

## ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ АЗИМУТА НАПРАВЛЕНИЯ ИЗ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗВЕЗД В ВЕРТИКАЛЕ ЗЕМНОГО ПРЕДМЕТА

Общий анализ методов определения азимута показывает, что одним из наиболее точных является метод, основанный на наблюдениях прохождений звезд в плоскости вертикала наблюдаемой цели [8].

Точность азимутальных определений в рассматриваемом методе зависит в основном от точности регистрации моментов прохождений звезд в вертикале наблюдаемого направления. Поэтому при наблюдениях целесообразно применять объективные (безличные) методы регистрации времени.

В сентябре 1983 г. на кафедре высшей геодезии и астрономии Львовского политехнического института выполнены экспериментальные фотографические наблюдения прохождений звезд в вертикале земного предмета. В этих целях использовали астрономический теодолит АУ 2/10, снабженный фотонасадкой на окулярную часть зрительной трубы [4] и трубой-искателем [5].

С помощью кварцевого электронного прибора — универсального полевого хронорегистратора (УПХ), который представляет собой усовершенствованную модель разработанного ранее на кафедре программного хронорегистратора [6], — получали на астронегативе (фотопластинке) прерывистый след звезды и вели учет временных параметров процесса наблюдений. Описанные наблюдения выполнены в экспедиционных условиях на геодезическом полигоне в г. Бережаны Тернопольской обл.

Рабочие эфемериды звезд, использованных при наблюдениях, вычислены на ЭВМ серии ЕС. В программу наблюдений включены звезды не слабее  $4,5''$ , зенитные расстояния которых при прохождении вертикала наблюдаемого предмета находились в пределах  $50\dots 80^\circ$ . При построении алгоритма программы вычисления рабочих эфемерид использованы следующие формулы [7]:

$$s = \alpha + (\pm t_0 \pm \Delta t); \quad \Delta t = \arccos(\operatorname{tg} \delta \operatorname{ctg} \delta_0); \\ z = \pm z_0 \pm \Delta z; \quad \Delta z = \arccos(\sin \delta \operatorname{cosec} \delta_0), \quad (1)$$

где величины  $t_0$ ,  $\delta_0$  и  $z_0$  — постоянные для данного пункта с широтой  $\varphi$  и заданного вертикала  $A$ , их значения находят по формулам

$$t_0 = \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} A \operatorname{cosec} \varphi); \\ \delta_0 = \arccos(\sin A \cos \varphi); \\ z_0 = \arccos(\sin \varphi \operatorname{cosec} \delta_0). \quad (2)$$

Предельные значения склонений звезд вычислены по формуле

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z + \cos \varphi \sin z \cos A, \quad (3)$$

в которой учитывали предельные значения зенитного расстояния и максимальное допустимое склонение для северных звезд  $\delta_0$ .

При составлении рабочих эфемерид звезд в память ЭВМ вводят все номера звезд по  $AE$ , их яркость и значения координат.

К преимуществам составления описанных рабочих эфемерид следует отнести то, что изменение исходных данных (азимута предмета и широты пункта наблюдения) не влечет за собой необходимость дополнительных предварительных расчетов и построений новых графиков в отличие от работ [1, 2, 8].

Перед началом наблюдений выполняли общепринятые поверки и юстировки астроуниверсала. Кроме этого, согласовывали параллельность визирных осей зрительной трубы АУ 2/10 и трубы-искателя, определяли и контролировали значение инерционности хода (запаздывания) экспозиционного затвора фотонасадки [6].

В процессе астроопределений наблюдали звезды только в северной части вертикала земного предмета ( $A=4^\circ 22'$ ). Часть описываемых наблюдений выполнена при положении прибора  $KL$ , а часть — при  $KP$ . При этом наблюдения вели по следующей методике.

1. Наблюдение (экспонирование на фотопластинку) земного предмета.

Наводили крест нитей трубы-искателя на фонарь, фотографирование которого в центральной части поля зрения главной трубы АУ 2/10 производили 6...8 раз с небольшими смещениями зрительной трубы в вертикальной плоскости. Вследствие этого на астронегативе фиксировали часть вертикала, азимут которого определялся.

2. Наблюдение (экспонирование) звезды.

Не изменения азимута, устанавливали зрительную трубу на эфемеридное зенитное расстояние ожидаемой звезды. Отсчитывали и перекладывали накладной уровень. Появление и прохождение звезды в поле зрения главной трубы АУ 2/10 контролировали, наблюдая ее прохождение в поле зрения трубы-искателя. Процесс экспонирования звезды выполнялся согласно программе, задаваемой хронорегистратором [6]. Моменты начала и конца экспонирования звезды отмечали в журнале наблюдений. В конце наблюдения звезды отсчитывали накладной уровень. Из приема сигналов точного времени определяли значение поправок кварцевых часов хронорегистратора.

1 •  
2 •  
3 •  
4 • - - - -  
5 •  
6 •  
7 •

Схема астронегатива с изображением следов земного предмета и звезды.

выведена на ЭВМ. В результате этой обработки получаем средний момент времени  $T_{\text{н}}'$ , в который звезда пересекает вертикаль фонаря.

В момент  $T_{\text{н}}'$  вводили поправку рабочих кварцевых часов  $\mu$ , а также поправки за наклонность горизонтальной оси  $\Delta T$ , за суточную aberrацию  $\delta T$ , за эталонное время  $dT$ , за распространение радиосигналов точного времени  $\vartheta$  и за запаздывание экспозиционного затвора  $\omega$

$$T_{\text{н}} = T_{\text{н}}' + \mu + \Delta T + \delta T + dT + \vartheta + \omega. \quad (4)$$

В (4) поправки за наклон горизонтальной оси  $\Delta T$  и суточную aberrацию  $\delta T$  вычисляют по формулам

$$\Delta T = b^{\sigma} \frac{\tau^s}{4} \cos z \sec \delta \sec q;$$

$$\delta T = -0^s,021 \cos \varphi \sec \delta \cos t;$$

$$\sin q = \cos \varphi \sin t \operatorname{cosec} z. \quad (5)$$

С моментом  $T_{\text{н}}$  вычисляли азимут наблюденной звезды по формуле

$$\operatorname{tg} A_s = - \frac{\operatorname{ctg} \delta \sec \varphi \sin t}{1 - \operatorname{ctg} \delta \operatorname{tg} \varphi \cos t}. \quad (6)$$

Азимут фонаря  $A$  из наблюдений одной звезды численно равен азимуту звезды  $A_s$ , исправленному за коллимационную ошибку

$$A = A_s \pm c (\operatorname{cosec} z - 1). \quad (7)$$

Значение коллимации с определяли из решения по способу наименьших квадратов системы уравнений вида [3]

$$\Delta A_0 \mp c (\operatorname{cosec} z - 1) - (A_s - A_0) = 0, \quad (8)$$

в которых неизвестными являются  $\Delta A_0$  — поправка к приближенному значению азимута вертикала  $A_0$  и  $c$  — значение коллимации. В формулах (7) и (8) знак «+» при КП, знак «—» при КЛ.

В итоге проведенного эксперимента обработаны результаты наблюдений семи звезд. Вычисления азимута и оценка точности приведены в таблице.

Результаты пробных определений показывают, что фотографический метод определения азимута может обеспечить точность первоклассных наблюдений. Дальнейшее совершенствование методики фотографического определения азимута из наблюдений звезд в вертикале земного предмета требует реализации выгоднейших условий применяемого метода — выполнения наблюдений звезд как в северной, так и в южной части вертикала [8].

**Список литературы:** 1. Бочаров Г. В. Графоаналитический способ подбора пар для наблюдения геодезического азимута по прохождению звезд в вертикале направления. — В кн.: Сборник рационализаторских предложений ОНТИ ЦНИИГАиК, 1972, № 16. 2. Герасимов А. П., Соловьев А. И. Составление рабочих эфемерид для наблюдения звезд в вертикале земного предмета. — Геодезия и картография, 1983, № 5. 3. Гожий А. В. Про визначення астрономічного азимута земного предмета із спостережень проходжень зірок через вертикаль предмета. — ДАН УССР. Сер. Б, 1971, № 7. 4. Коваленко В. А., Колгунов В. М. Об опытных астрономических наблюдениях фотографическим способом. — Геодезия и картография, 1976, № 3. 5. Коваленко В. А., Колгунов В. М. О некоторых погрешностях фотографического метода полевых астрономических определений. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1983, вып. 38. 6. Колгунов В. М., Гончаренко Ю. Я. Полевой программный хронорегистратор для астрономических наблюдений фотографическим способом. — Геодезия и картография, 1977, № 8. 7. Нитхаммер Т. Точные методы астрономических определений. — М.: Геодезиздат, 1958. 8. Уралов С. С. Курс геодезической астрономии. — М.: Недра, 1980.

Результаты вычисления азимута земного предмета

Номер звезды по АЕ	$A_i$	$\delta$
254	4°22'21,35"	-2,05"
277	24,34	+0,94
295	21,18	-2,22
301	23,24	-0,16
316	23,27	-0,13
325	24,05	+0,65
333	26,40	+3,00

$$A_{cp} = 4^{\circ}22'23,40''$$

$$m = \sqrt{\frac{[55]}{n-1}} = 1,80''; \quad M = \frac{m}{\sqrt{n}} = 0,68''.$$