

УДК 528.521:187.3

Ф. Г. КОЧЕТОВ

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ КООРДИНАТНЫХ ТЕОДОЛИТОВ

Целью настоящей статьи является обобщение некоторых имеющихся сведений по автоматическому определению приращений координат точек полигонов и разработка на этой основе общей теории, на базе которой можно было бы совершенствовать и исследовать новые геодезические инструменты, называемые координатными теодолитами, или координаторами.

Известно, что вычисление приращений координат при решении прямой геодезической задачи осуществляется в основном по формулам:

$$\Delta x = d \cos a, \quad \Delta y = d \sin a, \quad (1)$$

где  $d$  — горизонтальное расстояние (проложение) между известной и искомой (определяемой)\* точками,  $a$  — дирекционный угол стороны полигона, соединяющей известную и искомую точки.

При непосредственном измерении длин сторон полигона или с помощью радио- и светодальномеров горизонтальные проложения линий находят путем проектирования их наклонной длины  $D$  на горизонтальную плоскость по формуле:

$$d = D \cos \delta,$$

где  $\delta$  — угол наклона измеряемой линии к горизонту. В случае измерения длин оптическими дальномерами различных классов и видов используют формулы:

$$d = Cl \cdot \cos^2 \delta + c \cdot \cos \delta \quad \text{для вертикального базиса (рейки),}$$

$d = (Cl + c) \cdot \cos \delta \quad \text{для горизонтального базиса (рейки), где } C \text{ — коэффициент дальномера, } c \text{ — постоянная слагаемая дальномера, } l \text{ — отсчет по рейке.}$

Все действия по нахождению горизонтальных проложений длин сторон полигона можно назвать редукцией на горизонтальную плоскость. Поскольку эта редукция происходит в вертикальной плоскости и осуществляется с помощью вертикального угла (угла наклона), то в отличие от других видов редукции назовем ее вертикальной редукцией.

Второе равенство системы (1) можно представить, как

$$\Delta y = d \cos (90^\circ - a)$$

\* Здесь и дальше термин «известная точка» означает точку с известными координатами, «искомая или определяемая точка» — точку, координаты которой необходимо определить, используя известную точку.

и рассматривать приращения координат как проекции горизонтального проложения линии на оси прямоугольных координат, получаемые с помощью азимута или дирекционного угла в горизонтальной плоскости. Процесс отыскания  $\Delta x$  и  $\Delta y$  по известным  $d$  и  $a$  с помощью формул (1) представляет собой вторичную редукцию, назовем ее горизонтальной, или азимутальной редукцией.

Таким образом, определение приращений координат точек полигонов сводится к осуществлению вертикальной и горизонтальной редукций. Графически этот процесс можно иллюстрировать рис. 1. Приборы, предназначенные для автоматического решения прямой геодезической задачи (координатные теодолиты), должны иметь азимутальное и вертикальное редуцирующие устройства либо единое устройство, которое обеспечивало бы сразу получение приращений координат.

Теоретически возможны два варианта автоматического решения задачи: раздельное редуцирование с использованием имеющегося в инструменте счетно-решающего устройства (СРУ) и совместное редуцирование посредством переменного параллактического угла.

**Раздельное редуцирование.** В приборе имеются два самостоятельных редуцирующих блока (устройства) и СРУ. Один из блоков (I, рис. 2) осуществляет вертикальную редукцию определяемой

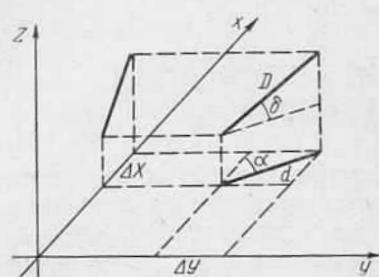


Рис. 1. Получение приращений координат редуцированием на горизонтальную плоскость и координатные оси.

стороны полигона по наклонному расстоянию и углу наклона, преобразует результат (горизонтальное проложение) к виду, удобному для обработки на СРУ, и по определенным каналам направляет информацию в СРУ. Второй редуцирующий блок (II) служит для выполнения азимутальной редукции. После установки лимбовой части прибора в исходное положение и визирования вдоль определяемой стороны в блок II поступает информация о готовом дирекционном угле (азимуте) или о его косинусе и синусе. Эта информация также преобразуется к определенному виду и направляется в СРУ. Счетно-решающее устройство III накапливает поступающую информацию, обрабатывает ее, тем самым заканчивая последнюю (азимутальную) редукцию, и выдает на индикаторе (отсчетном устройстве) сведения о  $\Delta x$  и  $\Delta y$  либо сразу об  $x$  и  $y$ , если СРУ работает еще и в суммирующем режиме. Вид, к которому преобразуется информация в блоках I и II, целиком зависит от режима работы СРУ. В некоторых случаях преобразования информации не требуются. Ввод информации в СРУ с блоков I и II осуществляется либо автоматически, либо вручную.

**Совместное редуцирование** при определении приращений координат основано на решении равнобедренного или прямоугольного треугольников с переменным параллактическим углом  $\varepsilon_x$  или  $\varepsilon_y$  (рис. 3). Известно, что в оптических дальномерах с постоянным параллактическим углом  $\varepsilon_0$  и переменным базисом  $l$  также используется решение равнобедренных и прямоугольных треугольников. При этом расстояние  $D$  между точками получают по формуле

$$D = l \operatorname{ctg} \varepsilon_0 \approx l \frac{1}{\varepsilon_0} \rho'' = Cl,$$

то есть оно фактически равно отсчету  $l$  по рейке, умноженному на постоянный коэффициент  $C$ .

В координатных теодолитах параллактический угол  $\varepsilon_0$  соответствует только начальному нулевому положению алидадной части инструмента относительно лимбовой. В этом положении отсчет градусных делений на лимбе равен  $0^{\circ}00'00''$ . Направление визирного луча при нулевом отсчете на лимбе принимается за направление осевого (или истинного) меридиана и совмещается с действительным направлением последнего при работе на местности. Вращение алидады по часовой стрелке соответствует изменению дирекционного угла (азимута) от 0 до  $360^{\circ}$ .

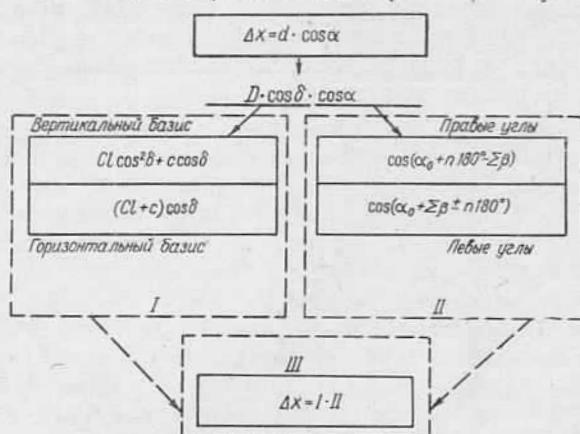


Рис. 2. Схема действия инструментов с раздельным редуцированием.

Это вращение передается на азимутальное редуцирующее устройство, которое изменяет параллактический угол  $\varepsilon_0$  в функции синуса или косинуса угла поворота  $\alpha$  алидады относительно нуля лимба. Таким образом, каждому градусному отсчету на лимбе соответствуют свои параллактические углы, определяемые формулами

$$\varepsilon'_x = \varepsilon_0 \cdot \cos \alpha, \quad \varepsilon'_y = \varepsilon_0 \cdot \sin \alpha.$$

Сформированные азимутальным редуцирующим устройством (АРУ) параллактические углы  $\varepsilon'_x$  и  $\varepsilon'_y$  поступают в вертикальное редуцирующее устройство (ВРУ). ВРУ изменяет углы  $\varepsilon'_x$  и  $\varepsilon'_y$  только при вращении зрительной трубы инструмента в вертикальной плоскости. Причем это изменение происходит пропорционально косинусу угла наклона визирного луча. После прохождения системы ВРУ в пространство предметов выходят измененные параллактические углы, соответствующие строго определенному направлению линии визирования как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях:

$$\varepsilon_x = \varepsilon'_x \cdot \cos \delta = \varepsilon_0 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \delta, \quad \varepsilon_y = \varepsilon'_y \cdot \cos \delta = \varepsilon_0 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \delta. \quad (2)$$

Воспользуемся полученными значениями переменных параллактических углов и по рис. 3 найдем расстояние между исходной точкой  $A$ , где установлен координатный теодолит, и определяемой точкой  $B$ , обозначив отсчет по рейке (переменный базис) через  $l_x$  и  $l_y$ :

$$D = l_x \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon_x \approx l_x \frac{1}{\varepsilon_x} \rho'' = l_x \frac{1}{\varepsilon_0 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \delta} \rho'' = Cl_x \frac{1}{\cos \alpha \cdot \cos \delta},$$

$$D = l_y \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon_y \approx l_y \frac{1}{\varepsilon_y} \rho'' = l_y \frac{1}{\varepsilon_0 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \delta} \rho'' = Cl_y \frac{1}{\sin \alpha \cdot \cos \delta}.$$

Представим эти выражения в несколько ином виде:

$$Cl_x = D \cdot \cos \delta \cdot \cos \alpha = \Delta x, \quad Cl_y = D \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha = \Delta y. \quad (3)$$

Формулы (3) показывают, что отсчет по рейке, умноженный на постоянный коэффициент координатного теодолита, дает сразу приращение либо абсциссы, либо ординаты, в зависимости от того, какой параллактический угол ( $\varepsilon_x$  или  $\varepsilon_y$ ) использовался при отсчитывании. Здесь не учтена лишь постоянная слагаемая, которая, как и в дальномерах, может быть доведена до нуля либо конструктивными изменениями в самом теодолите, либо специальной разграфкой рейки. Если она не равна нулю, то в отсчитанные приращения вводят поправки.

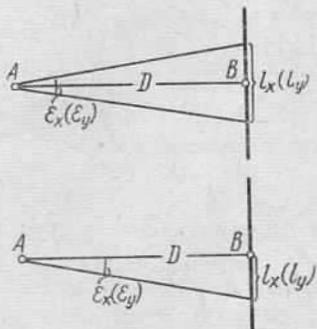


Рис. 3. Принцип определения приращений координат при совместном редуктировании.

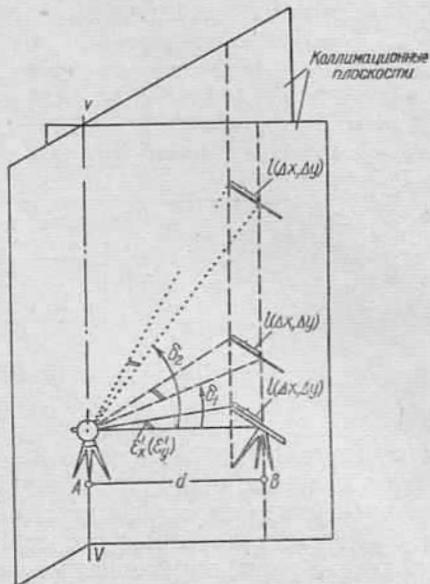


Рис. 4. Принцип действия координатных теодолитов без ВРУ.

Разновидностью теодолитов с одновременным редуктированием являются инструменты, не содержащие ВРУ. Отсутствие вертикального редуктирующего устройства компенсируется тем, что после прохождения через систему азимутального редуктирующего устройства переменные параллактические углы  $\varepsilon_x'$  и  $\varepsilon_y'$  не выходят в пространство предметов, а фиксируются в отсчетном микроскопе двумя штрихами каждый. По этим штрихам коллимационная плоскость зрительной трубы поворачивается микрометральным винтом на угол  $\varepsilon_x'$  или  $\varepsilon_y'$  и отсекает на горизонтальной рейке отрезки  $\Delta x$  или  $\Delta y$ . Это действительно так, поскольку процесс визирования коллимационной плоскостью на точки местности равнозначен процессу проектирования пространственных углов на горизонтальную плоскость (на плоскость лимба), а расстояние от вершины угла до горизонтального базиса, вычисленное по проекции пространственного угла, который образован прямыми, проходящими через концы базиса, дает всегда горизонтальное проложение наклонной длины независимо от величины угла наклона последней (рис. 4).

Для работы с подавляющим большинством координатных теодолитов необходимо иметь специальные рейки (базис). Базис может быть установлен либо вертикально, либо горизонтально на определяемой

точке или же может составлять единое целое с теодолитом и устанавливаться на исходной точке. По этому принципу все координатные теодолиты делятся на три вида: с базисом вне инструмента, с базисом при инструменте и без базиса (с отражателем радио- или световых волн в определяемой точке и др.).

По расположению шкал и оцифровке рейки могут быть симметричными, когда деления возрастают от нуля, расположенного посередине рейки и центрируемого над точкой, симметрично в обе стороны, и асимметричными, когда нуль расположен на одном из концов рейки, а деления возрастают в одну сторону. Первый вид реек применяется в случаях изменения параллактического угла от минимального значения до нулевого и далее до максимального. Второй вид — в случаях изменения параллактического угла от максимального значения до нулевого и вновь до максимального. С целью повышения точности отсчитывания по рейке могут применяться либо оптические микрометры с плоско-параллельной пластинкой при зрительной трубе теодолита, либо прямые и обратные нониусы, наносимые на полотне рейки совместно с основными делениями.

Для удобства отсчитывания по рейкам и перевода отсчета в линейную меру, выраженную в метрах, необходимо либо выбирать  $\varepsilon_0$  таким, чтобы коэффициент  $C$  равнялся круглому числу, например, 200, 100, 50, 10, и допускал использование обычных полусантиметровых, сантиметровых и двухсантиметровых реек, либо рассчитывать ширину  $t$  одного деления рейки с ценой  $\tau$  и наносить на рейке  $t$ -сантиметровые деления. Для нахождения ширины одного деления воспользуемся одной из формул (3), выразив отсчет по рейке, как  $l_x = n_x \cdot t$ , где  $n_x$  — число отсчитанных делений:

$$C \cdot n_x t = \Delta x, \quad \text{или} \quad t = \frac{\Delta x}{n_x} \cdot \frac{1}{C}.$$

Первый сомножитель в правой части полученного равенства выражает число метров или других линейных единиц, приходящихся на одно деление рейки, то есть фактически это цена деления рейки  $\tau$ . Поэтому окончательная формула для расчета величины деления на рейке, выраженная через цену деления и коэффициент координатора, будет иметь вид:

$$t = \frac{\tau}{C}. \quad (4)$$

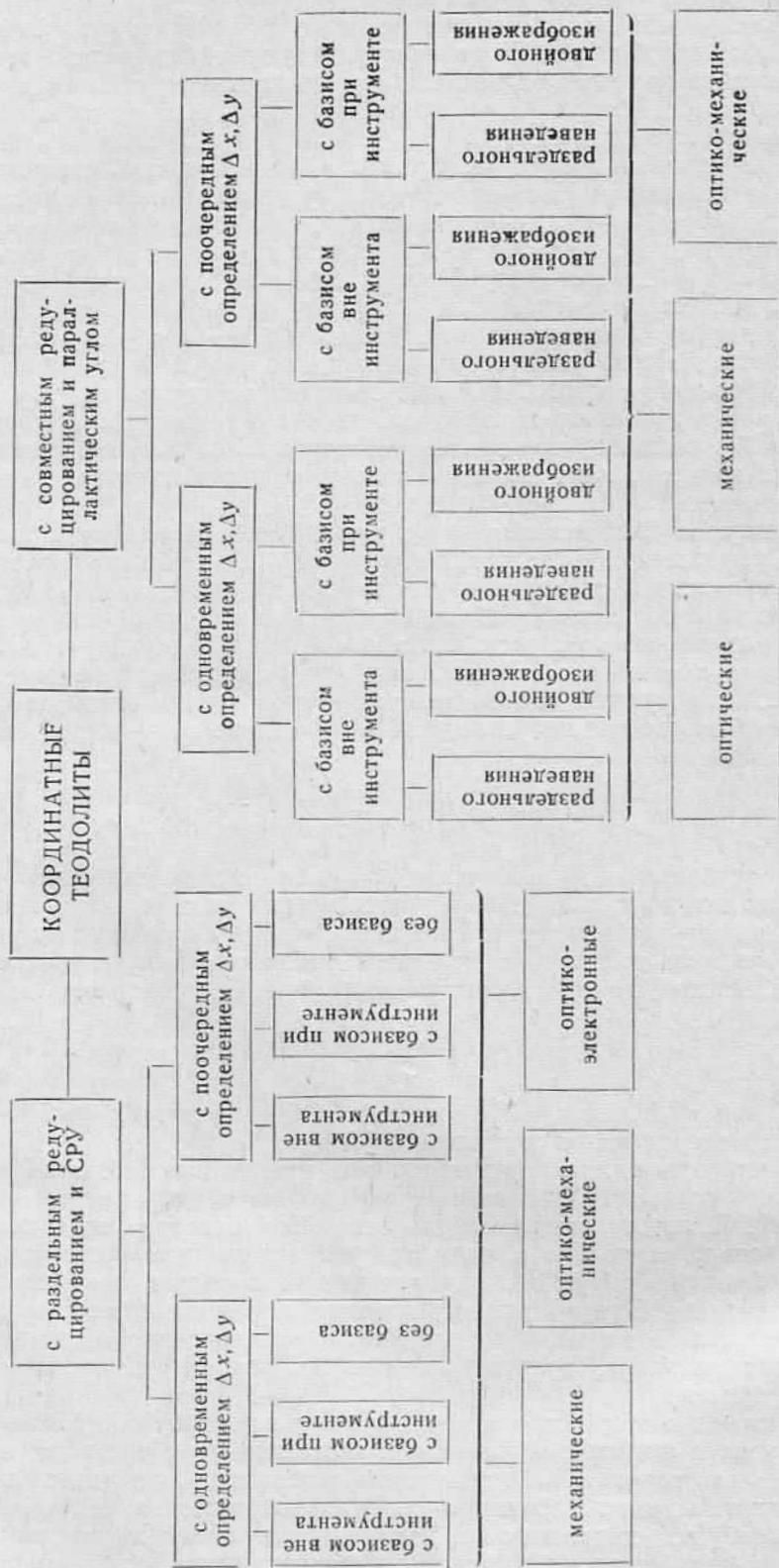
Например, при  $\tau = 1 \text{ м}$  и  $\varepsilon_0 = 1^\circ$  (координатный теодолит Ко-Те-С1) ширина одного деления рейки составляет  $1,7455 \text{ см}$ .

По конструктивным соображениям или исходя из требований точности, не все теодолиты допускают одновременное определение обоих приращений. В некоторых разновидностях АРУ преобразует значение дирекционного угла только в одну тригонометрическую функцию его, например, функцию синус, и позволяет получить только одну координату, например  $\Delta y$ . Для получения  $\Delta x$  алидаду теодолита переставляют относительно лимба на  $90^\circ$  (это изменяет функцию синус на косинус) и повторяют операции, предусмотренные программой измерений для одной координаты.

В зависимости от способа задания в натуре переменного параллактического угла и формы получаемого в зрительной трубе изображения можно выделить координатные теодолиты раздельного наведения (с одним изображением в поле зрения) и двойного изображения.

По способу редуктирования все координаторные инструменты разделяются на оптические (диаграммные), механические, оптико-механические и оптико-электронные.

**Схема классификации координатных теодолитов**



Соподчиненность отдельных видов координатных теодолитов наглядно представлена на схеме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Губин М. М. Сферицилиндрический координатомер-автомат. Красноярск, 1945.
2. Кочетов Ф. Г. Элементы теории координатных теодолитов. Материалы докладов V научно-технической конференции Кишиневского политехнического института. Кишинев, 1969.
3. Кочетов Ф. Г. Возможные схемы автоматического определения приращений координат. Материалы докладов VI научно-технической конференции Кишиневского политехнического института. Кишинев, 1970.
4. Маждраков М. Оптически теодолит за директию измерване на координатни разлики. Известия Главно управление по геодезии и картография, № 4, София, 1967.
5. Макарнук Я. Д. Новые методы измерения расстояний и определения координат в инженерной геодезии. Научный ежегодник Одесского ун-та, Одесса, 1957.
6. Фиаловски Л. Теодолит для автоматического определения координат. «Геодезия и картография», 1965, № 11.
7. Томашеговић Postoji li mogućnost direktnog određivanja koordinatnih razlika u poligonskim vlastovima? Glasnik za šumske pokuse, br. 9, 1948, Zagreb.

Работа поступила  
3 ноября 1970 года