

И. С. ПАНДУЛ

### ДИАФРАГМИРОВАНИЕ ОБЪЕКТИВА ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ ОРИЕНТИРНЫХ ПУНКТОВ

Основным недостатком, влияющим на точность привязки ориентирных пунктов, является значительное неравенство расстояний от места наблюдения до ориентирных пунктов и до пунктов триангуляции, включаемых в программу привязки. В связи с этим приходится или вести наблюдение на расплывчатые изображения визирных целей ориентирных пунктов, внося тем самым значительные ошибки наведения, или изменять фокусировку трубы, нарушая стабильность визирной оси. В результате плохо сходятся между собой направления в отдельных приемах, приведенные к общему нулю, и появляются весьма значительные колебания  $2\sigma$ . Выполнять же привязку ориентирных пунктов требуется с довольно высокой точностью ( $\pm 2,5''$ ).

Действующая инструкция о построении государственной геодезической сети предписывает закладывать центры ориентирных пунктов на расстоянии 500—1000 м от пункта триангуляции (в лесу не ближе 250 м). На практике же иногда центры многих ориентирных пунктов закладываются и на более близком расстоянии. Например, известен случай, когда в горах единственно возможное место закладки центра ориентирного пункта находилось на расстоянии всего 112 м от центра триангуляции. Возможны также случаи, когда близкая бровка закрывает склоны горы и ближайшая видимость открывается на расстоянии 6—9 км.

У теодолита ТТ 2/6 фокусировка главной трубы меняется в пределах от 5 м до бесконечности. Найдем минимальное расстояние, для которого четкое изображение может быть получено при фокусировке на бесконечность. В дальнейшем это минимальное расстояние будем условно называть *начало бесконечности* \*. Вывод расчетной формулы вытекает из уравнения Ньютона  $x \cdot x' = f \cdot f'$ ; так как в воздушной среде  $f = -f'$ , то

$$x \cdot x' = -f'^2. \quad (1)$$

Введем обозначения:

$$-x = S_\infty, \quad x' = \delta s, \quad f' = F,$$

где  $S_\infty$  — величина начала бесконечности;  $\delta s$  — продольная сферическая aberrация;  $F$  — фокусное расстояние объектива.

Напишем равенство (1) так:

$$S_\infty = \frac{F^2}{\delta s}; \quad (2)$$

$$\delta s = \frac{\delta g}{u}, \quad (3)$$

\* В некоторых курсах оптики это расстояние называется *гиперфокальное расстояние*.

где  $\delta g$  — поперечная сферическая абберация;  $u$  — апертурный угол.

$$u = \frac{a}{2f}, \quad (4)$$

где  $d$  — диаметр выходного зрачка;  $f$  — фокусное расстояние окуляра.

$$\delta g = f \cdot \psi', \quad (5)$$

где  $\psi'$  — разрешающая сила глаза наблюдателя или угловая величина допустимого кружка рассеяния на сетчатке глаза.

Подставив (3) и (4) в выражение (2), получим

$$S_{\infty} = \frac{F^2 \cdot d}{2f \cdot \delta g}. \quad (6)$$

Поскольку  $d = \frac{D}{\Gamma^x}$ , а  $f = \frac{F}{\Gamma^x}$ , где  $D$  — диаметр входного зрачка;  $\Gamma^x$  — увеличение трубы, то величина  $S_{\infty}$  будет меньше при меньшем  $\Gamma$ . С уменьшением  $\Gamma^x$  также повышается контрастность изображений относительно нитей биссектора и уменьшается угловая ширина последнего, что немаловажно при наблюдениях на ориентирные пункты.

Главная труба теодолита ТТ 2/6 снабжается комплектом из двух сменных окуляров с увеличением 52 $\times$  и 65 $\times$ . При  $\psi' = 1,5'$  для увеличения трубы 65 $\times$   $S_{\infty} = 4,8$  км; для увеличения 52  $S_{\infty} = 3,8$  км (для теодолита ОТ-02 эта величина, соответственно увеличению трубы, меняется в пределах 2,7—1,6 км). Следовательно, при обычных расстояниях до ориентирных пунктов (250—1000 м) изображения визирных целей ориентирных пунктов будут видны нечетко из-за недостаточной фокусировки трубы. Однако есть реальная возможность приблизить «начало бесконечности» и тем самым избежать нарушения стабильности визирной оси в процессе привязки ориентирных пунктов. Так как диаметры выходного и входного зрачков прямо пропорциональны, то при уменьшении диаметра входного зрачка уменьшается и значение  $S_{\infty}$  (см. формулу (6)). В практике часто применяется формула разрешающей силы отдельно взятой оптической системы зрительной трубы

$$\psi = \frac{120''}{D}, \quad (7)$$

вполне справедливая для коротких расстояний на основании критерия Фуко. Формула (7) указывает, что при диафрагмировании объектива дифракционная разрешающая способность трубы падает прямо пропорционально уменьшению диаметра входного зрачка. При этом еще более резко падает светосила, пропорциональная квадрату этого диаметра. Падение светосилы в сочетании с потерями света в результате светорассеяния при прохождении через оптическую систему трубы значительно снижают контрастность изображений, но при коротких расстояниях до предмета эти обстоятельства не скажутся отрицательно на результатах угловых измерений.

Разрешающая способность глаза наблюдателя совместно со зрительной трубой определяется формулой

$$\psi' = \psi \cdot \Gamma^x,$$

или в радианной мере

$$\psi' = \frac{120'' \cdot \Gamma^x}{\rho'' \cdot D}. \quad (8)$$

После подстановки в (6) равенств (5) и (8) получим рабочую формулу

$$D_{MM} = 34,6 \sqrt{S_{\infty \text{ км}}}, \quad (9)$$

по которой можно с достаточной точностью предвычислить теоретическую величину диаметра отверстия диафрагмы  $D_{MM}$  для заранее заданного  $S_{\infty \text{ км}}$ .

Формула (9) справедлива для триангуляционных теодолитов всех типов.

Чтобы проверить это предположение на практике, мы выбрали линию на сравнительно ровном плато длиной 3,8 км от пункта триангуляции. Линию разбили на 14 частей. В отмеченных точках закрепили кольца, в торцы которых вбили кованые гвозди. Во избежание грубых ошибок визирования кольца были оцифрованы. Трубу теодолита ТТ 2/6 с увеличением  $52^{\times}$  предварительно отфокусировали на бесконечность. Затем посредством насадочного кольца перед объективом на нее жестко крепили специальную обойму, куда поочередно устанавливали сменные диафрагмы из тонкого черного эбонита. Для каждого расстояния подбирали диафрагму, с помощью которой при достаточной разрешающей способности и светосиле получали отчетливое изображение гвоздя без перемещения окулярного колена зрительной трубы.

Результаты проведенного эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Диаметры диафрагм, полученные расчетным и практическим путем

$S_{км}$	0,20	0,22	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,50	2,00	2,80	3,80
Теоретически $D_{мм}$	15,5	16,2	17,3	19,0	20,5	21,9	24,5	26,8	30,9	34,6	42,4	43,9	58,0	67,4
Практически $D_{мм}$	14	14	14	21	21	21	35	28	28	35	35	35	65	65

Из данных табл. 1 следует, что оптимальные отверстия диафрагм, полученные эмпирическим путем и вычисленные по формуле (9), хорошо согласуются, что подтверждает целесообразность этой формулы. Применение той или иной диафрагмы во многом зависит от освещения объектов визирования на местности и поэтому лучше применять лепестковые (ирисовые) диафрагмы.

Каждый тип зрительных труб имеет свои пределы диафрагмирования входного отверстия, ограниченные порогом контрастной чувствительности. В любом случае диафрагмы с размером отверстия меньше 10 мм для теодолитов ТТ 2/6 практически не пригодны. С диафрагмами, подобранными на основании опыта, и производилась привязка ориентирных пунктов. Диафрагму вставляли в обойму при визировании на ориентирные пункты и вынимали при визировании на триангуляционные. Пять сменных диафрагм вполне обеспечили выполнение угловых измерений без изменения фокусировки во всех случаях наблюдений ориентирных пунктов, встречающихся в производственных условиях (табл. 2). Вести наблюдения было легко, и повторные приемы почти отсутствовали.

Таблица 2  
Оптимальные размеры диафрагм для наблюдений без изменения фокусировки

Расстояние до ориентирного пункта, м	Диаметр диафрагмы, мм	Расстояние до ориентирного пункта, км	Диаметр диафрагмы, мм
60—200	10	0,5—1	28
200—300	14	1—2,4	35
300—500	21	свыше 2,4	без диафрагмы

Методика диафрагмирования объектива при наблюдениях ориентирных пунктов внедрена в одной из северных экспедиций ГУГК. Получены положительные результаты. Диафрагмирование объектива сохраняет стабильность визирной оси, уменьшает колебания изображений визирных

целей. Применение диафрагм практически не увеличивает затрат времени на выполнение одного приема наблюдений, так как при этом соответственно уменьшается время, затрачиваемое на визирование. Производственный опыт наблюдений ориентирных пунктов с применением диафрагм будет освещен в специальной статье.

На основании изложенного можно отметить следующее:

1. Диафрагмирование объектива дает положительные результаты и может быть рекомендовано для широкого использования как при наблюдении ориентирных пунктов, так и при азимутальной привязке микротриангуляции к сторонам государственных геодезических сетей.

2. В настоящее время комплекты теодолитов ТТ 2/6 снабжаются блендой с тремя диафрагмами, но, насколько нам известно, наблюдатели никогда не используют их для решения вопроса, рассматриваемого в настоящей статье. Желательно увеличить число сменных диафрагм до пяти (10, 14, 21, 28 и 35), сделав их черными для улучшения изображений (во избежание бликов). Комплекты теодолитов ОТ-02 следовало бы снабжать ирисовой диафрагмой. Съёмные и легкие ирисовые диафрагмы желательно включить в ГОСТ всех триангуляционных теодолитов.

3. Трубы триангуляционных теодолитов, по существу, не нуждаются в фокусировке, так как стороны, по которым ведутся наблюдения, достаточно длинны. Пора обсудить вопрос о создании для отечественных триангуляционных теодолитов зрительной трубы оптимального увеличения с постоянной фокусировкой на бесконечность при наибольшем входном зрачке, снабженной ирисовой диафрагмой\*. Применение трубы такой конструкции, по-видимому, будет способствовать повышению качества угловых измерений в триангуляции.

---

\* Зрительной трубой, установленной на бесконечность и не имеющей фокусирующего приспособления, оснащен теодолит Theo-003 народного предприятия Цейсса (Йена).