

В. А. КОВАЛЕНКО, Б. Г. ПОНА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ЗЕМНОГО ПРЕДМЕТА ИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ЗВЕЗД ОПТИЧЕСКИМ ТЕОДОЛИТОМ

В настоящее время при восстановлении и сгущении пунктов плановой геодезической сети широко используется прокладка ходов полигонометрии 3—4 классов. Зачастую возникают осложнения в привязке к пунктам высших классов из-за отсутствия видимости исходного дирекционного направления. В таких случаях целесообразно определение астрономического азимута с точностью 1...2" с последующим переходом к дирекционному углу требуемого направления. Обычно такие определения выполняются с помощью астрономического универсального теодолита путем измерения часового угла Полярной звезды.

Организацию астрономических работ можно упростить, а затраты на их производство уменьшить, если измерения выполнять высокоточными оптическими теодолитами Т-05, Т-1, ОТ-02М, используя взамен хронометра вертикальный круг теодолита. Иначе говоря, для расчета азимута светила можно воспользоваться измерением его вертикального и горизонтального направлений. Эта идея требует специальных исследований и экспериментальной проверки, так как речь идет о довольно точных для оптического теодолита определениях.

Исходная формула высотно-азимутальных способов астрономических определений имеет вид [2]

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z + \cos \varphi \sin z \cos A. \quad (1)$$

Здесь δ — склонение светила; φ — астрономическая широта; z — зенитное расстояние; A — астрономический азимут светила, отсчитанный от точки севера.

Отсюда

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \cos z}{\cos \varphi \sin z}. \quad (2)$$

Определив A , находим азимут a земного предмета из выражения $a = A + Q$, где Q — горизонтальный угол между предметом и светилом.

Для суждения о выгоднейших условиях наблюдений проинфериенцируем (1). Рассматривая конечные приращения переменных величин как погрешности их значений, получаем

$$\Delta A = \frac{\cos q}{\cos \varphi \sin t} \Delta z - \frac{\Delta \varphi}{\cos \varphi \operatorname{tg} t} + \frac{\Delta \delta}{\cos \varphi \sin t}, \quad (3)$$

где q — параллактический угол светила; t — его часовой угол.

Из анализа (3) следует, что наиболее высокую точность определения азимута можно получить из наблюдений светил в плоскости часового круга, перпендикулярного к меридиану (первого часового круга); лучшие результаты дают близполюсные звезды; точность определений уменьшается с увеличением широты (по этой причине способ можно рекомендовать для применения в южных и средних широтах); для исключения влияния систематических погрешностей Δz и $\Delta \phi$ целесообразно наблюдать звезды парами: одну в западной, другую в восточной частях первого часового круга (склонения звезд или их зенитные расстояния должны быть примерно равными); такой же эффект будет, если звезды пары наблюдать вблизи часового круга и по одну сторону от него.

Оптический теодолит имеет прямую трубу и недостаточно чувствительные уровни. В связи с этим наблюдения звезд надо вести на зенитных расстояниях $60\dots 80^\circ$, что обеспечивает простоту визирования и надежность вычисляемых поправок за наклон и коллимацию. Если для наблюдений выбирать яркие звезды на больших зенитных расстояниях между первым часовым кругом и первым вертикалом, то можно обойтись без рабочих эфемерид, не нарушая при этом выгодных условий наблюдения.

При составлении программы и порядка наблюдений во внимание принимаются следующие обстоятельства.

1. Азимут земного предмета определяется как среднее из результатов наблюдений каждой пары звезд. Пару составляют западная и восточная звезды.

2. Выбирают звезды так, чтобы в процессе наблюдений они находились между первым вертикалом и первым часовым кругом на примерно равных зенитных расстояниях. Условия выбора легко соблюдаются, если теодолит хотя бы приближенно ориентирован в меридиане. В начале наблюдений восточной звезды азимут должен быть $70\dots 80^\circ$, зенитное расстояние $70\dots 80^\circ$; для западной звезды азимут $270\dots 280^\circ$, зенитное расстояние $60\dots 70^\circ$.

3. Для исключения инструментальных погрешностей визирование звезд и земного предмета выполняется при двух положениях инструмента. Место зенита и коллимационная ошибка определяются в процессе наблюдений по земному предмету.

4. Наблюдая звезду, следует брать отсчеты по алидадному уровню. Для учета поправки за наклон необходимо также предварительно найти угол наклона горизонтальной оси. Устойчивость теодолита может обеспечить установка ножек штатива на забитые в землю колья.

5. Для выборки экваториальных координат звезд из каталога необходимо фиксировать время наблюдения звезд с точностью до десятых долей минуты.

6. Для вычисления поправки за рефракцию в измеренные зенитные расстояния нужно учесть температуру и давление воз-

духа, значения которых находят, взяв отсчеты по термометру и барометру в начале и конце наблюдения звезды.

Рекомендуется следующий порядок наблюдения для определения азимута земного предмета по одной из звезд:

- 1) земной предмет, отсчет по горизонтальному кругу;
- 2) трехкратное визирание на звезду точкой пересечения вертикальной и горизонтальной нитей, отсчеты по часам, вертикальному и горизонтальному кругам теодолита, а также по уровню;
- 3) земной предмет, отсчет по вертикальному и горизонтальному кругам;
- 4) перевод трубы через зенит;
- 5) земной предмет, отсчет по вертикальному и горизонтальному кругам;
- 6) трехкратное визирание на звезду, как в пункте 2;
- 7) земной предмет, отсчет по горизонтальному кругу.

Вторая звезда пары наблюдается в такой же последовательности. Промежуток времени между наблюдениями звезд пары может быть произвольным. Важно соблюдать выгодные условия подбора звезд в пару.

Действия, описанные в пунктах 1—7, составляют один прием наблюдений.

Экспериментальные определения азимута земного предмета проведены авторами в 1988 и 1989 гг. на геодезическом полигоне и на обсерватории Львовского политехнического института. Наблюдения выполнены оптическим теодолитом OT-02M № 488, обычная сетка нитей которого заменена специально нарезанной на стекле сеткой пересекающихся вертикальной и горизонтальной нитей.

В процессе эксперимента уточнялись методики подбора звезд, порядок их наблюдения, технология обработки наблюдений, оценка качества определений. Установлено, в частности, что оптимальное число наведений на светило в полуприеме равно трем. Повышение числа наведений не приводит к заметному улучшению качества определений, загромождает программу наблюдений и затягивает ее выполнение во времени.

Азимут светила вычислен по формуле (2). Измеренные зенитные расстояния исправлены поправкой за рефракцию $\rho = \rho_0 r B$. В значения горизонтальных углов Q введена поправка за наклон вертикальной и горизонтальной осей теодолита: $\Delta Q_b = \pm \left(b \frac{\pi}{2} + i \right) \operatorname{ctg} z$. Угол i наклона горизонтальной оси к плоскости горизонтального круга теодолита определен в лабораторных условиях. Поправка ΔQ_c за коллимацию с найдена по формуле $\Delta Q_c = \pm c (1 - \operatorname{cosec} z)$.

В таблице приведены результаты определений азимута земного предмета, выполненные по описанной выше программе в мае 1989 г. на обсерватории ЛПИ. Точный азимут направления, полученный из 18 приемов наблюдений Полярной, равен $245^{\circ}38'41,39'' \pm 0,28''$.

Анализируя данные таблицы, приходим к выводу, что способ дает хороший результат по внутренней сходимости, как и в [1], но может содержать систематическую погрешность (в нашем случае — $1,8''$), которую следует отнести к разряду лично-инструментальных.

Для получения азимута земного предмета с точностью $\pm 2''$ достаточно в течение вечера выполнить по рекомендованной программе четыре приема наблюдений (одна пара по два при-

Результаты определений азимута

Дата	Номер пары	Номер звезды	Значение азимута a	Средняя квадрат. ошибка одного определ. m_a	Средняя квадрат. ошибка среднего M_a	Отклонение от точного значения Δa
10/11 мая 1989 г.	1	W — 215 E — 488	245°38'39,20"	1,68"	0,48"	-2,19"
	2	W — 215 E — 488	39,70	1,42	0,41	-1,69
15/16 мая 1989 г.	3	E — 473 W — 215 W — 212	38,78	1,50	0,43	-2,61
	4	E — 454 W — 215	39,60	3,34	0,84	-1,79
	5	E — 533 W — 253 W — 256	39,40	2,67	0,44	-1,99
	6	W — 276 E — 572	41,05	3,30	0,58	-0,34
	Среднее		245 38 39,62	3,17	0,30	-1,77

ема для каждой звезды или две пары звезд по одному приему наблюдений каждой звезды). Измерения на пункте занимают около трех часов времени.

Таковы общие итоги проведенного эксперимента. Они подтверждают предварительный априорный анализ точности, согласно которому азимут можно получить одним приемом со средней квадратической ошибкой $m=3,6''$.

1. Желток Ч. Н. Пути повышения точности азимутальных астрономических определений для эталонирования приборов гирокомпьютерного ориентирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1985. 2. Уралов С. С. Курс геодезической астрономии. М., 1980.

Статья поступила в редакцию 18.12.89