

М. И. РУСИН

## НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИРЕКЦИОННОГО УГЛА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СОЛНЦА

Обычный косвенный метод определения дирекционного угла требует выполнения полного комплекса астрономических определений — астрономического азимута направления и астрономических координат пункта. Должна быть известной также геодезическая долгота  $L$  пункта. Метод непосредственного определения из астрономических наблюдений геодезического азимута позволяет получить дирекционный угол без нахождения астрономических координат пункта, однако требует знания его точных геодезических координат.

На основе теории условного азимута С. С. Уралов предложил метод непосредственного определения дирекционного угла из азимутальных наблюдений светил, исключаяющий как вычисления астрономических координат, так и знание точных геодезических координат пункта. Суть метода в следующем\*.

С условными координатами пункта  $\varphi_0$  и  $\lambda_0$ , снятыми с карты с погрешностью  $0,1'$ , из азимутальных наблюдений  $n$  светил составляют  $n$  уравнений поправок

$$\Delta a' + b_i x + c_i y + l_i = v_i \text{ с весом } P_i = \sin^2 z_i. \quad (1)$$

\* Уралов С. С. Курс геодезической астрономии. М., 1980.

$$\text{Здесь} \quad l_i = (a_0 - A_{0i}) - Q_i; \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} b_i &= -\sin A_{0i} \operatorname{ctg} z_i \\ c_i &= \cos A_{0i} \operatorname{ctg} z_i \end{aligned} \right\}; \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta a' &= a' - a_0 \\ x &= \varphi - \varphi_0 \\ y &= 15(\lambda - \lambda_0) \cos \varphi \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где  $a_0$  — предварительное значение азимута направления на земной предмет;  $a'$  — условный азимут того же направления;  $A_{0i}$  — азимут светила, вычисленный с условными координатами. Значение  $A_{0i}$  находим по формуле

$$A_{0i} = \operatorname{arc} \operatorname{ctg} (\sin \varphi_0 \operatorname{ctg} t_{0i} - \cos \varphi_0 \operatorname{tg} \delta_i \operatorname{cosec} t_{0i}), \quad (5)$$

в которой

$$t_{0i} = T_i + u_0 + \omega (T_i - X) - \alpha_i; \quad (6)$$

$\alpha_i, \delta_i$  — экваториальные координаты светила;  $u_0$  — поправка хронометра, вычисленная с долготой пункта  $\lambda_0$  в момент  $X$  по хронометру приема сигналов времени;  $T_i$  — момент наблюдения светила.

Из совместного решения  $n$  уравнений поправок вида (1) получают условный азимут

$$a'_{12} = a_{012} + \Delta a', \quad (7)$$

а с ним по формуле

$$\alpha_{12} = a'_{12} - (\lambda_{01} - L_0) \sin \varphi_{01} - \sin \varphi_{01} \cos^2 \varphi_{01} \frac{(\lambda_{01} - L_0)^3}{3\rho^2} - \delta_{12} \quad (8)$$

вычисляют дирекционный угол направления с пункта 1 на пункт 2.

В формуле (8)  $L_0$  — долгота осевого меридиана зоны;  $\lambda_{01}$  и  $\varphi_{01}$  — условные координаты пункта наблюдения.

Погрешность  $m_\alpha$  дирекционного угла, вычисляемого по формуле (8), обусловлена в основном погрешностью  $m_{a'}$  условного азимута. При астрономических определениях первого класса  $m_\alpha \approx m_{a'} \leq 0,5''$ .

Вычисление поправки за кривизну изображения геодезической линии на плоскости с погрешностью не более  $0,1''$  на краю шестиградусной зоны выполняют по приближенной формуле

$$\delta_{12} = 253 \cdot 10^{-5} y_m \Delta x, \quad (9)$$

где  $y_m = \frac{1}{2} (y_1 + y_2)$ ,  $\Delta x = x_2 - x_1$ ,  $y_{1,2}$ ,  $x_{1,2}$  — координаты пунктов 1 и 2, выраженные в километрах. При этом  $x$  и  $y$  достаточно знать с точностью  $0,1$  км.

Рассмотрим возможность реализации изложенного способа непосредственного определения дирекционного угла из азиму-

тальных наблюдений Солнца. Заметим, что организация и производство наблюдений Солнца имеют некоторые преимущества по сравнению с наблюдениями звезд, особенно в высоких широтах.

Согласно изложенному, непосредственное получение дирекционного угла заданного направления из азимутальных наблюдений Солнца сводится к определению условного азимута  $a'$  данного направления. Это задача, в более общем плане, совместного нахождения азимута, широты и долготы из многократных наблюдений одного и того же светила. Принципиально решение такой задачи ничем не отличается от решения ее по наблюдениям  $n$  светил в различных вертикалях.

Для определения условного азимута  $a'$  с наибольшим весом необходимо наблюдать светила на больших зенитных расстояниях; практически при  $50 < z < 80^\circ$ . При этом светила нужно выбирать с соблюдением условий симметричности

$$[\sin z \cos z \cos A] = 0, \quad [\sin z \cos z \sin A] = 0. \quad (10)$$

Условия симметричности (10) соблюдаются при равномерном распределении светил по азимутам или при наблюдении светил в плоскости любого произвольного вертикаля, равным числом по обе стороны от зенита, примерно на одинаковых средних зенитных расстояниях. Вес урванного значения азимута составляет

$$p_{a'} \approx n \sin^2 z_{cp}, \quad (11)$$

где  $n$  — число наблюденных светил.

Солнце в своем суточном движении занимает положения, соответствующие изложенным выгоднейшим условиям способа. В высоких широтах большая часть его суточной параллели (или вся суточная параллель) находится над горизонтом. В этом случае многократные последовательные наблюдения Солнца, выполненные в течении суток, отвечают условиям равномерного расположения светил по азимутам. В средних широтах выгоднейшие условия удовлетворяются при наблюдениях Солнца вблизи первого вертикаля, равным числом на западе и востоке.

Программа наблюдений должна включать измерение горизонтального угла между заданным направлением и направлением на Солнце, с регистрацией по хронометру моментов визирования на Солнце. Для определения поправки и хода хронометра принимаются радиосигналы времени.

Анализируя способ в отношении точности, находим, что средняя квадратическая погрешность  $m_A$  азимута Солнца зависит в основном от погрешности его часового угла, а последняя — от погрешности момента прохождения края Солнца через вертикальные нити.

Средняя квадратическая погрешность прохождения края Солнца через вертикальную нить, полученная из обработки наблюдений астрономическим теодолитом АУ-2/10, по методу «глаз—клавиша», равна  $0,16''$ , с применением контактного микрометра —  $0,13''$ . Соответствующие значения погрешностей в

азимутальных наблюдениях звезд равны  $0,12^s$  и  $0,10^s$ . Соотношение между погрешностями наблюденных моментов звезд и Солнца примерно такое же, как соотношение погрешностей условных азимутов, полученных из наблюдений звезд и Солнца.

Изложенное позволяет сделать вывод о возможности определения условного азимута из наблюдений Солнца с погрешностью, выведенной по внутренней сходимости результатов, около  $0,5''$ .

С целью апробации способа выполнены наблюдения Солнца астрономическим теодолитом АУ-2/10, по методу «глаз—клавиша». Наблюдения осуществляли в утренние и вечерние часы, в азимутах от  $80$  до  $115$  и от  $260$  до  $300^\circ$  при значениях зенитных расстояний от  $60$  до  $85^\circ$ . Наблюдения вели с астрономического столба по стороне длиной около  $5$  км. Всего выполнено  $18$  приемов, каждый из которых проводили в следующем порядке.

### Первое положение прибора (первый полуприем).

1. Наблюдение земного предмета: четыре наведения окулярным микрометром главной трубы с отсчитыванием барабана микрометра; отсчеты по микроскоп-микрометрам горизонтально-го круга.

2. Наблюдение правого края Солнца: отсчеты уровня; пять наблюдений прохождений края Солнца через вертикальную нить, последовательно устанавливаемую на пяти центральных оборотах винта микрометра, с отсчетами по барабану микрометра; отсчеты уровня; отсчеты по микроскопам горизонтального круга; перекладка уровня.

3. Наблюдение левого края Солнца, как в п. 2.

4. Наблюдение земного предмета, как в п. 1.

Затем поворот трубы через зенит и выполнение аналогичных операций второго полуприема.

Для определения поправки и хода хронометра принимаются радиосигналы времени. Для каждого измеренного горизонтального угла (для каждого приема) составлены уравнения поправок вида (1), решение которых дало следующие результаты:

$$a' = a_0 + \Delta a = 205^\circ 29' 30,00'' - 1,98'' = 205^\circ 29' 28,02'';$$

$$\rho_{a'} = 12,03; \quad \mu = 1,37''; \quad m_{a'} = 0,39'';$$

где  $\mu$  — средняя квадратическая погрешность единицы веса;  $\rho_{a'}$  и  $m_{a'}$  — вес и средняя квадратическая погрешность уравненного значения условного азимута  $a'$ .

Определив условный азимут  $a'$ , вычисление дирекционного угла  $\alpha$  сводится к нахождению поправочных членов формулы (8).

Экспериментальное опробование способа подтверждает теоретический вывод о возможности непосредственного определения дирекционного угла из азимутальных наблюдений Солнца с погрешностью, выведенной по внутренней сходимости результатов, порядка  $0,5''$ .