

Два варианта применения окулярных шкал для ориентировки шахт

Доц. Н. А. Гусев

Окулярные шкалы известны в маркшейдерской практике под названием шкал Братгуна, которым они были предложены для наблюдения за колебаниями отвеса вместо обычных шкал, устанавливаемых вблизи отвесов. Предложение Братгуна получило применение при ориентировках через две шахты и для этой цели горные теодолиты снабжаются дополнительным окулярным колесом с окулярной шкалой и визирной сеткой. Для пользования окулярной шкалой окулярный патрубок трубы теодолита заменяется патрубком с окулярной шкалой.

Шкала наносится механическим или фотографическим способом на стекле. Цена одного деления шкалы зависит от фокусного расстояния визирной трубы; в горных теодолитах она делается равной около 50". Высокая точность нанесения штрихов шкалы и малая цена делений последней позволяют пользоваться окулярными шкалами не только при ориентировках через две шахты, но и через одну.

В русской литературе, а также и в зарубежной, мы находим описание способа применения окулярных шкал по Братгуну при ориентировках через две шахты, но ни в той, ни в другой литературе не дано исследования систематических ошибок, которые получаются при пользовании горными теодолитами с обычными визирными трубами. Эти систематические ошибки получаются потому, что передний фокус трубы, с которым совпадает аналлатическая точка окулярной шкалы, или, иначе, вершина угла, соответствующего цене деления шкалы, не совпадает с вертикальной осью теодолита. Геометрический смысл систематической ошибки окулярной шкалы ясен из рис. 1.

Предположим, что окулярная шкала отфокусирована на расстоянии s от оси теодолита O , что передний фокус F трубы находится на расстоянии $a + f = c$ от оси вращения инструмента O ; тогда, обозначив линейно величину цены деления шкалы

через t , угловую цену деления шкалы через ϵ и центральный угол, отвечающий цене деления t , отнесенной на расстояние s , через α , из рис. 1 имеем:

$$(s - c) \cdot \epsilon = s \cdot \alpha. \quad (1)$$

Но центральный угол

$$\alpha = \epsilon - d\epsilon,$$

где $d\epsilon$ — систематическая ошибка, соответствующая одному делению шкалы.

Подставив в первое равенство значение α , получим:

$$(s - c) \cdot \epsilon = s(\epsilon - d\epsilon),$$

или

$$c\epsilon = sd\epsilon.$$

Отсюда следует, что систематическая ошибка

$$d\epsilon = \frac{c \cdot \epsilon}{s}. \quad (2)$$

Значение $c\epsilon$ для каждого теодолита постоянно. Обозначим его через k , тогда

$$d\epsilon = \frac{k}{s} \quad (3)$$

Выяснив геометрический смысл ошибки $d\epsilon$, мы видим, что она обратно пропорциональна расстоянию s . Посмотрим, чему она может быть равна для различных расстояний, если пользоваться горным теодолитом завода маркшейдерских инструментов в Харькове. Положим $\epsilon = 50''$ и $c = 0,36$ м, тогда $k = c \cdot \epsilon = 18''$ м. Составим для значений $d\epsilon$ таблицу.

Таблица 1

s_m	$d\epsilon''$	s_m	$d\epsilon''$
2	9,0	6	3,0
3	6,0	7	2,6
4	4,5	8	2,25
5	3,6	9	2,0

В литературе дается следующее описание способа применения юклярных шкал по Братуну: устанавливают теодолит, выбирают постоянную точку так, чтобы она и отвес находились в поле зрения трубы, наводят трубу на постоянную точку и берут отсчет по горизонтальному лимбу; затем, не нарушая установки алидады, фокусируют трубу на отвес и делают наблюдения по шкале за колебаниями отвеса, после чего вычисляют средний шкальный отсчет n_0 , отвечающий спокойному положению отвеса, и вычисляют центральный угол α_0 между направлением на постоянную точку и направлением на отвес, которое он занимает при отсчете n_0 , по формуле:

$$\alpha_0 = \epsilon \cdot n_0 \quad (4)$$

и т. д.

Из всего вышеизложенного ясно, что вычисление по формуле (4) центрального угла α_0 неверно не только с теоретической точки зрения, но при значительном n_0 и малом s и с практической. На самом деле, предположим, что наблюдения произведены теодолитом завода маркшейдерских инструментов в Харькове «ТГ-1» на расстояние 3 м от отвеса и получилось в результате этих наблюдений $n_0 = 8$. Для такого случая мы получаем ошибку

$$m \equiv d\epsilon \quad n_0 = 6 \cdot 8 = 48_1'',$$

где $6'' = d\epsilon$ взято из таблицы 1. Из этого примера видно, что не всегда можно вычислять α_0 по (4) формуле. В случаях,

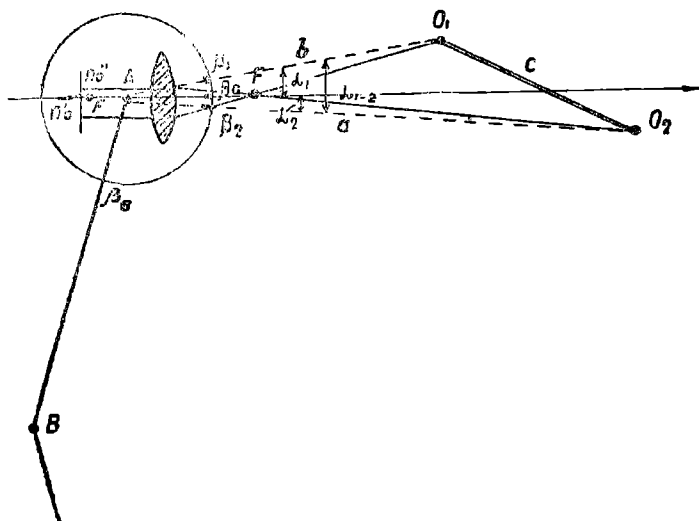


Рис. 2.

когда ошибка m становится практически ощутимой: превосходит ошибку отсчитывания по лимбу, следует угол α_0 вычислять по строгой формуле

$$\alpha_0 = (\epsilon - d\epsilon) \quad n_0. \quad (5)$$

Значение $d\epsilon$ и ϵ , входящие в формулу (5), получают первое по формуле (2), а второе по формуле

$$\epsilon'' = \frac{t}{f} \cdot \rho'' \quad (6)$$

если известны t и f . Как правило, значение t , а иногда и f , точно не известно, а потому ϵ определяется косвенным путем, о чем будет сказано ниже.

Дадим описание способа применения окулярных шкал для ориентировок через одну шахту.

Рассмотрим два случая: первый, когда в поле зрения трубы попадают оба отвеса и наблюдения за их колебаниями могут быть выполнены без нарушения установки алидады горизонтального круга, и второй, когда два отвеса одновременно не могут быть приведены в поле зрения трубы и для наблюдения за их колебаниями приходится делать перестановку алидады.

Случай первый. Пусть на рис. 2 O_1 и O_2 — отвесы, A — точка стояния теодолита, B — точка визирования и β_1 , β_2 и β_B — отсчеты по горизонтальному лимбу, отвечающие соответственно направлениям с точки A на отвесы O_1 , O_2 и точку визирования B . Знание этих отсчетов и расстояний a , b и c необходимо для решения примычного треугольника и для передачи дирекционного угла со створа отвесов на примычный стан рудничной съемки. Отсчет β_B берется непосредственно по лимбу при наведении трубы на точку B , отсчеты же β_1 и β_2 при пользовании окулярной шкалой вычисляются по шкальным отсчетам.

Наблюдения за колебаниями отвесов по окулярной шкале в первом случае делаются следующим образом. Установив теодолит в точке A , совмещают нулевой штрих алидады с нулевым штрихом лимба и, приведя трубу в горизонтальное положение, наводят ее, вращая лимб, на отвесы так, чтобы оба отвеса попадали в поле зрения трубы, и в таком положении закрепляют лимб. Можно наводить трубу на отвесы и при произвольном — не нулевом отсчете, но для увеличения точности следует все же нулевой штрих верньера совмещать с ближайшим для данного направления штрихом лимба¹. Этот отсчет, равный нулю или произвольному, кратному цене деления лимба числу, обозначим на рис. 2 через β_0 .

Взяв отсчет β_0 , и соблюдая большую осторожность, чтобы не нарушить установку теодолита, наблюдают по шкале колебания отвесов, вначале одного, затем другого. Наблюдения следует производить короткими сериями, беря в каждой серии 8—10 пар отсчетов для каждого отвеса, после чего труба наводится на пункт B и берется отсчет β_B . После этого труба устанавливается опять на начальный отсчет β_0 и далее повторяются наблюдения за отвесами и наведение на пункт B той же последовательности, как и первый раз. Такие повторные наблюдения делаются 3—4 раза, после чего труба переводится через зенит и повторяются все операции, как и при первом положении трубы. В результате многократных повторных наблюдений для каждой серии получается свой средний шкальный отсчет n_i , отвечающий спокойному положению отвеса, и отсчет по лимбу β_i . Отсчет β отстается для всех серий одинаковый. Полученные для каждой в отдельности серии значения n_1 , n_2 , n_3 , n_i и β_1 , β_2 , β_3 и усредняются и получают окончательные средние их значения.

¹ Рекомендуются совмещать эксцентриситета алидады.

, находящиеся вблизи линий

$$\left. \begin{array}{l} n'_0 \quad \text{для отвеса } O_1 \\ \\ \\ \frac{\sum i_1 \beta}{i} \end{array} \right\} \quad O_2 \quad (7)$$

Для решения примычного треугольника и для передачи дирекционного угла со створа отвесов на начальный стан рудничной съемки должны быть вычислены углы:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_{1-2} = \beta_2 - \beta_1 \\ \alpha_{1-B} = \beta_B - \beta_1 \\ \alpha_{2-B} = \beta_B - \beta_2 \end{array} \right\} \quad (8)$$

и измерены стороны a , b и c треугольника AO_1O_2 . Из рис. 2 видно, что входящие в формулу (8) отсчеты

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = \beta_0 - \alpha_1 \\ \beta_2 = \beta_0 + \alpha_2 \end{array} \right\} \quad (9)$$

где α_1 и α_2 вычисляются по данным шкальным наблюдениям по формуле (5), а именно

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_1 = (\varepsilon - d\varepsilon) \cdot n'_0 \\ \alpha_2 = (\varepsilon - d\varepsilon) \cdot n''_0 \end{array} \right\} \quad (10)$$

Значения $d\varepsilon_1$ и $d\varepsilon_2$ получаются по формуле (2):

$$d\varepsilon_1 = \frac{c \cdot \varepsilon}{b}$$

$$d\varepsilon_2 = \frac{c \cdot \varepsilon}{a}$$

В формулах (9) мы поставили знаки при α_1 и α_2 в соответствии с рис. 2. Однако практически такое определение знаков неудобно и может привести к недоразумениям. Эти знаки легко определяются из усредненных отсчетов n'_0 и n''_0 , если считать, что:

1) средний вертикальный визирный штрих шкалы (рис. 3) имеет нулевое значение (± 0),

2) отсчеты по левую сторону от нулевого штриха, считая со стороны наблюдателя, имеют знак плюс (+) и

3) отсчеты по правую сторону — минус (—).

Учитывая это, перепишем формулу (9) в общем виде:

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = \beta_0 + \alpha_1 \\ \beta_2 = \beta_0 + \alpha_2 \end{array} \right\} \quad (11)$$

Подставив теперь значения α_1 и α_2 из формул (10) в формулы (11), и затем подставив полученные по формулам (11) значения β_1 и β_2 в формулы (8), получим:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_{1-} = (n''_0 - n'_0) \cdot \varepsilon - (n''_0 \cdot d\varepsilon_2 - n'_0 \cdot d\varepsilon_1) \\ \alpha_{1-B} = \beta_B - \beta_0 - (z - d\varepsilon_1) \cdot n'_0 \\ \alpha_{2-B} = \beta_B - \beta_0 - (\varepsilon - d\varepsilon_2) \cdot n''_0 \end{array} \right\} \quad (12)$$



Рис. 3.

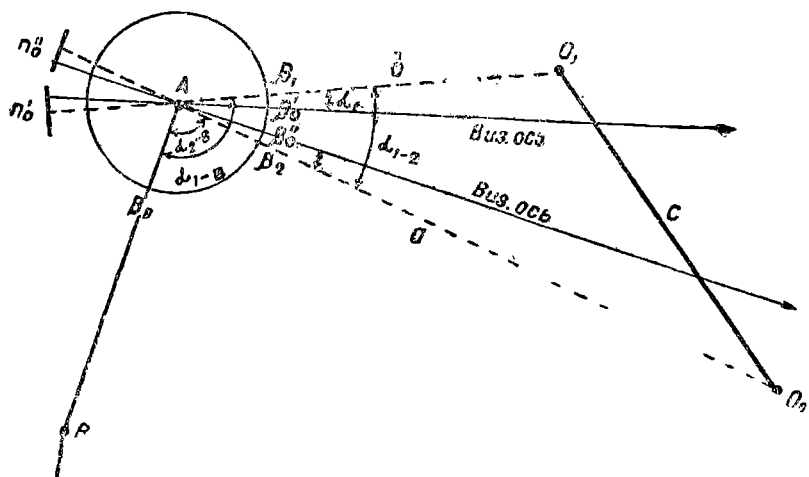
При вычислениях по этим формулам должны быть учтены знаки при n' и n'_0 , как это было сказано выше. По формулам (12) мы получаем значение углов, необходимых для решения примычного треугольника и для передачи дирекционного угла на стан AB рудничной съемки.

Стороны примычного треугольника могут быть измерены или непосредственно или при помощи зеркал. Непосредственное измерение делается стальной 10- или 20-метровой рулеткой. При горизонтальном положении рулетки нулевой или один из ближайших к нему штрихов ее совмещается с керном на трубе теодолита; другой конец рулетки протягивается в сторону отвеса так, чтобы она почти касалась отвеса, до которого измеряется расстояние, и, придав отвесу малые колебания, параллельные рулетке, берут серию отсчетов по ней при крайних положениях отвеса. Средний отсчет из серии наблюдаемых отсчетов даст расстояние от теодолита до отвеса, если с керном был совмещен нулевой штрих рулетки. Аналогичным способом измеряется расстояние и до другого отвеса, а расстояние между отвесами получается как разность между усредненными отсчетами по рулетке, полученными для первого и второго отвесов. Такой способ измерения для вытянутой формы примычного треугольника вполне может обеспечить необходимую точность, но он в случае сильного капежа в стволе шахты неудобен, так как маркшейдеру приходится находиться под капежом при взятии отсчетов по рулетке. Значительно удобнее для таких случаев производить измерение расстояний до отвесов при помощи зеркал, которые делаются следующим образом. Вблизи каждого отвеса устанавливаются вертикально по одному плоскому зеркалу под углом 45° к линиям визирования на отвесы. Отвесам даются продольные — по направлению линии визирования колебания и наблюдают за этими колебаниями в трубу теодолита через зеркала, беря отсчеты по окулярной шкале. Взяв 8—10 шкальных отсчетов по отвесу и, вычислив средний шкальный отсчет, закрепляют отвес в среднем положении против вычисленного шкального отсчета. Так же поступают и со вторым отвесом, после чего измерение длин рулеткой не представляет затруднений. Если условия в рудничном дворе позволяют закрепить конец рулетки, не трогая трубы теодолита, например, измеряя расстояние от отвеса, подвешенного к маркшейдерской точке, или к становому винту теодолита, или в случае, когда теодолит имеет оптический центрир от незыблемой точки, снесенной центриром на постоянный, специально закрепленный под головкой штатива, предмет, то закрепление отвесов O_1O_2 против средних шкальных отсчетов можно заменить фиксированием среднего отсчета непосредственно на натянутой рулетке. Отсчет на рулетке, взятый против спроектированного на нее через зеркало среднего шкального отсчета, даст расстояние от теодолита до отвеса. Проекцию среднего шкального отсчета на рулетке можно отмечать или тонкой металлической шпилькой или той же проволокой отвеса, подводя ее вплотную

к рулетке в положение, отвечающее среднему шкальному отсчету, фиксируемому на рулетку через трубу теодолита и через зеркало.

Решение примычного треугольника делается по известному способу так же, как и треугольника Вейсбаха.

Случай второй. Если расположение рудничного двора и отвесов не позволяют установить теодолит в таком положении, чтобы оба отвеса попадали в поле зрения трубы, то наблюдения по шкалам за колебаниями отвесов можно делать в два приема с перестановкой между ними алидады горизонтального круга теодолита. Такой случай показан на рис. 4.



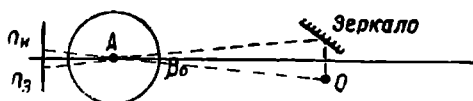
В точке А устанавливается теодолит и наводят трубу при ее горизонтальном положении на отвес O_1 так, чтобы он оказался в поле зрения. Совмещают нулевой штрих алидады с ближайшим штрихом лимба и записывают получившийся отсчет β'_0 (см. рис. 4), делают затем наблюдения за колебаниями отвеса и, взяв одну серию отсчетов по окулярной шкале, наводят трубу на отвес O_2 так же, как и на отвес O_1 , и берут отсчет β'_0 по совмещенным штрихам алидады и лимба. Наблюдают качания отвеса O_2 и после серии шкальных отсчетов наводят трубу на точку В; берут отсчет по лимбу β_B и далее повторяют операции вновь, начиная опять с отвеса O_1 . После 3—4 серий повторных наблюдений, так же, как и в случае первом труба переводится через зенит, после чего делают еще столько же серий наблюдений, сколько их было сделано при первом положении трубы. «Совмещенные» отсчеты β'_0 и β'_0 при каждом повторном наблюдении берутся одни и те же. В результате многократных наблюдений для каждой серии получают средние шкальные отсчеты и отсчеты по лимбу β_B , из которых вычисляют оконча-

тельные средние значения n'_0 для отвеса O_1 и n''_0 для отвеса O_2 .

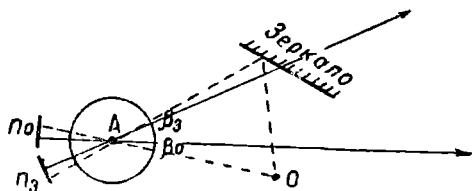
Вычисление углов α_{1-2} , α_{1-B} и α_{2-B} делается по формулам, аналогичным формулам (12) с той лишь разницей, что в первую из них будет входить разность $\beta'_0 - \beta''_0$, а во вторую и третью вместо $\beta_0 - \beta'_0$ и β''_0 , а именно:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{1-2} &= \beta''_0 - \beta'_0 - [(n''_0 - n'_0) (n''_0 d\varepsilon_2 - n'_0 d\varepsilon_1)] \\ \alpha_{1-B} &= \beta_B - \beta'_0 - (\varepsilon - d\varepsilon_1) \\ \alpha_2 &= \beta_B - \beta''_0 - (\varepsilon - d\varepsilon_2) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Для измерения сторон примычного треугольника следует пользоваться плоскими зеркалами, устанавливая по ним отвесы в среднем положении, как и в способе первом. Отвесы закрепля-



ются, после чего измеряются все три стороны a , b и c . Для выгодных — вытянутых форм, примычных треугольников установка отвесов по шкальным отсчетам только посредством зеркал вполне обеспечивает необходимую точность измерений. В случаях значи-



тельного отклонения примычных треугольников от выгодной формы установку отвесов следует делать по шкальным отсчетам и «нормальным» и «зеркальным».

Для установки отвеса по «нормальным» шкальным отсчетам используются средние отсчеты n'_0 и n''_0 , полученные при установках трубы на отсчеты β'_0 и β''_0 , отсчеты «зеркальные» делаются дополнительно, как это было пояснено раньше. В практике может встретиться два варианта взятия «зеркальных» шкальных отсчетов. Вариант первый, когда в поле зрения трубы одновременно может быть виден отвес прямо (непосредственно) и через зеркало. В таком случае с одной установки трубы, на отсчет β'_0 или β''_0 по лимбу можно одновременно наблюдать и «нормальные» и «зеркальные» отсчеты. Схема наблюдений по

варианту первому показана на рис. 5. «Нормальный» и «зеркальный» отсчеты на рис. 5 обозначены через n_1 и n_3 ; они соответствуют установке трубы на отсчет по лимбу β_0 .

Второй вариант может быть такой, когда в поле зрения трубы изображения отвеса прямые и через зеркало одновременно не видны. «Зеркальные» наблюдения при этом варианте производятся при другой установке трубы, чем «нормальные», например, при отсчете по лимбу, равном β_a , при котором виден в трубу отвес через зеркало. Схема наблюдений по второму варианту показана на рис. 6.

Установки отвеса в среднем положении и их закрепление в первом варианте делаются просто. Поставив трубу на отсчет β_0 , смотрят в неё и приводят отвес в такое положение, при котором он дает средние шкальные отсчеты n_1 и n_3 . В этом положении отвес закрепляется, после чего также устанавливают и закрепляют второй отвес. При втором варианте установка отвесов по «нормальным» и «зеркальным» отсчетам делается раздельно, вначале по отсчетам «нормальным», затем по «зеркальным». Каждая из этих установок делается при своем отсчете β_1 и β_a по лимбу.

Закрепление отвесов производится при помощи специального приспособления, не требующего капитального сооружения помоста, как для тарелочек Шмидта, так как оно нужно только для измерения длин.

Определение цены деления окулярной шкалы

Под ценой деления окулярной шкалы понимают угол, вершина которого находится в аналлатической точке трубы, образованной лучами, проходящими через два соседних штриха шкалы. В трубах Кеплера аналлатическая точка находится в переднем фокусе объектива (рис. 7), поэтому для получения углов, отнесенных к центру



Рис. 7.

лимба, по шкальным отсчетам приходится в цену деления шкалы вводить поправку $d\epsilon$, как это было сказано выше. Цена деления шкалы аналитически определяется по формуле:

$$\epsilon'' = \frac{t}{f} \rho''$$

В трубах с телеобъективами и с внутренней фокусировкой обычно аналлатическая точка совпадает с основной вертикальной осью теодолита и, в таком случае, цена деления шкалы и соответствующий ей центральный угол с вершиной в центре лимба между собой равны. Цена делений таких труб аналитически определяется по формуле:

$$\epsilon'' = \frac{f + f'}{f \cdot f'} e \quad t \quad \rho'', \quad (14)$$

где f и f' — фокусные расстояния отрицательной и положительной линз объектива и e — расстояние между этими линзами.

Цена деления окулярной шкалы, как правило, дается в паспорте инструмента. Если паспорт инструмента почему-либо отсутствует и значение цены деления ε неизвестно, то оно может быть определено посредственным путем. Формулами (6) и (14) для вычисления не пользуются, так как входящие в них значения t , f и e , являются величинами неизвестными.

Практически цену деления окулярной шкалы определяют следующим образом. На ровной местности устанавливают теодолит с окулярной шкалой; на расстоянии s от теодолита устанавливают отчетливо видимый в трубу сигнал: измеряют стальной рулеткой или лентой расстояние s и измеряют многократно способом повторения угол α , отвечающий n делениям всей шкалы, наводя сначала на сигнал один, затем другой крайние штрихи окулярной шкалы. В результате получают средние значения измеренного угла α и $\alpha_t = \frac{\alpha}{n}$ и по формуле (1) вычисляют цену деления

$$\varepsilon = \alpha_t \frac{s}{s-c} = \alpha_t \frac{1}{1-\frac{c}{s}},$$

или

$$\varepsilon = \alpha_t \left(1 + \frac{c}{s} + \frac{c^2}{s^2} \right). \quad (15)$$

Практически в формуле (15) можно ограничиться первой степенью разложения и вычислять ε по формуле:

$$\varepsilon = \alpha_t \left(1 + \frac{c}{s} \right) = \alpha_t + \alpha_t \frac{c}{s}. \quad (16)$$

При некотором малом отношении $\frac{c}{s}$ практически можно считать $\varepsilon = \alpha_t$. Определим, при каком численном значении отношения $\frac{c}{s}$ можно принять α_t , полученное из измеренного угла α , равным ε .

Из формулы (16) имеем:

$$\varepsilon - \alpha_t = \alpha_t \frac{c}{s}$$

Зададимся разностью $\varepsilon - \alpha_t$ такой величины, которая бы практически не оказывала влияния на результаты наблюдений даже при максимальном шкальном отсчете. Положим $\varepsilon - \alpha_t \leq 0,5''$, тогда

$$\frac{c}{s} = \frac{0,5}{\alpha_t} \quad (17)$$

Для теодолита с ценой деления окулярной шкалы, равной $50''$, можно полагать $\varepsilon = \alpha_t$ при отношении $\frac{c}{s} = 1:100$, т. е.

определять цену деления ϵ указанным способом на расстоянии $s \geq 100$ с и считать ее равной $\alpha_t = \frac{\alpha}{n}$

Постоянные трубы теодолита с определяются так же, как и у дальнометров Рейхенбаха, а именно, визируя на удаленный предмет, устанавливают трубу на бесконечность и измеряют расстояния линейкой с миллиметровыми делениями от середины объектива до керн на трубе и до исправительных винтов сетки нитей. Измеренные расстояния суммируют и получают постоянную c .

В трубах с телеобъективом и с внутренней фокусировкой постоянная делается равной нулю. Поверку этого условия можно сделать следующим способом. Установив теодолит, выбирают удаленную отчетливо видную точку на высоте горизонта инструмента и так же, как в предыдущем случае, измеряют угол α' , соответствующий крайним штрихам шкалы. Этот угол принимают равным $n \epsilon$, где n — число делений шкалы между ее крайними штрихами. Затем устанавливают сигнал на близком расстоянии s , равном 2—4 м, и измеряют опять угол α , который уже не будет равен углу α' по причине значительной разности в расстояниях до точки визирования и сигнала. Расстояние s измеряют стальной рулеткой и по возможности тщательно. По данным измерениям s_1 , α' и α вычисляют постоянную c по формуле:

$$c = s \left(\frac{\alpha'}{\alpha} - 1 \right) \quad (18)$$

Если c получается значительным, то оно должно быть так же, как и в трубах Кеплера, учтено при вычислении углов по шкальным отсчетам.

Исследование способа примыкания

Применение окулярных шкал позволяет наиболее простыми средствами решить задачу примыкания. Решение этой задачи заключается в вычислении углов при отвесах примычного треугольника и дирекционного угла начального стана рудничной съемки. Углы α_{0_1} и α_{0_2} при отвесах вычисляют по известным формулам:

$$\left. \begin{aligned} \sin \alpha_{0_1} &= \frac{a}{c} \sin \alpha_{1-2} \\ \sin \alpha_{0_2} &= \frac{b}{c} \sin \alpha_{1-2} \end{aligned} \right\}, \quad (19)$$

а дирекционный угол стороны АВ (рис. 2, 4) — по формуле:

$$\Theta_{A-B} = \Theta_{1-2} + \alpha_{0_2} - \alpha_{0_1} \quad (20)$$

где θ_{1-2} — дирекционный угол створа отвесов и α_{0_2} — вычисленный по формуле (19) угол при отвесе O_2 . Вычислим погрешность решения задачи примыкания. Из формулы (20) имеем:

$$m_B = \pm \sqrt{m_{0_2}^2 + m_{2-B}^2}, \quad (21)$$

где m_{0_2} погрешность вычисленного угла α_{0_2} и m_{A-B} — погрешность угла α_{2-B} .

Для вытянутой формы примычного треугольника погрешность вычисляют по формуле:

$$m_{0_2} = \frac{b}{c} m_{1-2}, \quad (22)$$

а для произвольной формы треугольника, решаемого по формуле синусов, по формуле:

$$\pm \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_{0_2} \left[\left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + \left(\frac{m_c}{c} \right)^2 - m_{1-2}^2 \right] + \frac{b^2}{c^2 \cdot \cos^2 \alpha_{0_2}} m_{1-2}^2}. \quad (23)$$

Дадим предрасчет погрешности m_{A-B} для вытянутой формы примычного треугольника и для выгодной формы треугольника с углами $\alpha_{1-2}, \alpha_{0_1}$, не превышающими 20° (по Бауману), для чего выразим m_{0_2} и m_1 через погрешности измеренных углов, сторон и шкальных отсчетов.

Из формулы (12) имеем:

$$\alpha_{2-B} = \beta_B - \beta_0 - (\epsilon - d\epsilon_2) n_0',$$

$\alpha_{1-2} = (n_0'' - n_0') \epsilon - (n_0'' d\epsilon_2 - n_0' d\epsilon_1)$ для треугольника вытянутой формы,

$\alpha_{1-2} = \beta_0'' - \beta_0' - [(n_0'' - n_0') \epsilon - (n_0'' d\epsilon_2 - n_0' d\epsilon_1)]$ — произвольной формы,

Отчеты β по лимбу и n_0 по окулярной шкале являются средними отсчетами, полученными из k повторных наблюдений. Обозначим погрешность одного отсчитывания по лимбу через m_0 , погрешность одного совмещения штрихов — m_c , погрешность одного среднего шкального отсчета n_0 — m_n , погрешность цены деления шкалы — m_ϵ и погрешность $d\epsilon$ — $m_{d\epsilon}$, тогда погрешности углов α_{2-B} и α_{1-2} полученных из k повторных наблюдений будут равны:

$$m_{2-B} = \pm \sqrt{\frac{1}{k} [m_0^2 + m_c^2 + (m_{d\epsilon}^2 + m_{d\epsilon_2}^2) n_0'^2 + m_n^2 (\epsilon - d\epsilon_2)^2]} \quad (24)$$

$$m_{1-2} = \pm \sqrt{\frac{1}{k} [2m_n^2 \cdot \epsilon^2 + (n_0'' - n_0')^2 \cdot m_\epsilon^2 + (d\epsilon_2^2 + d\epsilon_1^2) m_n^2 + (n_0''^2 + n_0'^2) \cdot m_{d\epsilon_2}^2]} \quad (25)$$

$$m_{1-2} = \pm \sqrt{\frac{1}{k} [2m_c^2 + 2m_n^2 \cdot \epsilon^2 + (n_0'' - n_0')^2 m_\epsilon^2 + (d\epsilon_2^2 + d\epsilon_1^2) m_n^2 + (n_0''^2 + n_0'^2) \cdot m_{d\epsilon_2}^2]} \quad (26)$$

Посчитаем ошибку отсчитывания m_0 , равной половине точности верньера, ошибку совмещения штрихов — 0,1 точности верньера. Для теодолита с верньерами 30" точности это дает: $m_0 = \pm 15''$ и $m_c = \pm 3''$. Посчитаем ошибку одного отсчета по окулярной шкале, равной 0,1; тогда ошибка среднего отсчета из одной серии наблюдений будет равна $\frac{v_i}{\sqrt{n}}$, где n — число колебаний отвеса в серии. Для n равного 8~10 ошибке $m_n \approx 0,03$ деления шкалы или в угловой мере 0,03". Цена деления шкалы в горных теодолитах делается равной около 50", следовательно m_n равно 1,5". Погрешность m_e зависит от точности нанесения штрихов шкалы, равной $\pm 2\mu$. Для теодолита Харьковского завода маркшейдерских инструментов «ТГ-1», труба которого имеет $f = 210$ мм, это дает $m'_e = 1''$. В ошибку m_e еще войдет погрешность определения цены деления шкалы, которую посчитаем равной также 1", поэтому $m \approx 0,5''$. Что касается ошибки md_e , то она, согласно формуле (2) равная $m_e \frac{c}{s}$, представляет собой очень малую величину, которой можно пренебречь.

Учитывая численные значения m_0 , m_c , m_n и m_e , подсчитаем по формулам (24, 25 и 26) ошибки $m_{2-\beta}$ и $m_{1-\beta}$ для $k=6$ и расстояний b и a от теодолита до отвесов соответственно равных 3 и 5 м. Поправки $d\varepsilon_1$ и $d\varepsilon_2$ для этих расстояний возьмем из таблицы 1, а n и $n'_0 - n''_0$ посчитаем равными их максимальным значениям: 10 и 20.

Имеем:

$$m_{2-B} = \pm \sqrt{\frac{1}{6} [15^2 + 3^2 + 1,5^2 \cdot 10^2 + 0,03^2 (50 - 3,6)^2]} = 9''$$

$$m_{1-} = \sqrt{\frac{1}{6} [2 \cdot 0,03^2 \cdot 50^2 + 1,5^2 \cdot 20^2 + (3,6^2 + 6^2) \cdot 0,03^2]} = \pm 12''$$

$$m_{1-2} = \sqrt{\frac{1}{6} [2 \cdot 3^2 + 2 \cdot 0,03^2 \cdot 50^2 + 1,5^2 \cdot 20^2 + (3,6^2 + 6^2) \cdot 0,03^2]} = 12''$$

Погрешности определения угла α_1 по первому и второму способу оказались между собой равны, что объясняется высокой точностью совмещения штрихов алидады и лимба, которые рекомендуется делать вместо обычного отсчитывания по верньеру.

Подсчитаем теперь погрешность вычисленного угла α_{0_2} . По формуле (22) для треугольника вытянутой формы имеем:

$$m_{0_2} = \pm 1,5 \cdot 12'' = \pm 18''$$

и по формуле (21)

$$m_{A-B} = \pm 20''$$

Для треугольника выгодной формы с углом $\alpha_{1-2} \approx \alpha_{0_2} = 20''$ посчитаем относительную ошибку измерения сторон равной

1 2000 и отношение $b:c = 1,5$; тогда согласно формуле (23) получим:

$$\sqrt{\operatorname{tg}^2 20^\circ \left(\frac{2 \cdot \rho''^2}{2000^2} - 12^2 \right) + 1,5^2 \frac{12^2}{\cos^2 20^\circ}} = \pm 54''$$

И по формуле (21).

$$m_{A-B} = \pm \sqrt{54^2 + 9^2} = \pm 55''$$

Из анализа погрешностей решения задачи примыкания замечаем, что в случае вытянутой формы примычного треугольника эта задача решается с достаточной точностью, даже большей, чем при пользовании обычными шкалами, устанавливаемыми у отвесов. Значительной получается ошибка m_{A-B} для второго случая, когда углы α_{1-2} и α_{02} достигают сравнительно большой величины. Однако мы видим, что эта ошибка получается не за счет предлагаемого способа применения окулярных шкал, а за счет ошибки измерения сторон примычного треугольника. Для повышения точности решения задачи примыкания в таких случаях следует с большей тщательностью устанавливать отвесы «по нормальным» и «зеркальным» шкальным отсчетам и измерять стороны треугольника. Если последнее выполнить невозможно, то надо углы α_{1-2} , α_{02} по возможности уменьшить до 10° .

При пользовании окулярными шкалами надо иметь в виду, что точность шкальных наблюдений зависит от фокусировки трубы. Поэтому фокусировке следует уделять большое внимание и повторять ее с большой тщательностью при каждом повторном наблюдении за колебаниями отвеса. Следует также иметь в виду еще одно важное обстоятельство: результаты наблюдений получаются точнее, когда средние шкальные отсчеты по абсолютной величине малы. Эти отсчеты получаются малыми в тех случаях, когда видимые в трубу колебания отвеса приблизительно симметричны относительно средней вертикальной нити шкалы. Для выполнения второго условия желательно устанавливать трубу на такие «совмещенные» отсчеты по лимбу, при которых колебания отвеса приблизительно симметричны вертикальной визирной нити.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье предлагается способ применения окулярных шкал для решения одной из важнейших задач в маркшейдерском деле: ориентировки рудничной съемки. Этот способ вносит техническое усовершенствование в производство ориентировки и сокращает время на ее исполнение.

Нам известны следующие способы ориентировок: геометрические, механические, физические, оптические и комбинированные. Более экономичными и удобными в производстве являются способы механические, физические и оптические, но они все же не получили широкого применения по причинам высокой стоимости

и сложности аппаратуры, недостаточной изученности физических явлений и малой точности результатов ориентировки. Более надежные и точные результаты получаются при геометрических способах ориентировки, из которых наиболее распространенным является ориентирование при помощи отвесов. Но и этот способ имеет существенный недостаток: его исполнение непосредственно связано со стволом шахты, движение в котором останавливается на время ориентировки; кроме того, при сильном капеже в стволе, примыкание к отвесам в шахте приходится производить в трудных условиях.

Предлагаемые способы применения окулярных шкал в значительной мере устраняют указанные недостатки. Они увеличивают скорость ориентировки, не требуют капитальных и громоздких устройств помостов для шкал и позволяют наблюдателю делать измерения и наблюдения в шахте в лучших условиях.

Для распространения способа ориентировки с применением окулярных шкал необходимо, чтобы горные теодолиты, выпускаемые заводом маркшейдерских инструментов в Харькове, были снабжены окулярными шкалами. Цена делений шкал должна быть около 50". Изготовление их может быть налажено на том же харьковском заводе.