

## О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЗИМУТА НАПРАВЛЕНИЯ НА ЗЕМНОЙ ПРЕДМЕТ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБОЙ

При построении Государственной геодезической сети азимуты направлений выходных сторон рекомендуют определять из многократных наблюдений ярких звезд вблизи меридиана, из наблюдений звезд в меридиане и по часовому углу Полярной [7]. Общим недостатком всех этих способов является необходимость измерения горизонтального угла между вертикалами звезды и земного предмета с помощью разделенного круга — процесса, в значительной мере обремененного влиянием систематических погрешностей, что, естественно, снижает точность определений азимута.

Отмеченного недостатка лишены микрометрические способы азимутальных определений, которые основаны на измерении малого угла между близко расположенными вертикалами звезды и земного предмета с помощью микрометра. Именно к микрометрическим способам обращаются чаще всего в тех случаях, когда необходимо определить азимут с повышенной точностью [6].

Однако и микрометрические способы (в том виде, в каком они применялись до настоящего времени) не обеспечивают существенного повышения точности азимутальных определений. Например, при микрометрических определениях азимута земного предмета по наблюдениям близполюсных звезд в элонгации на пассажном инструменте в Полтаве средняя квадратическая погрешность одного определения составила  $\pm 0,44''$  [10].

Слабой стороной существующих микрометрических способов азимутальных определений является то, что в процессе выполнения микрометрических измерений изменяется положение инструмента в пространстве при визировании на звезду и на земной предмет, т. е. микрометрические измерения не прямые, что служит источником дополнительных систематических погрешностей. Чтобы устранить этот недостаток и тем самым улучшить точность

определения азимута микрометрическими способами, в процессе наблюдений необходимо иметь возможность видеть земной предмет и изображение наблюдаемой звезды в поле зрения неподвижного микрометра и производить прямое микрометрическое измерение малого угла между вертикалами звезды и земного предмета. Такую возможность обеспечивает инструмент с близгоризонтальной линией визирования, устройство которого сходно с устройством горизонтального меридианного круга.

Идея создания астрономического инструмента с неподвижной горизонтальной зрительной трубой была высказана еще в XVII веке. Детальная разработка ее применительно к созданию горизонтального меридианного инструмента (ГМИ), предназначенного для определения координат небесных светил по наблюдениям их в меридиане, выполнена в первой половине, а практическая реализация началась лишь во второй половине текущего столетия [1—5, 8, 9, 11].

В настоящее время известны ГМИ двух типов. ГМИ первого типа состоит из двух горизонтальных зрительных труб, расположенных в меридиане, и вращающегося относительно горизонтальной оси, перпендикулярной к плоскости меридиана, зеркала, с помощью которого лучи от наблюдаемых в меридиане небесных светил направляются в одну из зрительных труб. ГМИ второго типа состоит из горизонтальной зрительной трубы, расположенной в первом вертикале, и размещенного перед ее объективом оптического узла, с помощью которого изображения небесных светил проходящих через меридиан, можно направить в поле зрения трубы. В СССР созданы ГМИ обоих типов. Их конструктивные особенности, инструментальные характеристики, основные достоинства и недостатки рассмотрены в [2—5, 9]. Не останавливаясь на всех достоинствах ГМИ, которые важны для меридианной астрометрии, отметим два из них, которые представляют интерес для геодезической астрономии:

возможность вести прямые микрометрические измерения между вертикалом наблюдаемой звезды и вертикалом земного предмета;

возможность полной автоматизации процесса наблюдений.

Бполне понятно, что использование инструмента с такими возможностями для определения азимутов направлений в геодезических сетях предпочтительно даже в том случае, если он будет обеспечивать такую же точность определений азимута, какую обеспечивают применяемые в настоящее время инструменты и способы определений. Однако перспективы использования инструмента с горизонтальной зрительной трубой для определения азимута лучше. Есть основание полагать, что он не только позволит точнее определять азимут, но и обеспечит более высокую производительность труда.

В отличие от ГМИ, зрительные трубы которых находятся в горизонтальном положении постоянно, у инструмента для определения азимута зрительная труба должна перемещаться в вертикальной плоскости на небольшой угол. Это нужно для того, чтобы

трубу можно было направить вдоль линии «пункт определения—земной предмет», которая в большинстве случаев не горизонтальная, а близгоризонтальная. Кроме того, инструмент для определения азимута в геодезических сетях должен быть переносного типа.

Схема устройства азимутального горизонтального инструмента (АГИ) с близгоризонтальной зрительной трубой показана на рисунке. Основными элементами его являются горизонтальная зрительная труба 5, расположенная в вертикале земного предмета  $vv'$ , и плоское зеркало 2 с центральным отверстием 3 и отсчетными вертикальными кругами 1 и 4, вращающееся вокруг горизонтальной оси  $NN'$ , которая перпендикулярна линии визирования  $vv'$ . Подобный инструмент позволяет видеть в поле зрения неподвижной трубы земной предмет (через центральное отверстие в зеркале), азимут направления, на который определяется, и изображение звезды, лучи от которой с помощью зеркала направляются в установленную вдоль линии «пункт определения—земной предмет» зрительную трубу.

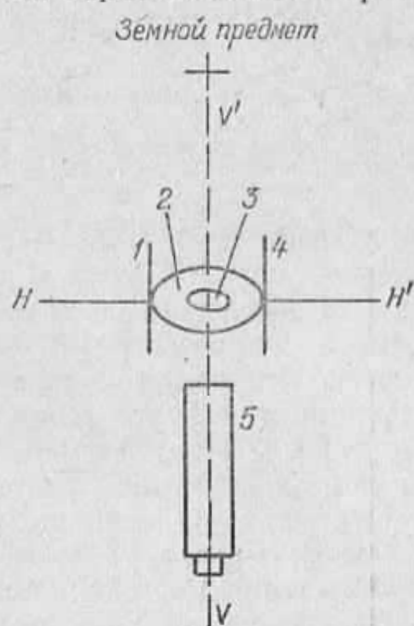


Схема инструмента с горизонтальной зрительной трубой для определения азимута.

В общем случае задача определения азимута направления на земной предмет по наблюдениям звезды в вертикале предмета с помощью АГИ, оснащенного контактным микрометром, сводится к выполнению совокупности следующих операций:

- 1) приведение инструмента в рабочее положение;
- 2) визирование трубой на земной предмет;
- 3) установка зеркала на заданное зенитное расстояние с таким расчетом, чтобы отраженное от зеркала изображение звезды было видно в поле зрения трубы;
- 4) регистрация прохождения звезды через поле зрения трубы с помощью контактного микрометра и определение среднего момента наблюдения звезды  $T_n$ ;
- 5) определение среднего отсчета  $m_*$  по барабану микрометра, соответствующего тому положению подвижной нити микрометра в поле зрения трубы, которое она занимала в момент  $T_n$  при регистрации прохождения звезды;
- 6) определение среднего отсчета  $m_n$  по барабану микрометра, соответствующего среднему положению подвижной нити в поле зрения трубы при визировании на земной предмет.

Кроме того, в процессе наблюдений необходимо контролировать положение основных осей и плоскостей инструмента в пространстве, определяя наклон оси вращения зеркала, его коллимацию и другие инструментальные параметры, характеризующие положение инструмента в пространстве.

В основу вычисления азимута земного предмета по данным наблюдений звезды в вертикале предмета можно взять следующие формулы:

$$\Delta m = m_n - m_* + \Sigma'_{\text{попр}}; \quad (1)$$

$$s = T_n + u + \Sigma''_{\text{попр}}; \quad (2)$$

$$t = s - \alpha; \quad (3)$$

$$\text{tg } a_* = \frac{\sin t}{\sin \varphi \cos t - \cos \varphi \text{tg } \delta}; \quad (4)$$

$$a_n = a_* + \Delta m R. \quad (5)$$

Здесь  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $t$ ,  $a_*$  — соответственно прямое восхождение, склонение, часовой угол и азимут наблюдаемой звезды;  $\varphi$  — широта места наблюдения;  $u$  — поправка хронометра;  $R$  — цена оборота винта микрометра;  $s$  — звездное время наблюдений;  $\Sigma'_{\text{попр}}$  — сумма поправок в разность отсчетов микрометра за влияние погрешностей винта микрометра;  $\Sigma''_{\text{попр}}$  — сумма поправок в наблюдаемый момент времени  $T_n$  за влияние наклона оси вращения зеркала, коллимации, ширины контакта и мертвого хода винта микрометра, неправильности цапф, лично-инструментальной разности.

Как можно установить из анализа формул (1) — (5), погрешность определения азимута земного предмета по наблюдениям звезд в вертикале предмета с помощью АГИ в основном будет задаваться порядком значения погрешности определения азимуты звезд. Если, например, обеспечить определение  $a_*$  по наблюдениям прохождения одной звезды с погрешностью  $\pm 1''$ , то примерно такой же будет и погрешность определения азимута земного предмета  $a_n$ , поскольку вклад погрешности определения  $\Delta m R$  в погрешность определения  $a_n$  будет существенно меньшим (например, если  $R$  известно с погрешностью  $\pm 0,01''$ ,  $\Delta m$  — с погрешностью  $\pm 0,1$  деления барабана микрометра и при этом  $\Delta m < 10$  оборотов винта, то погрешность  $\Delta m R$  не превышает  $0,1''$ ). Понятно, что обеспечив точность определения одного значения азимута земного предмета в пределах  $\pm (1,0 \dots 1,2)''$ , из наблюдений 15—20 звезд можно добиться точности определения азимута направления  $\pm (0,2 \dots 0,3)''$ .

Таким образом, можно говорить о принципиальной возможности определения азимута земного предмета по наблюдениям звезд в вертикале предмета с помощью инструмента с горизонтальной зрительной трубой, конструктивное воплощение которого может иметь множество технических решений. Поиски таких решений весьма целесообразны.

1. Брили Д. Оттавский зеркальный меридианный инструмент. — В кн.: Новые инструменты и методы в меридианной астрометрии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959, с. 24—34. 2. Пинигин Г. И. Предварительные результаты исследований системы горизонтального меридианного круга Л. А. Сухарева. — В кн.: Тр. 18-й астрометрической конференции СССР. Л.: Наука, 1972, с. 158—164. 3. Пинигин Г. И. К вопросу о меридианном инструменте оптимального ти-



па. — В кн.: Развитие методов астрономических исследований. М.; Л., 1979, с. 172—187. 4. *Пинигин Г. И., Шорников О. Е.* Аксимальный меридианный круг. — Астрометрия и астрофизика, 1983, вып. 49, с. 75—82. 5. *Пинигин Г. И., Шорников О. Е.* Аксимальный меридианный круг. — В кн.: Проблемы астрометрии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984, с. 206—208. 6. *Попов Н. А.* Об организации азимутальных наблюдений в Полтаве. — В кн.: Тр. 14-й астрометрической конференции СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 301—311. 7. Руководство по астрономическим определениям. — М.: Недра, 1984. — 382 с. 8. *Сухарев Л. А.* К вопросу о принципиальных преимуществах и конструктивных особенностях горизонтального меридианного круга. — Астрономический журнал, 1948, т. 25, вып. 1, с. 59—65. 9. *Сухарев Л. А.* Пулковский горизонтальный меридианный инструмент. — В кн.: Тр. 11-й астрометрической конференции СССР. Л.: Изд. ГАО в Пулкове, 1955, с. 161—167. 10. *Цанова А. П.* Исследование ошибки определения азимута миры по наблюдениям близполюсных звезд в элонгации. — Астрометрия и астрофизика, 1969, вып. 2, с. 92—100. 11. *Hoeg E.* Design Study of a Glass Meridian Circle. — Mitteilungen der Gesellschaft, 1973, Nr 32, S. 120—125.

Статья поступила в редколлегию 28.01.85