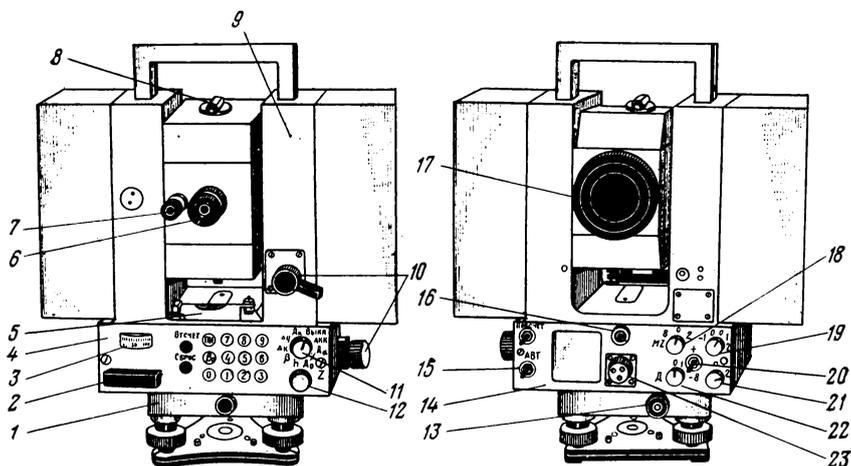


Рис. 35. Электронный тахеометр Та 5:

1 — подставка, 2 — цифровое табло, 3 — стрелочный прибор, 4 — панель управления, 5 — цилиндрический уровень, 6 — окуляр зрительной трубы, 7 — отсчетный микроскоп, 8 — коллиматорный визир, 9 — колонка, 10 — наводящие винты, 11 — переключатель режима работ, 12 — ручка регулировки уровня сигнала, 13 — разъем для подключения источника питания, 14 — панель коммутации, 15 — переключатель автоматического выключения микрокалькулятора, 16 — оптический центрир, 17 — объектив зрительной трубы, 18, 20 — переключатели ввода места зенита, 19, 21 — переключатели ввода поправки за метеосостояния, 22 — переключатель ввода 1 км, 23 — ручка перестановки горизонтального круга

прибором, соответствующим диапазону и точности линейных измерений в городской полигонометрии.

Другие светодальномеры и электронные тахеометры.

Кроме описанных приборов для линейных измерений в разрядной полигонометрии применяют светодальномеры МСД-1М и СМ-5. Устройство светодальномера МСД-1М и работа с ним освещены в ряде публикаций. Светодальномер СМ-5 имеет много общего с СТ5.

Первый советский электронный тахеометр Та 5 (рис. 35) также предназначен для разрядной полигонометрии. Тахеометр представляет собой электронно-оптическую систему, которая объединяет светодальномерную часть, позволяющую измерять расстояния до 2 км со средней квадратической ошибкой менее 2 см, и угломерную часть — теодолит 2Т5К с визуальным съемом показаний отсчетного микроскопа.

Принцип действия светодальномерной части тахеометра аналогичен принципу работы светодальномеров СТ5 и СМ-5. Прибор работает на

двух фиксированных частотах. В режиме «Точно» световое излучение инжекционного гетеродина на основе арсенида галлия модулируется последовательностью коротких импульсов с частотой 14 985 кГц, а в режиме «Грубо» — короткими импульсами с частотой 149,85 кГц. Однозначное измерение расстояния — менее 1000 м. Результат измерения с учетом ОКЗ высвечивается на цифровом табло.

Для обработки измерительной информации электронный тахеометр Та 5 снабжен микроЭВМ, позволяющей вычислять наклонные расстояния с учетом поправок за уход частоты и влияние атмосферы, горизонтальные проложения расстояний, приращения прямоугольных координат, зенитные расстояния с учетом места зенита, среднее значение горизонтального угла из двух полуприемов, превышения.

Электронный тахеометр Та 5 состоит из колонки и корпуса зрительной трубы. Труба прямого изображения с увеличением $25\times$. В корпусе трубы расположены передающая и приемная оптические системы и отсчетный микроскоп. Вертикальный круг размещен в левой стойке колонки, а горизонтальный — в ее нижней части. На панели прибора расположены детали управления, стрелочный прибор, цифровое табло, клавиатура. Подача электропитания осуществляется через подставку прибора.

На смену электронному тахеометру ЕОТ 2000 народное предприятие «К. Цейсс, Йена» выпускает тахеометры Recota и Reta, отличающиеся большим уровнем автоматизации измерений (см. табл. 11).

§ 12. Метрологическая аттестация и исследование светодальномеров

Обеспечение единства линейных измерений достигается путем передачи размера единицы измерения длины — метра* от государственного первичного эталона к образцовым мерам, а от них — к рабочим средствам линейных измерений, в том числе и светодальномерам.

Согласно ГОСТ 8.020—75 первичным эталоном длины служит комплекс аппаратуры (источник излучения криптона-86 и эталонный интерферометр ЗИК-1), обеспечивающий воспроизведение единицы длины (метра) с относительной ошибкой $5 \cdot 10^{-9}$ и передачу размера единицы длины вторичным эталонам с ошибками $1 \cdot 10^{-8}$ — $7 \cdot 10^{-8}$. Вторичными эталонами являются платиново-иридиевые штриховые меры длины** — копии международного прототипа метра («архивного метра», хранящегося во Франции), а также интерференционные установки для абсолютных измерений длины в длинах волн вторичных эталонных излучений криптона-86, ртути-198, кадмия-144 и стабилизированных гелий-неоновых лазеров. Эталоны копии применяются для передачи

* Метр — сорок миллионная часть дуги Парижского меридиана, определенная по геодезическим измерениям в XVIII в. В 1960 г. Международная конференция по мерам и весам приняла размер метра — $1\,650\,763,73$ длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу атома криптона-86 между уровнями $2p^{10}$ и $5d^5$.

** Прототипы метра № 28 и № 11 получены нашей страной в Париже в 1889 г.

размера единицы длины образцовым мером, а те, в свою очередь, рабочим.

Аттестация инварных мерных проволок и рулеток выполняется на геодезических компараторах (например, в МИИГАиК и др.) образцовыми геодезическими жезлами I разряда длиной до 4 м с погрешностью $(0,1 + 0,2L)$ мкм, где L — длина мерного прибора в метрах.

В основу метрологической аттестации фазовых светодальномеров положена длина волны модуляции светового потока λ , которая $(N + \Delta N)/2$ раз укладывается в измеряемом расстоянии. Для передачи размера единицы длины рабочему средству измерений — топографическому фазовому светодальномеру в качестве образцового средства измерений применяют полевой базис, создаваемый пока при помощи аттестованных инварных проволок и рулеток.

Метрологической аттестации у топографических фазовых светодальномеров подлежат частоты модуляции, фазометрические устройства, постоянные приборные поправки. Кроме того, выполняется ряд операций поверки и исследования, число которых зависит от условий достижения требуемой точности светодальномерных измерений.

Следует помнить, что далеко не всегда простое увеличение числа приемов может привести к повышению реальной точности. Внутренняя сходимость результатов измерений может характеризовать их точность лишь в том случае, когда выполнены все предусмотренные операции поверки и исследования светодальномера, проведены соответствующие юстировки, определены и учтены необходимые поправки, строго соблюдаются методика измерений и допуски, установленные для данного прибора.

Порядок организации поверки определяет ГОСТ 8.002—71. Последовательность выполнения поверки и исследований должна исключать нарушение одного условия невыполнением другого. Периодичность проведения отдельных поверок, исследований и юстировок зависит от условий эксплуатации светодальномера и стабильности работы его узлов.

Поверка внешнего состояния светодальномера. До начала работ проводят тщательный осмотр светодальномерного комплекта. Устанавливается наличие всех устройств и принадлежностей, отсутствие поломок, деформаций, вмятин, трещин и т. п., влияющих на степень доверия к прибору. Доукомплектовка прибора, устранение повреждений, чистка и смазка производятся в приборной лаборатории.

Подъемные, зажимные и наводящие винты должны вращаться плавно. В случае существенных отклонений выполняют регулировку их хода. Проверяют также плавность вращения приемопередатчика и отражателя вокруг своей оси и проводят внимательный осмотр штативов. Контролируют устойчивость подставок и штативов. Для электронных тахеометров следует проверять качество изображений отсчетных устройств так же, как для теодолитов.

Поверка уровней, оптических центриров и визиров. Для установки в рабочее положение над конечными точками измеряемой линии приемопередатчика и отражатели снабже-

ны цилиндрическими или круглыми уровнями и оптическими центрирами и визирами. Их поверки и юстировки осуществляют обычным образом, практически ежедневно в процессе измерений.

Поверка работы источника питания. При работе светодальномером источник питания должен иметь напряжение, указанное в техническом описании. Зарядку аккумуляторных батарей проверяют при помощи контрольного или стрелочного прибора.

Для светодальномера 2СМ-2 надо установить основной переключатель режимов работы 10 (см. рис. 27) в положение «Дист», а переключатель 3 — в положение «АКК». При этом стрелка контрольного прибора 14 должна отклониться более чем на 44 деления (44 мкА). В случае меньшего отклонения стрелки источник питания необходимо заменить.

При контроле источника питания светодальномера ЕОК 2000 переключатель ФЭУ 25 (см. рис. 28) устанавливают в положение 1, переключатель 19 — в положение «Д», переключатель 20 — в положение В и переключатель 21 — в положение «Т». Если аккумулятор заряжен нормально, то стрелка контрольного прибора 2 на панели управления прибором должна находиться в черном диапазоне шкалы (40—90).

У электронного тахеометра ЕОТ 2000 поверка источника питания осуществляется с помощью кнопки 15 (см. рис. 30), после нажатия которой при достаточной зарядке аккумулятора стрелка индикатора будет находиться в зеленом диапазоне шкалы.

Контроль источника питания светодальномера СТ5 проводится в режиме «Счет» — «Контроль» (переключатели 8 и 12, см. рис. 32). Если стрелка 2 прибора отклонится более чем на 60 мкА, то зарядка аккумулятора считается нормальной. Разрядка аккумуляторов индицируется изменением тона звукового сигнала. Последний становится прерывистым.

Напряжение источника питания необходимо контролировать ежедневно.

Поверка правильности показаний стрелочного прибора. Стрелочный прибор должен давать правильные показания. Подключают источник питания к светодальномеру и устанавливают на его выходе напряжение, при котором показания стрелочного прибора будут соответствовать контрольным цифрам для поверки работы источника питания (например для СТ5 это 60 мкА и т. п.). Затем измеряют фактическое напряжение источника питания вольтметром. Если показания вольтметра будут соответствовать установленному значению напряжения источника питания с ошибкой $\pm 0,5$ В, то поверка считается выполненной. При необходимости подстройка показаний стрелочного прибора выполняется в лабораторных условиях специальным резистором светодальномера или электронного тахеометра.

Поверка работы термостата. Термостат должен работать в установленном режиме. Из рассматриваемых приборов термостатом снабжен светодальномер 2СМ-2.

После выполнения поверки работы источника питания надо переключатель 3 электронного блока 2СМ-2 (см. рис. 27) в положение «Терм» и включить тумблер 5. Стрелка контрольного прибора 14 должна отклониться на 30—40 делений. После завершения первоначального нагрева (через 1—3 мин) показание контрольного прибора уменьшится до нуля. При повторных автоматических включениях термостата стрелка контрольного прибора должна отклоняться примерно на 15 делений с периодичностью 1—3 мин. Если стрелка отклонилась дважды, можно приступать к измерениям.

Поверка нулевых отсчетов. Начальные отсчеты на соответствующих частотах модуляции должны быть близки к нулю и не выходить за границы установленного диапазона, приведенного в техническом описании прибора. Это необходимо при исключении неоднозначности.

В частности, для светодалномера 2СМ-2 отсчеты на цифровом табло, при установке переключателя режима работ 10 в положение f_1 и f_2 , не должны выходить за пределы 9500—0500 (0000 ± 500). При положении переключателя f_3 нулевой отсчет должен быть $0100 \pm \pm 50$. Контроль нулевых отсчетов проводится в режиме ОКЗ. Фактические нулевые отсчеты считываются с цифрового табло после нажатия кнопки «Пуск». Если отсчеты не соответствуют требуемой величине, то их корректируют при помощи подстроечных потенциометров 11, 12, 13.

Поверку нулевых отсчетов надо проводить не реже 1—2 раз в месяц.

Поверка работы счетного блока. Для нормальной работы счетного блока светодалномера должно быть обеспечено последовательное и синхронное высвечивание цифр на цифровом табло.

Поверка этого условия у светодалномера 2СМ-2 осуществляется установкой переключателя 10 в положение 3 (см. рис. 27). После нажатия кнопки «Пуск» должно произойти автоматическое, последовательное и синхронное высвечивание цифр от 0 до 9 во всех разрядах цифрового табло.

После установки переключателя 10 в положения 2 и 1 и нажатия кнопки «Пуск» на цифровом табло должны появиться цифры 091005, ..., 091080 и 045000 ± 30 или 055000 ± 30 . Подстройка этих отсчетов обеспечивается электронным блоком светодалномера автоматически.

Синхронность высвечивания цифр на табло у светодалномера СТ5 проверяется в режиме «Счет» — «Контроль».

Поверку работы счетного блока электронного тахеометра ЕОТ 2000 производят семиразовым нажатием клавиши 8.

Для тахеометра Та 5 контроль работы счетного блока проводят нажатием кнопки «Отсчет». На табло должны высвечиваться цифры 8 во всех разрядах.

При установлении периодичности поверки счетного блока целесообразно ограничиться проведением поверки 1—2 раза в месяц.

Эталонирование основной масштабной частоты светодалномера. Масштабные частоты светодалномеров должны отличаться высокой стабильностью. Однако вследствие

естественного с течением времени старения кварцевого резонатора основная частота модуляции может существенно отклоняться от своего номинального значения. Для определения величины ухода основной частоты прибегают к ее периодическому эталонированию. Периодичность эталонирования определяется стабилизирующими свойствами ГМЧ и зависит от качества пластин в кварцевых резонаторах.

У современных топографических светодальномеров стабильность модулирующих частот достаточно высока и достигает порядка $1 \div 3 \cdot 10^{-6}$ на период полевого сезона. Например, для ЕОК 2000 и ЕОТ 2000 она составляет $2 \cdot 10^{-6}$, а по многолетним исследованиям светодальномера СМ-3 стабильность характеризуется величиной $3 \cdot 10^{-6}$ и т. п.

Инструкция [15] допускает следующий уход частот у светодальномеров ЕОК 2000 и СМ-3 за полевой сезон: 200 Гц — при измерении сторон полигонометрии 4 класса, 300 Гц — при измерении сторон полигонометрии 1 разряда, 400 Гц — при измерении сторон полигонометрии 2 разряда.

Надо полагать, что для новых современных приборов 2СМ-2, СТ5, ЕОТ 2000, СМ-5, Та 5, у которых частота модуляции основной масштабной частоты в два раза меньше (см. табл. 11), приведенные допуски соответственно примут значения 100, 150, 200 Гц.

Рекомендуется проводить контроль масштабных частот в начале и в конце полевого сезона, но не реже чем один раз в 6 мес. К началу полевого сезона частоты светодальномера должны быть установлены в номинал с точностью 10 Гц.

Такая точность эталонирования масштабных частот достигается при использовании электронных частотомеров ЧЗ-4А, ЧЗ-24, ЧЗ-34, обеспечивающих точность измерений $1 \cdot 10^{-7}$. Место подключения частотомера указано при описании приборов. При подключении к светодальномеру 2СМ-2 отсчеты по частотомеру берут после прогрева электронного блока термостатом. Для других, нетермостатированных современных приборов отсчеты берут практически сразу (через 1 мин) после подключения частотомера. Рекомендуется снимать не менее 10 отсчетов и вычислять среднее значение.

Отклонение (уход) масштабных частот может происходить как из-за старения кварцевых резонаторов (временной уход), так и вследствие колебаний температуры окружающей среды (температурный уход) в процессе измерений.

Последний аспект заслуживает внимания, так как современные топографические светодальномеры ЕОК 2000, СМ-5, СТ5 и электронные тахеометры ЕОТ 2000, Та 5 не термостатированы. Для перечисленных приборов в паспорте или техническом описании приведены графики поправок в измеряемое расстояние за температурный уход основной частоты модуляции.

Пример зависимости частоты от температуры приведен в табл. 12.

Как видим из табл. 12, температурный уход основной частоты модуляции f_1 при положительных температурах малозначительный. Температурный уход частоты учитывается в процессе светодальномерных измерений и при эталонировании частот.

Если временной уход Δf основной масштабной частоты f между двумя эталонированиями превысил установленный допуск, то в результате измерения расстояния D вводится поправка $\Delta D'_f$ по формуле

$$\Delta D'_f = \Delta f D / f.$$

Регулировка частот проводится при каждом их эталонировании.

ТАБЛИЦА 12

Результаты исследования ЕОК 2000 в термокамере

Время	Температура, °С	Частоты, Гц		
		f_1	f_2	f_3
9 ч 45 мин	0	29 971 112	32 968 258	30 270 867
10 30	+5	111	260	879
11 15	+10	109	290	890
12 00	+15	111	289	880
12 45	+20	109	250	861
13 30	+25	108	223	830
14 15	+30	099	177	795
15 00	+35	098	142	763
15 45	+40	092	108	742
16 30	+45	29 971 091	32 968 072	30 270 711

Исследование циклической ошибки фазометра. Аналоговым и дискретным фазометрическим устройствам фазовых светодалномеров свойственны так называемые циклические ошибки, действующие по периодическому закону. Источников появления циклической ошибки существует несколько, в основном они могут быть исключены или ослаблены. Однако надобность в эталонировании фазометров все же остается.

Определение циклической ошибки можно выполнять в лабораторных и полевых условиях. При эталонировании фазовращателя в полевых условиях эту работу целесообразно совмещать с определением постоянной поправки светодалномера.

Процесс исследования циклической ошибки сводится к частому и равномерному по всей шкале фазовращателя измерению разности фаз. Для этого необходимо иметь эталонный отрезок, равный половине длины волны (фазовый цикл) основной модулирующей частоты, разделенный на n равных интервалов.

Светодалномер целесообразно устанавливать на расстоянии кратном $\lambda/2$ в створе, а отражатель — последовательно в n точках отрезка. Длины интервалов для исследования топографических светодалномеров надо знать с точностью 1—2 мм.

В качестве эталонной линии в лаборатории могут быть использованы компарированные нивелирные рейки.

Результаты измерений сравнивают с эталонными отрезками. По их разностям строят график циклической ошибки. Обычно для аналоговых фазометров форма графика приближается к синусоиде. Число интервалов эталонного отрезка зависит от требуемой точности опре-

деления циклической ошибки. Для топографических светодальномеров его достаточно разделить на 10 или 20 частей, что соответствует 36 и 18° фазового цикла.

Исследование циклической ошибки у светодальномеров, снабженных блоком контрольного отсчета, должно сопровождаться установкой значения контрольного отсчета при измерении каждого эталонного отрезка. Важно определять циклическую ошибку при уровне сигнала, принятом для выполнения линейных измерений.

Исследование циклической ошибки фазометра целесообразно повторять при контрольных определениях постоянной приборной поправки светодальномера.

Определение постоянной приборной поправки светодальномера.

В силу своих конструктивных особенностей светодальномеры имеют некоторую постоянную приборную поправку. Обычно ее значение определяет и вносит в паспорт прибора предприятие-изготовитель.

Новые модели светодальномеров СТ5, СМ-5 и электронных тахеометров ЕОТ 2000, Recota, Та 5 сконструированы таким образом, что величина постоянной поправки близка к нулю.

С течением времени вследствие своей нестабильности величина постоянной поправки меняется. Поэтому при светодальномерных измерениях в полигонометрии необходимо периодически контролировать и уточнять значение постоянной поправки.

Инструкция [15] рекомендует определять постоянную приборную поправку не менее трех раз в год (до начала сезона работ, в его середине и после завершения) на полевом базисе длиной 400—600 м, измеренном инварными проволоками с ошибкой менее 2 мм.

Вопросы, связанные с созданием базиса и методикой эталонирования на нем светодальномеров, заслуживают особого внимания и будут детально рассмотрены в следующем параграфе.

Проверка контрольного отсчета. Контрольный отсчет должен быть стабильным и соответствовать паспортному значению. В комплект приборов СТ5, СМ-5 и Та 5 входит блок контрольного отсчета, представляющий собой трипельпризменный элемент, надеваемый на объектив приборов. После включения прибора с блоком контрольного отсчета и установки уровня сигнала, принятого при линейных измерениях, следует взять несколько отсчетов. Если они будут отличаться от паспортного значения больше, чем указано в техническом описании (например, 5 мм у Та 5), то необходимо произвести регулировку контрольного отсчета вращением соответствующего резистора. Паспортное значение контрольного отсчета соответствует нулевой величине постоянной приборной поправки светодальномера при использовании отражателя, входящего в комплект прибора.

Значение контрольного отсчета рекомендуется контролировать ежедневно в начале и конце измерений.

Следует проверять нестабильность контрольного отсчета при изменении напряжения питания (целесообразно исследовать нестабильность контрольного отсчета и при изменении температуры). Для этого, например, у светодальномера СТ5 надо довести напря-

жение источника питания до $(8,5 \pm 0,2)\text{В}$, включить прибор в режиме «Счет» — «Точно» и установить паспортное значение контрольного отсчета. Затем напряжение питания уменьшить до уровня, при котором срабатывает схема звуковой индикации разрядки аккумуляторов (5,6—6,0 В). При этом отклонение значения контрольного отсчета не должно превышать 3 мм.

Поверка метеорологических приборов в комплект светодальномера метеорологические приборы (барометр, психрометр или термометр-пращ) до начала полевого сезона должны быть поверены в специализированной метеорологической лаборатории Гидрометеослужбы.

§ 13. Эталонирование светодальномеров на полевом базисе

Одним из основных условий обеспечения точности линейных измерений в полигонометрии является своевременное эталонирование светодальномеров. Применяя оптимальную методику эталонирования, можно получать реальные значения постоянной приборной поправки с учетом ухода основной масштабной частоты, нестабильности постоянной поправки во времени и изменения длины интервалов базиса вследствие фазовости излучателя, нестабильности циклической ошибки фазометра, влияния тепловых воздействий на прибор, уровня сигнала и т. п. Совокупность действия большей части ошибок, возникающих при светодальномерных измерениях, будет учтена полученной в результате эталонирования уточненной величиной постоянной приборной поправки.

Как известно, постоянная поправка складывается из неизменной «оптико-механической» (см. рис. 24) и «электронной» частей. Последняя зависит от ряда приборных ошибок, вызванных физическими процессами, и способствует нестабильности постоянной поправки. Источники этих ошибок следующие: несимметричность цепей фазового детектора; фазовость в поперечном сечении пучка модулированного светового потока; инерционность модулятора и ее непостоянство; задержки сигналов в цепях; нестабильность работы основных узлов и контрольных приборов, вызванная непостоянством питающего напряжения; колебание температуры в термостате в пределах одного цикла работы термореле; естественное старение кварцевых резонаторов; смещение отдельных деталей дальномера при транспортировке; изменение уровня принимаемого приемником сигнала; термическая деформация отдельных узлов прибора под влиянием температуры окружающей среды и т. п.

Часть источников приборных ошибок искажают измеренные разности фаз, некоторые из них вызывают нестабильность масштабных частот и все они влияют на постоянную поправку светодальномера.

Отклонения значений постоянной приборной поправки от паспортного или от полученного из очередного эталонирования светодальномера на базисе могут оказаться весьма существенными и достигать

десятков миллиметров и более. Очевидно, что такими ошибками пренебрегать нельзя.

Для обеспечения единства линейных измерений необходим периодический и качественный метрологический контроль постоянной поправки светодалномера.

Принимая во внимание опыт эталонирования топографических светодалномеров, величину постоянной поправки можно определить как в полевых, так и в лабораторных условиях. Полевое эталонирование более надежно, так как позволяет определять «внешнюю» точность светодалномера и, как отмечалось выше, учитывать многие ошибки измерений. Оно легко выполняется при наличии высокоточного базиса следующим образом:

а) на одном или нескольких интервалах полевого базиса без определения циклической ошибки фазовращателя (в этом случае исследование фазовращателя выполняют в лаборатории);

б) на многоцентренном полевом базисе с автоматическим исключением циклической ошибки фазовращателя путем использования эталонных интервалов, кратных полуволне ($\lambda/2$) основной модулирующей частоты (исследование фазовращателя также ведут в лаборатории);

в) на нескольких интервалах полевого базиса кратных $\lambda/2$ с одновременным определением циклической ошибки.

При отсутствии эталонного базиса постоянную приборную поправку можно определять и контролировать по результатам светодалномерных измерений расстояний в комбинациях [4]. Можно также установить до некоторой степени приближенное значение постоянной поправки на объекте работ по результатам угловых и линейных измерений в полигонометрической сети (по продольным невязкам ходов) [38]. Последней рекомендацией полезно воспользоваться при неожиданном существенном изменении постоянной поправки, произошедшем между двумя эталонированиями светодалномера.

Как уже отмечалось выше (см. § 12), согласно инструкции [15] определение постоянной поправки светодалномера при построении полигонометрии надо проводить на полевом базисе с одним эталонным интервалом длиной 400—600 м.

Для ослабления влияния ошибки самого базиса на определяемую постоянную поправку следует стремиться к уменьшению его длины. Однако при светодалномерных измерениях коротких расстояний заметно проявляется явление фазовости в поперечном сечении пучка модулированного светового потока. Вследствие этого результаты определения постоянной приборной поправки могут заметно различаться. Например, на рис. 36 приведены полученные нами графики такой нестабильности. Заметное влияние фазовости светового пучка на результаты светодалномерных измерений отмечено в работе [3] и др.

Величина неравномерности фазы по сечению светового пучка зависит от фазовости излучателя и может заметно различаться у приборов одной модели. Ослабление влияния фазовости возможно прежде

всего при однозначных наведениях приемопередатчика на отражатель при работе на базисе и в полигонометрической сети и введением постоянной поправки в результаты линейных измерений с учетом графика, подобного приведенному на рис. 36.

Однозначность наведения заключается в достижении максимального уровня отраженного сигнала наводящими винтами светодально-

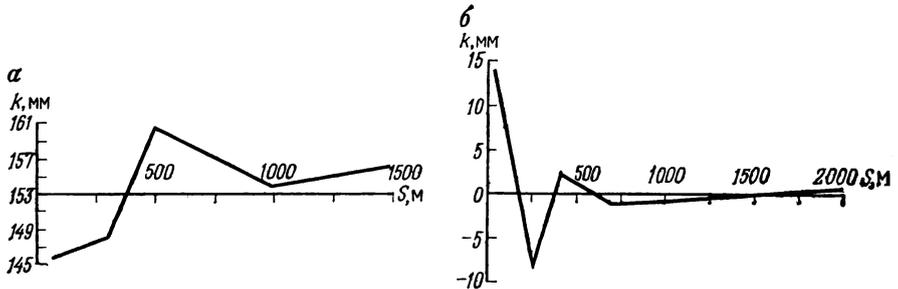


Рис. 36. Графики изменения постоянной поправки с расстоянием из-за влияния фазовости:

а — светодальномера ЕОК 2000 № 405 102, б — электронного тахеометра ЕОТ 2000 № 200 351

мера, а затем регулировки (до установленной величины) уровня сигнала соответствующей ручкой (серого клина, апертурной диафрагмы).

Из сказанного следует, что определение постоянной приборной поправки на одном интервале эталонного базиса является недостаточным. Ее целесообразно находить для нескольких (2—5) интервалов, охватывающих диапазон измеряемых сторон городской полигонометрии, одновременно с определением циклической ошибки фазометра на одном интервале.

Учитывая, что ошибка за явление фазовости значительна в основном при измерении коротких расстояний (см. рис. 36), максимальная длина базиса не должна превышать 1 км.

Эталонирование топографических светодальномеров и электронных тахеометров можно быстро и качественно проводить на многоцентренном полевым эталонном базисе, рекомендованном в [35] (рис. 37). Для закладки базиса выбирается ровный участок местности с расчетом на его длительную сохранность. Таким местом могут быть полосы отчуждения вдоль автомобильных дорог и других линейных сооружений, просеки в лесопарках, границы промплощадок и т. п.

Основные центры базиса (см. рис. 37) закреплены массивными железобетонными монолитами диаметром 0,4 м, заложенными на глубину ниже уровня промерзания грунта и выступающими над поверхностью земли на 1,3 м. Расстояние между монолитами кратны 24 м для исключения домеров при измерении интервалов базиса инварными проволоками, кроме того, интервалы базиса 120—960 м кратны полуволне дальномеров группы «СТ», а 24—480 м — группы «СП» для эталонирования на одном фазовом угле. Верхняя часть монолитов представляет собой площадку для установки светодальномеров, элек-

тронных тахеометров, отражателей и других приборов, в которую зацементированы винты, выполняющие функции станových винтов и це-ликв.

Первый интервал базиса лучше делать длиной 24 м и располо-жить на нем точки фазового цикла («фазовый участок») для совмест-ного определения в полевых условиях постоянной приборной поправ-а

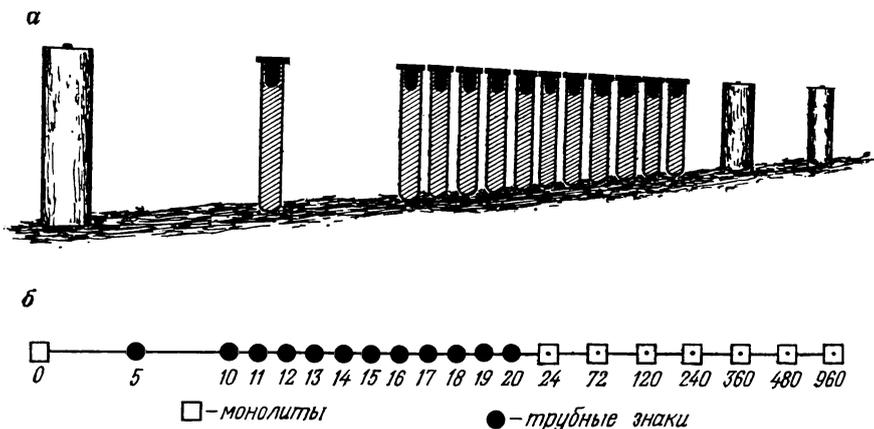


Рис. 37. Базис для эталонирования топографических светодальномеров: а — «фазовый участок» базиса; б — интервал базиса (в метрах)

ки и циклической ошибки фазовращателя. Учитывая, что основные масштабные частоты светодальномеров и электронных тахеометров, применяемых в настоящее время для измерения сторон городской полигонометрии, равны 15 или 30 МГц и, соответственно, эквивалентны фазовым циклам 10 и 5 м, целесообразно установить длину «фазового участка» 10 м.

Точки «фазового участка» через 1 м закреплены металлическими трубчатыми знаками. Диаметр труб не должен превышать 20 см, глубина заложения — не менее 2 м, высота над поверхностью земли — 1,3 м. Углубления для установки трубчатых знаков лучше делать ямобуром. Нижняя часть трубы, содержащая прорези, бетонируется до уровня промерзания грунта. Остальное пространство вокруг трубы до поверхности земли заполняется смесью песка и мелкого щебня, которая тщательно уплотняется. Внутреннее пространство трубного знака заполняется песком. Выступающая над землей наружная поверхность трубы покрывается только светлой (лучше белой) краской.

Такие трубчатые знаки целесообразно применять и для закрепления основных точек базиса, но при использовании дополнительной обсадной трубы большего диаметра. Последняя должна выступать над поверхностью земли на высоту основной трубы и погружаться в грунт на глубину 1 м. Пространство между трубами надо заполнить теплоизоляционным материалом, а сверху сделать крышку.

Разумеется, площадка для установки приборов должна находиться на внутренней трубе. Нами установлено, что центры знаков такой конструкции практически не смещаются под влиянием прямой, рассеянной или суммарной солнечной радиации.

Верхняя часть трубчатого знака снабжена круглой горизонтальной площадкой с отверстием, строго соответствующим диаметру станového винта, и боковым овальным вырезом для доступа к станovому винту. Верхние площадки двух первых железобетонных и установленных между ними трубчатых знаков должны находиться на одной, желательно, горизонтальной линии. Это упрощает измерение интервалов между ними.

При эталонировании светодальномеров на таком базисе нет необходимости в центрировании приемопередатчика и отражателя, чем значительно сокращается время на их установку и обеспечивается хорошая устойчивость приборов. Исследование современных подставок геодезических приборов показало, что однозначную установку светодальномера и отражателя над центрами базиса без применения оптического центрира можно обеспечить с точностью 0,3 км. При этом зажимные винты подставок следует располагать перпендикулярно к створу базиса.

Измерение основных интервалов базиса осуществляется четырьмя компарированными инварными проволоками дважды в прямом и обратном направлениях с абсолютной ошибкой 2 мм на всю длину базиса.

Интервалы «фазового участка» измеряют инварными рулетками и контрольным метром, прошедшими аттестацию в метрологической лаборатории. Двумя инварными рулетками надо измерить в прямом и обратном направлениях интервалы в 4 м и 5 м между нулевой и первой основными точками базиса (см. рис. 37), вычислить средние значения интервалов и произвести их уравнивание, принимая за истинную величину значение интервала в 24 м измеренного инварными проволоками.

Метровые интервалы «фазового участка» надо измерить в прямом и обратном направлениях контрольным метром, трижды сдвигая его на каждом интервале, вычислить их средние значения и произвести уравнивание относительно пятиметровых интервалов, определенных инварными рулетками.

При выполнении измерений в отверстия трубных знаков вставляются целики. Измерение интервала 0-1 в 24 м проволоками можно выполнить двумя способами. Первым предусмотрено измерение по целикам, имеющимся на монолитах 0 и 1. В этом случае будет отсутствовать стрела прогиба, так как проволока ляжет на трубчатые знаки «фазового участка», поэтому результат измерения следует увеличить на 1,5 мм. Вторым способом предусмотрено измерение интервала 0-1 между целиками визирных марок, установленных в подставках на монолитах 0 и 1, что обеспечивает провисание проволоки.

При эталонировании светодальномер или электронный тахеометр устанавливается на одной из основных точек базиса, а отражатель — последовательно на всех точках «фазового участка». Для приборов

с длиной волны модуляции основной частоты 20 м отражатель следует перемещать по «фазовому участку» в прямом и обратном направлениях, выполняя не менее 10 приемов измерений одного интервала (5 — прямо и 5 — обратно).

Если $\lambda = 10$ м, то отражатель достаточно перемещать в одном направлении, производя не менее чем по 5 приемов измерений каждого интервала. В «фазовом участке» в данном случае уместится 2 фазовых цикла, поэтому на одних и тех же фазовых углах будет выполнено по 10 приемов измерений.

Исследование циклической ошибки при $\lambda = 20$ м происходит на фазовых углах, кратных 36° , а при $\lambda = 10$ м — кратных только 72° , поэтому нужны дополнительные интервалы. Их разбивают с помощью специальной металлической базисной линейки (рис. 38) снабженной отверстиями для установки отражателя, которая крепится на трубчатых знаках в створе базиса, толщина ее 8—10 мм. Интервалы линейки измеряют контрольным метром.

По осредненным и приведенным к горизонту результатам измерений каждого интервала S_{cp_i} вычисляют значения k_i постоянной поправки по формуле

$$k_i = S_{\partial_i} - S_{cp_i},$$

где S_{∂_i} — эталонные интервалы. По величинам k_i , характеризующим зависимость постоянной поправки от фазового угла, строят график (рис. 39), который используется при обработке светодальномерных измерений в полигонометрической сети.

Среднее значение постоянной приборной поправки получим из всех приемов измерений по формуле

$$k_{cp} = \frac{\sum_1^n (S_{\partial_i} - S_{cp_i})}{n},$$

где n — число измеренных интервалов. Уклонения от k_{cp} характеризуют циклическую ошибку фазометра (см. рис. 39).

Замена графика на рис. 39 аппроксимирующей кривой способствует в конечном итоге повышению точности светодальномерных измерений. Ее построение можно осуществлять с использованием полиномов П. Л. Чебышева* Нами составлены программы для аппроксимации кривой на микрокалькуляторах БЗ-21 и БЗ-34.

Приведем пример учета постоянной приборной поправки и циклической ошибки по результатам их совместного определения.

Светодальномером ЕОК 2000 № 405 125 измерена сторона полигонометрического хода длиной $D_{изм} = 916,763$ м (см. табл. 14). Согласно рис. 39 значение постоянной, полученной для этого прибора по результатам эталонирования, $k_{cp} = 151,6$ мм. Циклические ошибки

* Тревого И. С., Саломатин В. В. О зависимости постоянной поправки светодальномера от фазового угла. — Геодезия и картография, 1983, № 8, с. 22—23.

характеризуются аппроксимирующей синусоидой и определяются как отклонение от $k_{ср}$.

Для получения значения постоянной приборной поправки, скорректированной циклической ошибкой, необходимо знать число единиц отсчета ЕО на точной частоте, равное R_1 , или значение фазового

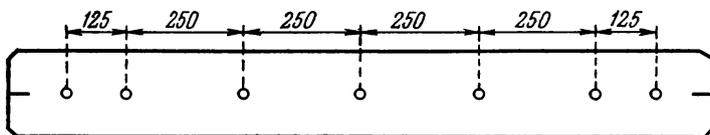


Рис. 38. Базисная линейка

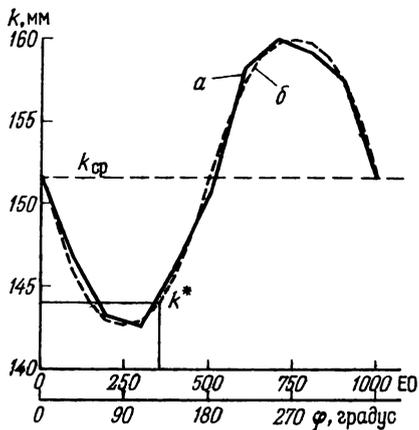


Рис. 39. График изменения постоянной приборной поправки светодальномера ЕОК 2000 № 405125 с фазовым углом:

a — по результатам эталонирования; *b* — по данным аппроксимации

угла φ . Из журнала измерений $ЕО = 352$ — этому значению соответствует скорректированное значение постоянной поправки $k^* = 144$ мм (см. рис. 39), которое используется в полевом журнале для дальнейшей обработки измеренного расстояния.

Фазовый угол можно рассчитывать по формуле

$$\varphi = 360^\circ (D_{изм} - D_\lambda) / 0,5 \lambda,$$

где D_λ — измеренное расстояние, округленное до $0,5 \lambda$, при условии, что $D_\lambda < D_{изм}$ (с точностью до градуса). В рассматриваемом примере

$$\varphi = 360^\circ (916,763 - 915,000) / 0,5 \cdot 10 = 127^\circ$$

и соответствует значению $ЕО = 352$.

Для выявления нестабильности постоянной поправки с увеличением расстояния определяют значения $k_{ср_i}$ на других интервалах базиса (120—960 м), кратных длине полуволны топографических дальномеров, не менее чем из 10 приемов, но уже без использования «фазового участка», и строят график для учета изменения постоянной поправки в результатах измерений, подобный приведенному на рис. 36. Установлено, что форма циклической кривой не зависит от расстояния до отражателя. В результаты измерений на этих интерва-

лах базиса вводят поправки ΔD_{g1} за циклическую ошибку, выбираемые с графика по фазовому углу.

Величина коррекции постоянной приборной поправки определяется как уклонение от значения $k_{ср}$, полученного при совместном определении постоянной поправки и циклической ошибки.

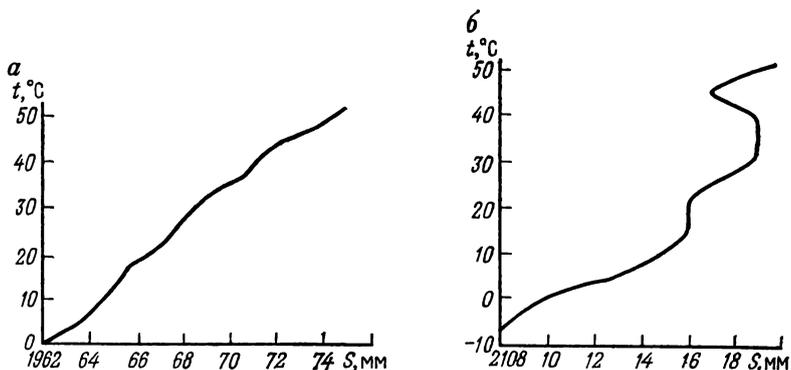


Рис. 40. График зависимости результата измерения расстояния от влияния температуры на светодальномеры:

а — ЕОК 2000 № 455685, б — 2СМ-2 № 79132

При работе на базисе необходимо тщательно следить за устойчивостью приемопередатчика, строго соблюдать однозначность его наведения на отражатель и установленный для измерений в сети уровень сигнала. Метеоэлементы достаточно измерять у приемопередатчика. В ясную погоду при измерении интервалов базиса более 500 м их надо измерять и у отражателя.

Для приборов, снабженных блоком контрольного отсчета, необходимо соблюдать паспортное значение контрольного отсчета.

Исследованиями, выполненными нами в естественных условиях и в климатической камере фитотрона, обнаружена приборная температурная ошибка (рис. 40). Для ее ослабления эталонирование светодальномеров необходимо проводить при температурах, близких к температурам при линейных измерениях в сети полигонометрии. В солнечную погоду приемопередатчик следует защищать зонтом.

Обобщая изложенное, можно утверждать о существенной зависимости точности светодальномерных измерений сторон городской полигонометрии от результатов эталонирования.

Итак, для оптимального определения и учета постоянной поправки топографических светодальномеров целесообразно:

а) эталонирование светодальномеров и электронных тахеометров на полевом базисе проводить на 2—5-ти интервалах базиса, охватывающих диапазон измеряемых линий в сети полигонометрии, с совместным определением постоянной приборной поправки и циклической ошибки фазовращателя на одном интервале. При этом следует обращать особое внимание на однозначность и точность наведения приемопередатчика на отражатель. При линейных измерениях на

базисе и в сети необходимо использовать один отражатель и соблюдать одинаковый уровень сигнала;

б) по результатам эталонирования построить графики изменения постоянной приборной поправки в зависимости от фазового угла и расстояния и использовать их для обработки светодальномерных измерений в сети;

в) эталонирование приборов на базисе проводить при погодных условиях и температурах, близких к рабочим, избегая резких колебаний погоды при измерениях на базисе;

г) выполнять эталонирование не менее трех раз за полевую сезон, максимально приближая их к срокам измерений в полигонометрической сети. В этом случае постоянной поправкой на момент измерений могут быть учтены другие источники ошибок, например уход основной модулирующей частоты;

д) закрепление точек полевого эталонного базиса желательно осуществлять устойчивыми знаками, рассчитанными на быстрое и точное центрирование приборов.

§ 14. Приведение к горизонту сторон полигонометрии, измеренных светодальномерами

При определении высот точек полигонометрического хода из геометрического нивелирования горизонтальные проложения S сторон хода определяют по известным формулам

$$S = D - \Delta D, = D - h^2/2D - h^4/8D^3 \quad (46)$$

или

$$S = \sqrt{D^2 - h^2},$$

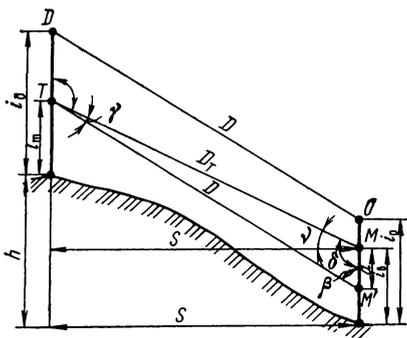


Рис. 41. Схема приведения светодальномерных расстояний к горизонту

где h — превышение между конечными точками измеряемой линии.

Если же измерены углы наклона ν или зенитные расстояния Z , то $S = D \cos \nu$ или $S = D \sin Z$. (47)

Однако при выполнении полевых работ в полигонометрии линии визирирования светодальномера и теодолита обычно не совмещены (рис. 41), формулы (47) становятся весьма приближенными и практически непригодными для обработки точных измерений*. Строгую формулу для определения горизонтальных проложений S линий полигонометрии можно получить по наклонным

дальностям D и зенитным расстояниям Z .

* Тревого И. С., Тлустяк Б. Т., Литинский В. О. Светодальномерный метод наблюдений за деформациями бортов и отвалов карьера. — Геодезия и картография, 1978, № 2, с. 15—20.

Из треугольника TMM'

$$\begin{aligned} \sin \gamma &= a \sin \delta / D; \quad \beta = 180^\circ - (\delta + \gamma); \\ D_T &= D \sin \beta / \sin \delta \quad \text{или} \quad D_T = D \sin (\delta + \gamma) / \sin \delta. \end{aligned} \quad (48)$$

После некоторых преобразований получим

$$D_T = D \cos \gamma + D \operatorname{ctg} \delta \sin \gamma.$$

Принимая $\cos \gamma = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma}$, учитывая (48) и применяя бином Ньютона, будем иметь

$$D_T = D - a(0,5 D^{-1} a \sin^2 \delta - \cos \delta),$$

где $a = (i_T - i_B) + (i_0 - i_D)$.

При $a < 0$ угол $\delta = Z$, при $a > 0$ угол $\delta = 180^\circ - Z$, поэтому в общем виде для наклонного расстояния D_T , приведенного к виртуальному лучу теодолита,

$$D_T = D - a(0,5 D^{-1} a \sin^2 Z + \cos Z).$$

Горизонтальное проложение S получим по формуле

$$S = D - \Delta D_v = D - \Delta D_{v_1} - \Delta D_{v_2}, \quad (49)$$

где ΔD_{v_1} и ΔD_{v_2} — соответственно поправки за переход от наклонного расстояния D к наклонному расстоянию D_T и от D_T к горизонтальному проложению S , равные

$$\Delta D_{v_1} = a(0,5 D^{-1} a \sin^2 Z + \cos Z);$$

$$\Delta D_{v_2} = D_T - D_T \sin Z = 2 D_T \sin^2 [(90^\circ - Z)/2].$$

Горизонтальное проложение S можно получить также по формуле

$$S = D_T \sin Z = [D - a(0,5 D^{-1} a \sin^2 Z + \cos Z)] \sin Z. \quad (50)$$

Среднюю квадратическую ошибку m_S , соответствующую формуле (43), можно вычислить по формуле

$$m_S^2 = m_D^2 + m_v^2, \quad (51)$$

где m_v — ошибка за наклон измеряемой линии, равная

$$m_v = \frac{h}{D} m_h. \quad (52)$$

Для оценки точности формул (49) и (50) сделаем допущение, что $\Delta D_{v_1} \approx a \cos Z$. Продифференцируем выражение (49), опустим пренебрегаемо малые члены и, переходя к средним квадратическим ошибкам, получим формулу (51), но

$$m_v^2 = m_{v_1}^2 + m_{v_2}^2.$$

Величины ошибок m_{v_1} и m_{v_2} можно с достаточной точностью вычислить по формулам

$$m_{v_1} = \cos Z \cdot m_a; \quad m_{v_2} = D \cos Z \cdot (m_Z / \rho).$$

Среднюю квадратическую ошибку m_s определения горизонтального проложения S по формуле (48) можно получить из выражения

$$m_s^2 = \sin^2 Z \cdot m_D^2 + 0,25 \sin^2 2Z \cdot m_a^2 + D^2 \cos^2 Z \cdot (m_z^2 / \rho^2).$$

Если $a = 0$, что бывает, когда линии визирования светодальномера и теодолита совмещены или параллельны, то выражение (49) превращается в (46), а (50) — в (47).

§ 15. Источники ошибок и точность светодальномерных измерений

Светодальномерные измерения сторон городской полигонометрии сопровождаются ошибками центрирования и редукиции, приборными, личными и влияния внешней среды. Совокупность из действия образует суммарную ошибку измерения расстояния топографическим светодальномером. Для достижения требуемой точности линейных измерений следует тщательно учитывать характер действия каждого источника ошибок и принимать рациональные меры к их ослаблению.

Ошибки центрирования и редукиции возникают при установке приемопередатчика и отражателей над вершинами полигонометрических ходов. Точную установку приборов надо осуществлять при помощи оптических центриров.

Приборные ошибки светодальномера включают временной уход основной масштабной частоты и нестабильность постоянной приборной поправки, неточность в определении циклической ошибки светодальномера, колебания постоянной поправки, вызванные явлением фазовости излучателя, задержки сигнала, происходящие в трактах светодальномера и оптических деталях, нестабильность работы отдельных узлов из-за колебания напряжения источника питания и т. п. В совокупности это приводит к ошибкам в определении фазы, частоты и постоянной приборной поправки светодальномера.

Ослабления этих ошибок можно добиться своевременным эталонированием и метрологической аттестацией светодальномера.

Личными ошибками являются неточность в наведении приемопередатчика на отражатель, что препятствует ослаблению влияния фазовости в поперечном сечении модулированного светового пучка, неточное ориентирование отражателя на приемопередатчик, а также ошибки в отсчитывании по прибору, несоблюдение установленного уровня сигнала, нарушение методики измерений и т. п.

Ошибки влияния внешней среды обусловлены действием атмосферных условий на интенсивность излучения и скорость распространения модулированного светового потока, в основном влияют на точность регистрации разности фаз и определение показателя преломления воздуха.

Наклонное расстояние D , измеренное светодальномером, можно определить по формуле

$$D = D' + k + \Delta D_g + \Delta D_{\text{ц}}, \quad (53)$$

где D' — результат измерения наклонного расстояния после ведения поправки $\Delta D_{t,p}$ за влияние атмосферы и ΔD_f за температурный уход основной масштабной частоты; k — постоянная приборная поправка, ΔD_g и $\Delta D_{\text{ц}}$ — соответственно поправки за циклическую ошибку фазометра и центрирование светодальномера, за редукцию отражателя.

Продифференцируем выражение (53) и, переходя к средним квадратическим ошибкам, получим

$$m_D^2 = m_{D'}^2 + m_k^2 + m_g^2 + m_{\text{ц}}^2. \quad (54)$$

Величину D' можно получить по формуле (24) или, с учетом зависимости $v = c/n$, по формуле

$$D' = v\varphi/4\pi f. \quad (55)$$

Проведя дифференцирование и некоторые преобразования выражения (55) и переходя к средним квадратическим ошибкам, получим

$$m_{D'}^2 = (v/4\pi f)^2 m_{\varphi}^2 + [(m_f/f)^2 + (m_v/v)^2] D'^2. \quad (56)$$

Подставим выражение (56) в формулу (54), допуская, что $D' \approx D$, тогда средняя квадратическая ошибка измерения наклонного расстояния топографическим светодальномером окончательно примет вид

$$m_D = \sqrt{(v/4\pi f)^2 m_{\varphi}^2 + m_k^2 + m_g^2 + m_{\text{ц}}^2 + [(m_f/f)^2 + (m_v/v)^2] D^2}. \quad (57)$$

Как видно из формулы (57), входящие в нее ошибки светодальномерных измерений можно разделить на зависящие и не зависящие от величины измеряемого расстояния группы, поэтому с достаточной степенью точности формула (56) может быть представлена в виде

$$m_D = a + bD.$$

Эта зависимость рекомендована ГОСТ 19223—82 в качестве основной метрологической характеристики фазовых светодальномеров.

Переход от наклонного расстояния D к горизонтальному S можно осуществить по формуле (46), а среднюю квадратическую ошибку m_S получить по формуле (51).

В Инструкции [15] приведены нормированные значения средней квадратической ошибки m_{β} измерения угла и предельной относительной невязки $1/T$ полигонометрического хода (см. табл. 1). Величина m_S не нормируется. Определим ее значение в расчете на неблагоприятный случай.

В светодальномерной полигонометрии прямолинейный ход уступает в точности эквивалентному изогнутому, так как у него больше ошибки, предвычисленные для наиболее слабого и конечного пунктов хода [34].

Исходя из этого и принимая во внимание, что точность светодальномерных измерений снижается с уменьшением длин сторон, рассчитаем необходимую точность линейных измерений в полигонометрической сети 4 класса на основе прямолинейного хода длиной $[S] = 7,5$ км,

с предельным числом сторон $n = 15$ и нормированных величин средней расчетной стороны $S = 500$ м, $m_3 = 3''$ и $1/T = 1/25000$.

Среднюю квадратическую ошибку конечной точки хода M найдем из равенства

$$M = [S]/2T = 7,5 \cdot 10^6 / 5 \cdot 10^4 = 150 \text{ мм},$$

а среднюю квадратическую ошибку m_u ее поперечного сдвига получим по формуле

$$m_u = \frac{m_3}{\rho} [S] \sqrt{\frac{n+3}{12}} = \frac{3 \cdot 7,5 \cdot 10^6}{206265} \sqrt{1,5} = 133,6 \text{ мм}.$$

Тогда средняя квадратическая ошибка m_t продольного сдвига конечной точки хода будет равна

$$m_t = \sqrt{M^2 - m_u^2} = \sqrt{150^2 - 133,6^2} = 68,2 \text{ мм}.$$

В вытянутом ходе для влияния ошибок угловых q_β и линейных q_S измерений на положение конечной точки хода справедливы равенства $q_\beta = m_u$ и $q_S = m_t$, поэтому средняя квадратическая ошибка m_S измерения стороны хода будет равна

$$m_S = m_t / \sqrt{n} = 68,2 / \sqrt{15} = 17,6 \text{ мм}.$$

Такую точность светодальномерных измерений обеспечивают современные приборы 2СМ-2, СТ5, ЕОТ 2000, ЕОК 2000 и др. (см. табл. 12).

Очевидно, что с увеличением S и уменьшением n предвычисленное значение ошибки m_S заметно возрастает. Например, при максимальной длине хода 4 класса $[S] = 15$ км, и предельном числе сторон $n = 15$ получим, что ошибка $m_S = 35$ мм, а при $[S] = 6$ км и $n = 12$ ошибка $m_S = 21$ мм.

Рассчитаем теперь допуски на отдельные источники ошибок для измерения сторон полигонометрии 4 класса, например светодальномером 2СМ-2. Определим сначала соотношение Q влияния ошибок угловых и линейных измерений на конечную точку хода, равное для вытянутых ходов.

$$Q = q_\beta / q_S = m_u / m_t.$$

Обычно предвычисление точности ведут на основе принципа равных влияний, принимая $m_u = m_t$, т. е. при $Q = 1$. Однако при измерении сторон городской полигонометрии современными светодальномерами соотношение Q значительно больше 1 и может достигать 5 и более. Использование фактических значений Q позволяет рассчитывать допуски, исходя из реальной точности каждого светодальномера. Соотношение Q для вытянутых ходов рекомендуется вычислять по формуле [34]

$$Q = m_3'' \cdot [S] / 0,64 \cdot m_S, \quad (58)$$

где $[S]$ — в км, m_s — в мм. Величины m_t, q_s определяют по формуле

$$m_t = q_s = [S]/2T \sqrt{1 + Q^2}. \quad (59)$$

Использование для расчетов значения реальной точности светодальномеров, если она меньше предвычисленной величины m_s , способствует созданию некоторого запаса точности для компенсации ошибок угловых измерений.

Светодальномер 2СМ-2 позволяет измерять расстояние с ошибкой менее 20 мм. Примем в данном случае $m_s = 17,6$ мм, тогда при $[S] = 7,5$ км, $n = 15$, $m_z = 3''$ и $T = 25\,000$ по формулам (58), (59) получим

$$Q = (3 \cdot 7,5)/(0,64 \cdot 17,6) = 2; \quad m_t = (7,5 \cdot 10^6)/(5 \cdot 10^4 \sqrt{1 + 2^2}) = 67 \text{ мм.}$$

Если предположить, что источники ошибок, входящие в формулу (56), примерно в равной степени влияют на величину $q_s = m_t$, то влияние отдельного источника на конечный результат будет выражаться величиной* $m'_t = m_t/\sqrt{6} = 67/2,45 = 27,4$ мм; на результат измерения стороны хода: $m = m'_t/\sqrt{n} = 27,4/\sqrt{15} = 7$ мм — для источника ошибок случайного характера и $m_c = m'_t/n = 27,4/15 = 1,8$ мм — для источника систематического характера.

Рассмотрим отдельно источники ошибок светодальномерных измерений.

О ш и б к а р а з н о с т и ф а з m_ϕ имеет случайный характер. Ее расчетная величина составляет 7 мм, что на основании формулы (24) соответствует $0,3^\circ$ фазового цикла. Она зависит от способа регистрации разности фаз между опорным и возвратившимся с дистанции сигналом и от разрешающей способности индикатора. Топографические светодальномеры с фотоэлектронной регистрацией светового потока обеспечивают измерение разности фаз одним приемом с ошибкой $1,0-0,5^\circ$ и менее. Для уменьшения фазовой ошибки в современных приборах случайные флуктуации интенсивности фазы учитываются путем автоматического осреднения множества отдельных измерений разности фаз. Например, в светодальномере 2СМ-2 на табло выдается результат осреднения 128 измерений, в СТ5 — 1600 измерений и т. п.

Ошибка разности фаз зависит от числа приемов, однако при такой особенности работы современных светодальномеров реализацию программы измерений следует осуществлять при минимальном числе приемов. Приемы измерений нужны для ослабления влияния личных ошибок. Существенное влияние на результаты измерений оказывает неточность наведения светодальномера на отражатель, изменяющая интенсивность и фазовую структуру модулированного светового потока. Для ослабления явления фазовости в поперечном сечении пучка,

* Как будет показано ниже, ошибка m_ϕ за наклон измеряемой линии пренебрегаемо мала, поэтому расчет ведется только на шесть источников ошибок.

как уже отмечалось выше, весьма важно однообразно и тщательно наводить приемопередатчик на отражатель, чтобы постоянно выполнять измерения центральной частью светового пучка. При большой фазовости излучателя и неточном наведении ошибка в измерении стороны хода может достигать 10—20 мм и более.

Необходимо также осуществлять точное ориентирование отражателя. Трипельпризменный отражатель следует наводить на приемопередатчик по коллиматорному визиру с точностью $0,3^\circ$.

Важно, чтобы взаимное наведение приборов не менялось в процессе измерений, поэтому должна быть обеспечена надежная работа зажимных и наводящих винтов и устойчивость штативов светодальномера. Измерение разности фаз существенно зависит от уровня полезного сигнала на входе фазового детектора. Для ослабления ошибки m_ϕ линейные измерения целесообразно проводить при одном уровне сигнала, установленном во время эталонирования прибора на базисе.

При измерении расстояний предельной длины и особенно при неблагоприятных атмосферных условиях модулированный световой поток подвергается «паразитной» модуляции, искажающей возвращаемый с дистанции световой сигнал. Это ведет к снижению точности регистрации разности фаз и к появлению ее зависимости от измеряемого расстояния. Такие расстояния следует измерять с особой тщательностью, используя отражатель с установленным числом трипельпризм и минимальное напряжение ФЭУ, обеспечивающее необходимый уровень сигнала.

Исследования показывают, что большое напряжение ФЭУ у 2СМ-2 может увеличить ошибку измерения линии на 10—20 мм и более.

Установим допустимый размах измерений R_n в приемах. От числа приемов зависят ошибка разности фаз m_ϕ и в значительной степени ошибка определения рабочей скорости света m_ν , поэтому расчетная величина средней квадратической ошибки m , получаемая по внутренней сходимости, будет равна

$$m = m_{\text{с.л}} \sqrt{2} = 7 \cdot 1,41 = 9,9 \text{ мм.}$$

Размах измерений определяем по известной формуле

$$R_n = m \cdot i_{P,n},$$

где $i_{P,n}$ — нормированный коэффициент, выбираемый из таблицы по вероятности P и числу приемов n .

Принимая $P = 0,95$ и $n = 2$, получим $R_n = 9,9 \cdot 2,77 = 27,4$ мм

Ошибка m_k определения постоянной приборной поправки имеет систематический характер и зависит от методики и точности определения постоянной поправки на базисе, стабильности работы узлов светодальномера и т. п.

К определению постоянной поправки на базисе предъявляются высокие требования. Расчеты показывают, что точность ее определения $m_k = 1,8$ мм соизмерима с точностью измерения самого базиса и добиться ее нелегко, так как эта работа сопровождается большинством

источников ошибок светодальномерных измерений. Нам представляется, что допустимое значение $m_k = 3-4$ мм.

Для ослабления данного источника ошибок эталонирование светодальномера на базе следует проводить при строгом соблюдении методики, описанной в § 13.

Одним из наиболее существенных препятствий, ограничивающих точность определения постоянной приборной поправки светодальномера, является фазовость излучателя, способствующая нестабильности постоянной поправки при определении ее на разных интервалах базы. Поэтому целесообразно предварительно определить величину фазовости излучателя путем многократного сканирования модулированного светового пучка по отражателю в горизонтальной и вертикальной плоскостях от центра отражателя к его периферийной зоне. Если влияние фазовости излучателя на измеряемое расстояние будет велико (10 мм и более), его нужно заменить.

Ошибка определения циклической ошибки фазометра m_g может быть случайной и систематической. Если по результатам эталонирования светодальномера циклическая ошибка оказалась значительной и вводится в результаты измерений по графику или аппроксимирующей кривой, то ошибка m_g носит случайный характер. В тех случаях, когда циклическая ошибка очень мала и не имеет смысла осуществлять ее графический учет, она будет входить в результаты измерений как систематическая ошибка m_g с переменным знаком.

Для минимизации величины m_g необходимо строго придерживаться методики определения циклической ошибки и рекомендаций по ослаблению влияния m_g .

Погрешность m_g не зависит от длины и числа приемов измерений сторон полигонометрии.

Ошибка $m_{ц}$ центрирования и редукции при проложении ходов городской полигонометрии носит случайный характер. Ее величина зависит от точности центрировочных устройств. Инструкция требует, чтобы приборы устанавливались над центрами полигонометрических пунктов с точностью 1 мм. Применяемые оптические центриры обеспечивают точность центрирования 0,5—0,1 мм, что значительно меньше расчетной величины $m_{сл} = 7$ мм. Образовавшийся запас точности можно использовать для компенсации действия других ошибок, например m_k .

Влияние ошибок центрирования и редукции может быть уменьшено, если линейные и угловые измерения проводить параллельно, используя одни штативы.

Ошибка m_f основной модулирующей частоты. Следует различать длиннопериодические и короткопериодические ошибки частоты. Первая, как уже отмечалось, вызвана временным уходом частоты из-за естественного старения кварцевого резонатора. Вторая обусловлена колебанием частоты в процессе измерения расстояния под влиянием температуры (для нетермостатированных светодальномеров), вследствие изменения питающего напряжения, нестабильности работы отдельных узлов и т. п. и названа

температурным уходом частоты. У нетермостатированных светодальнономеров в результате измерений вводятся соответствующие поправки за температурный уход частоты. Светодальнономер 2СМ-2 снабжен термостатом.

Ошибкой учета температурного ухода частоты для топографических светодальнономеров можно пренебречь и сосредоточить внимание на учете первого источника ошибок.

Ошибка m_f за временной уход частоты имеет систематический характер, зависит от длины измеряемого расстояния и не компенсируется увеличением числа приемов измерений.

Рассчитаем допустимую величину средней квадратической ошибки на основании соотношения $m_f/f = m_s/S$.

Принимая $m_s = m_c = 1,8$ мм, $S = 500$ м, $f = 15$ мГц, получим $m_f = 54$ Гц. Предельная величина $2m_f = 108$ Гц. При $f = 30$ мГц значение $m_f = 108$ Гц, а предельная величина $2m_f = 216$ мГц.

Для повышения точности светодальнономерных измерений в их результаты целесообразно вводить поправки и при величине ухода частоты ниже предельного уровня.

Своевременное эталонирование и приведение к номинальной частоте кварцевого генератора уменьшает величину ошибки m_f .

Ошибка m_v определения рабочей скорости света обусловлена влиянием атмосферных условий и может быть случайной и систематической. Если измерение сторон полигонометрии проведено в различных метеоусловиях, то ошибка m_v носит случайный характер. В случае выполнения измерений в однообразных метеорологических условиях ошибка m_v будет преимущественно систематической.

На основании зависимости $v = c/n$, где c — скорость распространения света в вакууме, известная с весьма высокой точностью, n — показатель преломления воздуха, будем иметь $m_v/v = m_n/n$.

В городских условиях на точность определения n , в основном, влияет неравномерность распределения температуры вдоль измеряемой линии. Учитывая малую длину сторон городской полигонометрии, для определения n достаточно знать температуру и давление воздуха. Инструкция допускает измерение этих метеоэлементов на одном конце линии с точностью 1°C и 5 мм рт. ст. ($666,610$ Па) для давления. Такая точность измерения метеоэлемента легко достигается термометром-пращом и барометром-анероидом, прошедшими метрологическую аттестацию.

Однако при неравномерном солнечном освещении улицы и высокой температуре воздуха (30°C и более) разность температур на концах сторон хода может достигать нескольких градусов. При экстремальном значении $m_t = 8,5^\circ$ [34] и $S = 500$ м ошибка в определении длины линии составит около $2,5$ мм.

Фиксируя метеоэлементы в одной точке, эту ошибку можно ослабить поочередным измерением температуры на солнечной и теневой сторонах улицы. При $S \geq 1000$ м метеоэлементы надо измерять на обоих концах стороны хода.

Возможно снижение точности светодальномерных измерений из-за неучитываемых тепловых воздействий на прибор. Для ослабления влияния температуры прибор следует защищать зонтом, а эталонирование светодальномера проводить при температурах, близких к рабочим.

Для уменьшения ошибки m_p предпочтительнее проводить светодальномерные измерения при благоприятных атмосферных условиях в пасмурную погоду, в облачную и ветреную погоду, ночью и т. п.

Ошибка m_s за наклон может быть рассчитана по формуле (48). Принимая $D = 250$ м (минимальная для полигонометрии 4 класса), $h = 20$ м и $m_h = 10$ мм, получим $m_s = (2 \cdot 10^4) / (25 \cdot 10^4) 10 = 0,8$ мм.

Средняя квадратическая ошибка m_h складывается из ошибок определения превышения и высот приемопередатчика и отражателя. Если принять, что предельные ошибки в определении высот приборов равны по 10 мм, а в определении превышения $-4\sqrt{n} = 4\sqrt{10} = 13$ мм (n — число станций), то $2m_h \approx 20$ мм и $m_h = 10$ мм.

Ошибка за наклон случайная, поэтому ее величиной $m_s = 0,8$ мм можно пренебречь и принять, что $m_s = m_D$.

Если измерены зенитные расстояния Z , то ошибку m_s можно рассчитать по формуле

$$m_s^2 = m_{s_1}^2 + m_{s_2}^2 = (m_a^2 + D^2 m_z^2 / \rho^2) \cos^2 Z.$$

При $D = 250$ м, $Z = 85^\circ$, $m_a = 10$ мм и $m_z = 5''$ ошибка $m_s = 1$ мм, т. е. также пренебрегаемо мала.

Аналогичным образом можно произвести расчеты влияния источников ошибок светодальномерных измерений сторон полигонометрии 1 и 2 разрядов.

§ 16. Измерение линий светодальномерами

Методика светодальномерных измерений в полигонометрии зависит от конструктивных особенностей применяемого светодальномера, его точности, уровня автоматизации и т. п.

Однако существует ряд методических операций и требований, общих для всех светодальномеров:

а) установка приемопередатчика и отражателя над центрами знаков при помощи оптических центриров и уровней, установка зонта;

б) измерение температуры и давления воздуха. Для измерения температуры термометр-пращ вращают на шнуре над головой с частотой 1—2 об/с. Отсчеты берут через 1 мин, затем с интервалом 20 с повторяют их до тех пор, пока отсчеты не перестанут изменяться. При отсчитывании термометр держат в тени;

в) включение и прогрев светодальномера, выполнение необходимых тестов, предусмотренных инструкцией по эксплуатации. Тщательное взаимное наведение приемопередатчика и отражателя при помощи коллиматорных визиров и наводящих винтов по максимуму сигнала.

Доведение сигнала до требуемого уровня с помощью ручки уровня сигнала и, если это необходимо, ручки ФЭУ;

г) измерение расстояния по индивидуальной методике установленным числом приемов. Новый прием должен начинаться с контроля установки приемопередатчика над центром знака и повторного наведения на отражатель. Результаты измерений вносят в полевой журнал установленной формы и вычисляют предварительное значение наклонного расстояния. Контролируют допустимый размах измерений в приемах. При необходимости выполняют дополнительные светодальномерные измерения;

д) измерение рулеткой с точностью до миллиметра высоты приемопередатчика и отражателя над центром знака (с учетом превышения вычисляют горизонтальное проложение линии). Электронным тахеометром измеряют угол наклона и определяют горизонтальное проложение измеренного расстояния. Все результаты записывают в полевой журнал и выполняют оценку точности по внутренней сходимости;

е) определение элементов приведений в случае внецентренного измерения расстояния.

Рассмотрим измерения, предусмотренные пунктами «г» и «д».

Измерение линий светодальномера 2СМ-2

В ходе предварительной подготовки светодальномера к работе необходимо выполнить текущие поверки работы его узлов, описанные в § 12, надеть на объектив приемопередатчика бленду при измерении коротких расстояний и произвести настройку фильтра сигнального канала. Последнее достигается нажатием кнопки «Пуск» электронного блока (см. рис. 27) сразу после включения тумблера «Питание». При этом настройка происходит автоматически.

Следует также помнить, что при уровне сигнала, выходящем за пределы рабочей зоны, произойдет блокировка счета и на цифровом табло будут высвечиваться нули на первых пяти индикаторах, а шестой погаснет. Оптимальный уровень сигнала — 30 делений.

При переходе к измерениям установим ручку «Дист — ОКЗ» в положение «Дист». Контролируем интенсивность излучения и доводим его до установленного при эталонировании светодальномера уровня, действуя наводящими винтами, ручкой уровня сигнала и при необходимости ручкой ФЭУ. При этом переключатель 10 (см. рис. 27) электронного блока должен находиться в положении «Дист».

Включаем счетный блок кнопкой «Пуск» и по окончании счета снимаем показания с электронного табло и записываем в журнал значение $D_{\text{дист}}$ (табл. 13). После повторения счета взять еще один отсчет. Переведем переключатель 10 в положение f_3 , снова трижды снимаем отсчеты и записываем в журнал D'_{f_3} , D''_{f_3} , D'''_{f_3} . Здесь следует помнить, что отсчет в положении «Дист» всегда меньше 1000 м, а в положении f_3 — меньше 10 м.

Установим переключатель 11 (см. рис. 25) в положение «ОКЗ». Ручкой уровня сигнала подстроим его до установленного (внешний и внутренний сигналы должны быть равны), снимем три отсчета и запишем в журнал значения $D'_{\text{ОКЗ}}$, $D''_{\text{ОКЗ}}$, $D'''_{\text{ОКЗ}}$. На этом прием

Образец журнала измерения сторон полигонометрии светодальномером 2СМ-2

Линия 21—22. Дата 21.11.83. Время 8 ч 25 мин — 8 ч 35 мин. $t^{\circ} = -10,3^{\circ} \text{С}$.
 Погода ясная. $D_{\text{П}} = 1,5 \text{ км}$. $P = 757,9 \text{ мм рт. ст.} = 1010,3 \text{ гПа}$

Приемы	I	II
$D'_{\text{дист}}, \text{ м}$	425,084	425,082
$D''_{\text{дист}}$	425,084	425,082
D'_{f_s}	5,083	5,082
D''_{f_s}	5,085	5,082
D'''_{f_s}	5,084	5,082
$D_{f_s} \text{ ср}$	425,084	425,082
$D'_{\text{ОКЗ}}$	99	99
$D''_{\text{ОКЗ}}$	99	98
$D'''_{\text{ОКЗ}}$	99	98
$D_{\text{ОКЗ}} \text{ ср}$	99	98
$D_{f_s} \text{ ср} - D_{\text{ОКЗ}} \text{ ср}$	424,985	424,984
$D'_{\text{изм}}$		424,984
$D_{\text{изм}} = D'_{\text{изм}} + n \cdot 1000$		1424,984

Вычисление расстояния

$i_0, \text{ м}$	1,450	$D_{\text{изм}}$	1424,984
H_0	250,520	k	-0,077
$i_0 + H_0$	251,970	$\Delta D_{t, P}$	+0,007
$i_{\text{пп}}$	1,510	ΔD_q	—
$H_{\text{пп}}$	248,121	D	1424,914
$i_{\text{пп}} + H_{\text{пп}}$	249,631	$\Delta D_v = -h^2/2D - h^4/8D^3$	-0,002
$h = (i_0 + H_0) - (i_{\text{пп}} + H_{\text{пп}})$	2,339	S	1424,912

Принятые сокращения: о — отражатель, пп — приемопередатчик.

измерений завершается. Новый прием начинается с визирования на отражатель.

Далее в журнал вписывают постоянную приборную поправку k светодальномера, поправку $\Delta D_{t, P}$ за влияние атмосферы, определен-

ную с помощью прил. 1, поправку ΔD_g за циклическую ошибку, если ее определяли отдельно от постоянной поправки, поправку ΔD , за наклон линии к горизонту и по формулам (36) и (46) вычисляем длину стороны полигонометрии S .

Инструкция [15] предусматривает для светодальномера 2СМ-2 выполнение двух приемов измерения стороны полигонометрического хода.

В техническом описании светодальномера рекомендуется производить по 6 отсчетов D_{f_3} и $D_{\text{ОКЗ}}$. Средние квадратические ошибки, вычисленные нами по трем и шести отсчетам 156 линий, измеренных 2СМ-2, оказались практически равными, поэтому целесообразно ограничиться тремя отсчетами. К тому же напомним, что каждый отсчет является осредненным результатом 128 измерений.

При измерении коротких расстояний приемопередатчик следует наводить на центральную призму отражателя. Для экономии энергии рекомендуется счетный блок включать только на период счета в приеме измерений.

Снятие отсчетов можно осуществлять при двух положениях переключателя 8 (см. рис. 27). В режиме I счетный блок включается после индикации каждого отсчета, а в режиме II счет бесконечно повторяется. Режим I и II выбирается оператором.

Кратковременное уменьшение уровня сигнала в начале и конце счета в режиме «Дист» на частоте f_3 определяется особенностью электрической схемы прибора и не является его дефектом.

По окончании измерений тумблеры электронного блока надо выключить, переключатель 10 установить в нейтральное положение, а ручки уровня сигнала и ФЭУ повернуть против хода часовой стрелки.

Светодальнономер ЕОК 2000

Выполнив обычные операции по установке приемопередатчика и отражателя, надо зафиксировать переключатель частот 8 (см. рис. 28) в положение f_1 , закрыть серый клин и включить прибор путем перевода переключателя ФЭУ в положение 1.

Следует выполнить проверки режимов работы, фиксируя отсчеты по контрольному прибору 2 при положениях переключателя 20:

V (напряжение питания) — допуск 40—90 делений,

P (напряжение ФЭУ) — допуск 40—80 делений.

R (сигнал сравнения) — допуск 30—100 делений.

Далее приоткрыть серый клин, установить переключатель 26 в положение D_1 , переключатель 19 в положение D и переключатель 21 в положение D и после этого навести приемопередатчик на отражатель по максимуму сигнала, используя, как обычно, наводящие винты, серый клин (уровень сигнала) при минимальном напряжении ФЭУ.

Переводя переключатель 21 в положение T , выполнить измерения на ОКЗ. Для этого установить принятый уровень сигнала (оптимальный — до 70 делений) и, вращая ручку фазовращателя, добиться нулевого положения стрелки нуль-индикатора. При этом возможны три случая:

стрелка расположена справа от нуля — тогда следует вращать ручку фазовращателя по ходу часовой стрелки, пока она не переместится в крайнее левое положение, а затем вернется к нулю;

если стрелка слева от нуля и при вращении ручки фазовращателя по ходу часовой стрелки она уходит влево, то надо продолжать вращение, пока стрелка прибора не начнет двигаться вправо и достигнет нуля;

если стрелка нуль-индикатора слева от нуля и при вращении ручки фазовращателя уходит вправо, то необходимо продолжить вращение, пока стрелка не займет крайнее правое положение на шкале прибора, затем переместится в крайнее левое от нуля положение и вернется в нуль-пункт.

После выведения стрелки в нуль-пункт нажатием кнопки *О* показания счетчика *17* стираются и нажимается кнопка «*П*». Если при этом стрелка нуль-индикатора отклонится не более чем на 1,5 своей толщины, можно приступить к измерению.

Установим переключатель *21* в положение *Д* и доведем уровень сигнала до требуемого обычным образом. Выведем стрелку нуль-индикатора в нуль-пункт, возьмем отсчет R_1 по счетчику и нажатием кнопки «*О*» приведем показание счетчика к нулю.

Переходим на частоту f_2 и повторяем предыдущую операцию. В итоге получим отсчет R_2 . Переходим на третью частоту, и, не нажимая на кнопочный выключатель, повторяем предыдущие действия — получаем отсчет R_3 .

Отсчеты R_1 , R_2 , R_3 , высоты приемопередатчика и отражателя, метеозаписи и поправки записывают в журнал (табл. 14). Эти действия составляют I прием. Обычно делают 2 приема измерений. Перед новым приемом контролируют установку светодальномера. Инструкция [15] допускает I прием измерений прибора ЕОК 2000.

Важно не допустить, чтобы в процессе измерений изменилось наведение приемопередатчика на отражатель.

Удвоенное расстояние в журнале получают объединением цифр в отсчетах. Вычисление расстояния ведется по формулам (43) и (46).

Измерение линий электронным тахеометром ЕОТ 2000

Центрирование приемопередатчика и отражателя и приведение их вертикальных осей вращения в отвесное положение производится обычным образом при помощи оптических центриров и уровней. Кабелем *1* (см. рис. 30) блок питания *3* соединяют с аккумулятором и главным выключателем *18* включают прибор. Действуя кнопкой *15*, поверяют напряжение питания. При достаточной зарядке аккумулятора стрелка индикатора *7* будет находиться на зеленом поле шкалы.

Измерение сторон полигонометрического хода надо производить при положении вертикального круга и положении I лампы осветительного устройства *5*. Установка оптимального уровня (7—8 делений шкалы) отраженного сигнала выполняется описанным выше

Образец журнала измерения сторон полигонометрии светодальномером ЕОТ 2000

Линия 480—154. Дата 6.10.79. Время 10 ч 20 мин — 10 ч 30 мин. $t^\circ = +5^\circ\text{C}$.
 Погода пасмурная. $D_{\text{п}} = 0,9$ км. $P = 739,3$ мм рт. ст. = 985,5 гПа

R_3	832	Вычисление поправок в мм	
R'_3	832		
R_2	335	K_A	-10
R'_2	337	K_f	+2
R_1	3528	$K_A + K_f$	-8
R'_1	3524	$(K_A + K_f) \cdot 1 \cdot 10^{-6} D_{\text{и}}$	-7
R''_1	3526	ΔD_g	-
R_1 ср	3526	k	+144
$2D'_{\text{изм}}$	833,526		
$D'_{\text{изм}}$	416,763	$\Sigma K = \Delta D$	+137
$n \cdot 500$	500,000		
$D_{\text{изм}}$	916,763		
ΔD	+137	ΔD_v	0
D	916,900	$S, \text{ м}$	916900
Вычисление поправки за наклон			
$H_{\text{пп}}, \text{ м}$	219,730	$H_o, \text{ м}$	220,380
$i_{\text{пп}}$	1,521	i_o	1,497
$H_{\text{пп}} + i_{\text{пп}}$	221,251	$H_o + i_o$	221,877
$h = (H_{\text{пп}} + i_{\text{пп}}) -$ $-(H_o + i_o)$	-0,626	$\Delta D_v = -h^2/2D -$ $-h^4/8D^3$	0,0002

способом. Производят измерение метеоэлементов и высот приемопередатчика и отражателя. По температуре и давлению с помощью номограммы, прилагаемой к паспорту прибора, определяют поправочный коэффициент и набирают его значение с учетом знака на пульте управления. После нажатия клавиши Atm поправочный коэффициент переходит из разрядов 2, 3 в разряды 7, 8 и направляется в накопитель.

Если поправка за влияние атмосферы определяется по таблице из прил. 3 и вводится в измеренное расстояние при обработке результатов, то миниЭВМ принимает значение поправочного коэффициента равным 1.

Измерение расстояния происходит автоматически на трех частотах с учетом ОКЗ после нажатия клавиши D_s . Через 10 с на табло

высвечивается наклонная дальность, умноженная на поправочный атмосферный коэффициент. При неблагоприятных атмосферных условиях можно вызвать дополнительную программу измерений с той же точностью, нажав на клавишу со звездочкой и D_S . Результат измерения записывают в журнал (см. табл. 15).

ТАБЛИЦА 15

Образец журнала измерения сторон полигонометрии электронным тахеометром ЕОТ 2000

Линия 117—118. Дата 15.08.83. Время 12 ч 37 мин — 12 ч 42 мин. Погода ясная. $D_{II} = 0,4$ км. $t^\circ = +24^\circ\text{C}$. $i_{III} = 1452$ мм. $i_o = 1528$ мм. $P = 1005,5$ гПа. $L = 88^\circ 50' 00''$. $\Pi = 271^\circ 10' 00''$; $MZ = 0^\circ 00' 00''$; $\nu = 1^\circ 10'$.

Номер приема	Наклонное расстояние, м	Горизонтальное проложение, м	Поправка за наклон, м
I	383,518 383,529 383,523	383,461	—0,061
$D_{\text{изм}} (D)$	383,523		
ΔD_ν	—0,061		
S	383,462		

При необходимости $D_{\text{изм}}$ дополнительно корректируется поправками k , ΔD_t , P , ΔD_f , ΔD_g , а поправка ΔD_ν вычисляется по скорректированному результату измерения D .

Далее при необходимости измеряют вертикальный угол при положениях Л и П. Отсчеты вводятся через пульт управления семизначным числом с добавлением нужного числа нулей слева, нажимаются клавиши V (контроль ввода) и D/C , и на табло высвечивается значение горизонтального проложения измеряемого расстояния.

Можно ограничиться вводом места зенита. По желанию оператора может быть получена и поправка за наклон ΔD_ν .

Если длина стороны полигонометрического хода превысит 2000 м, то дополнительно надо нажать клавиши 2 и D_S .

Искомое горизонтальное расстояние получено при условии, что постоянная приборная поправка $k = 0$. Однако, как уже отмечалось, из-за наличия циклической ошибки, влияния фазовости излучателя и других факторов величина k , как правило, будет отличаться от нуля, поэтому поправку k целесообразно учитывать на основании материалов эталонирования ЕОТ 2000 на базисе.

Если в паспорте прибора нет графика для определения поправки за температурный уход основной масштабной частоты, желательно получить его экспериментально.

В один прием измерения линии рекомендуется включать три отсче-

та, полученные при трех независимых наведениях приемопередатчика на отражатель по максимуму отраженного сигнала. Желательно выполнять два приема измерений.

Измерение линий светодальномером СТ5

После центрирования и установки в отвесное положение вертикальных осей вращения приемопередатчика и отражателя переключателем 8 (см. рис. 32) включают прибор и проверяют работу источника питания и значение контрольного отсчета (см. § 12).

При измерении расстояний до 500 м надо надеть аттенюатор. При измерении предельных расстояний поиск отражателя осуществляют в режиме «Счет» — «Точно». В указанном режиме увеличивается потребляемая мощность и отключается звуковая сигнализация обнаружения отраженного сигнала, уменьшается начальное отклонение стрелки прибора, вызываемое фоновой засветкой.

Наведение приемопередатчика на отражатель осуществляется по максимуму отраженного сигнала с последующим доведением его до

ТАБЛИЦА 16

Образец журнала измерения сторон полигонометрии светодальномером СТ5

Линия 591—592. Дата 5.03.83. Время 8 ч 10 мин — 8 ч 15 мин. $t^{\circ} = 0^{\circ}\text{C}$.
Погода пасмурная. $D_{\text{п}} = 1,8$ км. $P = 1004$ гПа.

Номер приема	Режим «Точно»				
	I наведение	II наведение	III наведение	Вычисления поправок	
I	831,593	831,590	831,596	K_A	—0,3
	831,599	831,596	831,600	K_f	—0,3
	831,596	831,593	831,598	$K_A + K_f = K$	—0,6
	$D'_{\text{изм}}, \text{ м}$ $n \cdot 1000$	831,596 1000,000		$K \cdot 10^{-5} D_{\text{изм}}, \text{ м}$ ΔD_g	—0,011 —0,008
	$D_{\text{изм}}$	1831,596	k	0	
	ΔD	—0,019	ΔD	—0,019	
	D	1831,577	ΔD_v S	—0,062 1831,515	

Вычисление поправки за наклон

$H_{\text{пп}}, \text{ м}$	217,311	$H_0, \text{ м}$	232,245
$i_{\text{пп}}$	1,398	i_0	1,493
$H_{\text{пп}} + i_{\text{пп}}$	218,709	$H_0 + i_0$	233,738
$h = (H_{\text{пп}} + i_{\text{пп}}) - (H_0 + i_0)$	—15,029	$\Delta D_v = -h^2/2D - h^4/8D^3$	—0,062

установленного оптимального уровня при минимально возможном напряжении ФЭУ.

Измерение расстояния происходит автоматически в течение 10 с (в благоприятных условиях). Результат высвечивается на цифровом табло 5. В журнал (табл. 16) записывают два отсчета, произведенных после звукового сигнала, свидетельствующего об окончании счета.

Рекомендуется делать три автономных наведения на отражатель для одного приема измерений. Целесообразно выполнять два приема измерений.

При неблагоприятных атмосферных условиях и измерении сторон хода предельной длины возможно резкое увеличение продолжительности измерения с 10 с до нескольких минут. В подобной ситуации положено отсчеты в режиме «Контр» снимать до и после отсчетов в режиме «Точно».

В режиме «Контр» (переключатель 12) цифровое табло дает информацию для определения поправочного коэффициента K_f за температурный уход частоты. При этом уровень сигнала менять нельзя.

Измерения можно выполнять без подстройки паспортного значения контрольного отсчета и вводить поправки в журнале в измеренные дальности со знаком «+», если фактический отсчет меньше, и со знаком «-», если он больше.

В программу работ входят измерения метеозаэлементов и высот приемопередатчика и отражателя. О разрядке источника питания информирует прерывистый звуковой сигнал.

Поправочные коэффициенты K_A и K_f можно получить соответственно из прил. 2 и по графику, прилагаемому к паспорту прибора.

Если при эталонировании светодальномера на базисе обнаружилось изменение с расстоянием постоянной приборной поправки k (для СТ5 $k = 0$), то его также необходимо учитывать в измеренном расстоянии (в журнале есть графа « k »).

Если в процессе работ был обнаружен значительный временной уход основной модулирующей частоты светодальномера, то измеренные наклонные дальности D_i должны быть скорректированы поправками $\Delta D'_f$ (см. § 12) за временной уход частоты.

Вычисление горизонтального проложения S следует выполнять по формулам (44) или (45), (46).

Если для приведения к горизонту наклонных расстояний D используются зенитные расстояния Z , то вычисление величин S целесообразно вести по формулам (49) или (50), где $a = (i_T - i_B) + (i_0 - i_D)$.

При измерении углов наклона ν получим

$$S = [D - a(0,5 D^{-1} a \cos^2 \nu + \sin \nu)] \cos \nu.$$

При вычислении S в случае внецентренного положения приемопередатчика и отражателей, необходимо учитывать поправки за центрировку и редукцию.

Измерение сторон полигонометрии светодальномерами осуществляется по трехштативной системе. При этом приемопередатчик устанавливается через точку.

Журналы измерений являются документами полевых работ. Страницы журнала должны быть пронумерованы, а их число заверено ОТК. Записи в журналах надо вести аккуратно и выполнять до ухода с пункта.

В журналах помещают схемы ходов с номерами пунктов и делают записи о работе светодальномера. По окончании работ журналы оформляют соответствующим образом.

§ 17. Традиционные методы линейных измерений в городской полигонометрии

Построение сетей городской полигонометрии, в основном, осуществляют с применением современных светодальномеров и электронных тахеометров, однако при их отсутствии стороны полигонометрии можно измерять инварными проволоками, длиномерами, точными оптическими дальномерами, параллактическим и короткобазисным методами.

Традиционные в недалеком прошлом методы линейных измерений в полигонометрии теперь применяют редко. Они детально описаны в геодезической литературе, поэтому рассмотрим их кратко.

Л и н е й н ы е и з м е р е н и я п о д в е с н ы м и м е р н ы м и п р и б о р а м и

Стороны городской полигонометрии 4 класса измеряют базисным прибором БП-2, а разрядной полигонометрии — базисным прибором БП-3. Расстояние между нулями шкал проволоки составляет 24 м.

Отсчет по задней шкале обозначают «З», а по передней — «П». С учетом этого длину интервала l (в м), измеряемого проволокой, определяют по формуле $l = 24 + (П - З)$.

Инварная лента предназначена для измерения отрезков (остатков) меньше 24 м. Ее ширина 6 мм, а толщина 0,4 мм.

Блочный станок обеспечивает натяжение проволоки при измерении грузом 10 кг.

До начала измерений осуществляют осмотр базисного комплекта. Поверяют и юстируют теодолит, нивелир и оптические центриры. Инварные проволоки и рулетки, предназначенные для полигонометрии 4 класса, должны пройти метрологическую аттестацию на компараторе МИИГАиК или другой стационарной метрологической лаборатории не менее двух раз за полевой сезон. Проволоки, предназначенные для измерения сторон разрядной полигонометрии, эталонируют на полевом компараторе.

В процессе работы все инварные проволоки не менее одного раза в месяц контролируют на полевом компараторе, который должен иметь длину 120 или 240 м. Его закладывают на ровном и удобном для работы участке местности. Точки компаратора закрепляют грунтовыми знаками 6 гр. Длину компаратора определяют шестикратным измерением двумя аттестованными инварными проволоками. Эталонирование рабочих проволок осуществляют путем четырехкратного измерения ими длины компаратора. Колебание длины рабочей проволоки

при повторном компарировании не должно превышать 0,3 мм (при $l = 24$ м).

Измерение линий заключается в последовательном измерении расстояний между целиками соседних штативов проволоками и рулетками. Стороны полигонометрии 4 класса измеряют двумя инварными проволоками в одном направлении или одной в двух направлениях методом отсчетов при трех сдвигах проволоки. В полигонометрии 1 разряда измерения ведут одной инварной проволокой в одном направлении методом отсчетов при трех сдвигах. В полигонометрии 2 разряда работают одной инварной проволокой в одном направлении, применяя метод фиксации.

Нивелирование штативов выполняют один раз до или после измерений проволоками, используя полутораметровую двустороннюю рейку и точный нивелир.

При работе инварными проволоками температуру воздуха достаточно измерять с точностью 1°C на первом и последнем пролете линии.

Ниже приведены значения точности выполненных работ.

	4 класс	1 разряд	2 разряд
Натяжение проволок, кг	0,1	0,2	0,4
Вешение линий, см	4	5	5
Определение превышений концов пролета $l_0 = 24$ м, мм			
при $h \leq 1$ м	3	4	5
при $1 \text{ м} < h \leq 5$ м	2	3	4

Точность отсчитывания по шкалам проволок 0,1 мм. Колебание разностей ($\Pi - 3$) при методе отсчетов не должно превышать 1 мм. Величина разностей длин проволок при работе двумя проволоками не должна отличаться более чем на 0,3 мм от их разностей при компарировании.

Длины измеренных сторон полигонометрических ходов вычисляют по формуле

$$S = nl_0 + \sum_1^n (\Pi - 3)_{\text{ср}} + n\Delta l_K + \sum_1^n \Delta l_t + \sum_1^n \Delta l_v + r_* + \Delta r_K + \Delta r_t + \Delta r_v,$$

где n — число пролетов, $l_0 = 24$ м, Δl_K , Δl_t , Δl_v — поправки за компарирование проволоки, за изменение ее длины под влиянием температуры и за наклон, r — остаток Δr_K , Δr_t и Δr_v — поправки за компарирование инварной ленты, влияние температуры и наклон.

Основные ошибки линейных измерений в траверсной полигонометрии вызваны неточным компарированием, натяжением и определением температуры мерной проволоки, неточным отсчитыванием по шкалам и вешением линий, действием ветра и неустойчивостью штативов.

Стороны полигонометрии 1 и 2 разрядов могут быть измерены длиномером АД-1М, обеспечивающим точность 1 : 10 000 при натяжении проволоки грузом 10 кг или 1 : 5000 при натяжении проволоки динамометром.

Измерение сторон в полигонометрии 1 разряда надо вести двумя приемами и одним приемом в полигонометрии 2 разряда. Один прием измерений включает измерение линии в прямом и обратном направлениях путем прокатывания мерного диска по проволоке, натянутой в створе линии. Отсчеты по длиномеру и шкалам берут с точностью 1 мм. Одновременно измеряется температура с точностью 1°C.

Стороны полигонометрии длиной более 250 м измеряются по частям. При этом соблюдается створность с точностью 1 : 1000 длины секции.

Вычисление длин сторон полигонометрии осуществляют по формуле

$$S = \sum_1^n [(A_2 - A_1 + a_1 + a_2)_{\text{ср}} + c + \Delta S_K + \Delta S_t + \Delta S_f + \Delta S_{\text{л}}]_i,$$

где n — число пролетов, A_1 и A_2 — отсчеты по шкале мерного диска, a_1 и a_2 — отсчеты по шкале длиномера, c — постоянное слагаемое, ΔS_K , ΔS_t , ΔS_f и $\Delta S_{\text{л}}$ — соответственно поправки за компарирование, температуру, провис проволоки с учетом асимметрии цепной линии, за наклон мерного прибора.

Эталонирование длиномера надо проводить на полевом компараторе длиной до 150 м, точность которого должна быть не ниже 1 : 25 000.

Измерение линий точными оптическими дальномерами

Такие измерения допускаются в сетях полигонометрии 2 разряда. Для этой цели можно применять оптический топографический дальномер двойного изображения ОТД (по ГОСТ дальномер Д-2) с постоянным базисом и переменным параллактическим углом и редуцированный тахеометр Redta 002, сочетающий точный оптический теодолит с прецизионным оптическим дальномером двойного изображения с постоянным диастиметрическим углом и переменным базисом. Оба прибора позволяют измерять расстояния с точностью 1 : 5000 и более при работе с горизонтальной рейкой.

Дальномер ОТД предназначен для измерения расстояний 35—400 м (6—10 приемов). При большей дальности действия ОТД точность линейных измерений резко снижается. Дальномером Redta 002 можно измерить отрезки до 170 м (4 приема: 2 — прямо и 2 — обратно), поэтому стороны полигонометрии длиннее 170 м измеряют по частям. При этом отклонение промежуточных точек от створа не должно превышать 0,4 м.

Инструкция [15] допускает для Redta 002 расхождение результатов измерений между приемами 1 : 3000, а между прямыми и обратными измерениями — 1 : 5000.

Эталонирование оптических дальномеров осуществляют перед началом и по окончании работ на полевом базисе для определения коэффициента дальномера и постоянного слагаемого, а для дальноме-

ра ОТД, кроме этого, — для определения постоянной части параллактического угла.

Длины сторон полигонометрических ходов, измеренные дальномером ОТД, вычисляют по формуле

$$S = \sum_1^n \left(\frac{NK}{\beta_K + \beta_{И\text{ср}}} + c + \Delta S_t + \Delta S_v \right),$$

где n — количество приемов, N — число используемых базисов рейки, k — коэффициент дальномера, β_K и $\beta_{И}$ — переменная и постоянная части параллактического угла, c — постоянное слагаемое, ΔS_t и ΔS_v — поправки за изменение длины рейки под влиянием температуры и за приведение измеренной линии к горизонту.

При использовании Redta 002 вычисления ведут по формуле

$$S = Kl_{\text{ср}} + c,$$

где l — отсчет по рейке.

Основными источниками ошибок, ограничивающими точность дальнометрных измерений, являются неточное эталонирование дальнометров, неточная установка в рабочее положение реек, личные ошибки наблюдателя, влияние внешней среды.

П а р а л л а к т и ч е с к и й м е т о д и з м е р е н и я л и н и и

Этот метод можно применять в разрядной полигонометрии. Определение расстояния осуществляется косвенно при помощи базиса малой длины, располагаемого перпендикулярно к линии, и параллактических углов при конечных пунктах линии, образованных направлениями на марки, которые расположены в крайних точках базиса. Инструкция [15] допускает использование в качестве базиса эталонированную с точностью 0,16 мм инварную проволоку длиной 24 м с закрепленными на ее концах визирными марками. При измерении параллактических углов проволока должна быть натянута грузами на высоте 1,7 м над поверхностью с точностью 2'. При больших отклонениях следует измерять угол между линией и базисом с точностью 1'.

В случае использования параллактического звена (рис. 42) треугольной формы расстояние от вершины параллактического угла $\varphi \geq 8^\circ$ до базиса длиной $l = 24$ м в полигонометрии 1 разряда ($m_S/S = 1/10\ 000$) будет равно 170 м, а в полигонометрии 2 разряда при $\varphi \geq 4^\circ$ и $m_S/S = 1/5000$ — соответственно 340 м. Длину линии S из звена треугольной формы вычисляют по формуле

$$S = b \operatorname{ctg} \varphi.$$

При измерении линий большей длины рекомендуется пользоваться параллактическим звеном симметричной ромбической формы и формул

$$S = S_1 + S_2,$$

где

$$S_1 = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2}; \quad S_2 = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2}.$$

Линии длиннее 300 м в полигонометрии 1 разряда следует измерять по частям.

Измерение параллактических углов осуществляется теодолитами Т2, 2Т2 и т. п. четырьмя приемами. Допустимая средняя квадратич-

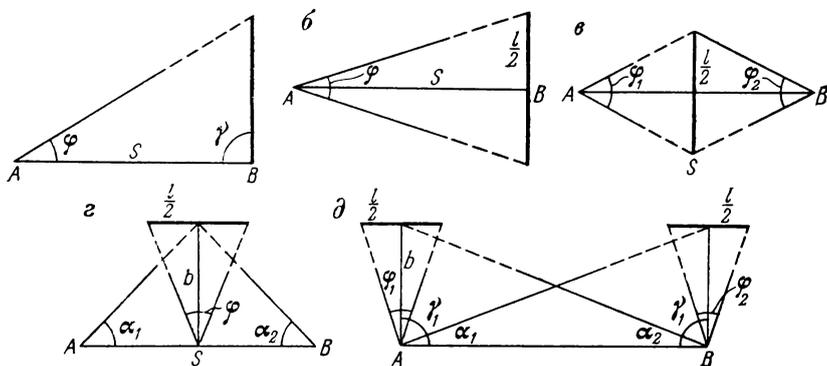


Рис. 42. Типовые схемы параллактических звеньев:

а, б, в — простые звенья; *г, д* — сложные звенья

ческая ошибка угла, полученная по отклонениям от среднего, не должна превышать $1,5''$, а размах измерений в приемах допускается не более $3''$.

При измерении параллактических углов следует использовать одну, тщательно исследованную часть лимба. Если ошибки делений будут превышать $1''$, то в измеренные параллактические углы надо вводить поправки.

В городских условиях применение параллактического метода возможно только на открытых и малоэтажных территориях.

Достижение требуемой точности линейных измерений параллактическим методом в большей степени зависит от ошибок измерения параллактических углов и в меньшей степени от ошибок измерения малых базисов.

Короткобазисный параллактический метод измерения линий

Этот метод, являющийся разновидностью параллактического, применяется для измерения сторон в разрядной полигонометрии. В качестве коротких базисов используются 2- или 3-метровые инварные базисные жезлы, а также разборные 2-метровые жезлы типа Бала, изготавливаемые предприятиями «К. Цейсс, Йена» (ГДР) и МОМ (ВНР).

К работе допускаются жезлы, прошедшие эталонирование в метро-

логической лаборатории с точностью 0,01 мм, а в полевых условиях — с точностью 0,04 мм. Полевое эталонирование производится на компараторе, измеренном инварными проволоками, с относительной точностью 1 : 200 000.

Длины сторон полигонометрии могут быть определены из простых и сложных параллактических звеньев (см. рис. 42). Выбор типа звена зависит от условий местности и длины измеряемой линии. При построении параллактических звеньев их элементы не должны превышать следующих значений.

Для простых звеньев:

Разряд полигонометрии	Длина жезла l , м	Предельное расстояние b «прибор—жезл», м	Минимальный параллактический угол
1	2	50	2°20'
	3	70	2 30
2	2	60	1 55
	3	90	1 55

Для сложных звеньев:

Разряд полигонометрии	Минимальный параллактический угол α	Предельное расстояние b «прибор—жезл»	Максимальная длина стороны
1	5°40'	10 l	20 b
2	4 00	14 l	28 b

Параллактические углы φ и α измеряются точными теодолитами Т2, 2Т2 и им равноточными. Для измерения теодолит устанавливают на вбитые в землю колья. Во избежание влияния горизонтальной рефракции марки жезла нельзя располагать ближе 2 м к освещаемым солнцем местным предметам и стенам построек.

Согласно Инструкции [15] параллактические углы надо измерять на одной части горизонтального круга четырьмя приемами со средней квадратической ошибкой менее 1". Размах измерений не должен превышать 3". Если ошибки делений превышают 1", то в параллактические углы следует вводить поправки. При измерении угла φ необходимо определять температуру воздуха. Прибазисные углы γ измеряют двумя полуприемами.

Вычисление длин линий полигонометрического хода производят по формулам, соответствующим типу звена (см. рис. 42):

$$а) S = l \sin(\varphi + \gamma) \operatorname{cosec} \varphi; \quad б) S = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2};$$

$$в) S = \frac{l}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \right);$$

$$г) S = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} \left(\operatorname{ctg} \alpha_1 + \operatorname{ctg} \alpha_2 \right);$$

$$д) S_{AB} = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} \sin(\gamma_1 + \alpha_2) \operatorname{cosec} \alpha_2; \quad S_{BA} = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \sin(\gamma_2 + \alpha_1) \operatorname{cosec} \alpha_1.$$

Если влияние температуры превышает $1/200\ 000$ длины жезла l , то необходимо ввести поправку.

На точность линейных измерений короткобазисным параллактическим методом, в основном, влияют ошибки измерения параллактических углов и ошибки, связанные с применением базисного жезла.

ГЛАВА 4

МЕТОДИКА КООРДИНИРОВАНИЯ СТЕННЫХ ЗНАКОВ И ПРИВЯЗКА К НИМ

§ 18. Характеристика типов систем ственных знаков и точность работ при их координировании

Закрепление пунктов полигонометрии стенными знаками как в условиях промышленной застройки, так и на городских территориях получило широкое распространение в нашей стране в 50-е годы.

Каждый пункт полигонометрии может быть закреплен одним стенным знаком или группой из двух-трех знаков, образуя ориентирные или восстановительные системы.

Если полигонометрические пункты закреплены стенными знаками, то углы и линии в таких ходах измеряют на временных рабочих центрах полигонометрического хода, который прокладывается вдоль зданий капитальной застройки на удалении от них до 20 м с учетом обеспечения благоприятных условий для измерения углов и линий.

В настоящее время известны следующие системы ственных знаков: консольные (штанговые), восстановительные и ориентирные.

Знаки консольного типа вследствие сложности изготовления, громоздкости, необходимости иметь переносную штангу не находят широкого применения в настоящее время и не рекомендуются к закладке.

Восстановительные системы характерны тем, что координаты на стенные знаки, входящие в систему, не передаются, а временные рабочие центры в случае их утраты восстанавливаются по тем же элементам, по которым они определялись.

Различают следующие виды восстановительных систем: створно-восстановительная, створно-восстановительная с дополнительным контролем, системы равностороннего, прямоугольного и равнобедренного треугольников.

Ориентирных системах на все стенные знаки, входящие в систему, передаются координаты с временных рабочих центров, на которых выполняются все угловые и линейные измерения полигонометрических ходов. В результате получаем ориентированную систему из двух базисов, позволяющую осуществить привязку к ней полигонометрических и теодолитных ходов (и восполнить контроль).

В случае утраты временных рабочих центров их определяют при привязке или проложении новых ходов полигонометрии. Передача координат на стенные знаки с рабочих центров может осуществляться методами редуцирования, полярным, угловой и линейной засечки.

Метод редуцирования применяется, когда пункт закреплен одним стенным знаком.

Полярный метод используется при передаче координат с временных рабочих центров на стенные знаки, когда пункты закреплены в виде одинарных знаков, двойных и тройных систем.

Метод угловой засечки целесообразно применять, когда непосредственное измерение расстояний от временных рабочих центров до стенных знаков затруднено интенсивным движением транспорта и пешеходов.

Метод линейной засечки выгодно использовать, если стенные знаки незначительно удалены от временных рабочих центров и нет никаких помех для линейных измерений.

Все измерения в ориентирных системах для передачи координат с временных рабочих центров на стенные знаки выполняют с суммарной средней квадратической ошибкой ± 2 мм.

Для обеспечения такой точности инструмент должен центрироваться на временном рабочем центре с точностью не ниже ± 1 мм, которую могут обеспечить только оптические центриры.

Направления на стенные знаки в полигонометрии 4 класса измеряют тремя приемами после окончания наблюдений на пункты ходовой линии, визируя на шпильки, вставленные в отверстия стенных знаков.

В полигонометрии 1 и 2 разрядов измерения на стенные знаки производят одновременно с измерением основных углов ходовой линии.

Угловые измерения следует производить так, чтобы избежать частой перефокусировки визирной трубы теодолита. Для этого можно рекомендовать следующий порядок наблюдений на временном рабочем центре: задняя точка хода, передняя точка хода, стенные знаки.

После перевода трубы через зенит наблюдения начинают со стенных знаков: стенные знаки, передняя точка хода, задняя точка хода.

На узловых точках, где число направлений основного хода более двух, необходимо для контроля производить замыкание горизонта.

Колебание в отдельных приемах направлений, приведенных к общему нулю, не должны превышать следующих значений (в секундах):

Расстояние до стенного знака, м . . .	2	4	6	8	10	15	20	30
Колебание направлений	200	150	80	60	40	30	20	10

Для расстояний более 30 м значения колебаний приведены в табл. 8.

Критерием точности измерения углов на стенные знаки является сходимость значений горизонтальных углов, измеренных в программе основного хода и в программе настенной полигонометрии.

Расхождение значений этих углов не должны превышать: в полигонометрии 4 класса — 6", 1 разряда — 10", 2 разряда — 20".

Расстояния до стенных знаков измеряют стальной рулеткой с натяжением ее от руки, если длина линии не более 10 м, и при помощи динамометра силой 10 кг, если линия длиннее 10 м. Во избежание ошибок в отсчетах измерения выполняют при трех сдвигах рулетки в пределах 1—5 см. При этом колебание разностей отсчетов не должно превышать 1 мм.

Расстояние между стенными знаками измеряют при двух сдвигах рулетки. В измеренные расстояния вводят поправки за компарирование рулетки, температуру и наклон линии.

Компарирование рулетки проводят на полевом компараторе (на 24-метровом пролете) с последующим введением поправки за провис или при помощи компарированного контрольного метра на горизонтальной плоскости.

При использовании компаратора один конец рулетки крепят к неподвижному предмету, а второй подвергают постоянному натяжению с помощью динамометра, который будет применять при измерении расстояний. Во втором случае длину каждого метра рулетки определяют дважды путем последовательного прикладывания контрольного метра к шкале рулетки, а затем находят поправки к каждому метру рулетки и нарастающий итог от ее нуля. Последние и являются поправками за компарирование к соответствующим отсчетам по рулетке.

Поправки за провис рулетки вычисляют по формуле

$$\delta = \frac{10^3 p^2}{24 f^2} l^3,$$

где p — масса одного метра полотна рулетки в кг, f — натяжение рулетки в кг, l — длина измеряемого расстояния в м.

Температуру воздуха для введения поправки в величину измеренной линии необходимо знать с точностью $\pm 2^\circ$. Поправка за температуру вычисляется по формуле

$$\delta_t = k_c (t_c - t_0) l_{\text{изм}},$$

где $l_{\text{изм}}$ — измеренная длина линии, k_c — термический коэффициент расширения стали ($k_c = 11 \cdot 10^{-6}$), t — температура воздуха при измерении линий, t_0 — температура воздуха при компарировании рулетки. Вычисленное значение δ_t округляется до десятых долей миллиметра.

Поправка за наклон измеряемой линии вычисляется по превышению стенного знака относительно горизонта оптического центрира и вводится в наклонное полярное расстояние со знаком минус. Она вычисляется по формуле

$$\delta_n = -h^2/2l,$$

где l — измеренное наклонное расстояние, h — превышение стенного знака относительно горизонта оптического центрира, установленного на временном рабочем центре. Вычисленные поправки округляются до десятых долей миллиметра.

Определение превышений h между концами отрезков, а также между стенными знаками производится нивелированием IV класса с точностью $\pm 4-5$ мм. Вначале рейка устанавливается на оптический центрир, затем последовательно на все стенные знаки и в конце — снова на оптический центрир. Этот замыкающий отсчет характеризует изменение горизонта инструмента в процессе выполнения работ.

Если позволяют условия, можно сразу измерять горизонтальное проложение, а не наклонное расстояние. Для этого с помощью оптического теодолита, отвеса или центрира определяют наименьший отсчет по рулетке при поднимании или опускании одного ее конца.

Вычисление ходов, закрепленных стенными знаками, выполняют двумя способами:

а) результаты измерений по временным рабочим центрам уравнивают обычным порядком и уравненные координаты передают на центры ственных знаков ориентирной системы;

б) углы и линии, измеренные в ходах по временным рабочим центрам, редуцируют на центры ственных знаков и затем выполняют уравнивание ходов обычным порядком.

Достоинство первого способа в простоте камеральной обработке результатов измерений (применяется на производстве). Недостаток его в том, что уравнивание ходов и передача координат на ственные знаки производятся раздельно.

Во втором способе выполняют контрольные вычисления по временным рабочим центрам, сумма приращений между которыми должна быть одна и та же в пределах точности вычислений.

При составлении каталога координат в него включают не только координаты ственных знаков, но и координаты временных рабочих центров, а также значения горизонтальных проложений линий, полученных при методе засечке, с тем, чтобы их можно было использовать для восстановления временных рабочих центров с точностью 2—3 см, достаточной для съемочных работ.

Значения координат пунктов и длин сторон должны быть представлены в каталоге с точностью до 0,001 м, а дирекционных углов — до 0,1".

Каталог координат и высот пунктов городской полигонометрии содержит титульный лист, пояснение, список координат и высот пунктов, чертежи центров и реперов и схему геодезической сети.

§ 19. Ориентирные системы ственных знаков

О д и н а р н а я о р и е н т и р н а я с и с т е м а

Пункты такой системы (рис. 43) закрепляют одним репером, координаты которого определяют с временных рабочих центров вспомогательного хода. Эти системы применяются в Мосгоргеотресте с 1950 г.

Передача координат с временных рабочих центров, на которых выполняются основные угловые измерения, а центры ственных знаков, выполняется в данном случае, как правило, методом редуцирования, который позволяет измеренные углы и линии редуцировать на ственные полигонометрические знаки. Для этого, кроме основных измерений, на каждой точке вспомогательного хода измеряют направление на ближайший ственной знак γ_1 , γ_2 и расстояние до него l_1 .

В практике встречаются два характерных случая применения метода редуцирования: 1) ственной знак расположен между двумя грунтовыми знаками, 2) ственные знаки являются смежными.

В первом случае (см. рис. 43, а) измеряют в поле углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, линии S_1 и S_2 , а также углы γ_1, γ_2 и расстояние l_1 .

Для более точного получения дирекционных углов сторон хода, закрепленного одинарными знаками, рекомендуется углы γ_1, γ_2

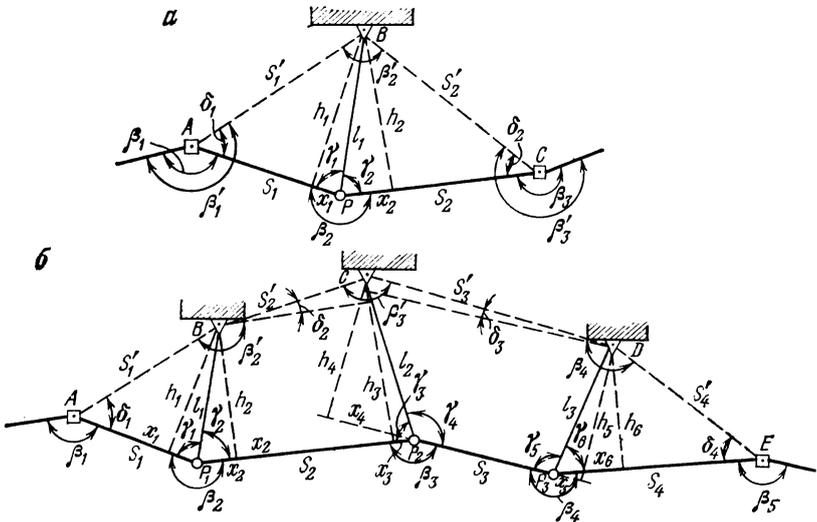


Рис. 43. Схема определения координат ственных знаков одинарной ориентирной системы методом редуцирования

выдерживать в пределах $88^\circ - 92^\circ$, а расстояние l_1 — в пределах 5—15 м [25].

Для вычисления координат пункта P необходимо найти значения редуцированных элементов хода $\beta'_1, \beta'_2, \beta'_3, S'_1$ и S'_2 .

Для вычисления поправок δ_1 и δ_2 определяют вспомогательные величины h_1 и h_2 — соответственно высоты треугольников ABP и BCP и величины x_1 и x_2 — расстояния от основания высоты до временной точки. Из рис. 43, а видно, что

$$h_1 = l_1 \sin \gamma_1; \quad h_2 = l_1 \sin \gamma_2; \quad (60)$$

$$x_1 = l_1 \cos \gamma_1; \quad x_2 = l_1 \cos \gamma_2.$$

Величина x положительна, если угол $\gamma_i < 90^\circ$, и отрицательна при $\gamma_i > 90^\circ$. Получив величины h_1, x_1, h_2, x_2 , находим углы δ_1, δ_2 и расстояния S'_1 и S'_2 из следующих выражений:

$$\operatorname{tg} \delta_1 = h_1 / (S_1 - x_1); \quad S'_1 = (S_1 - x_1) / \cos \delta_1 = \sqrt{(S_1 - x_1)^2 + h_1^2};$$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = h_2 / (S_2 - x_2); \quad S'_2 = (S_2 - x_2) / \cos \delta_2 = \sqrt{(S_2 - x_2)^2 + h_2^2}.$$

Величины углов β'_1, β'_2 и β'_3 найдем по формулам

$$\beta'_1 = \beta_1 + \delta_1; \quad \beta'_2 = \beta_2 - (\delta_1 + \delta_2); \quad \beta'_3 = \beta_2 + \delta_2.$$

Во втором случае (рис. 43, б), кроме измерений по основному ходу, измеряют на каждой точке углы $\gamma_1, \dots, \gamma_6$ и расстояния l_1, l_2, l_3 . Требуется найти значение редуцированных элементов $\beta'_1, \beta'_2, \beta'_3, S'_1, S'_2$.

Для вычисления поправок $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ и δ_4 , как и в первом случае, определяют высоты h_i и вспомогательные величины x_i по формулам (60).

По полученным данным вычисляют вспомогательные углы δ_i и стороны S_i по формулам

$$\operatorname{tg} \delta_1 = h_1 / (S_1 - x_1); \quad \operatorname{tg} \delta_2 = (h_3 - h_2) / (S_2 - x_2 - x_3);$$

$$\operatorname{tg} \delta_3 = (h_4 - h_5) / (S_3 + x_4 + x_5); \quad \operatorname{tg} \delta_4 = h_6 / (S_4 - x_6);$$

$$S'_1 = \sqrt{(S_1 - x_1)^2 + h_1^2}; \quad S'_2 = \sqrt{(S_2 - x_2 - x_3)^2 + (h_3 - h_2)^2};$$

$$S'_3 = \sqrt{(S_3 + x_4 + x_5)^2 + (h_4 - h_5)^2};$$

$$S'_4 = \sqrt{(S_4 - x_6)^2 + h_6^2}.$$

Редуцированные углы вычисляются по формулам

$$\beta'_1 = \beta_1 + \delta_1; \quad \beta'_2 = \beta_2 - (\delta_1 - \delta_2); \quad \beta'_3 = \beta_3 - (\delta_2 + \delta_3); \quad \beta'_4 = \beta_4 - (\delta_4 - \delta_5);$$

$$\beta'_5 = \beta_5 - \delta_4.$$

Знак «+» или «—» в формулах зависит от взаимного положения основных и редуцированных линий хода.

Получив редуцированные углы, ход уравнивают обычным методом и определяют координаты ственных знаков B, C и D .

Кроме метода редуцирования, передачу координат на ственные одинарные знаки можно осуществить полярным методом с временных точек вспомогательного хода после его уравнивания.

Д в о й н а я о р и е н т и р н а я с и с т е м а

Закрепление пункта полигонометрии в такой системе производится двумя ственными знаками, расстояние между которыми не должно превышать 20 м (рис. 44). Система была предложена в 1956 г. К. А. Лосевым.

В этой системе передачу координат с пункта P на центры ственных знаков A и B можно осуществить тремя способами: полярным (рис. 44 а, б), прямой угловой засечкой с конца базиса, длиной 20—24 м (рис. 44, в) и линейной засечкой с концов базиса, выбираемого точно в створе линии полигонометрии (рис. 44, г). Использование того или иного способа зависит от условий производства измерений, но наиболее простым является способ полярных координат, и его следует считать основным.

Независимо от способа передачи координат для контроля полевых измерений выполняют добавочное определение расстояния между центрами ственных знаков. На угловых зданиях (см. рис. 44, а) расстояние между стенными знаками A и B определяют дважды. Для этого недалеко от угла здания выбирают дополнительную точку P_1 , с

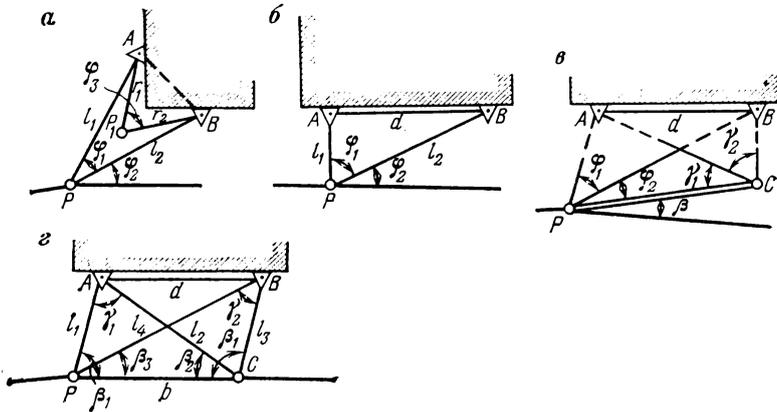


Рис. 44. Двойные ориентирные системы ственных знаков К. А. Лосева

которой видны оба ственных знака, и измеряют расстояния до ственных знаков r_1 , r_2 и угол φ_3 .

Расстояние между ственными знаками вычисляют дважды по формулам

$$d = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \varphi_3}; \quad d' = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_2 - y_1)^2},$$

где x , y — координаты ственного знака, полученные полярным методом. Разность $d - d'$ должна быть не больше 8 мм.

На неугловом здании расстояние между ственными знаками измеряют стальной рулеткой. Это дает возможность обработке результатов измерений производить с избыточными данными и сделать оценку их точности.

Разность между значениями d , полученными из вычислений по координатам ственных знаков и измеренными в натуре, не должна превышать ± 6 мм.

Метод линейной засечки (см. рис. 44, з) применяют, если временные точки расположены недалеко от ственных знаков и нет помех для производства линейных измерений. В этом случае координаты ственных знаков вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} \cos \gamma_1 &= (l_1^2 + l_2^2 - b^2) / 2l_1l_2; \quad \cos \gamma_2 = (l_3^2 + l_4^2 - b^2) / 2l_3l_4; \\ \sin \beta_1 &= (l_2 \sin \gamma_1) / b; \quad \sin \beta_2 = (l_1 \sin \gamma_1) / b; \end{aligned}$$

$$\sin \beta_3 = (l_3 \sin \gamma_2)/b; \quad \sin \beta_4 = (l_4 \sin \gamma_2)/b;$$

$$\alpha_{PA} = \alpha_{PC} - \beta_1;$$

$$\alpha_{PB} = \alpha_{PC} - \beta_3;$$

$$\alpha_{CA} = \alpha_{CP} + \beta_2; \quad \alpha_{CB} = \alpha_{CP} + \beta_4;$$

$$x_A = x_P \pm l_1 \cos \alpha_{PA} = x_C \pm l_2 \cos \alpha_{CA};$$

$$y_A = y_P \pm l_4 \sin \alpha_{PA} = y_C \pm l_2 \sin \alpha_{CA};$$

$$x_B = x_P \pm l_1 \cos \alpha_{PB} = x_C \pm l_3 \cos \alpha_{CB};$$

$$y_B = y_P \pm l_4 \sin \alpha_{PB} = y_C \pm l_3 \sin \alpha_{CB}.$$

Ориентирная система К. А. Вержагина

Эта система предусматривает закрепление пункта полигонометрии двумя стенными знаками, которые вместе с временной точкой образуют треугольник (рис. 45, а).

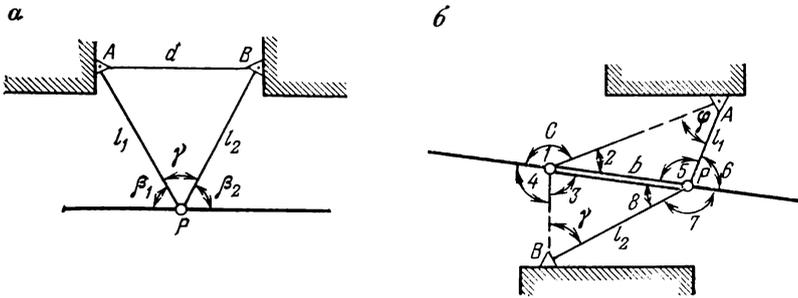


Рис. 45. Двойная ориентирная система с расположением стенных знаков на противоположных сторонах улицы

В треугольнике измеряют три стороны и угол между направлениями на стенные знаки, что создает условия для уравнивания треугольника, так как сторону d можно вычислить по известной формуле

$$d^2 = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \gamma.$$

Поправки δ в измеренные величины определяют по формулам

$$\delta_{l_1} = kal_1; \quad \delta_d = u(\Delta d + cm_a);$$

$$\delta_{l_2} = kbl_2; \quad \delta_a = 4kc(l_1 + l_2),$$

где

$$a = (l_1 - l_2 \cos \beta_2)/d; \quad b = (l_2 - l_1 \cos \beta_2)/d;$$

$$c = (l_1 l_2 \sin \beta_2 / \rho'') / d;$$

$$k = \delta_d / [a^2 l_1 + b^2 l_2 + 4c^2 (l_1 + l_2)];$$

$$\Delta d = d(1/t_d), \quad u = (d_{\text{н}} - d_{\text{в}}) / (2\Delta d + cm_\alpha),$$

где $1/t_d$ — относительное взаимное смещение парных стенных знаков, обусловленное ошибками угловых и линейных измерений и формой геометрического построения. Ее значение вычисляют по формуле

$$t_d = dT \left/ \left(\sqrt{l_1^2 + l_2^2} \sqrt{1 + \left(\frac{T \cdot m_\alpha}{\rho} \right)^2} \right) \right.,$$

где T — знаменатель относительной точности линейных измерений, m_α — средняя квадратическая ошибка измеренных углов (берется из данных оценки точности угловых измерений в сети).

После введения поправок в измеренные величины производится окончательное решение треугольника и передача координат с рабочего центра на стенные знаки полярным методом.

В каждой паре стенные знаки располагают на расстоянии 20—50 м. Парные стенные знаки можно размещать как на одной стороне улицы, так и на противоположных (рис. 45, б). В последнем случае передача координат может быть выполнена также следующим образом.

Измеряют базис PC в створе ходовой линии, углы на концах базиса на стенные знаки A и B , расстояния l_1 и l_2 для контроля.

Из треугольников APC и BPC вычисляют углы γ и φ , а также значения сторон AP , BP по формулам

$$PA = (b \sin 2) / \sin \varphi; \quad PB = (b \sin 3) / \sin \gamma;$$

$$\gamma = 180^\circ - (\beta + \delta); \quad \varphi = 180^\circ - (2 + 5).$$

Измеренные и вычисленные значения l_1 и l_2 сопоставляют между собой и, если их расхождения не превышают 6 мм, вычисляют средние значения $l_{1\text{ср}}$ и $l_{2\text{ср}}$. Координаты стенных знаков вычисляют дважды по формулам:

$$x_A = x_P + l_{1\text{ср}} \cos(\alpha_{CP} - 6); \quad x_A = x_C + \overline{CA} \cos(\alpha_{CP} - 2);$$

$$y_A = y_P + l_{1\text{ср}} \sin(\alpha_{CP} - 6); \quad y_A = y_C + \overline{CA} \sin(\alpha_{CP} - 2);$$

$$x_B = x_P + l_{2\text{ср}} \cos(\alpha_{CP} + 7);$$

$$x_B = x_C + \overline{CB} \cos(\alpha_{CP} + 3);$$

$$y_B = y_P + l_{2\text{ср}} \sin(\alpha_{CP} + 7); \quad y_B = y_C + \overline{CB} \sin(\alpha_{CP} + 3).$$

Ориентирная система стенных знаков
С. Н. Марченко

Данная система состоит из трех знаков, закладываемых, как правило, в одно строение (рис. 46).

Ориентирные центры B и C располагают на одинаковом расстоянии (в пределах 0,5 м) по обе стороны от осевого центра A (рис. 46, $a, б, в$). Для зданий, расположенных на углах кварталов и небольших по размеру, применяют одностороннюю закладку ориентирных центров (рис. 46, $г, д$).

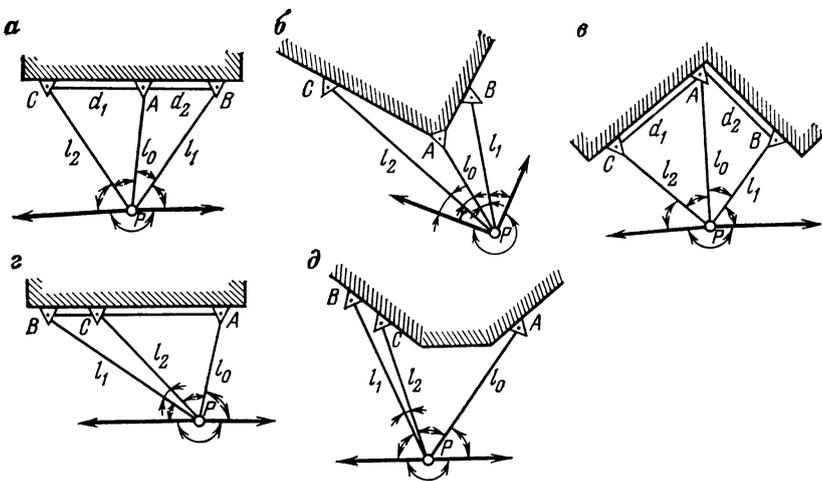


Рис. 46. Типичные схемы тройных ориентирных систем ственных знаков

Пункты вспомогательного хода располагают на таком расстоянии от ственных знаков, чтобы полярные расстояния l_i были меньше длины мерной рулетки, которой они будут измеряться ($l < 20$ м).

На точке P вспомогательного хода измеряют углы на ственные знаки и расстояния до них l_1, l_2 и l_0 . Кроме того, для контроля полевых измерений измеряют расстояния между центрами смежных знаков, которые сопоставляют впоследствии с расстояниями, полученными из вычислений по координатам ственных знаков. Расхождение их значений не должно быть более ± 6 мм.

Координаты всех трех знаков определяют полярным способом с пункта P вспомогательного хода. В результат этих определений получают ориентированную систему из двух базисов, позволяющую осуществить привязку (с контролем) к ней конечной точки полигонометрического и теодолитного ходов. Пример вычислений см. в прил. 4.

§ 20. Восстановительные системы ственных знаков

Восстановительные системы ственных знаков могут состоять из двух или трех ственных знаков, закладываемых, как правило, на высоте 0,2—0,3 м от поверхности земли (рис. 47).

Створно-восстановительная система

Система, предложенная А. И. Марчуком, представляет собой два ственных знака, заложенных в стену здания на расстоянии l один

от другого. На таком же расстоянии от крайнего знака в створе центров заложенных знаков устанавливают временный рабочий центр пункта полигонометрии P (рис. 47, *а*).

Расстояния l должны быть равны с точностью 2—3 мм, их абсолютное значение должно находиться в пределах 2—5 м.

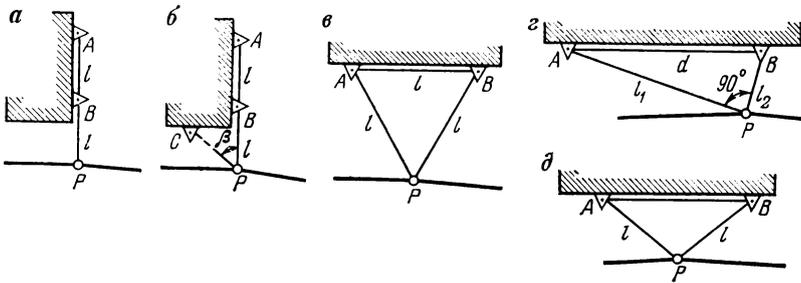


Рис. 47. Восстановительные системы ственных знаков

При привязке полигонометрического или теодолитного хода к пункту P восстановление утраченного рабочего центра производится в створе ственных знаков A и B по расстоянию l , измеренному между ними.

Створно-восстановительная система с дополнительным контролем

Система, предложенная Ю. В. Мулюмом, отличается от предыдущей наличием третьего ственного знака, установленного так, чтобы направление на него с рабочего центра составляло с линией створа угол β не менее 30° (рис. 47, *б*).

Дополнительное направление на пункт служит контролем при восстановлении рабочего центра.

Для привязки к пункту достаточно измерить рулеткой расстояние l и отложить его по створу для восстановления временного рабочего центра P .

Для контроля работы проверяется равенство расстояний, которое должно соблюдаться с точностью до 2 мм.

Система равностороннего треугольника

Система, предложенная П. Ф. Дегтяревым, представляет собой два ственных знака, установленных с таким расчетом, чтобы расстояние между ними было равно (с точностью до 2—3 мм) расстояниям от центров ственных знаков до рабочего центра (рис. 47, *в*).

Восстановление утраченного рабочего центра при привязке к нему осуществляется линейной засечкой, в которой стороны должны быть равны с точностью до 2 мм расстоянию l между ственными знаками.

Расстояние между стенными знаками в каждом конкретном случае может быть различно и зависит от того, на каком удалении от здания прокладывается ход полигонометрии. Наиболее удобным является расстояние в 1—7 м, но при необходимости оно может быть увеличено. Если расстояния между знаками значительны, то дополнительным контролем правильности восстановления рабочего центра может служить угол между направлениями на стенные знаки, который теоретически должен быть равен 60° . При расстоянии между марками 1,0—2,5 м можно выносить рабочий центр, применяя простой прибор типа штангенциркуля с базой в 2,5 м.

Для удобства измерений стенные знаки следует закреплять на одной высоте от поверхности земли (порядка 10—20 см), что упрощает измерение линий треугольника. Следует иметь в виду, что знаки можно закладывать и на разных расстояниях от земли, но в этом случае нужно выносить центр на высоту, равную среднеарифметической высоте первой и второй марок.

Система прямоугольного треугольника

Система представляет собой два стенных знака, с которых рабочий центр определяют и восстанавливают линейной засечкой с неравными сторонами, образующими при пересечении угол 90° (рис. 47, з).

Система равнобедренного треугольника

Система, предложенная Э. К. Хускивадзе, состоит из двух знаков, заложенных на высоте 0,3—0,5 м от поверхности земли (рис. 47, д).

Для восстановления наземного рабочего центра пользуются прибором, состоящим из двух проволок одинаковой длины l , скрепленных на одном конце кольцом. На других концах проволок находятся шпильки, при помощи которых проволоки крепятся к стенным знакам. Если надеть кольцо на металлическую шпильку таким образом, чтобы стороны равнобедренного треугольника находились в горизонтальной плоскости, то острие шпильки укажет на искомый рабочий центр P .

Восстановительная система Л. В. Гинзбурга

Система состоит из двух стенных знаков, заложенных на высоте 1,3—1,4 м от поверхности земли (рис. 48). В этой системе измеряют как расстояния между временными рабочими центрами и стенными знаками (l_1, l_2, l_3), так и расстояния d между самими стенными знаками. Кроме того, измеряют углы между направлениями на стенные знаки.

Передача координат с временных рабочих центров на стенные знаки (рис. 48, а, б) выполняется так же, как в двойной ориентирной системе К. А. Верещагина. Однако закреплять пункт полигонометрии при этом способе двумя знаками нежелательно, так как при привязке

отсутствует контроль. Рекомендуется закреплять пункт тремя стенными знаками, обеспечивающими достаточную надежность закрепления (рис. 48, в).

В данной системе даже в небольших городах возникает ряд неудобств при измерении линий, пересекающих улицы с довольно интен-

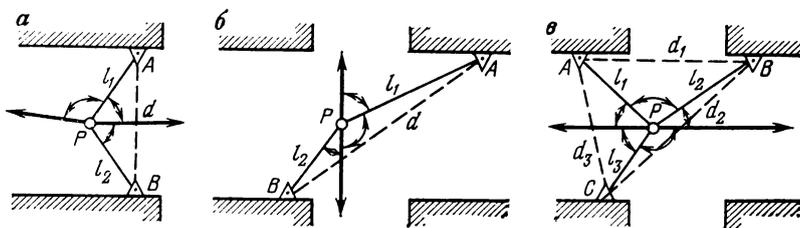


Рис. 48. Восстановительная система стенных знаков Л. В. Гинзбурга

сивным движением транспорта. В больших городах время на линейные измерения увеличивается в три-четыре раза.

Восстановление временного рабочего центра или определение его новых координат при привязке к стенному знаку такого типа можно осуществить двумя способами: а) засечками с трех стенных знаков, измеряя расстояния l_1 , l_2 и l_3 ; б) путем установки теодолита в створе между двумя стенными знаками и измерения расстояний от инструмента до центров знаков. По этим данным и дирекционному углу между стенными знаками, полученному из вычислений по их координатам, вычисляют координаты точки стояния инструмента.

Система стенных знаков А. П. Мазурика

Система состоит из четырех стенных знаков, закладываемых в стены зданий на высоте 1,5 м (рис. 49). В этой системе измеряют расстояния от наземного рабочего центра до стенных знаков l_1 , l_2 , l_3 и l_4 .

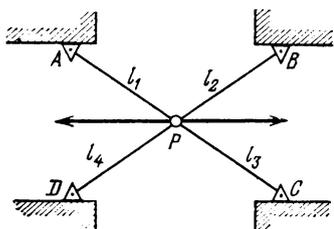


Рис. 49. Восстановительная система стенных знаков А. П. Мазурика

Местоположение наземного рабочего центра определяют при помощи теодолита, устанавливаемого в точке пересечения створов между противоположными знаками. Таким же образом восстанавливают наземный рабочий центр в случае его утраты. Недостатком этой системы является большая трудоемкость работ в городских условиях.

§ 21. Привязка полигонометрических ходов к стенным пунктам

Привязка ходов к стенным пунктам, исключая восстановительные системы, осуществляется через примычный пункт P , который представляет собой начальный или конечный пункт полигонометрического хода.

Примычный пункт выбирается произвольно напротив стенного знака, на удалении от него до 20 м, в удобном для измерения месте. При этом необходимо соблюдать условие определения его положения с суммарной средней квадратической ошибкой не более ± 2 мм.

Привязка на местности сводится к измерению углов и линий, необходимых для вычисления с надлежащей точностью и контролем координат примычного пункта P и дирекционного угла α направления с примычного пункта P к соответствующий стенной знак.

При наличии сохранившихся наземных рабочих центров привязка ходов осуществляется к последним так же, как к обычным грунтовым знакам.

Привязка к стенным знакам, образующим одинарные, двойные и тройные ориентирные системы, при утрате наземных рабочих центров осуществляется одним из следующих способов.

Привязка к одинарным стенным знакам

Теодолит устанавливают напротив стенного знака на расстоянии не более 20 м с таким расчетом, чтобы был виден и соседний знак

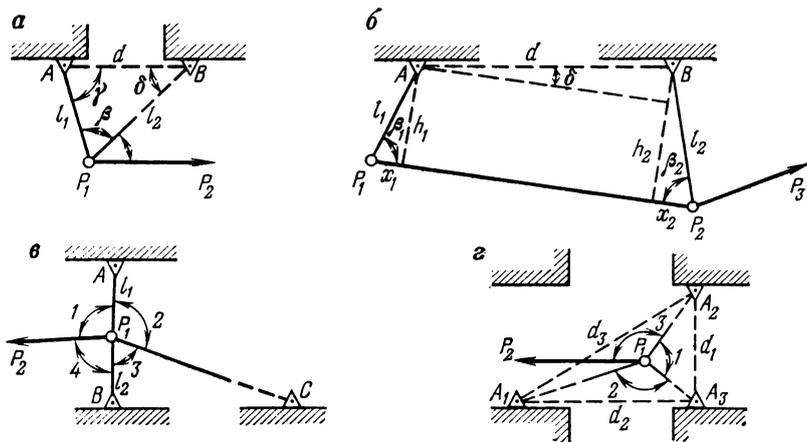


Рис. 50. Схемы привязки полигонометрических и теодолитных ходов к одинарным стенным знакам

(рис. 50, а), и измеряют расстояние l_1 до ближнего стенного знака и угол β между направлениями на знаки. Кроме того, если позволяют условия местности, измеряют расстояние и до дальнего стенного знака l_2 .

Выполнив эти измерения, вычисляют координаты точки стояния инструмента по следующим формулам:

$$\sin \delta = (l_1 \sin \beta) / d; \quad \gamma = 180^\circ - (\beta + \delta);$$

$$\alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + \gamma;$$

$$x_{P_1} = x_A \pm l_1 \cos \alpha_{AP_1}; \quad y_{P_1} = y_A \pm l_1 \sin \alpha_{AP_1}.$$

По координатам точек P_1 и B , решая обратную задачу, вычисляют дирекционный угол α_{P_1B} и расстояние P_1B , которое сопоставляют с непосредственно измеренным l_2 . Расхождение между ними не должно превышать 8 мм.

Дирекционный угол линии α_{P_1B} принимают в качестве исходного для привязываемого хода; ориентирование по более короткому расстоянию P_1A будет менее точным и поэтому не допускается.

Если нельзя выбрать для установки инструмента такое место, с которого были бы видны два одинарных стенных знака, то поступают следующим образом. Напротив двух смежных стенных знаков выбирают временные точки P_1 и P_2 с таким расчетом, чтобы углы β_1 и β_2 были в пределах $88-92^\circ$, а длины линий l_1 и l_2 не превышали 20 м (рис. 50, б).

На этих точках измеряют расстояния до стенных знаков l_1 и l_2 и углы β_1 и β_2 . Координаты временной точки P_2 и дирекционный угол линии P_1P_2 , который будет служить в качестве исходного для привязываемого хода, можно определить по формулам:

$$\alpha_{P_1P_2} = \alpha_{AB} + \delta; \quad \alpha_{BP_2} = \alpha_{P_1P_2} + \beta_2 = \alpha_{AB} + \beta_2 + \delta;$$

$$h_1 = l_1 \sin \beta_1; \quad h_2 = l_2 \sin \beta_2; \quad \sin \delta = (h_2 - h_1) / d;$$

$$x_{P_2} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_2}; \quad y_{P_2} = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_2}.$$

Если одинарные стенные знаки расположены на противоположных сторонах улицы, то устанавливают теодолит в их створе и в точке стояния прибора измеряют углы 1, 2, 3, 4 между направлениями на стенные знаки и временную точку хода и расстояния l_1 и l_2 до ближайших стенных знаков, в створе которых установлен инструмент (рис. 50, в). Координаты точки стояния прибора вычисляют по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = (y_B - y_A) / (x_B - x_A);$$

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AB}; \quad y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AB};$$

$$x_{P_2} = x_B + l_2 \cos (\alpha_{AB} \pm 180^\circ); \quad y_{P_2} = y_B + l_2 \sin (\alpha_{AB} \pm 180^\circ).$$

Контроль правильности решения задачи:

$$1 + 4 = 180^\circ; \quad 2 + 3 = 180^\circ;$$

$$d_{\text{выч}} = (y_B - y_A) / \sin \alpha = (x_B - x_A) / \cos \alpha;$$

$$d_{\text{изм}} = l_1 + l_2; \quad d_{\text{изм}} = d_{\text{выч}};$$

$$\alpha_{P_1C} = \alpha_{AB} + 2; \quad \text{tg } \alpha_{P_1C} = (y_C - y_{P_1}) / (x_C - x_{P_1}), \quad \alpha_{P_1C_{\text{изм}}} = \alpha_{P_1C_{\text{выч}}}.$$

Привязку хода к трем-четырем одинарным стенным знакам, заложенным на противоположных углах кварталов на перекрестке улиц, можно осуществить по способу, предложенному Ю. С. Хмелевским (рис. 50, з), сущность которого заключается в том, что координаты точки стояния теодолита P_1 вычисляют методом обратной засечки по формулам:

$$x_{P_1} = (P_{A_1} x_{A_1} + P_{A_2} x_{A_2} + P_{A_3} x_{A_3}) / (P_{A_1} + P_{A_2} + P_{A_3});$$

$$y_{P_1} = (P_{A_1} y_{A_1} + P_{A_2} y_{A_2} + P_{A_3} y_{A_3}) / (P_{A_1} + P_{A_2} + P_{A_3}),$$

где

$$P_{A_1} = 1 / (\text{ctg } A_1 - \text{ctg } 1); \quad P_{A_2} = 1 / (\text{ctg } A_2 - \text{ctg } 2);$$

$$P_{A_3} = 1 / (\text{ctg } A_3 - \text{ctg } 3).$$

Преимущество обратной засечки перед другими способами привязки произвольной точки стояния прибора особенно проявляется в условиях интенсивного движения транспорта и пешеходов, когда точные линейные измерения выполнить затруднительно или совсем невозможно.

Привязка к двойным системам стенных знаков

При такой привязке теодолит устанавливают в удобном для работы месте против стенного знака на расстоянии, примерно равном рас-

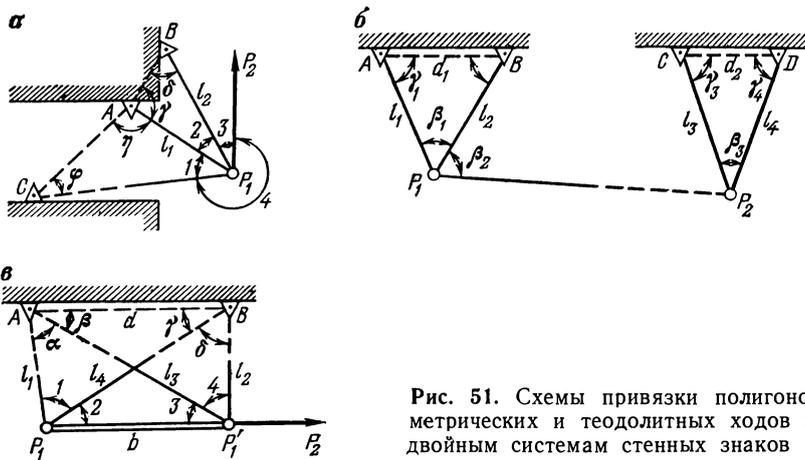


Рис. 51. Схемы привязки полигонометрических и теодолитных ходов к двойным системам стенных знаков

стоянию между стенными знаками d , но не далее 20 м (рис. 51, а). После этого измеряют расстояния l_1 и l_2 до стенных знаков, а также углы 1, 2, 3, 4 между направлениями на стенные знаки и временной точкой P_2 .

Координаты временной точки P_1 и дирекционный угол линии P_1C , которая будет служить исходной для привязываемого хода, вычисляют по формулам:

$$\sin \gamma = (l_2 \sin 2)/d; \quad \sin \delta = (l_1 \sin 2)/d;$$

$$\gamma + \delta + 2 = 180^\circ; \quad d = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos 2};$$

$$\alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + \gamma;$$

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_1}; \quad y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1} = \\ = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_1};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_1C} = (y_C - y_{P_1}) / (x_C - x_{P_1}).$$

Если из точки P_1 нет видимости на стенные знаки соседнего пункта, поступают следующим образом.

Выбирают две точки P_1 и P_2 против стенных знаков, на которых устанавливают теодолит, и измеряют углы β_1, β_2 и β_3 , расстояния l_1, l_2, l_3, l_4 , а также расстояния d_1 и d_2 (рис. 51, б).

Координаты точек P_1 и P_2 определяют из решения двух треугольников P_1AB и P_2CD по известным формулам:

$$\sin \gamma_1 = (l_2 \sin \beta_1)/d_1; \quad \sin \gamma_2 = (l_1 \sin \beta_1)/d_1;$$

$$\sin \gamma_3 = (l_4 \sin \beta_3)/d_2; \quad \sin \gamma_4 = (l_3 \sin \beta_4)/d_4;$$

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \beta_1 = 180^\circ; \quad \gamma_3 + \gamma_4 + \beta_3 = 180^\circ;$$

$$d_1 = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \beta_1}; \quad d_2 = \sqrt{l_3^2 + l_4^2 - 2l_3l_4 \cos \beta_3};$$

$$\alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + \gamma_1; \quad \alpha_{BP_1} = \alpha_{BA} - \gamma_2;$$

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_1};$$

$$y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1} = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_1};$$

$$\alpha_{CP_2} = \alpha_{CD} + \gamma_3; \quad \alpha_{DP_2} = \alpha_{DC} - \gamma_4;$$

$$x_{P_2} = x_C + l_3 \cos \alpha_{CP_2} = x_D + l_4 \cos \alpha_{DP_2};$$

$$y_{P_2} = y_C + l_3 \sin \alpha_{CP_2} = y_D + l_4 \sin \alpha_{DP_2}.$$

По координатам временных точек P_1 и P_2 вычисляют значение дирекционного угла линии P_1P_2

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_1P_2} = (y_{P_2} - y_{P_1}) / (x_{P_2} - x_{P_1}).$$

Если по условиям местности непосредственное измерение расстояний от прибора до стенных знаков затруднено, то привязку к такой двойной системе стенных знаков можно осуществить способом угловой засечки с условным базисом (рис. 51, в).

Для этого параллельно зданию, в котором заложены стенные знаки, на расстоянии, примерно равном расстоянию между знаками, в створе линии P_1P_2 разбивают и измеряют базис b , длиной примерно равный расстоянию d , на концах которого измеряют углы $1, 2, 3, 4$ на стенные знаки. Координаты точек P_1 и P_2 вычисляют в следующей последовательности:

$$\alpha = 180^\circ - (1 + 2 + 3); \quad \delta = 180^\circ - (2 + 3 + 4);$$

$$l_1 = (b \sin 3) / \sin \alpha;$$

$$l_2 = (b \sin 2) / \sin \delta;$$

$$l_3 = [b \sin (1 + 2)] / \sin \alpha;$$

$$l_4 = [b \sin (3 + 4)] / \sin \delta.$$

Из решения треугольников ABP_1 и ABP'_1 находят:

$$\sin \beta = (l_2 \sin 4) / d; \quad \sin \gamma = (l_1 \sin 1) / d;$$

$$\alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + (3 + \alpha); \quad \alpha_{AP'_1} = \alpha_{AB} + \beta;$$

$$\alpha_{BP_1} = \alpha_{BA} - \gamma; \quad \alpha_{BP'_1} = \alpha_{BA} - (\gamma + \delta).$$

По полученным длинам линий и дирекционным углам дважды вычисляют координаты точек P_1 и P'_1 по формулам:

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1} = x_B + l_4 \cos \alpha_{BP_1};$$

$$y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1} = y_B + l_4 \sin \alpha_{BP_1};$$

$$x_{P'_1} = x_A + l_3 \cos \alpha_{AP'_1} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP'_1};$$

$$y_{P'_1} = y_A + l_3 \sin \alpha_{AP'_1} = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP'_1}.$$

Контролем вычислений может служить определение по полученным координатам точек P_1, P'_1 длины линии $P_1P'_1$ и ее дирекционного угла.

Если непосредственное измерение базиса $P_1P'_1 = b$ по условиям местности невозможно, то такую привязку осуществляют способом угловой засечки с условным базисом (задача Ганзена — определение положения двух точек по двум данным).

Привязка к тройным системам стенных знаков

Теодолит устанавливают на конечной точке хода P_1 , которую выбирают против осевого стенного знака, и измеряют направления на соседний пункт привязываемого хода, а также на центры стенных знаков A, B, C ориентирного пункта. Кроме того, измеряют полярное расстояние l_0 от точки стояния теодолита до осевого стенного знака A (рис. 52).

Из решения треугольников $САР_1$ и $АВР_1$ находим углы α и δ по формулам

$$\sin \alpha = (l_0 \sin 1) / d_1; \quad \sin \delta = (l_0 \sin 2) / d_2,$$

затем углы β и γ :

$$\beta = 180^\circ - (\alpha + 1); \quad \gamma = 180^\circ - (\delta + 2).$$

Далее вычисляем расстояния $СР_1$ и $ВР_1$:

$$СР_1 = (d_1 \sin \beta) / \sin 1; \quad ВР_1 = (d_2 \sin \gamma) / \sin 2.$$

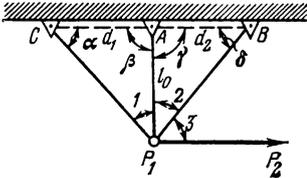


Рис. 52. Схемы привязки полигонометрических и теодолитных ходов к тройным системам ственных знаков

По полученным данным трижды вычисляют координаты точки P_1 по формулам:

$$\alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + \gamma; \quad \alpha_{BP_1} = \alpha_{BA} - \delta; \quad \alpha_{CP_1} = \alpha_{CA} + \alpha;$$

$$x_{P_1} = x_A + l \cos \alpha_{AP_1}; \quad y_{P_1} = y_A + l \sin \alpha_{AP_1};$$

$$x_{P_1} = x_B + BP_1 \cos \alpha_{BP_1}; \quad y_{P_1} = y_B + BP_1 \sin \alpha_{BP_1};$$

$$x_{P_1} = x_C + CP_1 \cos \alpha_{CP_1};$$

$$y_{P_1} = y_C + CP_1 \sin \alpha_{CP_1}.$$

Рассмотренные системы ственных знаков неравноценны по своим качествам и технико-экономическим показателям.

Недостатки консольных знаков были отмечены в § 18. Створно-восстановительные знаки хотя и являются улучшенным видом консольных, не могут быть рекомендованы для закрепления пунктов полигонометрии. Во-первых, они не обеспечивают необходимой точности восстановления утраченных центров. Согласно исследованиям; тщательное восстановление пунктов по створно-восстановительным знакам осуществляется с ошибкой ± 2 см. Поэтому они могут применяться только для закрепления точек теодолитных ходов. Во-вторых, они более трудоемкие. Так, затраты времени на привязку двух конечных пунктов хода к створно-восстановительным знакам в процессе их эксплуатации в два раза и более выше, чем в ориентирных системах.

В створных системах, приведенных на рис. 48 и 49, измерение расстояний на станции при определении координат утраченного

* Рекомендации по определению координат и эксплуатации ственных геодезических пунктов. Киев, НИИГрад АСИА УССР, 1961.

центра занимает в полтора раза больше времени, чем в ориентирной системе. Это обусловлено тем, что полярные расстояния здесь значительно больше, а условия измерений весьма сложные.

Ориентирные системы ственных знаков лишены перечисленных недостатков. Определив в тройной ориентирной системе координаты трех ственных знаков, получают ориентирную систему из двух базисов, позволяющую осуществить привязку (с контролем) к ней конечной точки как полигонометрического, так и теодолитного хода. При этом привязка к пунктам ориентирной системы производится с такой же точностью, как и к обычным пунктам полигонометрии.

На основании приведенных данных можно рекомендовать к закладке, как наиболее приемлемые и экономически выгодные, двойные и тройные ориентирные системы ственных знаков.

ГЛАВА 5

ПРИВЯЗКА ХОДОВ ПОЛИГОНОМЕТРИИ К ПУНКТАМ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

§ 22. Непосредственная привязка ходов полигонометрии

При развитии городской полигонометрической сети возникает необходимость в привязке ее к пунктам государственной геодези-

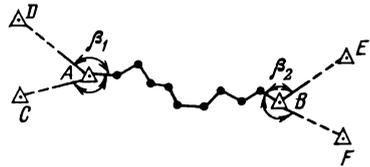


Рис. 53. Непосредственная привязка полигонометрического хода к исходным пунктам

ческой сети. Она необходима для передачи дирекционных углов на стороны хода и определения координат пунктов полигонометрии.

В зависимости от условий местности и расположения исходных пунктов по отношению к пунктам полигонометрии привязка полигонометрического хода может выполняться различными способами.

Различают два вида привязки: а) непосредственную, когда полигонометрический ход непосредственно примыкает к геодезическому пункту (рис. 53), б) привязку полигонометрического хода к близлежащему исходному пункту, расположенному на здании (рис. 54).

Непосредственная привязка наиболее точная и простая. Она заключается в том, что на исходных пунктах A и B (см. рис. 53) измеряют примычные углы β_i между направлениями на последний пункт полигонометрии и видимые пункты геодезической сети, число которых должно быть, как правило, не менее двух. Затем по координатам пунктов A, D, C и B, E, F вычисляют дирекционные углы α_n и α_k исходных направлений DA, CA и BE, BF , дирекционные углы всех линий полигонометрического хода и, наконец, координаты

пунктов. Такой вид привязки применяется на производстве наиболее часто.

Ввиду того что от точности измерения примычных углов зависит точность ориентирования хода, эти углы надо измерять с особой тщательностью. Если на исходном пункте имеется видимость с земли на смежные пункты геодезической сети, то привязка полигометри-

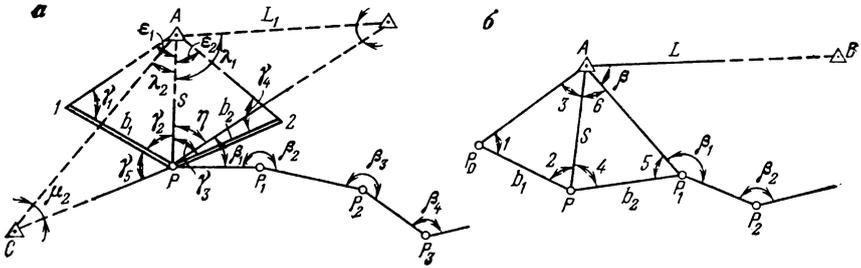


Рис. 54. Привязка к близлежащему исходному пункту, расположенному на здании (передача координат пункта с вершины знака на землю)

ческого хода к такому пункту особой сложности не представляет. Сложнее обстоит дело, если на исходном пункте такой видимости с земли нет. При наличии наружного знака примычный угол β_i измеряется со столика сигнала, что нередко может внести значитель-

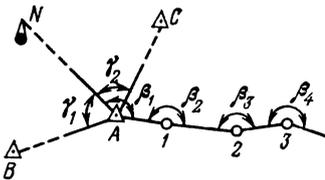


Рис. 55. Передача дирекционного угла на линии полигометрического хода через вспомогательное направление

ную ошибку в измеряемый угол за счет ошибки центрирования инструмента.

Поэтому для ослабления вредного влияния ошибки центрирования длины привязочных сторон хода должны быть близки к предельным. Если выполнить это условие нельзя, то примычный угол β_1 (рис. 55) на исходном пункте следует измерять через вспомогательное направление на хорошо видимый с земли предмет местности N (шпиль башни, труба завода, колокольня церкви и т. п.).

При отсутствии таких предметов наблюдения можно производить на специальную марку, установленную на расстоянии около 1 км от сигнала, на высоте от поверхности земли не менее 1,5 м. Угол наклона на марку не должен быть более 6° . На марке на белом фоне вычерчивают вертикальную черную полосу, ширина которой должна соответствовать примерно $1/3$ ширины биссектора нитей визирной трубы. Ширина белого фона должна быть не менее 40 см.

Установив теодолит на штатив над центром пункта, измеряют угол β_1 между направлением на местный предмет (марку) и направлением на последний пункт полигонометрии. Затем инструмент поднимают на столик сигнала и измеряют примычные углы γ_1 и γ_2 между направлениями на пункты триангуляции и местный предмет (марку). Хотя здесь привязка осуществляется посредством измерения

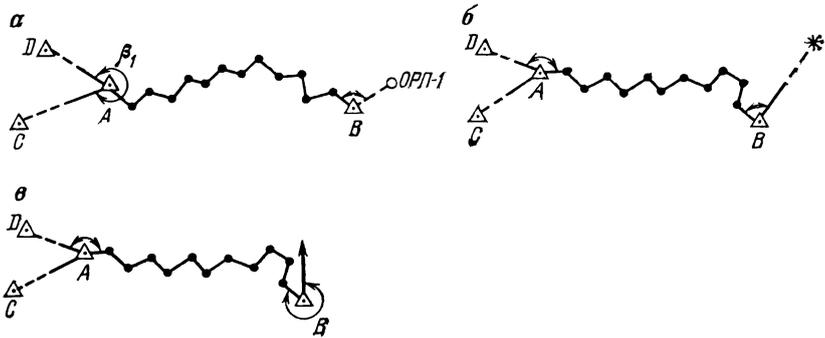


Рис. 56. Проложение полигонометрического хода, опирающегося на два исходных пункта, без угловой привязки на одном из них

двух углов γ и β , она значительно точнее привязки, когда примычный угол измеряется со столика сигнала непосредственно между направлением на пункт триангуляции и направлением на последний, близко расположенный пункт полигонометрии [19].

Контроль работ на исходном пункте осуществляется путем сравнения измеренных углов между направлениями на пункты триангу-

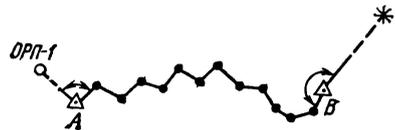


Рис. 57. Координатная привязка полигонометрического хода к исходным пунктам

ляции и углов, взятых из каталога. Расхождение их значений не должно быть более: в полигонометрии 4 класса — $6''$, 1 разряда — $10''$, 2 разряда — $20''$.

Если расхождения превышают указанные допуски, то определяется третье исходное направление, по которому производится соответствующий контроль.

В исключительных случаях, когда на одном исходном пункте нет видимости на смежные пункты геодезической сети, допускается примыкание к такому пункту хода полигонометрии без угловой привязки. В этом случае для контроля угловых измерений используются направления на ориентирные пункты государственной геодезической сети (рис. 56, а) или дирекционные углы примычных сторон, полученные из астрономических с точностью $5-7''$ (рис. 56, б) или гиротео-

долитных измерений с точностью 10—15" (рис. 56, в). Если на обоих исходных пунктах нет видимости на смежные пункты государственной геодезической сети, то допускается координатная привязка к таким пунктам без измерения примычных углов (рис. 57). В этом случае для контроля угловых измерений с целью выявления грубых ошибок используются дирекционные углы на ориентирные пункты или дирекционные углы, полученные из астрономических или гиротеодолитных измерений.

§ 23. Привязка полигонометрического хода к пунктам, расположенным на зданиях и сооружениях

Такой способ привязки возникает в том случае, когда исходный пункт расположен на крыше здания, что очень часто бывает в городских геодезических сетях.

При подходе полигонометрического хода к такому пункту возможны три случая привязки: а) исходный пункт недоступен для угловых и линейных измерений (шпиль башни, труба завода, колокольная церквы и т. п.), но имеется возможность подойти к нему на расстояние порядка 100—300 м (см. рис. 54, а); б) исходный пункт, к которому производится привязка, доступен для угловых измерений, но недоступен для линейных измерений (см. рис. 54, б); в) — исходный пункт доступен для выполнения угловых и линейных измерений.

В первом случае при привязке к пункту геодезической сети A возникает необходимость передать координаты этого пункта с вершины знака на землю в точку P . Другими словами, требуется определить координаты точки P , используя в качестве исходных пункты геодезической сети A и B . Для этого необходимо знать длину линии AP и ее дирекционный угол. Определение их значений производят путем построения на местности двух треугольников AP_1 и AP_2 , в которых измеряют стороны $P_1I=b_1$, $P_2I=b_2$ и по два угла на концах базисов — γ_1 , γ_2 и γ_3 , γ_4 . Пункт P выбирают с таким расчетом, чтобы с него был виден, кроме пункта A , еще один из близлежащих геодезических пунктов, например пункт B . Для контроля решения данной задачи необходимо иметь видимость еще на один пункт геодезической сети — пункт C .

Расстояние $AP=S$ определяют как неприступное из решения двух треугольников AP_1 и AP_2 по формулам

$$S = (b_1 \sin \gamma_1) / \sin \epsilon_1; \quad S = (b_2 \sin \gamma_2) / \sin \epsilon_2,$$

где b_1 и b_2 — непосредственно измеренные стороны треугольников.

При этом величины углов ϵ_1 и ϵ_2 находят как дополнение суммы измеренных углов в треугольниках до 180° , т. е.

$$\epsilon_1 = 180^\circ - (\gamma_1 + \gamma_2); \quad \epsilon_2 = 180^\circ - (\gamma_3 + \gamma_4).$$

Из полученных значений длины линии AP берут среднее. Затем вычисляют величину дирекционного угла (AB) линии AB и ее длину L по формулам

$$\operatorname{tg}(AB) = (y_B - y_A)/(x_B - x_A);$$

$$L = (y_B - y_A)/\sin(AB) = (x_B - x_A)/\cos(AB),$$

где x_A, y_A, x_B, y_B — координаты исходных пунктов геодезической сети A и B .

В случае если передача дирекционного угла на линию AP выполняется только по одному пункту B , то вычисление значения дирекционного угла линии AB обязательно должно быть проконтролировано по формуле

$$\operatorname{tg}[(AB) + 45^\circ] = (x_B + y_B - x_A - y_A)/(x_B + y_A - x_A - y_B).$$

Расхождение между результатами, полученными по основным и контрольным формулам, не должно быть более величин, обусловленных ошибками округлений.

Для вычисления дирекционного угла (AP) линии AP необходимо определить величины углов μ_1 и λ_1 . Их значения вычисляют из треугольника ABP по формулам

$$\sin \mu_1 = (S \sin \gamma)/L_1; \quad \lambda_1 = 180^\circ - (\gamma + \mu_1). \quad (61)$$

В таком же порядке из треугольника ACP вычисляют значения углов μ_2 и λ_2 :

$$\sin \mu_2 = [S \sin (\gamma_2 + \gamma_3)]/L_2;$$

$$\lambda_2 = 180^\circ - (\gamma_2 + \gamma_3 + \mu_2).$$

После этого дважды вычисляют дирекционный угол (AP), используя дирекционные углы (AB) и (AC) исходных направлений, по формулам

$$(AP) = (AB) + \lambda_1; \quad (AP) = (AC) - \lambda_2. \quad (62)$$

Из полученных значений дирекционного угла (AP) берется среднее. Знак «+» или «-» в формулах (62) устанавливают по схематическому чертежу, который необходим при решении данной задачи.

Зная длину линии $AP = S$ и дирекционный угол (AP), вычисляют координаты определяемой точки P по формулам

$$x_P = x_A \pm S \cos(AP); \quad y_P = y_A \pm S \sin(AP).$$

Контроль вычислений осуществляют в следующем порядке:

а) по координатам точки P и исходного пункта B вычисляют значение дирекционного угла (PB) и затем значение угла μ_1 по формулам

$$\operatorname{tg}(PB) = (y_B - y_P)/(x_B - x_P); \quad \mu_1 = (AB) - (PB); \quad (63)$$

б) сравнивают значения углов μ_1 , полученных по формулам (61) и (63).

Расхождение их значений должно находиться в пределах точности вычислений, т. е. не превышать 2—3 единиц последнего знака.

Для оценки точности определения координат точки P необходи-

мо располагать данными о точности измерения углов и линий в треугольниках AP_1 и AP_2 .

Средняя квадратическая ошибка измерения длин сторон светодальномером определяется по формуле (28), а средняя квадратическая ошибка стороны $AP = S$ вычисляется по формуле

$$m_S^2 = (m_{b_1} / b_1)^2 S^2 + [(\text{ctg } \gamma_1 + \text{ctg } \varepsilon_1)^2 + \text{ctg}^2 \varepsilon_1] S^2 (m_\gamma^2 / \rho^2),$$

где m_{b_1} / b_1 — относительная ошибка измерения стороны треугольника, m_γ — средняя квадратическая ошибка измерения углов в треугольниках, γ_1, ε_1 — углы треугольника.

Предельно допустимое расхождение между значениями длины S , полученными из двух треугольников, будет равно

$$(S_1 - S_2)_{\text{пред}} = 2 \sqrt{m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2},$$

а средняя квадратическая ошибка среднего значения длины $AP = S$ будет равна

$$M_S = \sqrt{m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2} / 2.$$

Средние квадратические ошибки дирекционного угла (AP), без учета ошибок пунктов A и B , могут быть приняты равными средней квадратической ошибке измерения углов на пункте P , т. е.

$$m_{(AP)} = m_\gamma = m_\eta. \quad (64)$$

Точная формула для $m_{(AP)}$ имеет вид

$$m_{(AP)_1}^2 = m_\eta^2 (1 + \text{tg } \mu_1 \text{ctg } \eta) + \rho^2 \text{tg}^2 \mu_1 (m_S / S)^2.$$

Предельно допустимое расхождение между значениями дирекционных углов (AP), полученными на пункты B и C , используя соотношение (64), будет равно

$$[(AP_1) - (AP_2)]_{\text{пред}} = 2\sqrt{2} m_\eta = 2,8 m_\eta,$$

а средняя квадратическая ошибка окончательного (среднего) значения (AP)

$$M_{(AP)} = m_\eta / \sqrt{2} = 0,71 m_\eta,$$

где m_η — средняя квадратическая ошибка измерения углов на пункте P .

И, наконец, вычисляют среднюю квадратическую ошибку положения пункта P по формуле

$$M_P^2 = M_S^2 + \frac{M_{(AP)}^2}{\rho} S^2.$$

Во втором случае величина примычного угла β измеряется непосредственно на пункте A , и задача передачи координат с

вершины пункта A на точку P сводится к определению неприступного расстояния $AP = S$. Как и в предыдущем случае, оно определяется из двух треугольников APP_0 и APP_1 . Зная длину линии AP и дирекционный угол (AP), вычисляют координаты точки P .

При привязке ходов полигонометрии 4 класса выполняют уравнивание результатов передачи (сносения) координат пунктов коррелятным способом. Для этого составляют условные уравнения фигур и базисов, вычисляют свободные члены и коэффициенты условных уравнений поправок. Решая нормальные уравнения, получают коррелаты k , значение которых используют для вычисления поправок v_i в измеренные величины. Далее вычисляют уравненные значения измеренных величин и окончательные координаты снесенного пункта.

Для сокращения объема вычислительных работ можно рекомендовать метод двухгруппового уравнивания с учетом базисного условия.

К первой группе относят уравнение поправок с коэффициентами $+1$ или -1 (условные уравнения фигур), ко второй группе — синусное условное уравнение (базисное).

Сначала в измеренные углы вводят первичные поправки, равные одной трети невязки соответствующего треугольника, взятой с обратным знаком. Затем по теореме синусов производится предварительное решение треугольников (с первично исправленными углами) и вычисление свободного члена базисного условного уравнения по формуле

$$\omega = \lg b_1 [(\sin I \sin \delta)/(\sin \beta \sin \delta)] - \lg b_2.$$

При выборе из таблиц логарифмов синусов углов выбирают и их изменения Δ на $1''$ (в единицах 6-го знака), которые являются коэффициентами (a) базисного условного уравнения.

Условное уравнение поправок будет иметь вид

$$\Delta_1 v_1 - \Delta_3 v_3 - \Delta_5 v_5 + \Delta_6 v_6 + \omega = 0.$$

Коэффициенты условных уравнений (a) выписывают в отдельную таблицу, в которой углы помещают в такой же последовательности, как при решении треугольников, и вычисляют коэффициенты преобразованного условного уравнения по формуле

$$A_i = (a)_i - (\Delta_1 + \Delta_3)/3$$

для первого треугольника и

$$A_i = (a)_i - (\Delta_5 + \Delta_6)/3$$

для второго треугольника.

После этого вычисляют коррелату k и вторичные поправки v'_i :

$$k = \omega/[AA]; \quad v'_i = A_i k.$$

При этом промежуточные углы вторичных поправок не получают, т. е. $v_2 = 0$, $v_4 = 0$.

Контролем вычислений служит равенство

$$[v' v''] = -k\omega.$$

Далее по вторично исправленным углам решают треугольники, вычисляют дирекционные углы и длины всех сторон, затем приращение координат и координаты всех точек, начиная с исходного пункта A и заканчивая им же.

Полное совпадение длин второго базиса b_2 , вычисленных и измеренных, а также координат пункта A , исходных и полученных из вычислений, является контролем правильности всех вычислений.

Уравнивание результатов снесения координат пунктов двухгрупповым методом с помощью таблиц натуральных значений тригонометрических функций и настольных ЭВМ выполняется в таком же порядке, как и с применением таблиц логарифмов. В этом случае свободный член условного базисного уравнения вычисляют по формуле

$$\omega = \left(\frac{\sin 1 \cdot \sin 6 \cdot b_1}{\sin 3 \cdot \sin 5 \cdot b_2} - 1 \right) 10^6 = \frac{b_{2(\text{выч})} - b_{2(\text{изм})}}{b_{2(\text{изм})}},$$

а коэффициенты уравнений поправок в единицах 6-го знака по формулам

$$\delta_i = [(\text{ctg } \beta_i) / \rho] 10^6; \quad \delta_{b_i} = 10^6 / b_i.$$

Условное уравнение поправок будет иметь вид

$$\{\delta_1(1) + \delta_6(6) + \delta_{b_1}(b_1)\} - \{\delta_3(3) + \delta_5(5) + \delta_{b_2}(b_2)\} + \omega = 0,$$

где (1) , (3) , ..., (b_1) , (b_2) — искомые поправки в углы и базисы; δ_i , δ_{b_i} — коэффициенты при искомым поправкам, выраженные в единицах 6-го знака.

Коэффициенты условного уравнения выписывают в отдельную таблицу, в которой значения углов помещают в такой же последовательности, как при решении треугольников, и вычисляют коэффициенты преобразованного условного уравнения A_i .

Для того чтобы получить поправки в базис в миллиметрах, надо при вычислении коэффициентов δ_{b_1} и δ_{b_2} брать длину базисов в миллиметрах. Точность снесения координат существенно зависит от формы треугольников $AP1$ и $AP2$. Поэтому для обеспечения большей точности передачи координат с пункта A на пункт P необходимо:

а) строить по возможности равносторонние вспомогательные треугольники $AP1$ и $AP2$, что обеспечит большую точность вычисления длины S . В условиях плотной городской застройки выполнить это требование очень трудно, а порой и невозможно. Поэтому при снесении координат на землю надо стремиться к тому, чтобы связующие углы были не менее 40° и длина стороны треугольника, через которую осуществляется передача дирекционного угла, была бы не меньше 200 м;

б) выбирать положение пункта P так, чтобы угол η был близок к прямому ($AP \perp BP$), тогда угол μ будет получен с большей точностью.

В третьем случае, когда пункт доступен как для угловых, так и для линейных измерений при помощи светодальномера,

привязка к нему может быть осуществлена в обычном порядке, как и в случае непосредственного примыкания хода к центру геодезического пункта. Но для этого необходимо обеспечить с достаточно высокой точностью вычисление горизонтального проложения линии, измеренной светодальномером.

При привязке к пунктам, расположенным на зданиях, горизонтальные проложения вычисляют, как правило, по измеренным вертикальным углам. Для этого используют формулу (50), которая учитывает несовмещение визирных лучей, имеющее место при измерении линий и вертикальных углов наклона (зенитных расстояний).

Выполненные расчеты по формуле (50) при $D = 250$ м, $z = 80^\circ$, $m_a = 5$ мм (что бывает, когда отражатель стоит под пирамидой) показывают, что при $m_a = m_z \leq 5''$ ошибка горизонтального проложения линии ничтожно мала и не превышает ± 2 мм. Для обеспечения такой точности m_a (m_z) измерение углов наклона (зенитных расстояний) следует выполнять теодолитом Т2 тремя приемами с учетом рекомендаций § 8 в периоды достаточно четких изображений визирных целей, исключая периоды, близкие (в пределах 1,5 ч) к восходу и заходу Солнца, и близполуденное время.

Высоту верха визирной цели и оси вращения прибора необходимо измерять рулеткой дважды с точностью до 5 мм.

§ 24. Определение и учет элементов приведения

В результате наблюдений пунктов полигонометрии должны быть получены значения направлений и длин линий, соединяющих центры пунктов. Это условие, в основном, выполняется только при измерении углов и линий по трехштативной системе. Но иногда возникает необходимость приведения измеренных углов и линий к центрам пунктов путем введения в измеренные величины поправок за внецентрированную установку прибора и за редукцию визирной цели (отражателя), называемых поправками за центрировку и редукцию.

Для вычисления этих поправок при измерении горизонтальных углов необходимо определить взаимное положение в одной горизонтальной плоскости проекции центра пункта C , вертикальной оси прибора I , оси визирного цилиндра V и их ориентировку относительно линий ходов полигонометрии, а затем измерить угловые (θ и θ_1) и линейные (l и l_1) элементы приведения (рис. 58). Зная их значения, можно вычислить поправки за центрировку и редукцию.

Элементы приведения обычно определяют графическим способом, если линейные элементы l и l_1 соответствуют размерам центрировоч-

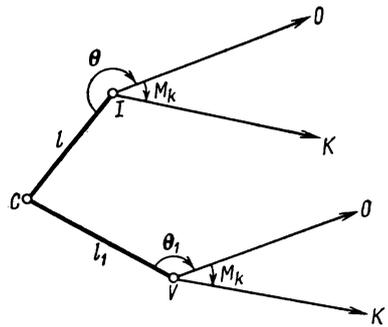


Рис. 58. Элементы центрировки и редукции на геодезическом пункте

ного столика. Сущность этого способа заключается в том, что центр пункта C , точку стояния прибора I и ось симметрии визирного цилиндра V проектируют при помощи малого теодолита (обычно Т30) на лист бумаги, который называют центрировочным листом.

Центрировочный лист укрепляют на специальном центрировочном столике или мензуге, устанавливаемых над центром знака, ориентируя его при помощи буссоли по линии север — юг.

Проектирование выполняют с трех установок теодолита при двух положениях вертикального круга так, чтобы проектирующие плоскости пересекались под углом 120° . Получаем проекции искомых точек C , I и V . Нередко вместо пересечения проектирующих плоскостей в одной точке образуются треугольники погрешностей. Размеры сторон их не должны превышать 5 мм для центра пункта C и оси прибора I и 10 мм для проекции оси визирной цели V [12]. При соблюдении этого условия в каждом из треугольников погрешностей намечают его центр, который принимается за проекцию соответствующей точки.

Для ориентирования элементов приведения из точек I и V на центрировочном листе при помощи визирной линейки прочерчивают направления на два видимых пункта полигонометрии (триангуляции). Контроль правильности прочерчивания направлений на геодезические пункты осуществляют путем сравнения значения угла, измеренного теодолитом, с углом, определенным графически на центрировочном листе. Допустимые расхождения этих углов устанавливаются в зависимости от величины линейных элементов приведения l и l_1 . Согласно [12] расхождение углов не должно превышать 2° при $l < 10$ см, 1° при $l = 10$ см и $0,5^\circ$ при $l > 20$ см.

Линейные элементы l и l_1 измеряют линейкой на центрировочном листе с точностью до 1 мм между проекцией центра пункта C и проекциями оси прибора I (l) и визирной цели V (l_1) соответственно. Угловые элементы θ и θ_1 измеряют при помощи транспортира с точностью $15'$ при проекции оси прибора I (θ) и оси визирной цели V (θ_1) от направления на центр пункта C по ходу часовой стрелки до двух прочерченных на пункты направлений A и B .

Окончательные значения θ и θ_1 берутся как среднее из двух измерений, приведенное к начальному направлению,

$$\theta_{\text{ср}} = [\theta_A + (\theta_B - M_{AB})]/2; \quad \theta_{1\text{ср}} = [\theta_{1A} + (\theta_{1B} - M_{AB})]/2,$$

где M_{AB} — измеренный теодолитом угол между направлениями A и B , прочерченными на центрировочном листе.

Определение элементов приведения выполняет сам наблюдатель дважды, на двух сторонах центрировочного листа, непосредственно перед наблюдениями на пункте и сразу после их окончания.

Дополнительные определения элементов редукции на пункте производят и в тех случаях, когда возникают сомнения в неподвижности визирной цели.

Изменение положения проекции оси прибора I или визирной цели V относительно проекции центра C по данным повторного определе-

а затем искомые значения элементов приведения

$$L = \sqrt{(y_C - y_I)^2 + (x_C - x_I)^2} = (y_C - y_I) / \sin \alpha_{IC} = \\ = (x_C - x_I) / \cos \alpha_{IC}; \\ \theta = \alpha_{IB} - \alpha_{IC}.$$

Таким же способом определяют элементы редукции l_1 и θ_1 , если проекции центра пункта и визирной цели не совпадают. Для контроля

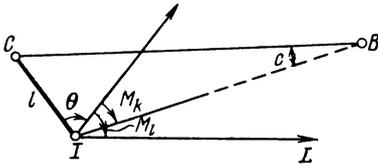


Рис. 60. Элементы центрировки

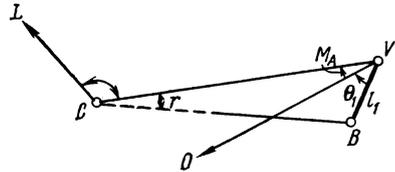


Рис. 61. Элементы редукции

измеряют еще один базис и каждый из элементов приведения вычисляют дважды.

Для вывода формул поправок за центрировку и редукцию в угловых измерениях обратимся к рис. 60 и 61. На рис. 60 показаны центр пункта C , проекция оси прибора I и направление на смежный пункт полигонометрии B . Вследствие ошибки за центрировку при наблюдениях на пункте C в измеренный угол M_B должна быть введена поправка за центрировку c . Значение ее находим из решения треугольника CIB . Применяя теорему синусов, можно записать

$$\sin c = \frac{l}{S} \sin (M + \theta)$$

или, учитывая малость угла c и выражая его в секундах дуги, получим

$$c = \frac{l \sin (M + \theta)}{S} \rho. \quad (65)$$

Здесь ρ и c выражены в секундах.

Если на пункте B (см. рис. 61) проекции оси симметрии визирного цилиндра, на который производятся наблюдения с пункта C , не совпадает с центром пункта B , то отнаблюдаемое с пункта C направление CV , наблюдаемое с пункта C , должно быть приведено к центру пункта B путем введения в угол OCV поправки за редукцию r . Значение ее находим из треугольника CVB . Применяя теорему синусов, получаем

$$\sin r = \frac{l_1}{S} \sin (M + \theta_1)$$

или, с учетом малости угла r ,

$$r = \frac{l_1 \sin(M + \theta_1)}{S} \rho. \quad (66)$$

В приведенных формулах c и r — поправки направлений за центрировку и редукцию, выраженные в секундах, l и l_1 — линейные элементы центрировки и редукции, θ и θ_1 — угловые элементы центрировки и редукции, M — измеренное направление, для которого вычисляется поправка за центрировку (измеренное направление на пункт, для направления с которого вычисляется поправка за редукцию), S — расстояние между пунктами, $\rho = 1/\sin 1'' = 206\,265''$.

При принятом правиле отсчета углов θ и θ_1 поправки c и r всегда алгебраически суммируются с измеренными направлениями.

Поправка c за центрировку вводится в направления, измеренные на том пункте, где были определены элементы приведения. Поправка за редукцию r вводится в направления, измеренные на других пунктах и идущие на тот пункт, на котором определялись элементы редукции.

Рассчитаем, с какой точностью необходимо определять элементы приведения l и θ , чтобы ошибки в направление не превышали 0,1 его средней квадратической ошибки, т. е. $m_c \leq 0,1 m_{\text{напр}}$. Для этого продифференцируем формулу (65) сначала по l , а затем по θ и, переходя к средним квадратическим ошибкам, получим

$$m_c = \rho \frac{\sin(M + \theta) m_l}{S}; \quad m_c = \frac{L \cos(M + \theta) m_\theta}{S}. \quad (67)$$

Из первой формулы видно, что величина m_c будет максимальной при $\sin(M + \theta) = 1$, т. е. когда $M + \theta = 90^\circ$ или 270° . Принимая $M + \theta = 90^\circ$, получим

$$m_l = [(m_c)_{\text{max}} S]/\rho. \quad (68)$$

Если взять для примера полигонометрию 4 класса, в которой $m_{\text{напр}} = 3,0''/\sqrt{2} = 1,7''$; $m_c \leq 0,2''$; $S = 500$ м, и подставить эти величины в формулу (68), то получим $m_l = 0,5$ мм.

Обеспечить такую точность определения центрировки при наблюдениях с сигнала практически невозможно. Поэтому при рекогносцировке ходов полигонометрии следует намечать привязочные стороны предельной длины, а азимутальную привязку к стороне триангуляции осуществлять через вспомогательное направление на достаточно удаленный и хорошо видимый предмет, выполняя наблюдения с центра пункта, а не со столика сигнала.

Анализ формулы (67) показывает, что m_c будет максимальной при $M + \theta = 0$ или 180° , тогда

$$m_\theta = (m_c)_{\text{max}} S/l.$$

Принимая, как и в предыдущих расчетах, $m_{\text{напр}} = 1,7''$, $m_c \leq 0,2''$ и $S = 500$ м, получим

$$m_\theta = 100/l, \quad (69)$$

Значения требуемой точности определения углового элемента цент-

рировки в зависимости от величины линейного элемента l , вычисленные по формуле (69):

l , м	0,1	0,2	0,4	0,6—1,0	1,0—2,0
m_θ , мин	17	8	4	2	1

Отсюда следует, что при размере линейного элемента центрировки более чем 0,1 м измерить угловой элемент графически при помощи транспортира с требуемой точностью нельзя.

В то же время нельзя его измерить и при помощи теодолита, так как не позволяет фокусировка визирной трубы прибора. В таких

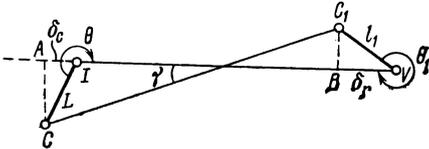


Рис. 62. Элементы центрировки и редукции при линейных измерениях

случаях линейный элемент центрировки следует удлинять до 2,5—3,0 м и измерения направлений производить внецентренным способом, измеряя линейный элемент центрировки при помощи рулетки, а угловой — при помощи теодолита 30"-ной точности.

При измерении линий светодальномерами элементы приведения определяют таким же образом, как и при угловых измерениях.

В случае графического определения поправок из проекции центра S надо опустить перпендикуляр на направление измеряемой линии. Отрезки AI и BV (рис. 62) будут искомыми поправками (I , V — точки стояния дальномера и отражателя). Знак поправки необходимо определить по чертежу. Он будет отрицательным, если проекция линейного элемента лежит на линии, соединяющей точки I и V , и положительным в остальных случаях.

Вычисление поправок производят по формулам, которые нетрудно получить на основании рис. 62. Если пренебречь разностью длин линий CC_1 и AB вследствие малого угла γ между ними, то из решения прямоугольных треугольников ICA и VC_1B получим

$$\delta_c = -l \cos \theta; \quad \delta_r = -l_1 \cos \theta_1, \quad (70)$$

где l и l_1 — линейные элементы центрировки и редукции, θ и θ_1 — угловые элементы центрировки и редукции.

При внецентренном измерении линий, когда величина линейных элементов приведения больше 1 м, пренебрегать разностью длин CC_1 и AB нельзя. Поэтому в таких случаях вычисление поправок осуществляют по следующим формулам:

$$\delta_c = -l \cos \theta + (2l^2 \sin^2 \theta)/(D - l \cos \theta); \quad \delta_r = -l_1 \cos \theta_1 + (2l_1^2 \sin^2 \theta_1)/(D - l_1 \cos \theta_1), \quad (71)$$

где D — измеренная длина линии.

Если с пункта измерено несколько линий, направления которых у дальномера и отражателя соответственно равны M и M_1 , а угловые элементы приведения даны только для начального направления, то в формулах (70) и (71) вместо θ и θ_1 необходимо поставить $(M + \theta)$ и $(M_1 + \theta_1)$.

ГЛАВА 6

ПОЛИГОНОМЕТРИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИРОТЕОДОЛИТОВ

§ 25. Особенности и точность азимутальных полигонометрических ходов

Гироскопический метод азимутальных определений имеет ряд достоинств (не зависит от условий погоды, времени года и суток, плотности геодезической сети и т. п.), но в полигонометрии используется пока ограниченно. Вместе с тем благодаря исследованиям, совершенствованиям методики измерений и разработке новых приборов точность гироскопического ориентирования к настоящему времени достигла 2—5". Есть основания предполагать, что в ближайшем будущем возможно существенное сокращение времени при определении азимута гиротеодолитом. Это позволит шире применять гироскопическое ориентирование в полигонометрии и по-новому строить ее сети, заменив в них угловые измерения азимутальными, что в сочетании с высоко эффективными светодальномерными измерениями даст определенные экономические преимущества.

Рассмотрим, как распределяются ошибки в несвободных полигонометрических ходах с независимо измеренными азимутами сторон (назовем их далее «азимутальными») и установим преимущества таких построений перед угломерными ходами.

Запишем условные уравнения азимутального хода, принимая координаты опорных пунктов безошибочными [30].

$$[\cos \alpha \cdot dS] - [\Delta y \, dx]/\rho + f_x = 0; \quad [\sin \alpha \, dS] + [\Delta x \, dx]/\rho + f_y = 0,$$

где S и α — длины сторон хода и их дирекционные углы; Δx , Δy и f_x , f_y — соответственно приращения и невязки по осям координат; $\rho = 206\,265''$.

Переходя к средним квадратическим ошибкам, будем иметь

$$m_x^2 = [m_S^2 \cos^2 \alpha] + (m_\alpha^2/\rho^2) [\Delta y^2]; \quad m_y^2 = [m_S^2 \sin^2 \alpha] + (m_\alpha^2/\rho^2) [\Delta x^2]. \quad (72)$$

Суммируя выражения (72), получим

$$M^2 = [m_S^2] + (m_\alpha^2/\rho^2) [\Delta y^2 + \Delta x^2]. \quad (73)$$

Выражения (72) и (73) являются формулами для предвычисления невязок азимутальных ходов. Если допустить равенство сторон хода, то из (73) получим более простую формулу средней квадратической невязки для равностороннего хода:

$$M^2 = n [m_S^2 + (m_a^2/\rho^2) S^2]. \quad (74)$$

Проверка формул (72), (73) и (74) показала их справедливость и соответствие азимутальным полигонометрическим ходам произвольной формы.

При строгом уравнивании полигонометрии вычислим ошибки положения пунктов азимутального хода по известной формуле весовой функции

$$m_F^2 = \mu^2/P_F = [\pi FF] - [\pi AF]^2/[\pi AA] - [\pi BE.1]^2/[\pi BB.1], \quad (75)$$

принимая среднюю квадратическую ошибку единицы веса $\mu = 1$ и веса измеренных величин

$$1/P_a = \pi_a = m_a^2 \text{ и } 1/P_S = \pi_S = m_S^2.$$

Поскольку в азимутальном полигонометрическом ходе только два условных уравнения, то коэффициент нормальных уравнений и весовой функции при измерении сторон хода светодальномером целесообразно определить по формулам:

$$\begin{aligned} [\pi AA] &= [S^3 \sin^2 \alpha] (m_a^2/\rho^2) + [\cos^2 \alpha] m_S^2; \\ [\pi BB] &= [S^2 \cos^2 \alpha] (m_a^2/\rho^2) + [\sin^2 \alpha] m_S^2; \end{aligned} \quad (76)$$

$$[\pi AB] = - [S^2 \sin \alpha \cos \alpha] (m_a^2/\rho^2) + [\cos \alpha \cdot \sin \alpha] m_S^2;$$

$$[\pi FF] = [\pi AF]_x = [S^2 \sin^2 \alpha]_1^K (m_a^2/\rho^2) + [\cos^2 \alpha]_1^K m_S^2;$$

$$[\pi BF] = [\pi AF]_y = - [S^2 \sin \alpha \cos \alpha]_1^K (m_a^2/\rho^2) + [\sin \alpha \cos \alpha]_1^K m_S^2; \quad (77)$$

$$[\pi FF] = [\pi BF]_y = [S^2 \cos^2 \alpha]_1^K (m_a^2/\rho^2) + [\sin^2 \alpha]_1^K m_S^2.$$

Индексы x и y указывают, что формулы (77) служат для определения ошибок абсциссы или ординаты $(K + 1)$ -го пункта хода.

Для вытянутого и равностороннего азимутального хода выражения (76) и (77) значительно упрощаются, и суммарная ошибка $m^2 = m_{F_x}^2 + m_{F_y}^2$ положения $(K + 1)$ -го пункта хода после уравнивания может быть рассчитана по более удобной формуле

$$m^2 = [K(n - K)/n] [m_S^2 + S^2 (m_a^2/\rho^2)]. \quad (78)$$

Как будет видно ниже, эта формула пригодна для предвычисления точности равносторонних азимутальных ходов произвольной формы. При неравенстве сторон хода формула (78) примет вид

$$m^2 = \frac{K(n - K)}{n} m_S^2 + \frac{[S^2]_{K+1}^n}{[S^2]_1^n} [S^2]_1^K (m_a^2/\rho^2). \quad (79)$$

Используя выражения (75), (76) и (77), были предвычислены ошибки положения пунктов восьми типов азимутальных полигоно-

метрических ходов и сравнены с аналогичными ошибками эквивалентных по форме и точности линейных измерений угломерных ходов. Исследуемые ходы имели постоянные величины $[S]$, n , m_S , m_β и различались по геометрической форме: от прямолинейного хода до замкнутого.

Сравнение точности азимутальных ходов и угломерных происходило при разных соотношениях Q влияния погрешностей угловых и линейных измерений на положение конечной точки угломерного хода: от $Q = 1$, соответствующего измерениям преимущественно в траверсной полигонометрии, до $Q = 5$ при измерении сторон полигонометрии современными светодальномерами.

Полученные результаты для равносторонних и неравносторонних ходов частично проиллюстрированы в табл. 17, где приведены ошиб-

ТАБЛИЦА 17

Сравнение точности азимутальных и угломерных ходов

Тип хода	m''_α	$m_{сл}^y$, см	M_y , см	$m_{сл}^a$, см	M_a , см	$m_{сл}^a/m_{сл}^y$	$M^y/m_{сл}^y$	$M_a/m_{сл}^a$
Равносторонние ходы								
$[S] = 10$ км; $n = 10$; $m_\beta = 2''$; $m_S = 0,6$ см; $Q = 5$								
1	2	2,8	10,4	1,8	3,6	0,6	3,7	2,0
	6,7	—	—	5,2	10,4	1,8	—	2,0
3	2	1,9	8,3	1,8	3,6	0,9	4,4	2,0
	6,7	—	—	5,2	10,4	2,7	—	2,0
8	5,3	—	—	4,2	8,3	2,2	—	2,0
	2	2,3	5,0	1,8	3,6	0,8	2,2	2,0
	6,7	—	—	5,2	10,4	2,3	—	2,0
	3	—	—	2,5	5,0	1,1	—	2,0
$[S] = 1,2$ км; $n = 12$; $m_\beta = 10''$; $m_S = 2,3$ см; $Q = 1$								
1	10	4,3	10,4	4,2	8,2	1,0	2,4	2,0
	38,5	—	—	5,2	10,4	1,2	—	2,0
3	10	4,2	9,6	4,2	8,2	1,0	2,3	2,0
	38,5	—	—	5,2	10,4	1,2	—	2,0
8	30,6	—	—	4,8	9,6	1,1	—	2,0
	10	4,5	8,8	4,2	8,2	0,9	2,0	2,0
	38,5	—	—	5,2	10,4	1,1	—	2,0
	20,4	—	—	4,4	8,8	1,0	—	2,0
Неравносторонние ходы								
$[S] = 14,2$ км; $n = 18$; $m_\beta = 2''$; $m_S = (5 + 4 \cdot 10^{-6})$ мм; $Q = 5$								
1	2	5,2	18,0	2,5	5,1	0,5	3,4	2,0
	9,6	—	—	9,0	18,0	1,7	—	2,0
4	2	4,0	15,2	2,5	5,1	0,6	3,8	2,0
	9,6	—	—	9,0	18,0	2,2	—	2,0
8	8,0	—	—	7,2	15,2	1,8	—	2,1
	2	5,2	9,8	2,6	5,1	0,5	1,9	2,0
	9,6	—	—	9,0	18,0	1,7	—	2,0
	5,0	—	—	4,9	9,8	0,9	—	2,0

ки положения лишь наиболее слабых пунктов ходов — $m_{\text{сл}}$. Их величины для каждого азимутального хода получены при условиях: 1) $m_a = m_3$; 2) $m_a \neq m_3$, но $M_a = M_y^*$ в прямолинейном ходе и постоянна для ходов остальных форм; 3) $m_a \neq m_3$, но $M_a = M_y$ в каждой паре сравниваемых азимутального и угломерного ходов.

Анализ табличных данных позволяет сделать следующие выводы. Азимутальный полигонометрический ход становится точнее угломерного, если $m_a = m_3$, так как при соблюдении данного условия ошибка наиболее слабого пункта азимутального хода меньше, чем в угломерном. Это преимущество особо заметно, если линейные измерения в сравниваемых ходах выполнены светодальномером (см. табл. 17 при $Q = 5$); ошибки положения наиболее слабых пунктов азимутальных ходов $m_{\text{сл}}$ независимо от их формы, числа и неравенства сторон вдвое меньше величины M_a . Для угломерных же ходов отношение $M_y/m_{\text{сл}}^y$ непостоянно и изменяется от 1,9 до 4,5. Отметим, что по исследованиям проф. В. Г. Конусова [17] эти границы могут быть от 1,4 до 6,3.

Точность азимутального полигонометрического хода не зависит от его формы. При $m_a = \text{const}$ и прочих равных условиях предвычисленные значения $m_{\text{сл}}^a$ и M_a остаются одинаковыми для азимутальных ходов любой формы, в то время как в угломерных ходах форма существенно влияет на их точность.

Данное и предыдущее отличия азимутальных полигонометрических ходов от угломерных значительно упрощает их проектирование. Формулы (72)—(74), (78), (79), можно применять для предвычисления точности азимутальных ходов произвольной формы.

Возможно увеличение длины азимутального полигонометрического хода по сравнению с эквивалентным угломерным при достижении равенства $m_{\text{сл}}^a = m_{\text{сл}}^y$. Разумеется, эффект может быть получен, если по расчетам $m_{\text{сл}}^a/m_{\text{сл}}^y$ значительно меньше 1. Например, для прямолинейного азимутального хода (см. табл. 17), где имеется возможность наибольшего его удлинения, при сравнении с угломерным ($Q = 5$), $m_{\text{сл}}^a = 1,8$ см, $m_{\text{сл}}^y = 2,8$ см. Допуская $m_{\text{сл}}^a = m_{\text{сл}}^y = 2,8$ см и учитывая, что $M_a = 2m_{\text{сл}}^a$ и $S = 1$ км, на основании формулы (74) получим $n = 24$. Следовательно, в данном случае азимутальный ход может иметь периметр $[S] = 24$ км, т. е. в 2,4 раза длиннее, чем эквивалентный угломерный ход. Однако в случае, когда $Q = 1$, удлинять азимутальный ход нельзя, так как $m_{\text{сл}}^a = m_{\text{сл}}^y$. Заметим, что некоторые авторы необоснованно считают возможным увеличить длину азимутального хода в 10 раз и более путем достижения равенства $M_a = M_y$.

Анализ распределения ошибок положения пунктов азимутального хода показал, что при равенстве его сторон наиболее слабым мес-

* Индекс «а» относится к азимутальным, а «у» к угломерным ходам. Номера ходов соответствуют классификации геометрических форм в [17]. Ход № 1 — прямолинейный, № 3 — изогнутый с одним изломом, № 4 — изогнутый с двумя изломами и № 8 — замкнутый.

том является середина хода. В других случаях слабое место значительно отклоняется от середины.

Проложение при помощи гиротеодолитов полигонометрических ходов с определением прямых и обратных азимутов сторон позволит значительно ослабить влияние горизонтальной рефракции в городской полигонометрии. Есть основания полагать, что с появлением высокопроизводительных гиротеодолитов внедрение гироскопического ориентирования в полигонометрию станет целесообразным и эффективным. Именно гироскопическая полигонометрия может обеспечить прогресс угловых измерений в городской полигонометрии.

§ 26. Методика гироскопических определений в полигонометрии

Измерение азимутов сторон полигонометрии можно выполнять гиротеодолитами. По типу гироскопического ориентирования гиротеодолиты делятся на роторные и безроторные. В настоящее время широко применяются роторные приборы, в которых функцию ротора выполняет гиromотор, подвешенный на металлической ленточке-торсионе с малой площадью поперечного сечения прямоугольной формы ($0,5 \times 0,05$ мм). Эти приборы отличаются избирательностью к направлению меридиана. Данное свойство гиротеодолитов проявляется в том, что главная ось гироскопа, независимо от первоначального положения, стремится совместиться с плоскостью меридиана, совершая при этом гармонические колебания. Положение динамического равновесия гармонических колебаний находится в плоскости меридиана.

Современный гиротеодолит является сложным оптико-механическим и электронным прибором, в комплект которого входит угломерная часть — оптический теодолит, гироблок, состоящий из чувствительного элемента (ЧЭ) с гиromотором, блок питания, аккумуляторная батарея, специальный массивный штатив и т. п.

Точность гиротеодолита существенно зависит от качества работы гиromотора. Последний является трехфазным двигателем, работающим в вакуумной гироскопической камере (для ослабления температурной разбалансировки ротора).

По точности определения азимутов гиротеодолиты делят на пять классов точности в соответствии с классификацией, принятой в Венгрии. Геодезическое производство в СССР, в основном, обеспечивает гиротеодолитами венгерского предприятия МОМ.

Класс точности прибора обозначается буквой латинского алфавита в шифре прибора. Согласно венгерской классификации гиротеодолиты подразделяют на высокоточные (литер А), обеспечивающие определение азимута одним пуском (одним приемом измерений) со средней квадратической ошибкой менее $5''$, точные (литер В) — $20''$, средней точности (литер С) — $40''$, малоточные (литер Д) — $1'$ и низкой точности (литер Е) — $3'$.

Производство гиротеодолитов различной точности ведется в ряде стран мира. Для азимутальных определений в полигонометрии нужны точные и высокоточные гиротеодолиты. С 1962 г. предприятие

МОО выпускало гиротеодолит Gi-B1 с ручным слежением за движением ЧЭ, разработанный советскими и венгерскими специалистами. Впоследствии на его базе был разработан прибор Gi-B2, рассчитанный на точность определения азимута из одного пуска в 10—15". В 1973 г. был создан гиротеодолит Gi-B21, точность которого близка к 5". В основу этого прибора был положен временной принцип определения моментов равновесия ЧЭ. В настоящее время предприятие МОМ серийно выпускает усовершенствованный гиротеодолит Gi-B3.

Естественно, что, усложняя программу измерений, увеличивая число пусков и улучшая учет постоянной поправки гиротеодолита, можно добиться большей точности гироскопических определений, довести ее до 2—5".

Для городской полигонометрии такая точность является достаточной, но широкое применение гироскопического ориентирования сдерживается еще большой трудоемкостью азимутальных определений по сравнению с угловыми измерениями.

Азимутальные определения выполняют гиротеодолитом, имеющим визуальный съем показателей. Положение динамического равновесия ЧЭ в пуске определяют по измеренным амплитудам колебаний — способ точек реверсии. Применяются также амплитудные способы и способ прохождений, являющиеся видоизменением способа точек реверсии.

Способ точек реверсии отличается простотой и точностью. Для определения отсчета N_0 положения динамического равновесия ЧЭ наблюдают крайние (реверсионные) точки его азимутальных колебаний в пуске.

Азимут $a_{гир}$ направления на визирную цель, измеренный гиротеодолитом, вычисляют по формуле

$$a_{гир} = M - N_0,$$

где M — отсчет по горизонтальному кругу при визировании трубы гиротеодолита на марку. Значение N_0 определяют из выражения

$$N_0 = N_{ср} + \Delta N,$$

где

$$N_{ср} = (N_1 + N_2)/2; \quad N_1 = \left(\frac{n_1 + n_2}{2} + \frac{n_2 + n_3}{n} \right)/2;$$

$$N_2 = \left(\frac{n_2 + n_3}{2} + \frac{n_3 + n_4}{2} \right)/2,$$

а поправка ΔN за нуль-пункт равна

$$\Delta N = A_0 \cdot c.$$

Здесь n_i — отсчеты в точках реверсии, c — широтный коэффициент, A_0 — величина, определяемая из наблюдений точек реверсии свободных колебаний ЧЭ по отсчетам a_i ,

$$A_0 = (A_1 + A_2)/2;$$

$$A_1 = \left(\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{a_2 + a_3}{2} \right) / 2;$$

$$A_2 = \left(\frac{a_2 + a_3}{2} + \frac{a_3 + a_4}{2} \right).$$

Астрономический азимут на земной предмет вычисляют по формуле

$$A = a_{\text{гир}} + \Delta,$$

где Δ — постоянная приборная поправка гиротеодолита.

Для перехода к геодезическому азимуту $A_{\text{г}}$ и дирекционному углу α применяют формулы

$$A_{\text{г}} = a_{\text{гир}} + \Delta + \delta A; \quad \alpha = a_{\text{гир}} + \Delta + \delta A - \gamma + \delta,$$

где δA — поправка Лапласа за уклонение отвесных линий, γ — сближение меридианов в точке наблюдений, δ — поправка за приведение ориентирного направления на плоскость в проекции Гаусса. Для сторон полигонометрии менее 1 км поправкой δ можно пренебречь.

Сближение меридианов подсчитывают по формуле

$$\gamma = \delta \lambda \sin \varphi,$$

где $\delta \lambda$ — разность долгот точки стояния и осевого меридиана, φ — широта пункта наблюдений.

Поправку ΔA можно получить по схемам уклонений отвеса на район работ. Постоянную поправку Δ определяют по результатам эталонирования до начала и после окончания работ на линии, дирекционный угол которой известен с точностью 1—2", по формуле

$$\Delta = \alpha_{\text{исх}} - a_{\text{гир}} - \delta A + \gamma.$$

Для ослабления действия систематических ошибок целесообразно эталонирование гиротеодолита проводить не менее чем в две видимости и в разное время суток при близких температурных режимах работы прибора на эталонном и определяемых направлениях. Интервалы между пусками должны быть такими же, как при ориентировании направлений. Повторное эталонирование для приборов Gi-B рекомендуется проводить при наработке в 50 пусков; при отклонении рабочих температур от температуры эталонирования более чем на 25°C; после трехмесячного хранения прибора; после длительной транспортировки (500 км по бездорожью или 3 тыс. км по шоссе) и т. п.

Для учета нестабильности поправки Δ и для повышения точности гироскопического ориентирования целесообразно интерполировать ее на момент наблюдений по числу отработанных пусков.

Программа наблюдений по способу точек реверсии включает предварительный разгон и торможение гиromотора для прогрева ЧЭ; предварительное определение положения нуль-пункта по трем точкам реверсии и его исправление; разгон гиromотора и наблюдение

определяемых направлений установленным числом приемов; последовательное наблюдение четырех точек реверсии прецессионных колебаний ЧЭ; торможение гиromотора и повторное наблюдение определяемых направлений; определение положения нуль-пункта на отсчете $N_{\text{ср}}$ по четырем последовательным точкам реверсии свободных колебаний ЧЭ.

Записи и обработка результатов наблюдений ведутся в журнале установленной формы (см. [7]). При работе на пункте прибор необходимо защищать от ветра и солнечных лучей.

Поверку и исследование гиротеодолита надо выполнять в соответствии с руководством по его эксплуатации.

Для получения дирекционного угла стороны полигонометрии со средней квадратической ошибкой не более $5''$ необходимо соблюдать следующие допуски: $N_1 - N_2 \leq 15''$; $A_1 - A_2 \leq 1,5$ деления; $A_0 \leq 3$ деления; значение двойной коллимационной ошибки должно быть меньше $20''$, а ее колебание — не более $6''$; колебание отсчетов на визирную цель в начале и конце программы измерений не должно превышать $6''$; колебание значения между приемами должно быть не более $10''$.

При гироскопическом ориентировании сторон полигонометрии целесообразно выполнять до четырех пусков.

ГЛАВА 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ПУНКТОВ ГОРОДСКОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ

§ 27. Общие положения

Создаваемые на территории городов и поселков городского типа полигонометрические сети служат не только геодезическим обоснованием для топографических съемок в масштабах $1:5000$ и мельче, но и для обеспечения потребностей городского хозяйства и строительства, а также для решения других инженерных задач.

Поэтому для всех закрепленных на местности пунктов полигонометрии нужно иметь не только координаты, но и высоты над уровнем моря в принятой для города системе высот. Высоты пунктов нужны и для математической обработки результатов линейных измерений. Высоты определяют, как правило, геометрическим нивелированием, ходы которого прокладывают вдоль ходов городской полигонометрии.

Так как центры полигонометрии типа 5 г. р. и 6 г. р. не могут служить постоянными нивелирными знаками, то в дополнение к ним в процессе нивелирования не реже чем через $200-300$ м закладывают стенные реперы, а на окраинах и в слабо застроенной части городов через $0,5-2,0$ км закладывают центры типа 1 г. р., 2 г. р., 3 г. р., 4 г. р. [15].

Стенные реперы можно включать в нивелирный ход не меньше чем через трое суток после их закладки, а грунтовые реперы — не раньше чем через 10 дней после засыпки котлована [14].

Как уже отмечалось ранее, геометрическое нивелирование прокладывают по ходам полигонометрии. Поэтому схема нивелирной сети в основном зависит от схемы полигонометрической сети с соответствующими длинами ходов и полигонов.

Нивелирные сети городов и промышленных объектов должны быть обязательно привязаны не менее чем к двум знакам государственной нивелирной сети высшего класса.

Если в районе работ нет знаков государственного нивелирования, то для получения исходных данных прокладывают специальный нивелирный ход, который связывает местную сеть с государственной.

Если высоты знаков государственного нивелирования, принятые за исходные для городской нивелирной сети, вследствие нового уравнивания или по другим причинам получили другие значения высот, то начало счета высот в городе не изменяют. Подобным образом поступают, когда проводят реконструкцию нивелирной сети города, поэтому необходимо уделять особое внимание выбору исходных знаков и тщательно следить за их сохранностью.

Исходные знаки должны закладываться в капитальные здания и сооружения, устойчивость которых гарантируется на многие годы.

§ 28. Геометрическое нивелирование пунктов городской полигонометрической сети

Согласно требованиям Инструкции [15], на все закрепленные пункты полигонометрических ходов должны быть переданы отметки нивелированием IV класса или техническим нивелированием.

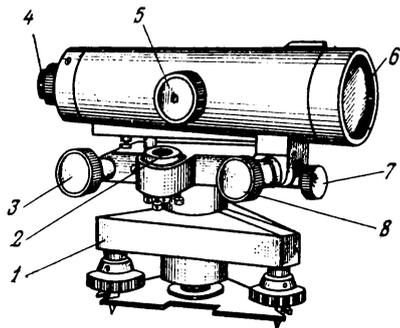


Рис. 63. Нивелир Н-3:

1 — подставка, 2 — круглый уровень, 3 — элевационный винт, 4 — окуляр зрительной трубы, 5 — фокусирующая головка, 6 — объектив зрительной трубы, 7 — зажимной винт, 8 — наводящий винт

В соответствии с ГОСТ 10528—76 для нивелирования IV класса рекомендуются точные нивелиры Н-3 (рис. 63, 64) и Н-ЗК (рис. 65), которые позволяют определять превышения со средней квадратической ошибкой не более 3 мм на 1 км двойного хода. Кроме того, для нивелирования IV класса могут использоваться нивелиры НВ-1, нивелиры с компенсатором НС-3, 4 и зарубежные — Ni-B3, 4, 5, 6 завода МОМ (ВНР) и Ni-025 Народного предприятия «К. Цейсс,

Иена» (ГДР). Основные характеристики нивелиров приведены в табл. 18.

ТАБЛИЦА 18

Основные метрологические и технические характеристики нивелиров

Параметры	Н-3	Н-3К	Ni-B3, 4, 5, 6	Ni-025
Увеличение зрительной трубы, крат	31	30	28 или 32	20
Поле зрения трубы по вертикали	1°20'	1°20'	1°20'	1°40'
Цена деления цилиндрического уровня, угл. с/2 мм	15	—	—	—
Диапазон работы компенсатора, угл. мин	—	15	15	10
Наименьшее расстояние визирования, м	2,0	2,0	3,0	1,5
Цена деления установочного уровня, угл. мин/2 мм	5	10	10	8
Масса нивелира, кг	1,8	2,4	2,0	1,7
Масса упаковочного ящика, кг	2,0	2,0	2,0	1,7

Для нивелирования IV класса применяются двусторонние, цельные или складные деревянные шашечные рейки РНЗ с сантиметро-

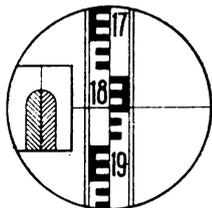


Рис. 64. Поле зрения зрительной трубы нивелира Н-3

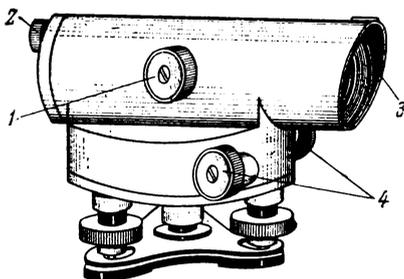


Рис. 65. Нивелир Н-3К:

1 — фокусирующая головка, 2 — окуляр зрительной трубы, 3 — объектив зрительной трубы, 4 — наводящий винт

выми делениями, изготовленные согласно требованиям ГОСТ 11158—83. В комплект входит две рейки РНЗ.

При работе нивелирами с уровнем, как правило, применяются нераздвижные штативы длиной 150—180 см, а при работе нивелирами с компенсатором могут применяться и штативы с раздвижными ножками.

Рейки при нивелировании устанавливают на металлические костыли со сферической головкой или башмаки, а на заболоченных участках и рыхлых грунтах могут применять для этой цели и деревянные колья разной длины и толщины (рис. 66). При нивелировании по полотну железной дороги рейки можно ставить на головку рельса, отмечая места установки реек мелом или краской.

Перед началом полевых работ нивелиры должны быть исследованы, поверены и отъюстированы с тем, чтобы быть уверенным в безусловной надежности их работы в течение полевого сезона.

Каждый прибор, как обычно, сначала подвергается внешнему осмотру. При этом обращают особое внимание на плавность вращения

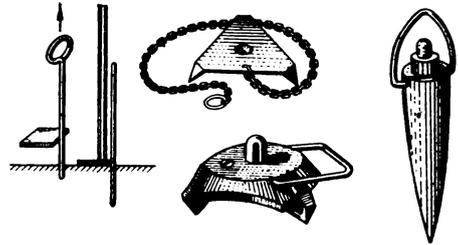


Рис. 66. Костыли и башмаки для нивелирных реек

подъемных винтов, элевационного и наводящего винтов, на плавность и легкость вращения верхней части нивелира, перемещение фокусирующей линзы, чистоту оптики, четкость изображения сетки нитей, концов пузырька уровня и т. п.

Подлежит проверке соблюдение следующих механических условий,

Ход подъемных винтов нивелира должен быть плавным.

Положение нивелира на штативе должно быть устойчивым.

Вращение верхней части нивелира должно быть плавным.

Компенсатор нивелира с самоустанавливающейся линией визирования должен быть исправен.

Перед началом работы выполняют проверку нивелиров в следующей последовательности.

Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения прибора.

Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.

Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.

Главное условие нивелиров с компенсатором; в рабочих пределах компенсатора линия визирования должна быть горизонтальной.

С целью установления изменений в приборе в результате его эксплуатации непосредственно перед полевыми работами исполнителями выполняются следующие исследования нивелиров, предназначенных для нивелирования III и IV классов: а) исследование зрительной трубы, в процессе которого определяют увеличение, угол поля зрения (если эти величины отсутствуют в паспорте прибора) и качество изображения, даваемое зрительной трубой; б) определение цены деления уровней; в) исследование правильности хода фокусирующей линзы зрительной трубы; г) определение коэффициента нитяного дальномера; д) определение диапазона и ошибки работы компенсатора.

Исследование реек выполняют в начале и конце полевого сезона, в результате которых определяют: а) случайные ошибки дециметровых делений, б) среднюю длину метра комплекта реек.

Методика поверки и исследований нивелиров и реек весьма подробно описана в геодезической литературе и здесь не приводится.

Нивелирование IV класса производят из середины, устанавливая нивелир на равных расстояниях от задней и передней реек. Нормальная длина визирного луча принимается равной 100 м, минимальная высота его над подстилающей поверхностью не менее 0,2 м, неравенство расстояний от нивелира до задней и передней реек на станции не должно превышать 5 м, а накопление этих неравенств по секции не должно превышать 10 м.

Если нивелирование выполняют прибором с увеличением зрительной трубы не менее 30^{\times} на спокойные изображения реек, длину визирного луча можно увеличить до 150 м.

Для уменьшения влияния угла наклона i визирной оси нивелира на результаты нивелирования необходимо строго соблюдать на каждой станции равенство плеч от нивелира до передней и задней реек в установленных пределах. Расстояния от нивелира до реек измеряют по дальномерным нитям.

Порядок наблюдений на станции следующий: отсчет по черной стороне задней рейки, отсчет по черной стороне передней рейки, отсчет по красной стороне передней рейки, отсчет по красной стороне задней рейки. Перед отсчетами производят точные совмещения концов пузырька уровня нивелира или приведение его точно в нульпункт.

При работе нивелиром с компенсатором отсчет по рейке можно производить сразу же после приведения прибора с помощью установочного уровня в рабочее положение.

Наблюдения следует выполнять при благоприятных условиях видимости на достаточно четкие и спокойные изображения штрихов нивелирных реек.

Нивелирование начинают и заканчивают на постоянных знаках, только при перерывах в работе меньше чем на 5 дней наблюдения можно заканчивать на трех переходных точках. Для этого костыли и колья забивают в дно ям глубиной 0,3 м, а башмаки устанавливают в ямы такой же глубины. Нивелирование на обеих станциях до перерыва выполняют по обычной программе, после чего костыли покрывают травой и засыпают землей. После перерыва повторяют наблюдения на последней станции, а при необходимости — и на предпоследней.

Из сравнения превышений, полученных до и после перерыва, устанавливают, какой костыль не изменил своего первоначального положения, и от него продолжают нивелирование дальше.

Костыли считаются сохранившими свое первоначальное положение, если первое и второе превышения различаются между собой на величину не более 5 мм.

После окончания наблюдений на станции вычисляют превышения по черным и красным сторонам реек, расстояния от нивелира до реек, разности высот нулей реек.

Расхождение между значениями превышений, полученными по черным и красным сторонам реек, не должно быть более 5 мм.

Привязку нивелирных ходов к стенным маркам осуществляют при помощи подвесной рейки. Если подвесной рейки нет, то вместо нее используют обыкновенную проверенную линейку с миллиметровыми делениями или на стене отмечают проекции средней и дальномерных нитей нивелира, а расстояние от центра отверстия марки до проекций нитей измеряют по вертикали проверенной стальной рулеткой или линейкой. Привязку таким методом выполняют дважды, причем при повторных наблюдениях изменяют высоту прибора не менее чем на 3 см.

Результаты измерений записывают в нивелирные журналы простым карандашом, шариковой ручкой или чернилами. Записи необходимо вести четко и аккуратно, не допуская исправлений и неясных записей. Неудовлетворительные или неправильные записи аккуратно зачеркивают, а все измерения на станции повторяют вновь, предварительно изменив высоту инструмента не менее чем на 3 см.

По окончании нивелирования по линии между исходными пунктами и в замкнутых ходах подсчитывают невязку, которая должна быть не более $20\sqrt{L}$ мм при числе станций менее 15 на 1 км хода и $5\sqrt{n}$ мм при числе станций более 15 на 1 км хода, где L — длина хода (полигона) в км; n — число станций в ходе (полигоне).

Если невязка больше допустимой, то выполняют повторное нивелирование в другом направлении. Явно неудовлетворительное значение превышения исключают и при обработке не учитывают.

Если же первоначальное и повторное значения превышения расходятся меньше чем на $\pm 20\sqrt{L}$ мм, а невязка, вычисленная по среднему из них, является допустимой, то оба они включаются в обработку.

По окончании нивелирования исполнитель предьявляет к сдаче следующие материалы: оформленные и проверенные нивелирные журналы, материалы исследований нивелира и реек, кроки закладки нивелирных знаков, ведомости превышений и высот нивелирных знаков, акты сдачи знаков на наблюдение за сохранностью, объяснительную записку о выполненных работах со всеми данными, необходимыми для составления технического отчета, с приложением схемы ходов нивелирования. Все материалы должны быть подписаны исполнителем, его помощником, проставлена дата исполнения работ.

Техническое нивелирование в городской полигонометрии может применяться для определения высот пунктов полигонометрии, закрепленных центрами типа 5 г. р. и 6 г. р. Согласно ГОСТ 10528—76 для технического нивелирования рекомендуются нивелиры НТ, Н-10, Н-10Л, Н-10КЛ.

Кроме того, для технического нивелирования могут использовать-

ся нивелиры, предназначенные для нивелирования более высокого класса, —Н-3, Н-3К и им равноточные. Из зарубежных приборов для технического нивелирования могут применяться нивелиры Ni-025, Ni-030, Ni-050, Ni-060 Народного предприятия «К. Цейсс, Йена» (ГДР) и Ni-E1(2), Ni-B3, 4, 5, 6 предприятия МОМ (ВНР).

Нивелирные рейки для технического нивелирования должны иметь шашечный рисунок с сантиметровыми делениями на обеих сторонах, окрашенных в черный и красный цвета. Рейки такого типа (РН-10) изготавливаются промышленностью согласно ГОСТ 11158—83.

Ходы технического нивелирования прокладываются между исходными знаками высшего класса в виде одиночных ходов или систем ходов с узловыми точками. Проложение замкнутых ходов, опирающихся на один исходный репер, как правило, не разрешается. Длины ходов технического нивелирования (табл. 19) определяются в зависимости от высоты сечения рельефа топографической съемки.

ТАБЛИЦА 19

Допустимые длины нивелирных ходов

Характеристика ходов	Длины ходов в км при сечении рельефа		
	0,25 м	0,5 м	1 м и более
Между двумя исходными реперами	2	8	16
Между исходным репером и узловой точкой	1,5	6	12
Между двумя узловыми точками	1	4	8

Техническое нивелирование производят из середины. Ходы прокладывают в одном направлении. Нормальная длина визирного луча 120 м. При хороших условиях видимости и спокойных изображениях она может быть увеличена до 200 м.

Расстояние между нивелиром и рейкой измеряют при помощи дальномера, неравенство расстояний от нивелира до реек не должно превышать 10 м, а накопление этих разностей в секции не должно быть более 50 м.

Рейки при нивелировании устанавливают на башмаки, костыли или деревянные колья. Отсчеты по рейке производят только по средней нити при точном совмещении концов пузырька уровня нивелира или при точном приведении пузырька уровня в нуль-пункт в следующей последовательности: отсчеты по черной и красной сторонам задней рейки, отсчеты по черной и красной сторонам передней рейки.

При техническом нивелировании применяют те же журналы, что и при нивелировании IV класса, и тот же порядок вычислений превышений на станции и всех контрольных операций. Расхождение превышений на станции, определенных по черным и красным сторонам реек, не должны превышать 10 мм.

Невязки нивелирных ходов и замкнутых полигонов не должны превышать величин, вычисленных по формуле $f_n = 50\sqrt{L}$ мм, где L — длина хода в км. На местности со значительными углами на-

клона, когда число станций на 1 км хода более 25, допустимая невязка подсчитывается по формуле $f_n = 10\sqrt{n}$ мм, где n — число штативов в ходе (полигоне). Ходы, не удовлетворяющие указанным допускам, переделываются. После окончания полевых работ подлежат сдаче те же материалы, что и при нивелировании IV класса.

§ 29. Определение высот пунктов из тригонометрического нивелирования

При топографической съемке городов и других населенных пунктов в масштабе 1 : 5000 и крупнее с сечением рельефа через 2 и 5 м, что имеет место в предгорных и горных районах, а также при топографической съемке всхолмленных районов с сечением рельефа через 1 м определение высот пунктов городской полигонометрии может выполняться тригонометрическим нивелированием [15, 26]. Это в первую очередь относится к ходам городской полигонометрии, которые закреплены грунтовыми знаками типа 5 г. р. и 6 г. р. [15].

В этом случае одновременно с измерением горизонтальных углов измеряют углы наклона γ или зенитные расстояния z . При этом длины ходов тригонометрического нивелирования и их точность должны обеспечивать получение высот пунктов с ошибкой не более $0,1h$ (h — высота сечения рельефа) относительно ближайших пунктов геодезической сети [21].

У теодолитов, предназначенных для измерения вертикальных углов (зенитных расстояний), перед полевыми работами кроме обычных поверок и исследований выполняют еще поверки и исследования вертикального круга, а именно: определение рена оптического микрометра, определение ошибок совмещения штрихов вертикального круга и исследование эксцентриситета вертикального круга. В особых случаях определяют поправки за ошибки диаметров вертикального круга.

Вертикальные углы при тригонометрическом нивелировании измеряют тремя приемами при двух положениях вертикального круга в прямом и обратном направлениях. Для измерений используют периоды достаточно четких и спокойных изображений визирных целей, исключая время, близкое (в пределах 2 ч) к восходу и заходу Солнца, и близполуденное время.

Перед снятием отсчета пузырек уровня при вертикальном круге должен быть приведен на середину.

Колебания значений вертикальных углов и места зенита (места нуля) в разных приемах не должны превышать $15''$. Приемы, не удовлетворяющие этому допуску, необходимо повторить.

Наблюдения ведут на верх визирных марок, используемых для измерения горизонтальных углов.

Высоты горизонтальной оси прибора и верха визирной марки над центром пункта измеряют с точностью 0,5 см.

При привязке хода к стенной марке или реперу вертикальные углы измеряют непосредственно на центр марки или на верх (полочку) репера.

Схема привязки к исходным нивелирным знакам должна быть четко и аккуратно зарисована в полевом журнале.

Превышения в ходах тригонометрического нивелирования вычисляются дважды в прямом и обратном направлениях по известным формулам

$$h_{1,2} = D_{1,2} \sin v + (D_{1,2}^2/2R_0) + i_1 - v_2 - r \quad (80)$$

или

$$h_{1,2} = D_{1,2} \sin (90^\circ - z) + (D_{1,2}^2/2R_0) + i_1 - v_2 - r, \quad (81)$$

где $h_{1,2}$ — превышение между пунктами 1 и 2, $D_{1,2}$ — измеренное светодальномером наклонное расстояние между пунктами, приведенное к центрам пунктов, v — угол наклона измеряемой линии, $z_{1,2}$ — зенитное расстояние, измеренное с пункта 1 на пункт 2, i_1 — высота прибора над центром пункта 1, v_2 — высота точки визирования над центром пункта 2, R_0 — средний радиус кривизны Земли, который с достаточной точностью можно принять равным 6380 км, $D_{1,2}^2/2R_0$, r — поправки за кривизну Земли и рефракцию.

Как показывают практика и результаты исследований, в двустороннем тригонометрическом нивелировании коротким лучом влияние рефракции в основном компенсируется, а остаточные ошибки находятся в пределах точности измерений и подчиняются нормальному закону распределения.

Поэтому в тригонометрическом нивелировании, которое прокладывается по ходам городской полигонометрии, односторонние превышения между пунктами можно вычислять по формулам (80) или (81) без учета поправки за рефракцию.

Средняя квадратическая ошибка одностороннего превышения, полученного по формуле (80), равна (ρ в угл. с)

$$m_h^2 = (h/D)^2 m_D^2 + [(D/\rho) \cos v]^2 m_v^2 + m_i^2 + m_v^2.$$

Для превышений концов линий полигонометрии 4 класса со средней длиной линии равной 500 м, углах наклона $v \leq 10^\circ$ при $m_v \leq 5''$, $m_D = 5$ см, $m_i = 5$ мм получим среднюю квадратическую ошибку $m_h = \pm 19$ мм, что соответствует точности технического нивелирования. Точность определения превышений из двустороннего тригонометрического нивелирования будет в $\sqrt{2}$ раз выше и при тех же условиях равна ± 14 мм.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ
ИЗМЕРЕНИИ И ОЦЕНКА ИХ ТОЧНОСТИ****§ 30. Содержание, правила и средства вычислений**

По мере завершения полевых работ приступают к математической обработке результатов полевых измерений, которую можно разделить на следующие основные этапы: предварительная обработка; уравнительные вычисления и составление каталогов.

К предварительной обработке материалов городской полигонометрии относят все вычисления, необходимые для получения: а) горизонтальных направлений, приведенных к центрам пунктов; б) длин линий, приведенных на уровень моря (референц-эллипсоида) или среднюю уровенную поверхность города и редуцированных на плоскость проекции Гаусса; в) рабочих координат пунктов полигонометрии, включая стенные знаки; г) рабочих высот пунктов полигонометрии и нивелирных знаков.

Предварительная обработка производится в принятой для города системе координат и высот. Она содержит следующие виды работ: 1) составление рабочей схемы геодезической сети города; 2) подготовку исходных данных (анализ координат исходных пунктов с целью установления их достоверности и точности, перевод координат исходных пунктов в местную систему, принятую для города, и др.); 3) проверку и обработку журналов угловых и линейных измерений; 4) проверку и оформление листов графического определения элементов приведения; 5) проверку журналов нивелирования, составление ведомостей превышений, вычисление высот пунктов полигонометрии; 6) вычисление длин линий, измеренных светодальномерами или другими приборами; 7) составление таблиц горизонтальных направлений и измеренных длин линий на средней уровенной поверхности и на плоскости; 8) вычисление угловых и линейных невязок в ходах полигонометрии и рабочих координат пунктов полигонометрии*; 9) вычисление координат стенных пунктов полигонометрии; 10) составление списка рабочих координат и высот пунктов полигонометрии; 11) подготовка информации для уравнивания городской геодезической сети на ЭВМ; 12) чистовое оформление карточек закладки пунктов полигонометрии (кроки пунктов), проверка описаний местоположения пунктов, их редактирование, вычерчивание карточек в туши; 13) составление объяснительной записки и отчетной схемы; 14) систематизация материалов и подготовка их к сдаче.

* В случае выполнения предварительной обработки на ЭВМ следует вместо предусмотренных в пунктах 8, 9, 10 учесть следующие виды работ: составление информации для предварительной обработки полигонометрии на ЭВМ; составление информации для предварительной обработки нивелирования; счет на ЭВМ и расшифровка результатов вычислений.

Все поступающие для вычислений материалы полевых измерений должны быть проверены и приняты начальником партии, главным инженером подразделения и инспектором ОТК.

Все вычисления необходимо выполнять в «две руки», если нет независимого контроля вычислений по другим формулам.

Очень важным при организации вычислительных работ является вопрос обеспечения необходимой точности результатов вычисления. Речь идет о числе значащих цифр, о возможности применения приближенных формул и упрощенных методов. Во всех случаях ошибки, вносимые при вычислениях за счет округлений, и неточности формы не должны отражаться на точности конечных результатов и должны быть более чем на порядок меньше средних квадратических ошибок соответствующих элементов, обусловленных точностью полевых измерений. Это значит, что вычисления значений горизонтальных углов (направлений) и длин линий следует вести с числом знаков, обеспечивающим ошибки округления не более $0,1-0,2$ ошибки измерения углов и линий. Так, в полигонометрии 4 класса при измерении углов со средней квадратической ошибкой $\pm 3''$ значение углов надо вычислять до $0,1''$. В полигонометрии 1 и 2 разрядов, где точность угловых измерений соответственно равна 5 и $10''$, вычисление углов достаточно было бы вести до целых секунд. Однако учитывая, что в каталогах координат дирекционные углы требуется помещать с точностью $0,1''$, а значения координат — до $0,001$ м и между ними должно быть строгое соответствие [15], значения углов и в полигонометрии 1 и 2 разрядов следует вычислять до $0,1''$.

Длины линий в городской полигонометрии в настоящее время измеряют, как правило, с точностью $1-2$ см. Следовательно, их значения надо вычислять с точностью до 1 мм.

Вычисление поправок в углы и линии необходимо выполнять с удержанием одного лишнего знака по сравнению с вычислением основных величин, т. е. вычисление поправок в углы (направления) — до $0,01''$, а поправок в линии — до $0,1$ м. При введении поправок в соответствующие элементы они округляются соответственно до $0,1''$ и 1 мм.

Приступая к обработке городской геодезической сети, необходимо иметь: 1) каталоги координат и высот пунктов исходной геодезической и нивелирной сети; 2) материалы полевых измерений (журналы, центрировочные листы и др.); 3) схему городской геодезической сети в произвольном масштабе; 4) шестизначные таблицы натуральных значений тригонометрических функций; 5) таблицы для вычисления длин линий полигонометрии 3 и 4 классов, измеренных светодальномерами; 6) настольные ЭВМ, микрокалькуляторы, логарифмические линейки, транспортиры, линейки, угольники, чертежные инструменты; 7) бланки вычислений и вычислительную бумагу; 8) инструкции [12], [13], [14], [15], [21] и руководства [25], [26], [37].

Предварительную обработку следует начинать с тщательной проверки полевых материалов: журналов измерения углов и линий, листов графического определения элементов центрировок и редуций, журналов нивелирования и др.

§ 31. Подготовка исходных данных

В качестве исходных при вычислении городской полигонометрии принимаются пункты государственной геодезической сети, координаты которых вычислены в системе плоских прямоугольных координат Гаусса. В связи с этим длины сторон в государственной триангуляции и полигонометрии существенно искажены поправками за приведение их на поверхность референц-эллипсоида и на плоскость проекции Гаусса. Их значения заметно отличаются от непосредственно измеренных длин сторон на поверхности Земли, что вносит искажения в крупномасштабные планы и осложняет их использование для проектирования и переноса в натуру проектов городского строительства.

Величина искажения длин сторон государственной геодезической сети за приведение их на референц-эллипсоид определяется по формуле

$$\delta_H = - \frac{H_m + h_m}{R_\alpha} S, \quad (82)$$

где H_m — средняя высота стороны над уровнем моря, h_m — высота геоида над эллипсоидом в месте расположения стороны, R_α — радиус кривизны нормального сечения в направлении стороны S ($R_\alpha = 6370$ км), S — горизонтальное проложение измеренной стороны.

При редуцировании длин сторон на плоскость в проекции Гаусса они увеличиваются на величину

$$\delta_L = \frac{y_m^2}{2R_m^2} S, \quad (83)$$

где y_m — среднее значение ординат концов стороны, R_m — средний радиус кривизны для средней точки стороны.

Значение поправки δ_L возрастает по мере удаления от осевого меридиана. Ниже приведены относительные искажения длин сторон в зависимости от величины ординаты y_m :

y_m , км	10	20	30	40	50	100	150	200
$\frac{\delta_L}{S}$	$\frac{1}{8 \cdot 10^6}$	$\frac{1}{2 \cdot 10^5}$	$\frac{1}{9 \cdot 10^4}$	$\frac{1}{5 \cdot 10^4}$	$\frac{1}{3 \cdot 10^4}$	$\frac{1}{8 \cdot 10^3}$	$\frac{1}{4 \cdot 10^3}$	$\frac{1}{2 \cdot 10^3}$

На краю 3°-ной зоны относительные искажения в длинах линий могут достигать величины 1/4000.

С целью устранения этих искажений городские геодезические сети вычисляют, как правило, в местной системе координат, в которой осевой меридиан выбирают с таким расчетом, чтобы поправки за редуцирование линий и углов на плоскость были пренебрегаемо малы.

Местная система координат задается прямоугольными координатами одного из пунктов геодезической сети города, долготой осевого меридиана, дирекционным углом из этого пункта на какой-либо смежный геодезический пункт и принятой для города уровенной поверхностью проектирования H_0 . Прямоугольные координаты исходного

пункта в местной системе задаются таким образом, чтобы на территории города не было отрицательных значений координат. В качестве исходного пункта принимается, как правило, пункт государственной геодезической сети, совмещенный с городской геодезической сетью.

Вместе с тем во многих городах имеются и другие, местные системы координат. Очень часто местная система задана на основе координат общегосударственной системы в 3°- или 6°-ной зоне, измененных по x и y на некоторую постоянную величину. Пересчет координат геодезических пунктов в такую местную систему производится путем вычитания от координат общегосударственной системы постоянных, но разных по x и y величин без изменения ориентировки.

Нередко встречаются местные системы координат с произвольным осевым меридианом, проходящим через центр города, компенсированные и другие системы.

В компенсированной системе координат осевой меридиан и среднюю уровенную поверхность подбирают таким образом, чтобы поправки за переход к поверхности эллипсоида (на уровень моря), которые всегда отрицательны, были бы равны по абсолютной величине поправкам за редуцирование на плоскость в проекции Гаусса, которые всегда положительны. В итоге поправки компенсируются и при обработке материалов в этой системе не учитываются.

Приравнивая правые части формул (82) и (83), находим допустимое удаление участка работ от осевого меридиана в компенсированной системе

$$y_m = \sqrt{2R_m H_m}.$$

Принимая $R_m = 6370$ км, получим $y_m = \sqrt{12\,740 H_m}$. При среднем уровне города $H_m = 200$ м среднее значение ординат $y_m = 50$ км.

Местные системы координат устанавливаются территориальными инспекциями Госгеонадзора по согласованию с областными отделами по делам строительства и архитектуры и могут быть изменены только с их разрешения.

Прежде чем приступить к обработке городской геодезической сети необходимо выполнить анализ исходных данных и составить список координат и высот исходных пунктов. Для этого необходимо:

1. Проверить совмещение новых и старых центров на исходных пунктах по актам закладки и путем сличения углов, измеренных при привязке новой сети. Кроме того, необходимо сверить типы центров на исходных пунктах, помещенных в каталогах, с типами центров, приведенными в материалах городских работ прошлых лет. Результаты проверки совмещения центров помещают в ведомость, образец которой приведен в табл. 20.

Значения углов, полученные из новых измерений, не должны отличаться от старых больше чем на 6" в полигонометрии 4 класса, на 10" в полигонометрии 1 разряда, на 20" в полигонометрии 2 разряда.

2. Выполнить анализ материалов математической обработки геодезических измерений

Образец ведомости проверки совмещения центров на исходных пунктах

№ п/п	Название пунктов, класс, тип центра	Название направления	Класс	Значение общих углов		Сведения о совмещении центров
				Ранее измеренный угол	Угол из новых наблюдений	
1	2	3	4	5	6	7
1	Балка, сигн. 2 кл., тип. 1	Нов. Лоза Кривой	3 2	1954 г.	1983 г.	Оставлен старый
				135°27'02,6"	135°27'05,4"	

исходной (основы технических отчетов, объяснительной записки к уравниванию, пояснения к каталогу координат исходных пунктов и т. п.) для установления качества предыдущих работ. Метод уравнивания исходной геодезической сети является очень важным фактором. К координатам исходных пунктов, полученным из многоэтапного уравнивания, следует относиться весьма осторожно.

Наиболее слабым следует считать взаимное положение двух смежных пунктов, координаты которых получены из несовместного или многоэтапного уравнивания различных геодезических построений. Погрешность стороны в самом слабом месте исходной геодезической сети не должна превышать: 1 : 50 000 при развитии сети 4 класса, 1 : 20 000 при развитии сети сгущения 1 разряда, 1 : 10 000 при развитии сети сгущения 2 разряда.

Преобразовать исходные пункты в местную систему координат. Если местная система координат в городе установлена в прошлые годы и в этой системе выполнены значительные объемы геодезических и топографических работ, то ее необходимо сохранить для города и на будущее. Поэтому координаты всех исходных пунктов необходимо преобразовать в существующую местную систему координат. Эта задача в каждом конкретном случае решается индивидуально с учетом особенностей имеющихся данных о связях местной системы с общегосударственной, в зависимости от сохранности начального пункта местной системы и других старых пунктов городской сети.

Рассмотрим некоторые случаи преобразования координат в местную систему.

1. Местная система задана следующими параметрами (рис. 67): координаты x_0, y_0 местного начала координат в общегосударственной системе в проекции Гаусса; угол поворота γ осей координат местной системы; высота средней уровенной поверхности города H_0 , к которой отнесены все измерения в местной системе.

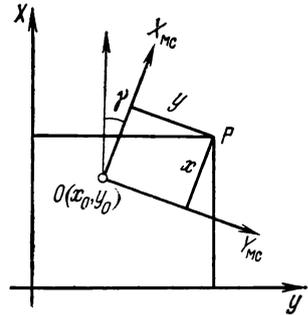


Рис. 67. Местная система координат с поворотом координатных осей

Преобразование координат из местной системы в общегосударственную производится с точностью до 0,001 м по следующим формулам, которые пригодны для перевычисления координат, вычисленных в местной системе в проекции Гаусса, на любом эллипсоиде:

$$X_i = X_0 + x'_i + [by'_i + a + d]x'_i - x'_i(H_0/N_0)\eta_0^2[x_i^2/(x_i^2 + y_i^2)]; \quad (84)$$

$$Y_i = Y_0 + y'_i + [cy'_i + a]y'_i - fx_i'^2 - y'_i(H_0/N_0)\eta_0^2[x_i^2/(x_i^2 + y_i^2)],$$

где X_i, Y_i — координаты пункта i в общегосударственной системе в 6° -ной зоне; N_0 — радиус кривизны сечения первого вертикала в точке местного начала; a, b, c, d, f — постоянные коэффициенты, которые вычисляются по следующим формулам:

$$a = Y_0^2 / 2R_0^2 + Y_0^4 / 24R_0^4; \quad b = Y_0 / R_0^2 - Y_0^3 / 12R_0^4;$$

$$c = Y_0 / 2R_0^2 + Y_0^3 / 12R_0^4; \quad d = y'^2 / 2R_0^2; \quad f = Y_0 / 2R_0^2 - Y_0^3 / 6R_0^4,$$

где R_0 — средний радиус кривизны в точке местного начала.

Вторые члены формул для вычисления постоянных коэффициентов a, b, c, f могут не учитываться, если $Y_0 < 215$ км, т. е. практически для всей территории СССР с широтами более 45° ;

x', y' — координаты (в км) пункта i , преобразованные за поворот осей местной системы на угол γ и за переход от высоты H_0 к уровенной поверхности. Их вычисляют по следующим формулам:

$$x'_i = x_i \left(1 - \frac{H_0}{N_0} + \frac{H_0^2}{N_0^2} \right) \cos \gamma - y_i \left(1 - \frac{H_0}{N_0} + \frac{H_0^2}{N_0^2} \right) \sin \gamma; \quad (85)$$

$$y'_i = y_i \left(1 - \frac{H_0}{N_0} + \frac{H_0^2}{N_0^2} \right) \cos \gamma + x_i \left(1 - \frac{H_0}{N_0} + \frac{H_0^2}{N_0^2} \right) \sin \gamma,$$

где x_i, y_i — координаты пункта i в местной системе, γ — угол поворота осей координат, N_0 — радиус кривизны сечения первого вертикала в точке местного начала.

Последние члены в формулах (84) представляют дополнительные поправки координат за переход от высоты H_0 к уровенной поверхности, где $\eta_0^2 = (e')^2 \cos^2 B_0$, e' — второй эксцентриситет эллипсоида Красовского, B_0 — широта местного начала. Эти поправки можно не учитывать, если $H_0 < 200$ м.

Угол поворота координатных осей, если нет данных о его величине, может быть вычислен как разность дирекционных углов стороны AB в общегосударственной и местной системах по формуле

$$\gamma = (\alpha_{AB} - \delta_{AB}) - (\alpha'_{AB} - \delta'_{AB}),$$

где $\alpha_{AB}, \alpha'_{AB}$ — дирекционные углы стороны AB соответственно в общегосударственной и местной системах координат, $\delta_{AB}, \delta'_{AB}$ —

поправки за кривизну изображения геодезической линии соответственно в общегосударственной и местной системах координат.

Если значение γ вычисляют по нескольким сторонам, то за окончательное принимают среднее арифметическое из всех вычисленных значений.

Преобразование координат из общегосударственной системы в местную производят по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{мс}} &= \Delta x \left(1 + \frac{H_0}{N_0} - \frac{H_0^2}{N_0^2} \right) \cos \gamma + \Delta y \left(1 + \frac{H_0}{N_0} - \frac{H_0^2}{N_0^2} \right) \sin \gamma - \\
 &\quad - [b \Delta y + a + d] \Delta x + \Delta x \frac{H_0}{N_0} \gamma_0^2 \frac{\Delta x^2}{\Delta x^2 + \Delta y^2}; \\
 Y_{\text{мс}} &= \Delta y \left(1 + \frac{H_0}{N_0} - \frac{H_0^2}{N_0^2} \right) \cos \gamma - \Delta x \left(1 + \frac{H_0}{N_0} - \frac{H_0^2}{N_0^2} \right) \sin \gamma - \\
 &\quad - [c \Delta y + a] \Delta y + f \Delta x^2 + \Delta y \frac{H_0}{N_0} \gamma_0^2 \frac{\Delta x^2}{\Delta x^2 + \Delta y^2},
 \end{aligned}$$

где

$$\Delta x = X_i - X_0; \quad \Delta y = Y_i - Y_0.$$

В случае когда измерения в городе отнесены к уровню моря, формулы (84), (85) и (86) значительно упрощаются и принимают следующий вид (y' , x' в км):

$$\begin{aligned}
 X_i &= X_0 + (x_i \cos \gamma - y_i \sin \gamma) + (by' + a + d) x'; \\
 Y_i &= Y_0 + (y_i \cos \gamma - x_i \sin \gamma) + (cy' + a) y' - fx'^2; \\
 x' &= x \cos \gamma - y \sin \gamma; \\
 y' &= y \cos \gamma + x \sin \gamma; \\
 X_{\text{мс}} &= (\Delta x \cos \gamma + \Delta y \sin \gamma) - (b \Delta y + a + d) \Delta x; \\
 Y_{\text{мс}} &= (\Delta y \cos \gamma - \Delta x \sin \gamma) - (c \Delta y + a) \Delta y + f \Delta x^2.
 \end{aligned}$$

Перевычисление координат в местную систему производится с контролем, в качестве которого используется контроль по значениям разностей ($\alpha - M$) и длинам сторон, вычисленным по координатам пунктов в двух системах. Колебание разностей ($\alpha - M$) не должно превышать $8''$ (α — дирекционный угол направления, M — измеренное направление).

Длины сторон, вычисленные по координатам в местной системе, сравнивают с длинами сторон, полученными по координатам в общегосударственной системе. При этом должно удовлетворяться условие

$$S - (S_{\text{мс}} + \Delta S_{\text{мс}}) \leq 30 \text{ мм.}$$

Поправку $\Delta S_{\text{мс}}$ вычисляют для каждой стороны по формуле

$$\Delta S_{mc} = S_{mc} [(Y_0^2 / 2R_0^2) + (Y_0 / 2R_0^2) (\Delta y_1 + \Delta y_2)];$$

$$\Delta y_1 = Y_1 - Y_0; \quad \Delta y_2 = Y_2 - Y_0,$$

где ΔS_{mc} — поправка в длину линии, полученную по координатам в местной системе, S_{mc} — длина линии в км, вычисленная по координатам в местной системе с удержанием третьего десятичного знака, $\Delta y_1, \Delta y_2$ — разности ординат концов линии и местного начала координат в общегосударственной системе, выраженные в км с удержанием третьего десятичного знака.

В случае когда осевой меридиан не проходит через пункт триангуляции, для вычисления Δy_1 и Δy_2 выбирают любую точку на осевом меридиане местной системы с заданными геодезическими координатами B_0 и L_0 , перевычислив которые в прямоугольные координаты найдем x_0 и y_0 .

Если геодезические сети в городах создаются впервые или реконструируются полностью, то в этом случае могут устанавливаться новые местные системы координат. Для этого можно рекомендовать следующий порядок вычислений:

а) пункт A государственной геодезической сети, расположенный за границей участка съемки в юго-западной части, принимается за начало координат в новой системе;

б) по координатам пункта A и всех остальных исходных пунктов, выписанных с каталога, в общегосударственной системе вычислить приращения координат Δx_i и Δy_i по формулам

$$\Delta x_i = x_i - x_A; \quad \Delta y_i = y_i - y_A;$$

в) вычислить координаты исходных пунктов в местной системе по формулам

$$x_i = \Delta x_i - \frac{Y_m^2}{2R^2} \Delta x_i + \frac{H_0}{R} \Delta x_i;$$

$$y_i = \Delta y_i - \frac{Y_m^2}{2R^2} \Delta y_i + \frac{H_0}{R} \Delta y_i;$$

$$Y_m = (Y_1 + Y_2)/2,$$

где Y_m — ордината точки городской территории, расположенной в центре города на расстоянии Y_m от осевого меридиана, в государственной системе координат, Y_1, Y_2 — ординаты точек городской территории, расположенных соответственно наиболее близко и наиболее далеко от осевого меридиана, R — средний радиус кривизны референц-эллипсоида, отнесенный к среднему уровню города.

Преобразовывая координаты исходных пунктов в местную систему, необходимо следить, чтобы координаты всех исходных пунктов были отнесены к одной и той же уровенной поверхности.

Необходимые исходные дирекционные углы и длины линий определяют из решения обратных задач по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha_{1,2} = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1);$$

$$S_{1,2} = (y_2 - y_1)/\sin \alpha_{1,2} = (x_2 - x_1)/\cos \alpha_{1,2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

Список исходных данных составляют в две руки по следующей форме (табл. 21).

ТАБЛИЦА 21

Образец списка исходных данных

№ п/п	Название пункта, тип знака, тип центра	Класс	Долгота осевого меридиана	Координаты, м		Дирекционный угол	Длина стороны, м	На пункт
				x	y			
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Балка, сигнал, тип 1	2	36°30'	49873.768	16631.485	93°03'07,1" 119°24'13,2"	7349.46 6427.19	Нов. Лоза Ингури

§ 32. Обработка результатов угловых измерений

Составление рабочей схемы геодезической сети ведут в удобном для работы масштабе на плотной чертежной бумаге, вычерчивая новые пункты и направления в различных цветах в зависимости от класса (разряда) ходов полигонометрии. Исходные и другие существующие пункты геодезической сети из работ прошлых лет наносят на схему по координатам.

Рабочая схема должна давать четкую и ясную картину о связи новой сети с работами прошлых лет, о том, что сделано и сдано на камеральную обработку. Расстояния между пунктами на схеме должны быть не короче 1 см.

По мере поступления полевых материалов рабочую схему дополняют и корректируют.

Проверка журналов и центрировочных листов. При обработке результатов угловых измерений тщательно проверяют правильность вычислений измеренных углов в полевых журналах, правильность измерения и выписки угловых и линейных элементов приведения в центрировочных листах.

В журналах измерения горизонтальных углов (направлений) подлежат проверке записи типа инструмента и цены деления шкалы оптического микрометра, среднее из отсчетов по микрометрам, среднее значение направления из двух полуприемов, значения двойной коллимации $2c$ и ее постоянство, среднее из значений начального направления в начале и конце приема и ошибки замыкания в каждом полуприеме, значение угла (направления) в каждом приеме, среднее значение угла (направления) из всех приемов, выполненных на пункте.

Помимо проверки правильности средних значений измеренных величин в журнале должно быть проверено соответствие результатов измерений допускам, приведенным в табл. 8.

Все обнаруженные в полевых журналах ошибки, за исключением ошибок в отсчетах, исправляют красными чернилами. При этом каждое исправление должно быть заверено подписью вычислителя. Проверенные журналы подписываются вычислителем с указанием даты проверки.

Составление сводок результатов измерения горизонтальных углов (направлений) в городской полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов, где на каждом пункте измеряется, как правило, только один угол, производят в журналах полевых измерений, после проверки которых средние значения измеренных углов выписывают в таблицу горизонтальных направлений, где они исправляются поправками за центрировку и редукцию.

В центрировочных листах проверяют правильность измерения и выписки линейных (l и l_1) и угловых (θ и θ_1) элементов, соответствие между измеренными и графически определенными контрольными углами, наличие даты определения редукций и указаний, к каким направлениям относятся данные элементы приведений.

При этом линейные элементы должны быть измерены с точностью до 1 мм, а угловые элементы — до $15'$. Проверенные значения элементов приведения выписывают в соответствующую таблицу, образец которой приведен ниже (табл. 22).

ТАБЛИЦА 22

Образец таблицы элементов центрировок и редукций

№ п/п	Название пункта и его класс	Элементы центрировки			Элементы редукции				
		Дата определения	l , мм	θ	На пункт	Дата определения	l_1 , мм	θ_1	На пункт
1	2	3	4	5	5	7	9	9	10
1	Балка, 2 кл.	14. V. 1983	0,048	$190^\circ 45'$	Новая Лоза «	14. V. 1983	0,107	$95^\circ 15'$	Новая Лоза »
		15. V. 1983	0,050	$191^\circ 00'$		15. V. 1983	0,112	$95^\circ 00'$	

Вычисление поправок за центрировку и редукцию производят по формулам (65) и (66). При этом для вычисления поправок за центрировку берут средние значения элементов центрировки из всех определений на данном пункте. Для вычисления поправок за редукцию на наблюдаемых пунктах (с данного) берут средние значения элементов редукций из определений, ближайших по времени к моменту наблюдения.

В полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов поправки вычисляют и вводят в измеренные направления с округлением до $0,1''$.

Знаки вычисленных поправок определяются знаками синусов углов ($M + \theta$) и ($M + \theta_1$). Если $(M + \theta) < 180^\circ$, то поправка s угл. с. имеет знак «+», если $(M + \theta) > 180^\circ$, то поправка s угл. с. имеет знак «—». Аналогично определяется знак поправки r .

Вычисление поправок в направления за кривизну изображения геодезической линии в проекции Гаусса выполняют в городской полигонометрии 4 класса с точностью до $0,1''$ по следующим упрощенным формулам:

$$\delta_{1,2} = -\frac{\rho(x_2 - x_1)y_m}{2R^2}, \quad \delta_{2,1} = +\frac{\rho(x_2 - x_1)y_m}{2R^2}, \quad (87)$$

где $\delta_{1,2}$ — поправка в направление с пункта 1 на пункт 2, x, y — приближенные координаты пунктов 1 и 2 в километрах (ординаты y считаются от осевого меридиана местной системы), R — средний радиус кривизны на средней широте пунктов 1 и 2, ρ — в угл. с.

При длине линий $D < 2$ км в формулах (87) вместо y_m можно пользоваться значениями y_1 или y_2 .

Обозначая величину

$$\rho y_1 / 2R^2 = k,$$

представим формулы (87) в виде

$$\delta_{1,2} = -k(x_2 - x_1); \quad \delta_{2,1} = +k(x_2 - x_1),$$

где $(x_2 - x_1)$ — разность абсцисс в километрах.

Значение коэффициента k можно выбирать из табл. 23 в первой колонке и верхней строке по абсолютному значению ординаты y_1 . Знак коэффициента k соответствует знаку ординаты y_1 .

ТАБЛИЦА 23

Значение коэффициента k

k	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
	Ординаты y_1 , ку					
0,0	9	8	16	24	32	39
0,1	39	47	55	63	71	79
0,2	79	87	95	103	111	118
0,3	118	126	134	142	150	158

Поправки $\delta_{1,2}$ и $\delta_{2,1}$ можно не вводить в измеренные направления, если их значения меньше $0,2''$. На рис. 68 приведен график, на котором показано, при каких значениях y_i и $(x_2 - x_1)$ редукции направлений $\delta_{1,2}$ и $\delta_{2,1}$ можно не учитывать. Например, при $(x_2 - x_1) < 0,8$ км и $y_1 < 95$ км поправки $\delta_{1,2}$ и $\delta_{2,1}$ в измеренные направления можно не вводить.

Вычисление редуций горизонтальных направлений нельзя производить по координатам пунктов в местной системе, их необходимо прежде преобразовать к осевому меридиану местной системы. Так, если местная система координат получена из общегосударственной путем введения определенных поправок в ординаты и абсциссы, то

перед вычислением поправок $\delta_{1,2}$ и $\delta_{2,1}$ необходимо перевычислить координаты и общегосударственную систему.

В полигонометрии 1 и 2 разрядов, даже при максимальных длинах линий и работе на краю трехградусной зоны, величины редуций горизонтальных направлений будут ничтожно малы по сравнению с точностью угловых измерений

(при $y_1 = 100$ км, $x_2 - x_1 = 0,8$ км — $\delta_{1,2} = 0,2''$), поэтому в ходах 1 и 2 разрядов их не вычисляют.

Вычисление плоских направлений, приведенных к центрам пунктов. Плоские направления, приведенные к центрам, получают путем введения в измеренные направления поправок c, r , угл. с за центрировку и редуцию и поправок δ за кривизну изображения геодезической линии в проекции Гаусса.

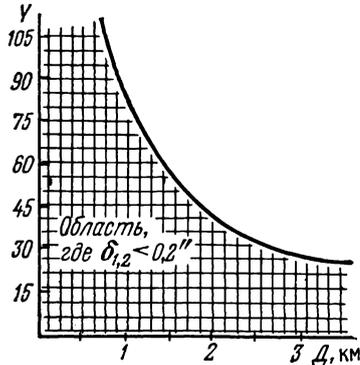


Рис. 68. График ничтожно малых значений поправок

Для каждого направления вычисляется сумма поправок $c + r + \delta$. Вычисленные суммы поправок приводят к начальному направлению вычитанием из суммы поправок каждого направления суммы поправок начального направления. Полученные поправки алгебраически складывают с измеренными направлениями и получают плоские направления, приведенные к центрам пунктов, которые выписывают в таблицы (табл. 24).

ТАБЛИЦА 24

Образец таблицы горизонтальных направлений, измеренных длин линий и высот пунктов

№ п/п	Название пункта, класс, тип и высота знака, тип центра	Название направления	Класс	Измеренное направление, приведенное к центрам пунктов	Измеренная длина линии, м	Высота пункта, м
Ход № 1 от п. Балка до п. Ингури						
1	Балка, сигн. 2 кл., 15.2 м, тип I	Нов. Лоза	3	0°00'00,0"		198,431
2	96, п. п. 4 кл., тип I	96, п. п.	4	187°10'35,6"	642,269	203,154
		Балка, сигн. 458, п. п.	2	0°00'00,0"	642,269	
3	485, п. п. 4 кл., тип 5 г. р.	96, п. п.	4	157°55'50,9"	778,487	215,392
		110, п. п.	4	0°00'00,0"	778,487	
				138°04'20,1"	807,653	

§ 33. Обработка результатов линейных измерений

Проверка журналов измерения длин линий светодальномерами выполняется в таком же порядке, как и журналов угловых измерений.

Сначала проверяют записи параметров светодальномера: тип и номер прибора, значение постоянной поправки, высоту прибора и отражателя, данные метеоприборов (температура и давление), дату измерений. Затем проверяют правильность вычислений, выполненных наблюдателем непосредственно на станции.

В центрировочных листах проверяют правильность измерения и выписки линейных (l и l_1) и угловых (θ и θ_1) элементов приведения, дату их определения.

Для каждого прибора существует своя методика вычисления измеренных наклонных дальностей, которая изложена в инструкции к прибору. Предусматривается исправление измеренного расстояния поправками за температуру и давление воздуха, постоянной поправкой прибора и др. (см. § 16). Дальнейшая методика обработки для всех приборов одинакова. Для получения длин линий между центрами пунктов, приведенных на плоскость проекции Гаусса, необходимо в средний результат измерения ввести следующие поправки: а) за центрировку дальномера и редукцию отражателя; б) за приведение измеренной линии к горизонту; в) за приведение измеренной линии на уровень моря (референц-эллипсоида) или на средний уровень города; г) за редуцирование линии на плоскость в проекции Гаусса.

Таким образом, длины линий, приведенные на плоскость в проекции Гаусса, вычисляют по формуле

$$s = D + \Delta D_h + \Delta D_c + \Delta D_r + \Delta D_H + \Delta D_L, \quad (88)$$

где D — значение длины, исправленное поправкой за метеословия и уход частоты, за постоянную дальномера и циклическую ошибку, ΔD_h — поправка за наклон линии, ΔD_c , ΔD_r — поправки за центрировку и редукцию приборов в начальной и конечной точках линии, ΔD_H — поправка за приведение длины линии на уровень моря (референц-эллипсоида) или средний уровень города, ΔD_L — поправка за приведение длин линий на плоскость проекции Гаусса.

При вычислении некоторых поправок необходимо принимать приближенное значение длины, исправленное предыдущими поправками. В связи с этим применяются следующие обозначения промежуточных значений длин линий:

$$D_I = D + \Delta D_h + \Delta D_c + \Delta D_r;$$

$$D_{II} = D_I + \Delta D_H.$$

С учетом этих обозначений формула (88) примет вид

$$s = D_{II} + \Delta D_L. \quad (89)$$

Поправки за центрировку и редукцию вычисляют по формулам (70) или определяют графически в порядке, изложенном в § 24.

При внецентренном измерении линий, когда линейные элементы приведения больше 1 м ($l > 1$ м, $l_1 > 1$ м), поправки за центрировку и редукцию вычисляют по формулам (71).

Горизонтальные проложения измеренных линий вычисляют по формулам (46) или (50) в зависимости от метода определения высот пунктов полигонометрии.

Полученные горизонтальные проложения линий необходимо привести на среднюю уровенную поверхность (угвень моря, референц-эллипсоид или средний уровень города) и спроектировать на плоскость в проекции Гаусса).

Поправку за приведение длины линии на уровень моря (референц-эллипсоид) вычисляют по формуле (82).

При приведении измеренных линий на средний уровень города по высоте поправку вычисляют по следующей формуле:

$$\Delta D_{H_0} = [(H_m + h) - H_0] D_1 / R_m,$$

где H_0 — средний уровень города по высоте.

При приведении длин линий на уровень моря поправки для большей части территории СССР отрицательны, за исключением районов, расположенных ниже уровня моря.

Для вычисления поправок ΔD_H составлена таблица, которая помещена в прил. 5.

Поправка за редуцирование измеренной линии на плоскость в проекции Гаусса вычисляется по формуле

$$\Delta D_L = y_m^2 D_{II} / 2R_m^2,$$

где $y_m = (y_1 + y_2)/2$ — средняя ордината стороны, R_m — средний радиус Земли, равный 6380 км. Поправка ΔD_L всегда положительна.

Поправки ΔD_L вычисляют и вводят в длины линий полигонометрии всех разрядов в том случае, когда участок работ удален от осевого меридиана более чем на 20 км.

Вычислив все поправки, по формуле (89) получают длину линии, приведенную на уровень моря (референц-эллипсоид) или средний уровень города и редуцированную на плоскость проекции Гаусса.

Обработку материалов геометрического и тригонометрического нивелирования, проложенного по ходам полигонометрии для определения высот пунктов, производят в соответствии с требованиями инструкции* и руководства [26].

При этом следует помнить, что вычисление нивелировок необходимо, как правило, производить в той системе высот, которая была принята в городе ранее и на основе которой проложены городские коммуникации, построены промышленные и жилые здания, выполнены топографические съемки.

* Инструкция по вычислению нивелировок. М., Недра, 1971.

§ 34. Вычисление рабочих координат пунктов полигонометрии

Рабочие координаты пунктов полигонометрии вычисляют для оценки точности полигонометрических ходов и выполнения съемочных работ, которые часто осуществляют до уравнивания. Для производства съемки в масштабе 1 : 5000 рабочие координаты достаточно знать с точностью $(0,5/\sqrt{2})$ м, для съемок в масштабе 1 : 2000 — с точностью не ниже $(0,2/\sqrt{2})$ м.

Рабочие координаты пунктов полигонометрии получают путем раздельного уравнивания ходов. Вычисления начинают с определения угловых и линейных невязок в ходах и, если они не превышают допустимых значений, вычисляют рабочие координаты пунктов.

Для полного согласования полученных координат, длин линий и дирекционных углов вычисляют поправки к длинам линий и дирекционным углам по формулам

$$\delta s_i = \delta x_i \cos \alpha_i + \delta y_i \sin \alpha_i;$$

$$\delta \alpha_i = \frac{\rho}{S_i} (\delta y_i \cos \alpha_i - \delta x_i \sin \alpha_i).$$

Вычисленные поправки δs_i и $\delta \alpha_i$ записывают над соответствующими величинами дирекционных углов и линий в ведомостях вычислений рабочих координат, а в каталоге координат пунктов выписывают значения дирекционных углов и линий, уже исправленные этими поправками.

Оценку точности положения пунктов при раздельном уравнивании ходов не делают. Вполне достаточно судить о качестве работ по полученным угловым и линейным невязкам ходов и относительной ошибке сдвига конечной точки хода.

Среднюю квадратическую ошибку измерения углов в полигонометрии вычисляют по угловым невязкам ходов или полигонов по формуле

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{[\omega_{\beta}^2/n]/(N-k)}, \quad (90)$$

где ω_{β} — угловая невязка хода (полигона), n — число углов в ходе (полигоне), N — число ходов или полигонов в сети, k — число узловых пунктов.

В замкнутых ходах и полигонах невязки между собой зависимы, и при числе ходов $N < 5$ оценка точности угловых измерений по формуле (90) малоэффективна. Поэтому в замкнутых ходах и полигонах при $N < 5$ окончательную оценку точности следует производить по материалам уравнивания.

При уравнивании углов одну из линий, выходящих из узловой точки, выбирают в качестве узловой, которая разделит всю сеть на отдельные ходы (линия NM на рис. 69).

Подсчитав суммы измеренных углов по ходу от каждого исходного пункта до узловой линии, вычисляют дирекционные углы этой линии. Расхождение крайних значений полученных дирекционных углов не должно быть более величины

$$\Delta\alpha = 2m_3 \sqrt{n_1 + n_2},$$

где m_3 — средняя квадратическая ошибка измерения угла, предусмотренная инструкцией, n_1, n_2 — число углов в ходах полигонометрии, дирекционные углы которых сравниваются.

Уравненное значение дирекционного угла узловой линии, полученное по всем трем ходам, находят по формуле общей арифметической середины

$$\alpha_n = \alpha_0 + \frac{(\alpha'_n - \alpha_0) p_1 + (\alpha''_n - \alpha_0) p_2 + (\alpha'''_n - \alpha_0) p_3}{p_1 + p_2 + p_3},$$

где $\alpha'_n, \alpha''_n, \alpha'''_n$ — дирекционные углы узловой линии, полученные по ходу от каждого исходного пункта, α_0 — приближенный дирек-

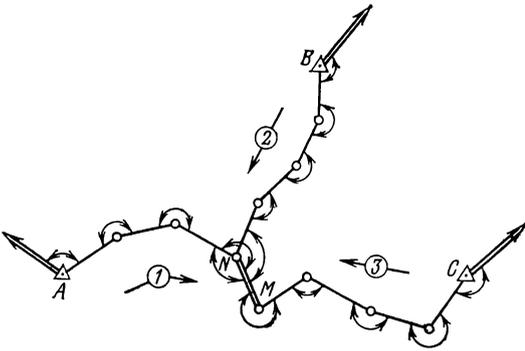


Рис. 69. Полигонометрическая сеть с одним узловым пунктом

ционный угол, $p_1, p_2,$ и p_3 — веса дирекционных углов, вычисляемые по формуле $p_i = 10/n$ (n — число измеренных углов в ходе с номером i).

Затем находят угловые невязки в полигонометрических ходах путем составления разностей $\alpha_n^i - \alpha_n$, которые распределяют в каждом ходе поровну на все углы с обратным знаком.

При раздельном уравнивании полигонометрической сети с одной или несколькими узловыми точками сначала уравнивают углы, а затем по уравненным углам и измеренным длинам линий вычисляют приращения координат и уравнивают отдельно приращения абсцисс и приращения ординат.

Учитывая разную длину ходов и число линий в ходах, вычисляют вес каждого хода по формуле

$$p_{x_i} = p_{y_i} = 10/\Sigma S_i,$$

где ΣS_i — длина хода с номером i , км.

Уравненные значения абсцисс и ординат определяют как средние весовые из значений, полученных по отдельным ходам по формулам

$$x_n = x_0 + \frac{(x'_n - x_0) p_{x,1} + (x''_n - x_0) p_{x,2} + (x'''_n - x_0) p_{x,3}}{p_{x,1} + p_{x,2} + p_{x,3}};$$

$$y_n = y_0 + \frac{(y'_n - y_0) p_{y,1} + (y''_n - y_0) p_{y,2} + (y'''_n - y_0) p_{y,3}}{p_{y,1} + p_{y,2} + p_{y,3}}$$

Получив уравненные значения координат узловой точки, вычисляют невязки приращений ω_x и ω_y и, изменив их знаки на обратные, вычисляют поправки в приращения пропорционально длинам линий. После этого находят последовательно координаты всех точек каждого хода.

Оценку точности уравненных значений выполняют следующим образом.

По невязкам ходов ω_z , ω_x и ω_y вычисляют средние квадратические ошибки единицы веса по формулам

$$\mu_z = m_z = \pm \sqrt{[\rho\omega_z^2]/(N-k)}; \quad \mu_x = \pm \sqrt{[\rho\omega_x^2]/(N-k)};$$

$$\mu_y = \pm \sqrt{[\rho\omega_y^2]/(N-k)}$$

и средние квадратические ошибки узлового дирекционного направления и координат узлового пункта по формулам

$$M_\alpha = \mu_z / \sqrt{P_\alpha}; \quad M_x = \mu_x / \sqrt{P_x};$$

$$M_y = \mu_y / \sqrt{P_y}; \quad M_{\text{взл}} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}.$$

В приведенных формулах N — число ходов в уравниваемой сети, k — число узловых направлений (пунктов), P — вес уравненного элемента, ошибку которого вычисляют по формулам

$$P_\alpha = p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2} + p_{\alpha_3};$$

$$P_x = p_{x_1} + p_{x_2} + p_{x_3}; \quad P_y = p_{y_1} + p_{y_2} + p_{y_3}.$$

В сети с несколькими узловыми пунктами уравненные значения дирекционных углов узловых направлений и координат узловых точек вычисляют методом последовательных приближений, разработанных проф. В. В. Поповым.

После получения рабочих координат пунктов полигонометрии производят вычисление координат ственных знаков.

Формулы и схемы вычислений зависят от применяемой системы ственных знаков и от метода измерений при передаче координат. Они подробно изложены в гл. 4. Примеры вычислений координат ственных знаков даны в руководстве [25] и прил. 5.

Полученные координаты и высоты пунктов полигонометрии (включая ственные знаки) помещают в каталог рабочих координат и высот пунктов, в который выписывают: координаты пунктов полигонометрии с точностью до 0,001 м, дирекционные углы линий с

точностью до 0,1", длины линий с точностью до 0,001 м, высоты пунктов в принятой системе высот с точностью до 0,001 м.

Между помещенными в каталог координатами, дирекционными углами и длинами линий должно быть строгое соответствие.

Дирекционные углы и длины линий помещают для двух направлений, идущих с данной точки. Против каждого пункта в каталоге должно быть указано его местонахождение: название улицы, номер дома, расстояние до четких ориентиров и т. п.

Предварительную обработку городской геодезической сети можно выполнять на ЭВМ. В этом случае в информацию для счета заносят измеренные углы и наклонные дальности, данные об элементах приведения и превышения между пунктами. В результате счета представляют: каталог координат и высот пунктов полигонометрии, редуцированные на плоскость измеренные углы и длины линий, уравненные дирекционные углы и длины линий по всем направлениям, а также оценка точности уравненных элементов.

Объяснительная записка о выполненных работах составляется по программе, приведенной в инструкции [14].

После завершения работ в городе по созданию городской геодезической сети систематизируются, оформляются и предъявляются к сдаче следующие материалы:

1) материалы обследования геодезических пунктов и нивелирных знаков ранее созданной геодезической и нивелирной сети города;

2) карточки (кроки) закладки пунктов полигонометрии и нивелирных знаков;

3) акты сдачи знаков на наблюдение за сохранностью;

4) материалы исследований теодолитов, нивелиров и светодальномеров;

5) журналы полевых измерений углов и длин линий, журналы нивелирования;

6) журналы эталонирования светодальномеров;

7) листы графического определения центрировок и редуций;

8) материалы предварительной обработки городской полигонометрии и нивелирования;

9) ведомости превышений и высот нивелирных знаков;

10) каталог рабочих координат и высот пунктов городской полигонометрии в местной системе;

11) технический отчет (объяснительная записка) о выполненных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В. Д., Маркузе Ю. И.* Городская полигонометрия (уравнивание и основы проектирования). М., Недра, 1979.
2. *Большаков В. Д.* Теория ошибок наблюдений. М., Недра, 1983.
3. *Бородулин Г. И.* Результаты полевых исследований светодальномера ЕОК 2000. — *Геодезия и картография*, 1983, № 8, с. 23—28.
4. *Бронштейн Г. С., Симонович В. Н.* Выявление и учет постоянной ошибки светодальномера при измерении расстояний в комбинациях. — *Геодезия и картография*, 1973, № 7, с. 17—25.
5. *Бронштейн Г. С.* О методике определения постоянной поправки светодальномера. — *Геодезия и картография*, 1983, № 6, с. 27—29.
6. *Васютинский И. Ю., Рязанцев Г. Е., Ямбаев Х. К.* Геодезические приборы при строительно-монтажных работах. М., Недра, 1982.
7. *Воронков Н. Н., Кутырев В. В., Ашимов Н. М.* Гирскопическое ориентирование. М., Недра, 1980.
8. *Временная инструкция по измерению линий полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов светодальномерами СМ-3 и ЕОК 2000.* М., ЦНИИГАиК, 1975.
9. *Высшая геодезия/Зданович В. Г., Белоликов А. Н., Звонарев К. А. и др.* М., Недра, 1970.
10. *Гандерук Л. М.* Опыт создания городских геодезических сетей в институте УкрГИИГИС. — В сб.: Проблемы топографических съемок городов и подземных коммуникаций. М., ЦНИИГАиК, 1978, с. 31—37.
11. *Захаров А. И.* Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., Недра, 1978.
12. *Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР.* М., Недра, 1966.
13. *Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов.* М., Недра, 1974.
14. *Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства: СН 212—73.* М., Стройиздат, 1974.
15. *Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500: ГКИНП-02-033-82.* М., Недра, 1982.
16. *Крюков Г. С., Спиридонов А. И., Татаевян Р. А.* Тахеометр ЕОТ 2000. — *Геодезия и картография*, 1981, № 10, с. 48—51.
17. *Конусов В. Г.* Предвычисление точности полигонометрических ходов. М., Недра, 1966.
18. *Лебедев Н. Н.* Курс инженерной геодезии (геодезические работы при строительстве городов и тоннелей). М., Недра, 1974.
19. *Лебедев Н. Н.* Сравнительный анализ положительных свойств триангуляции и трилатерации как методов построения планового геодезического обоснования. — В сб.: Совершенствование программ и схемы построения опорных геодезических сетей на территории городов, ч. 1, Новосибирск, НИИГАиК, 1980, с. 28—37.
20. *Лобачев В. М.* Радиоэлектронная геодезия. М., Недра, 1980.
21. *Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500.* М., Недра, 1979.
22. *Островский А. Л.* О выгоднейшем времени измерения горизонтальных углов в триангуляции и полигонометрии. — *Научные записки ЛПИ, Львов, ЛГУ*, 1962, вып. 85, с. 22—35.
23. *Островский А. Л., Маслич Д. И., Гребенюк В. Г.* Геодезическое прибороведение. Киев, Вища шк., 1983.
24. *Пашенков В. З.* Радио- и светодальномеры. М., Недра, 1980.
25. *Руководство по применению стенных знаков в полигонометрических и теодолитных ходах.* М., Недра, 1972.

26. *Руководство по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500*. Высотные сети. М., Недра, 1976.
27. *Светодальномер СМ-5*/Захаров А. И., Рассомахо Ф. В., Сикорская Л. Н. и др. — *Геодезия и картография*, 1978, № 9, с. 69—71.
28. *Светодальномер ЗСМ-2*/Беднягин А. А., Захаров Л. И., Поботаев В. Г. и др. — *Геодезия и картография*, 1982, № 8, с. 56—57.
29. *Спиридонов А. И., Кулагин Ю. Н., Кузьмин М. В.* Проверка геодезических приборов. М., Недра, 1981.
30. *Селиханович В. Г.* Геодезия. М., Недра, 1981.
31. *Справочник геодезиста*. Под ред. Большакова В. Д. и Левчука Г. П. М., Недра, 1975, кн. 1, 2.
32. *Татаевян Р. А.* О некоторых инструментальных ошибках светодальномера ЕОК 2000. — Реф. сб. М., ЦНИИГАиК, 1975, № 36, с. 16—20.
33. *Тахеометр ТА-5*/Абрамовских А. А., Болотов М. А., Захаров А. И. и др. — *Геодезия и картография*, 1983, № 1, с. 49—51.
34. *Тревого И. С.* О соотношении точности угловых и линейных измерений в светодальномерной полигонометрии. — *Респ. межвед. научно-техн. сб.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка*. Львов, ЛГУ, 1977, вып. 26, с. 90—97.
35. *Тревого И. С.* Пути повышения точности светодальномерных измерений в городских условиях. — *В сб.: Совершенствование программы и схемы построения опорных геодезических сетей на территории городов*. НИИГАиК, 1980, ч. 2, с. 114—119.
36. *Тревого И. С.* Исследование и учет горизонтальной рефракции в городской полигонометрии. — *Геодезия и картография*, 1984, № 1, с. 20—25.
37. *Центры геодезических пунктов для территории городов, поселков и промышленных площадок*. М., Недра, 1972.
38. *Шевчук П. М.* Определение постоянной поправки радио- и светодальномера по продольным невязкам ходов полигонометрии. — *Геодезия и картография*, 1976, № 2, с. 34—37.
39. *Юношев Л. С.* Боковая рефракция при измерении углов. М., Недра, 1969.
40. *Deumlich F.* Elektrooptische Kurzstreckenmeßgeräte. — *Vermessungstechnik*, 1982, N 4, s. 112—115.
41. *Moriz H.* Zur Geometrie der Refraktion. — *Osterr. Vermessungswesen*, 1962, № 1(50).
42. *Pauli W.* Einrichtung einer Basis der VEB Carl Zeiss Jena zur Komparierung elektrooptischer Entfernungsmeßgeräte. — *Vermessungstechnik*, 1979, N 4, s. 135—137.

Значения K_A , мм на 100 м измеряемого расстояния для наиболее распространенного диапазона температур и давлений

$t, ^\circ\text{C}$	Атмосферное давление, гПа															
	960	965	970	975	980	985	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025		
-10	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	0,8	0,7	0,5	0,3	0,2	0		
-8	2,2	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,3		
-6	2,4	2,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7	0,5		
-4	2,6	2,5	2,3	2,2	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,7		
-2	2,8	2,7	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0		
0	3,1	2,9	2,8	2,6	2,5	2,3	2,2	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2		
+2	3,3	3,1	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4		
+4	3,5	3,3	3,2	3,0	2,9	2,7	2,6	2,5	2,3	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6		
+6	3,7	3,5	3,4	3,2	3,1	2,9	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,8		
+8	3,9	3,7	3,6	3,4	3,3	3,1	3,0	2,9	2,7	2,6	2,4	2,3	2,2	2,0		
+10	4,0	3,9	3,8	3,6	3,5	3,3	3,2	3,1	2,9	2,8	2,6	2,5	2,4	2,2		
+12	4,2	4,1	3,9	3,8	3,7	3,5	3,4	3,3	3,1	3,0	2,8	2,7	2,6	2,4		
+14	4,4	4,3	4,1	4,0	3,9	3,7	3,6	3,4	3,3	3,2	3,0	2,9	2,8	2,6		
+16	4,6	4,5	4,3	4,2	4,0	3,9	3,8	3,6	3,5	3,4	3,2	3,1	3,0	2,8		
+18	4,8	4,6	4,5	4,4	4,2	4,1	4,0	3,8	3,7	3,5	3,4	3,3	3,2	3,0		
+20	5,0	4,8	4,7	4,5	4,4	4,3	4,1	4,0	3,9	3,7	3,6	3,5	3,4	3,2		
+22	5,1	5,0	4,9	4,7	4,6	4,5	4,3	4,2	4,1	3,9	3,8	3,7	3,6	3,4		
+24	5,3	5,2	5,0	4,9	4,8	4,6	4,5	4,4	4,2	4,1	4,0	3,8	3,7	3,6		
+26	5,5	5,3	5,2	5,1	4,9	4,8	4,7	4,5	4,4	4,3	4,2	4,0	3,9	3,8		
	720	724	728	731	735	739	743	746	750	754	758	761	765	769		

Атмосферное давление, мм рт. ст.

Пример вычисления поправки $\Delta D_{t,P}$. Светодальномером 2СМ-2 измерена сторона полигонометрического хода длиной $D = 435,791$ м при $t = +10^\circ\text{C}$ и $P = 1020$ гПа. Для нахождения поправки необходимо наложить на номограмму линейку так, чтобы она пересекла шкалы температуры и давления в точках, где $t = +10^\circ\text{C}$ и $P = 1020$ гПа. В точке пересечения средней шкалы номограммы с краем линейки получим $K_A = 2,4$, а значение поправки по формуле

$$\Delta D_{t,P} = K_A N = 2,4 \cdot 4,36 = 10,5 \text{ мм.}$$

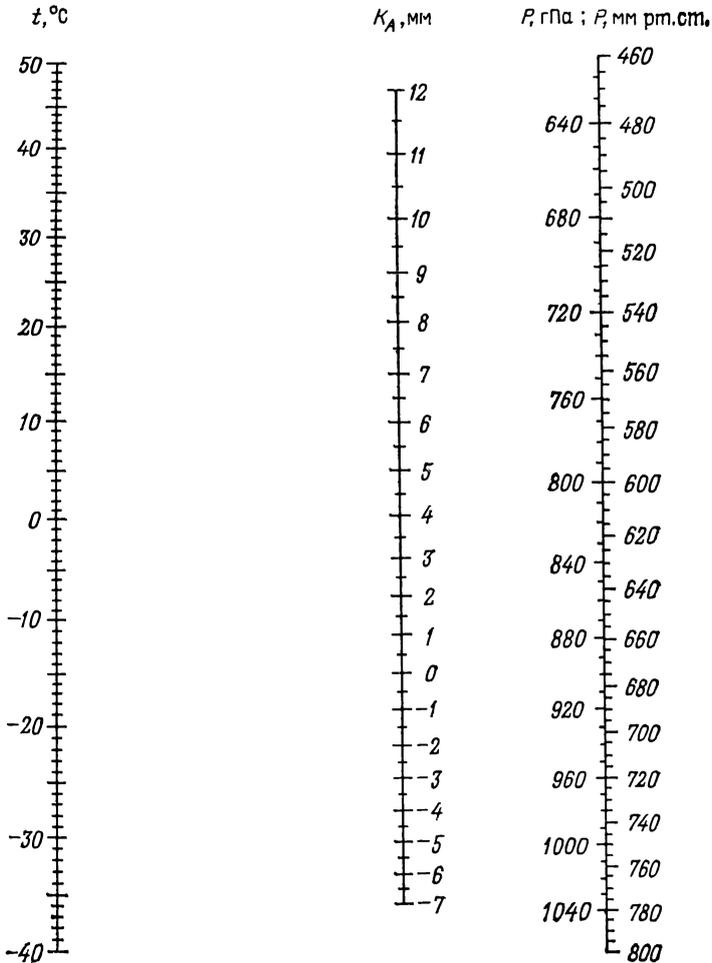
Используя t и P , то же значение поправки получим с помощью таблицы величин K_A .

**ПОПРАВКИ ЗА ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЛИНИЙ
СВЕТОДАЛЬНОМЕРАМИ СТ5, СМ-5 И ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХОМЕТРОМ Та5**

$$\Delta D_{t,p} = K_A N,$$

где N — число сотен метров в измеряемом отрезке.

*Номограмма для определения коэффициента K_A^**



Значения K_A мм на 100 м. измеряемого расстояния для наиболее распространенного диапазона температур и давлений

$t, ^\circ\text{C}$	Атмосферное давление, гПа														
	960	965	970	975	980	985	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025	
-10	-1,3	-1,5	-1,6	-1,8	-1,9	-2,0	-2,2	-2,4	-2,5	-2,6	-2,8	-3,0	-3,1	-3,3	
-8	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,7	-1,8	-2,0	-2,2	-2,3	-2,4	-2,6	-2,8	-2,9	-3,1	
-6	-0,9	-1,0	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,8	-1,9	-2,1	-2,2	-2,4	-2,5	-2,7	-2,9	
-4	-0,7	-0,8	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,8	-2,0	-2,1	-2,2	-2,4	-2,6	
-2	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,6	-1,8	-1,9	-2,0	-2,2	-2,4	
0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,7	-1,8	-2,0	-2,2	
+2	0	-0,2	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,8	-2,0	
+4	+0,2	+0,4	+0,5	0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	
+6	+0,4	+0,6	+0,7	+0,4	+0,2	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-1,1	-1,3	
+8	+0,6	+0,8	+0,9	+0,6	+0,4	+0,2	+0,1	0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,9	-1,1	
+10	+0,7	+0,9	+1,0	+0,7	+0,5	+0,4	+0,3	+0,4	0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,7	-0,9	
+12	+0,9	+1,0	+1,1	+0,8	+0,6	+0,4	+0,4	+0,5	+0,4	0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7	
+14	+1,1	+1,2	+1,3	+1,0	+0,7	+0,6	+0,6	+0,7	+0,6	+0,2	+0,1	0	-0,3	-0,5	
+16	+1,3	+1,4	+1,5	+1,2	+0,9	+0,8	+0,8	+0,9	+0,7	+0,4	+0,3	0	-0,1	-0,3	
+18	+1,5	+1,6	+1,7	+1,4	+1,1	+1,0	+1,0	+1,1	+0,9	+0,6	+0,5	+0,2	+0,1	0	
+20	+1,7	+1,8	+1,9	+1,6	+1,3	+1,2	+1,2	+1,3	+1,1	+0,8	+0,7	+0,4	+0,3	+0,1	
+22	+1,8	+1,9	+2,0	+1,7	+1,4	+1,3	+1,3	+1,4	+1,2	+0,9	+0,8	+0,6	+0,4	+0,3	
+24	+2,0	+2,1	+2,2	+1,9	+1,6	+1,5	+1,5	+1,6	+1,4	+1,1	+1,0	+0,8	+0,6	+0,4	
+26	+2,2	+2,3	+2,4	+2,1	+1,8	+1,7	+1,7	+1,8	+1,6	+1,3	+1,2	+1,0	+0,8	+0,6	
	720	724	728	731	735	739	743	746	750	754	758	761	765	769	

Атмосферное давление, мм рт. ст.

Примечание. Пример определения поправки см. в прил. 1.

ПОПРАВКИ ЗА ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЛИНИЙ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОМ ЕОК 2000 И ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ ЕОТ 2000

$$\Delta D_{t, p} = K_A N,$$

где N — число тысяч метров в измеряемом отрезке.

Значения K_A , мм на 1000 м измеряемого расстояния

$t, ^\circ\text{C}$	Атмосферное давление, мм рт. ст.															
	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790
-30	-7	-11	-15	-20	-24	-28	-33	-37	-41	-46	-50	-54	-59	-63	-67	-72
-28	-5	-9	-13	-17	-22	-26	-30	-35	-39	-43	-47	-52	-56	-60	-65	-69
-26	-2	-7	-11	-15	-19	-24	-28	-32	-36	-41	-45	-49	-54	-58	-62	-66
-24	0	-4	-9	-13	-17	-21	-26	-30	-34	-38	-42	-47	-51	-55	-59	-64
-22	2	-2	-6	-11	-15	-19	-23	-27	-32	-36	-40	-44	-48	-53	-57	-61
-20	4	0	-4	-8	-13	-17	-21	-25	-29	-33	-37	-42	-46	-50	-54	-58
-18	6	2	-2	-6	-10	-14	-19	-23	-27	-31	-35	-39	-43	-47	-52	-56
-16	8	4	0	-4	-8	-12	-16	-20	-25	-29	-33	-37	-41	-45	-49	-53
-14	10	6	2	-2	-6	-10	-14	-18	-22	-26	-30	-34	-38	-43	-47	-51
-12	12	8	4	0	-4	-8	-12	-16	-20	-24	-28	-32	-36	-40	-44	-48
-10	14	10	6	2	-2	-6	-10	-14	-18	-22	-26	-30	-34	-38	-42	-46
-8	16	12	8	4	0	-4	-8	-12	-16	-20	-24	-28	-31	-35	-39	-43
-6	18	14	10	6	2	-2	-6	-10	-13	-17	-21	-25	-29	-33	-37	-41
-4	20	16	12	8	4	0	-4	-7	-11	-15	-19	-23	-27	-31	-35	-39
-2	22	18	14	10	6	2	-2	-5	-9	-13	-17	-21	-25	-29	-33	-36
0	24	20	16	12	8	4	0	-3	-7	-11	-15	-19	-23	-27	-30	-34
2	26	22	18	14	10	6	2	-1	-5	-9	-13	-17	-21	-24	-28	-32
4	27	23	20	16	12	8	4	1	-3	-7	-11	-15	-18	-22	-26	-30
6	29	25	21	18	14	10	6	3	-1	-5	-9	-13	-16	-20	-24	-28
8	31	27	23	19	16	12	8	4	1	-3	-7	-11	-14	-18	-22	-26

$t, ^\circ\text{C}$	Атмосферное давление, мм рт. ст.															
	640	650	660	670	680	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780
10	32	29	25	21	17	14	10	6	3	-1	-5	-9	-12	-16	-20	-23
12	34	30	27	23	19	16	12	8	4	1	-3	-7	-10	-14	-18	-21
14	36	32	28	25	21	17	14	10	6	3	-1	-5	-8	-12	-16	-19
16	37	34	30	26	23	19	15	12	8	4	1	-3	-6	-10	-14	-17
18	39	35	32	28	24	21	17	14	10	6	3	-1	-5	-8	-12	-15
20	40	37	33	30	26	23	19	15	12	8	5	1	-3	-6	-10	-13
22	42	38	35	31	28	24	21	17	13	10	6	3	-1	-4	-8	-12
24	44	40	36	33	29	26	22	19	15	12	8	5	1	-3	-6	-10
26	45	42	38	35	31	27	24	20	17	13	10	6	3	-1	-4	-8
28	47	43	40	36	33	29	26	22	19	15	12	8	5	1	-2	-6
30	48	45	41	38	34	31	27	24	20	17	13	10	6	3	-1	-4
32	50	46	43	39	36	32	29	25	22	18	15	12	8	5	1	-2
34	51	48	45	41	37	34	30	27	24	20	17	13	10	6	3	0
36	52	49	46	42	39	35	32	29	25	22	18	15	11	8	5	1
38	54	50	47	44	40	37	34	30	27	23	20	17	13	10	6	3
40	55	52	48	45	42	38	35	32	28	25	22	18	15	11	8	5
42	57	53	50	47	43	40	36	33	30	26	23	20	16	13	10	6
44	58	55	51	48	45	41	38	35	31	28	25	21	18	15	11	8

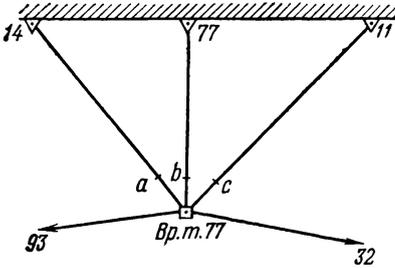
Примечание. Табличные ведомости даны (в порядке исключения) в мм рт. ст., так как в таких единицах они приведены в инструкции по эксплуатации светоальномера.

Пример вычисления поправки $\Delta D_{t, P}$. Створна полигонометрии длиной $D = 675,810$ м измерена светоальнометром ЕОК 2000 при температуре $t = +26^\circ\text{C}$ и давлении $P = 740$ мм рт. ст. По этим параметрам из таблицы найдем $K_A = +10$ мм. Искомая поправка равна

$$\Delta D_{t, P} = K_A N = 10 \cdot 0,68 = 6,8 \text{ мм.}$$

ПРИМЕР ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИЗ ТРЕХ СТЕННЫХ ЗНАКОВ ПОЛЯРНЫМ МЕТОДОМ

1. Исходные данные:



Пункт	Координаты, м		Дирекционный угол
	X	Y	
Вр. т. 77	9 875,004	6 608,304	27°54'47,3" 228°21'46,9"
Измеренный контрольный угол:			200°27'00,4"

Стальная рулетка № 4.

Масса 1 м рулетки — 18,644 г. Сила тяжести $F = 10$ кг.

Температура воздуха $t_h = +27^\circ$, температура компарирования $t_k = +22^\circ\text{C}$

2. Измеренные значения

Горизонтальные направления			Расстояния и превышения		
Номер точки стояния	Номер направления	Измеренное направление	Название точки	Измеренное расстояние, мм	Превышение, мм
Вр. т. 77	93	0°00'00,0"	14— <i>a</i>	19 862,4	—156,0
	14	65 08 19,2	<i>a</i> —Вр. т. 77	3 350,5	+ 28,5
	77	100 09 06,2	77— <i>в</i>	18 339,9	— 85,5
	11	131 38 06,3	<i>в</i> —Вр. т. 77	1 874,0	— 59,5
	32	200 26 58,3	11— <i>с</i>	19 735,1	— 65,5
			<i>с</i> —Вр. т. 77	4 328,9	— 84,4
			14—77 77—11	13 374,1 12 570,9	—7,5 —4,5

3. Вычисление горизонтальных проложений

Номер точки стояния	Измеренное расстояние, мм	Превышение, мм	Поправки, мм				Окончательное расстояние, м
			за наклон	за компарирование	за провис	за температуру	
14— <i>a</i>	19 862,4	—156	—0,6	1,4	—1,0	1,2	19,863
<i>a</i> —Вр. т. 77	3 350,5	+28	—0,1	0	0	0,3	3,351
77— <i>в</i>	18 339,9	—86	—0,2	1,4	—1,0	1,1	18,340
<i>в</i> —Вр. т. 77	1 874,0	—60	—0,1	0	—	0,1	1,874
11— <i>с</i>	19 735,1	—66	—0,1	1,4	—1,0	1,2	19,736
<i>с</i> —Вр. т. 77	4 328,9	—84	—0,8	0	0	0,2	4,328
14—77	13 374,1	—8	0	1,0	—0,4	0,8	13,376
77—11	12 570,9	—4	0	1,0	—0,4	0,7	12,572

4. Вычисление координат пунктов

Номер точки стояния	Название пункта	Измеренные направления	Поправка	Дирекционный угол
Эт. т. 77	93			27°54'47,3"
	14	65°08'19,2"	0,6	93 03 07,1
	77	100 09 06,2	0,6	128 03 54,1
	11	131 38 06,3	0,6	159 32 54,2
	32	200 26 58,5		228 21 45,8 228 21 46,9

$$w = -1,1''; \quad v = +0,6''$$

Номер точки стояния	Окончательное расстояние, м	Приращения, м		Координаты, м	
		Δx	Δy	X	Y
Эт. т. 77	23,214	-1,236	+23,131	9 875,004	6 608,304
	20,214	-12,463	+15,915	9 873,768	6 631,485
	24,064	-22,547	+8,408	9 862,541	6 624,219
				9 852,457	6 616,712

$$w = -1,1''; \quad v = +0,6''$$

5. Контроль

Название линии	Измеренное расстояние, м	Расстояние, вычисленное по координатам, м	Расхождение расстояний
14—77	13,376	13,373	+3
77—11	12,572	12,572	0

**ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ K ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОПРАВКИ δ_H
ЗА ПРИВЕДЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ НА ЭЛЛИПСОИД (К УРОВНЮ МОРЯ)**

H_m , м	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0,000	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,009	0,011	0,013	0,014
100	0,016	0,017	0,019	0,020	0,022	0,024	0,025	0,027	0,028	0,030
200	0,031	0,033	0,034	0,036	0,038	0,039	0,041	0,042	0,044	0,045
300	0,047	0,049	0,050	0,052	0,053	0,055	0,056	0,058	0,060	0,061
400	0,063	0,064	0,066	0,067	0,069	0,071	0,072	0,074	0,075	0,077
500	0,078	0,080	0,082	0,083	0,085	0,086	0,088	0,089	0,091	0,093
600	0,094	0,096	0,097	0,099	0,100	0,102	0,103	0,105	0,107	0,109
700	0,110	0,111	0,113	0,114	0,116	0,118	0,119	0,121	0,122	0,124
800	0,125	0,127	0,129	0,130	0,132	0,133	0,135	0,136	0,138	0,140
900	0,141	0,143	0,144	0,146	0,147	0,149	0,151	0,152	0,154	0,155
1000	0,157	0,158	0,160	0,161	0,163	0,165	0,166	0,168	0,169	0,171

Поправку δ_H (в м) вычисляют по формуле

$$\delta_H = kD_{II},$$

где

$$k = (H_m/R_m) \cdot 10^3$$

D_{II} — длина горизонтального проложения линии (в км)

Пример. Дано $D_{II} = 432$ м, $H_m = +242,2$ м.

Из таблицы по H_m выбирают $k = 0,038$ и вычисляют

$$\delta_H = 0,038 \times 0,432 = 0,016 \text{ м.}$$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ГЛАВА 1. Проектирование, рекогносцировка и закрепление пунктов городской полигонометрии	5
§ 1. Цели и особенности создания полигонометрических сетей на городских территориях	5
§ 2. Нормативные требования, предъявляемые к построению городской полигонометрии	6
§ 3. Составление технического проекта	7
§ 4. Рекогносцировка ходов и закрепление пунктов полигонометрии	15
ГЛАВА 2. Угловые измерения	22
§ 5. Теодолиты для угловых измерений в городской полигонометрии	22
§ 6. Поверка и исследование точных теодолитов	30
§ 7. Визирные марки и оптические центриры	44
§ 8. Источники ошибок и расчет точности угловых измерений	46
§ 9. Влияние и учет горизонтальной рефракции при измерении углов в городской полигонометрии	50
§ 10. Измерение горизонтальных углов	56
ГЛАВА 3. Линейные измерения	59
§ 11. Светодалномеры для измерения сторон полигонометрии	59
§ 12. Метрологическая аттестация и исследование светодалномеров	81
§ 13. Эталонирование светодалномеров на полевом базисе	88
§ 14. Приведение к горизонту сторон полигонометрии, измеренных светодалномерами	96
§ 15. Источники ошибок и точность светодалномерных измерений	98
§ 16. Измерение линий светодалномерами	105
§ 17. Традиционные методы линейных измерений в городской полигонометрии	114
ГЛАВА 4. Методика координирования стенных знаков и привязка к ним	120
§ 18. Характеристика типов систем стенных знаков и точность работ при их координировании	120
§ 19. Ориентирные системы стенных знаков	123
§ 20. Восстановительные системы стенных знаков	129
§ 21. Привязка полигонометрических ходов к стенным пунктам	133
ГЛАВА 5. Привязка ходов полигонометрии к пунктам государственной геодезической сети	139
§ 22. Непосредственная привязка ходов полигонометрии	139
§ 23. Привязка полигонометрического хода к пунктам, расположенным на зданиях и сооружениях	142
§ 24. Определение и учет элементов приведения	147
ГЛАВА 6. Полигонометрия с применением гиротеодолитов	153
§ 25. Особенности и точность азимутальных полигонометрических ходов	153
§ 26. Методика гироскопических определений в полигонометрии	157
ГЛАВА 7. Определение высот пунктов городской полигонометрии	160
§ 27. Общие положения	160
§ 28. Геометрическое нивелирование пунктов городской полигонометрической сети	161

§ 29. Определение высот пунктов из тригонометрического нивелирования	167
ГЛАВА 8. Предварительная обработка результатов измерений и оценка их точности	169
§ 30. Содержание, правила и средства вычислений	169
§ 31. Подготовка исходных данных	171
§ 32. Обработка результатов угловых измерений	177
§ 33. Обработка результатов линейных измерений	181
§ 34. Вычисление рабочих координат пунктов полигонометрии	183
Список литературы	187
<i>Приложение 1</i>	189
<i>Приложение 2</i>	191
<i>Приложение 3</i>	193
<i>Приложение 4</i>	195
<i>Приложение 5</i>	197

ИГОРЬ СЕВИРОВИЧ ТРЕВОГО
ПЕТР МАКСИМОВИЧ ШЕВЧУК

ГОРОДСКАЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЯ

Редактор издательства *О. А. Селеннова*
Переплет художника *Т. Н. Погореловой*
Художественный редактор *Г. Н. Юрчевская*
Технические редакторы *О. Ю. Трепенюк, О. А. Колотвина*
Корректор *С. В. Зимица*

ИБ № 5104

Сдано в набор 19.11.85. Подписано в печать 14.04.86. Т-70 803. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага
кн.-журн. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл.-печ. л. 12,5. Усл. кр.-отт. 12,5.
Уч.-изд. л. 13,55. Тираж 4500 экз. Заказ 852/9073—15. Цена 75 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
103633, Москва, Третьяковский проезд, 1/19.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

75 коп.

НЕДРА

FOR THE FUTURE