

УДК 520.253

**Меридианный аксиальный круг ГАО АН УССР****К. Е. Скорик, П. Ф. Миняйло, В. И. Мазур, П. Ф. Лазоренко,  
А. В. Бахонский**

Создан и подготовлен к наблюдениям меридианный круг горизонтального типа ( $D=18$  см,  $F=2.335$  м), установлены коллиматоры и вакуумная мира. Приведены предварительные результаты исследования узлов телескопа. Дан способ использования мины для постоянного контроля ориентации горизонтальной оси. Средняя квадратичная ошибка пробных наблюдений звезд  $\sigma_\delta = \pm 0.025''$  по прямому восхождению и  $\sigma_\delta = \pm 0.35''$  по склонению.

*MERIDIAN AXIAL CIRCLE AT THE MAIN ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF THE UKRAINIAN SSR ACADEMY OF SCIENCES, by Skorik K. E., Mynajlo N. F., Mazur V. I., Lazorenko P. F., Bachonskij A. V.*— Construction and preliminary investigation results of the new meridian circle ( $D=18$  cm,  $F=2.335$  m) of horizontal type are described. Additional installation includes collimators and mira. Estimated accuracy of one observation is  $0.025''$  in right ascension and  $0.35''$  in declination. New method for constant control of horizontal axis orientation by means of micrometric measurements of mira is given.

**Телескоп и вспомогательное оборудование.** В Главной астрономической обсерватории АН УССР при участии Астрономической обсерватории Киевского университета сконструирован и изготовлен меридианный аксиальный круг (МАК). Основная идея конструкции телескопов данного типа изложена в [5]. Главное отличие МАК от существующих классических инструментов состоит в том, что труба телескопа расположена горизонтально в первом вертнике и вращается в двух прецизионных шарикоподшипниках. Перед объективом под углом  $45^\circ$  к его оптической оси установлено жестко скрепленное с трубой плоское зеркало (рис. 1). Вращая это зеркало можно наблюдать звезды в меридиане.

Труба телескопа состоит из наружной и внутренней труб, соединенных с помощью электродуговой сварки продольными ребрами жесткости. На концы трубы напрессованы и приварены к ней стальные муфты. После сварки труба подверглась термостабилизирующему отжигу и была обработана для установки на ней отсчетного круга, диагонального зеркала, подшипников вращения трубы, микрометра и других узлов телескопа.

Основанием для крепления всех узлов телескопа служит сварная платформа в виде параллелепипеда с тремя опорами. В двух опорах имеются юстировочные винты, третья — устанавливается на основание юстировочного устройства по азимуту.

Двухлинзовый объектив МАК ( $D=18$  см,  $F=2.335$  м, поле зрения около  $40'$ ) закреплен в титановой оправе. Для крепления линз использована устойчивая к температурным и весовым деформациям конструкция.

Узел диагонального зеркала должен обладать повышенной механической прочностью и быть устойчивым к изменению температуры. Детали этого узла изготовлены из титанового сплава. Плоское силалловое зеркало имеет толщину 30 мм. В его центре сделано отверстие диаметром 35 мм для наблюдения мины.

В двухкоординатном микрометре для отсчета склонений используется прецизионный потенциометр, соединенный муфтой с микрометрическим винтом [2]. Угол поворота винта пропорционален электрическому сопротивлению потенциометра, которое измеряется с помощью цифрового вольтметра. Регистрация моментов прохождения звезды осуществляется печатающим хронографом по обычной схеме с контактным барабаном. Регистрирующая аппаратура (кроме хронографа) установлена в отапливаемом помещении вне павильона.

Отсчетный круг диаметром 630 мм и ценой деления  $5'$  изготовлен из титанового сплава. Для отсчетов круга установлены четыре фотомикроскопа. На фотографиях лимба получаются изображения пяти штрихов и двух индексов, расстояние между которыми примерно  $7.5'$ . Отсчет круга осуществляется по отношению к тому индексу,

изображение которого не совпадает с изображениями штрихов. Измерение пленок проводится на полуавтоматической машине [1].

Впервые на астрометрическом телескопе применен электромагнитный фиксатор трубы простой конструкции, который обеспечивает надежное фиксирование трубы и возможность дистанционного управления фиксированием.

Для контроля параметров телескопа изготовлены горизонтальные коллиматоры и вакуумная мира. В связи с малыми размерами павильона горизонтальные коллиматоры установлены параллельно трубе телескопа. Перед их объективами расположены

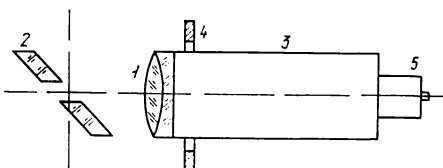


Рис. 1. Схема меридианного аксально-го круга: 1 — объектив; 2 — диагональное зеркало; 3 — труба; 4 — разделенный круг; 5 — микрометр

плоские зеркала, позволяющие наводить коллиматор на коллиматор и трубу МАК на коллиматор. Вакуумная мира длиной около 40 м расположена к западу от телескопа в плоскости первого вертикала. Звездообразное изображение марки мира имеет дифракционный диаметр около 4", наблюдается одновременно со светлом, что позволяет контролировать ориентацию горизонтальной оси в любой момент.

Телескоп установлен в кирпичном павильоне (рис. 2) на территории обсерватории. Фундамент телескопа представляет собой массивный бетонный блок. Металлическая крыша откатывается в сторону, образуя щель шириной до 3 м, в северной и южной стенах имеются открываемые оконные проемы.

**Исследование инструментальных погрешностей.** Для исследования ошибок посадочных мест трубы телескопа под прецизионные подшипники, рассматриваемых здесь как ошибки цапф, применен модифицированный метод Эри, в котором вместо непосредственного измерения положений марки коллиматора двухкоординатным микрометром на фотопластинку экспонировалась траектория ее изображения при полном повороте трубы. Полученный след изображения марки коллиматора исследовался на измерительной машине. Вследствие существенного сокращения времени исследования по сравнению с обычным способом уменьшается влияние температурных и других факторов на результат измерений. Ошибки посадочных мест подшипников не превышают  $\pm 3$  мкм.

Исследование ошибок винтов окулярного микрометра выполнено на измерительной машине «Аскорекорд». Для этого в обеих подвижных рамках микрометра высверлены отверстия, в которые ввинчивались стальные штоки длиной около 60 мм. Одна из измерительных линеек «Аскорекорда» соединялась со штоком посредством небольшого магнита. Вращением микрометрического винта приводилась в движение рамка микрометра с нитями и через шток ее перемещение передавалось на измерительную линейку. Периодические ошибки микрометра доведены до  $\pm 0.5$  мкм, а ходовые — до  $\pm 3$  мкм.

Предварительная оценка ошибок диаметров лимба получена из анализа разностей отсчетов взаимно перпендикулярных диаметров. Систематические ошибки диаметров  $\sigma_c = \pm 4''$ , а случайная ошибка длины 5-минутного интервала составляет  $\pm 0.6''$ .

Цена оборота винта окулярного микрометра по прямому восхождению  $R_\alpha = 2.893''$  определена по стандартной методике [3]. Для определения цены оборота по склонению окулярный микрометр поворачивался на  $90^\circ$  и видимое движение звезды отслеживалось подвижной нитью для склонений. Вычисленная таким способом цена оборота  $R_\delta = 43.31''$ .

**Контроль ориентации горизонтальной оси с использованием мира.** Известно, что МАК можно рассматривать как классический меридианный инструмент с ломаной трубой [5]. Поэтому обработка наблюдений выполняется по тем же формулам, что и для классического меридианного круга. Отличие заключается в возможности во время наблюдений при любом положении трубы по миру контролировать ориентацию горизонтальной оси вращения.

На рис. 3 изображена видимая внутри часть небесной сферы вблизи точки запада  $W$ ;  $WZ$  и  $WS$  — направления в зенит и на юг;  $M$  — видимое положение марки мира. Небесная сфера в точке  $\Omega_2$  пересекается продолжением горизонтальной оси при

установке трубы на зенитное расстояние  $z$ , а в точке  $\Omega$  — продолжением некоторого среднего положения горизонтальной оси ( $i, k$  — ее наклонность и азимут). Под ошибками цапф условимся понимать наклонность  $\Delta i_z$  и азимут  $\Delta k_z$  мгновенной оси относительно средней. Удобно считать положения обеих осей совпадающими при установке трубы в зенит, т. е. условно принять, что в этом положении  $\Delta i_0 = \Delta k_0 = 0$ .  $A\Omega_z D$  — вращающаяся вместе с трубой система координат, оси которой параллельны координатным осям окулярного микрометра, а начало совпадает с  $\Omega_z$ . В фокальной плоскости

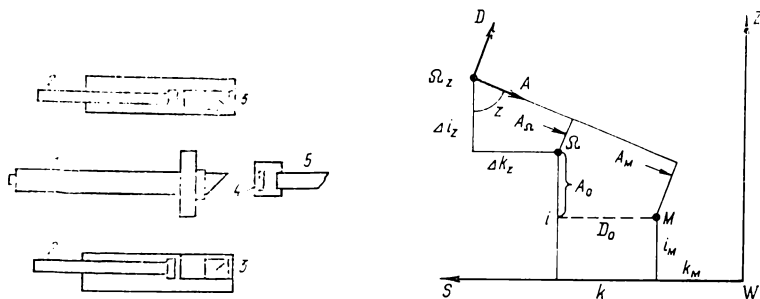


Рис. 2. Расположение телескопа и вспомогательного оборудования в павильоне: 1 — основная труба МАК; 2 — коллиматоры; 3 — узел диагонального зеркала коллиматора; 4 — линза миры; 5 — вакуумная труба миры

Рис. 3. Расположение на небесной сфере точек ее пересечения продолжениями мгновенной  $\Omega_z$  и средней  $\Omega$  горизонтальной оси вращения;  $W$  — точка запада;  $M$  — видимое положение миры;  $A\Omega_z D$  — вращающаяся вместе с трубой система координат

телескопа положение начала такой системы координат относительно визирной линии можно определить приблизительно из наблюдения движения изображения марки миры в поле зрения микрометра при вращении трубы. Обозначим ошибки положения нуля-пункта через  $\Delta A$  и  $\Delta D$  по направлениям  $\alpha$  и  $\delta$  соответственно.

Вычисление поправки за неправильности цапф  $\Delta c_z$ , т. е. приведение наблюдений от данного положения оси вращения к среднему, выполняется по формуле [3]:

$$\Delta c_z = \Delta i_z \cos z + \Delta k_z \sin z,$$

причем поправку учитывают совместно с коллимацией. Наличие вращающегося с трубой микрометра на МАК упрощает определение редукции, так как  $\Delta c_z$  оказывается равной координате точки  $\Omega$  по оси  $A$ :

$$A_\Omega = \Delta c_z = \Delta i_z \cos z + \Delta k_z \sin z.$$

Таким образом, для исключения ошибок цапф нет необходимости в их исследовании, достаточно знать прямое восхождение точки  $\Omega$  при данной ориентации телескопа. Положение этой точки невозможно измерить непосредственно, поэтому используем наблюдения миры, заранее определив относительное расположение точек  $\Omega$  и  $M$  при направленном в зенит зеркале (при этом  $\Omega_z$  совмещается с  $\Omega$ , согласно сделанному выше предположению). Пусть отсчет положения миры при этом  $A_0, D_0$ . Тогда

$$\Delta c_z = A_\Omega = A_M - A_0 \cos z - D_0 \sin z, \tag{1}$$

а формула Майера для обработки прямых восхождений на МАК с учетом ошибок определения нуля-пункта системы координат  $A\Omega_z D$  принимает вид

$$\alpha - T = u + i' \cos z \sec \delta + k' \sin z \sec \delta + (c - \Delta A) \sec \delta + A_\Omega \sec \delta. \tag{2}$$

Здесь приняты новые значения азимута и наклонности среднего положения горизонтальной оси  $i' = i + \Delta A$ ,  $k' = k + \Delta D$ . Можно показать, что величина  $c - \Delta A$  представляет собой коллимацию, измеренную в горизонте и исправленную по формуле (1) за нестабильность положения горизонтальной оси.

Таким образом, для обработки наблюдений не требуется знать точной ориентации горизонтальной оси относительно визирной линии. Временной дрейф горизонтальной оси, который характеризуется изменением параметров  $i', k'$ , контролируется по

наблюдениям мира при установке трубы в определенное положение, например в зенит. Возможен более простой способ обработки наблюдений, при котором учитываются ошибки цапф и дрейф горизонтальной оси вращения путем перехода от мгновенной оси вращения  $\Omega_z$  непосредственно к миру. Видно, что в этом случае  $\Delta z = A_M$ , где  $A_M$  — координата мира. При таком подходе в формуле Майера (2) неизвестные  $i'$ ,  $k'$  необходимо заменить неизвестными  $i_M + \Delta A$  и  $k_M + \Delta D$ , которыми учитывается положение мира. Эти параметры сохраняются постоянными на большом промежутке времени.

Для проверки работоспособности телескопа МАК в сентябре — ноябре 1986 г. получено несколько пробных рядов наблюдений звезд ГК4. В течение вечера определены 15—25 склонений, причем несколько из них в нижней кульминации и 20—40 прямых восхождений в зоне склонений от  $-20$  до  $+60^\circ$ . Горизонтальные коллиматоры и мира еще не были установлены. Поэтому все необходимые параметры телескопа определялись из наблюдений звезд.

Обработка прямых восхождений выполнялась по формуле Майера. Сначала по наблюдениям экваториальных звезд из разностей  $\alpha - T$  исключался временной ход. Затем путем решения системы уравнений способом наименьших квадратов определялись параметры инструмента и поправка часов. По невязкам решения получена средняя квадратичная ошибка определения прямых восхождений по 200 наблюдениям  $\sigma'_\alpha = \pm 0.030''$ . Около 20 звезд наблюдались по два-три раза каждая. По отклонениям отдельных определений  $\alpha$  от их среднего значения для этих звезд получено  $\sigma_\alpha = \pm 0.025''$ . Различие двух оценок ошибок, видимо, связано с исключением систематических ошибок цапф (подшипников) во втором способе оценки.

При определении склонений каждой звезды снималось около десяти отсчетов микрометра и одновременно регистрировались соответствующие им моменты времени  $T_i$ . Поэтому можно было снимать отсчеты микрометра не только в конкретных местах поля зрения, определяемых, как обычно, положением неподвижных нитей, но и в других местах поля зрения. Кривизна параллели при этом находилась по формуле

$$\Delta M = \frac{15^2}{2 \cdot 206265} \operatorname{tg} \delta \frac{1}{N} \sum_i^N F_i^2,$$

где  $F_i$  — расстояние звезды от меридиана в момент  $T_i$ . Для определения  $F_i$  первый отсчет проводился на неподвижной нити с известным расстоянием от меридиана  $A$ . Тогда  $F_i = A - (T_i - T_1) \cos \delta$ . Исправленный отсчет круга находился по формуле

$$M = \overline{\Delta z} + M_M + \Delta M + \rho + r/2,$$

где  $\overline{\Delta z}$  — среднее из отсчетов четырех фотомикроскопов;  $M_M$  — отсчет окулярного микрометра;  $\rho$  — поправка за рефракцию, вычисленная по алгоритму И. С. Гусевой [4];  $r$  — систематическая составляющая разности диаметров лимба. Включение члена  $r/2$  уменьшает влияние систематических ошибок делений лимба. Точки экватора  $E$  получались по формуле  $E = \delta_s - M$ , где  $\delta_s$  — эфемеридные склонения звезд.

Анализ кривых изменения точек экватора в зависимости от времени показал, что для звезд, наблюдавшихся в нижней кульминации, точки экватора имеют отрицательные отклонения около  $10$ — $15''$ . Для первых последующих звезд, наблюдавшихся в верхней кульминации, получались отрицательные отклонения точек экватора около  $2$ — $5''$ . Примерно через  $10$ — $15$  мин существенное изменение точек экватора не наблюдается. Обнаруженная зависимость свидетельствует о недостаточной стабильности ориентации зеркала. Наблюдения с большими отклонениями точек экватора были исключены из обработки. Для оставшихся 50 наблюдений из точек экватора  $E$  исключались систематический ход со временем и зависимость от зенитного расстояния в виде  $b \sin z$ . Стандартное отклонение точек экватора  $\sigma'_\delta = \pm 0.35''$ . Для двух вечеров с 14 общими звездами по сходимости точек экватора этих звезд получена средняя квадратичная ошибка одного наблюдения  $\sigma_\delta = \pm 0.20''$ , свободная от влияния ошибок разделенного круга.

Предварительный анализ полученных наблюдений позволяет сделать вывод о пригодности МАК для высокоточных определений положений звезд по дифференциальной программе.

Авторы благодарны Е. М. Ненаховой за помощь при исследовании окулярного микрометра.

1. *Зайченко В. И., Кухарский Л. А., Харин А. С.* Автоматическая машина для измерения фотографий лимба // *Астрометрия и астрофизика.*— 1974.— Вып. 23.— С. 84—86.
2. *Кухарский Л. А., Харин А. С.* Устройство дистанционного вывода данных на перфоратор // *Астрон. циркуляр.*— 1979.— № 1084.— С. 3—4.
3. *Подобед В. В.* Фундаментальная астрометрия.— М. : Наука, 1968.—452 с.
4. *Таблицы рефракции Пулковской обсерватории / Под ред. В. К. Абалакина.*— 5-е изд.— Л. : Наука, 1985.—48 с.
5. *Циммерман Г. К.* Свободный от гиутия вертикальный круг // *Тр. 14-й астрометр. конф. СССР.*— М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1960.— С. 155—161.

Глав. астроном. обсерватория АН УССР, Киев,  
Астроном. обсерватория Киев. ун-та им. Т. Г. Шевченко

Поступила в редакцию 11.03.88