

УДК 520.253:520.344.6

П. Ф. Лазоренко, Н. Ф. Миняйло, Г. П. Милиневский,
В. Н. Ивченко, К. Е. Скорик, В. А. Кравченко

Опыт телевизионных наблюдений на меридианном аксиальном круге

Использование телевизионной аппаратуры с высокочувствительной передающей трубкой типа суперкремникон и ЭОП в качестве усилителя яркости в визуальных микрометрических наблюдениях позволило проводить измерения положений звезд до 13.0^m. Микрометрическое наведение на звезду осуществлялось по изображениям звезд и нитей микрометра, контролируемым на экране видеомонитора. По наблюдениям получена средняя квадратичная ошибка определения одного положения звезды $\sigma_\alpha = \pm 0.3—0.5''$ по прямому восхождению и $\sigma_\delta = \pm 0.2''$ по склонению, что свидетельствует о незначительном влиянии искажений телевизионной системы на измерения. При повышении чувствительности аппаратуры на 1.5—2^m можно применить описанный метод для меридианных наблюдений квазаров и слабых астерондов в системе фундаментального каталога.

EXPERIENCE OF TELEVISION OBSERVATIONS WITH MERIDIAN AXIAL CIRCLE,

by Lazorenko P. F., Minyajlo N. F., Milinevskij G. P., Ivchenko V. N., Skorik K. E., Kravchenko V. A.—Highly sensitive television viewing system with silicon intensifier tube was used for meridian micrometric observations and allowed positions of stars ranging from 3 to 13 magnitudes to be measured. Measurements were carried out by means of controlling the images of stars and micrometric threads on videomonitor screen. The accuracy of one observation appeared to be $\pm 0.3—0.5''$ in right ascension and $\pm 0.2''$ in declination. This indicates the small effect of television distortion. With more sensitive TV-camera (on 1.5—2^m) this method can be applied to meridian observations of quasars and other faint objects directly in the fundamental catalogue system.

В настоящее время накоплен значительный опыт по использованию высокочувствительных телевизионных трубок и электронно-оптических усилителей яркости для высокоточного определения положений небесных объектов [1]. Интерес к применению телевизионной аппаратуры для позиционных наблюдений объясняется возможностью получения изображения слабых объектов за более короткое время, чем фотографическим способом. Однако телевизионный метод имеет свои недостатки и уступает по точности фотографическому, а ошибки определения координат этим методом только в редких случаях оказываются менее 1''. Нелинейные искажения телевизионного поля играют роль основного фактора, ограничивающего повышение точности. Влияние этих искажений сказывается при измерении больших расстояний на экране монитора; например, при определении положения объекта относительно опорной сетки с большими размерами ячеек. К суммарной ошибке добавляется также ошибка, возникающая из-за большого перепада яркости измеряемого и опорных объектов.

Особый интерес вызывает возможность непосредственных оптических наблюдений квазаров, так как их точные положения необходимы для установления связи между радиоинтерферометрической и оптической системами координат. Однако постановка телевизионных наблюдений квазаров целесообразна в случае применения более совершенного по точности метода, чем фотографический. Недостатки последнего обусловлены его косвенностью, многоступенчатостью привязки положений квазаров к фундаментальной системе, что приводит к суммированию ошибок используемых промежуточных опорных систем. Особенно опасны, как неисключающиеся при наблюдениях, локальные систематические ошибки, которые для каталога АГКЗ могут достигать $\pm 0.2—0.3''$ [2]. Возможно, в этом одна из причин наблюдаемого расхождения радио- и оптических положений квазаров на уровне $\pm 0.1—0.2''$ [3].

Перечисленные ошибки практически полностью исключаются в предлагаемом способе наблюдений квазаров и других слабых объектов на меридианном круге непосредственно в фундаментальной системе. Телевизионная установка используется только для подмотра поля зрения в качестве усилителя яркости. А так как при меридианных наблюдениях движущийся в поле зрения объект совмещен с подвижной нитью или находится в середине узкого (шириной не более $10''$) бисектора, то влияние нелинейности поля практически исключается. Цель данной работы — проверить принципиальную возможность постановки таких наблюдений и оценить влияние телевизионных эффектов на точность измерения положений звезд.

Для экспериментальных наблюдений использовалась телевизионная установка с передающей трубкой ЛИ-702 типа суперкремникон, соединенная посредством оптического контакта с однокамерным ЭОП. Достоинства трубок этого типа — их высокая чувствительность, малая инерционность изображения, простота эксплуатации, а также возможность быстрого изменения чувствительности в широких пределах (до 10^5) без нарушения фокусировки. Последнее обстоятельство очень существенно, так как позволяет быстро переходить от слабых звезд к ярким, и наоборот. Установка была предоставлена в наше распоряжение САО АН СССР.

Наблюдения выполнены в поле — августе 1987 г. на меридианном аксепальном круге (МАК) ГАО АН УССР ($D=18$ см, $F=2.3$ м). Труба телескопа ориентирована горизонтально и для наблюдения звезд в меридиане может вращаться вокруг своей оси. Высота окулярной части МАК относительно пола не изменяется, поэтому телевизионная камера устанавливалась на необходимой высоте без жесткого механического контакта с телескопом. Нити в поле зрения подсвечивались со стороны окуляра. Изображение звезды и нитей строилось в плоскости входной волоконной шайбы ЭОП с помощью оптических элементов окуляра. При этом увеличение γ можно было изменять в широких пределах, а эквивалентное фокусное расстояние системы — от 3 до 20 м. Экспериментальным путем выбрано оптимальное увеличение $\gamma=2$, при котором одна телевизионная строка соответствует $1''$, а поле зрения составляет около $10'$.

Наблюдения велись обычным способом. При определении прямых восхождений вращением микрометрического винта отслеживалось движение звезды так, чтобы на экране монитора ее изображение совпадало с изображением подвижной нити. При этом регистрировались моменты замыкания контактной пары барабана микрометра.

Оценка точности микрометрического наведения на звезду выполнена раздельно по обеим координатам. Выбирались звезды с $m_V=2.5-11^m$. Изображения ярких звезд ослаблялись путем уменьшения напряжения на трубке до оптимальной яркости. Как и ожидалось, точность бисектирования не зависит от m_V .

Чтобы оценить точность наведения в зависимости от видимой скорости перемещения звезды на экране монитора, по прямому восхождению наблюдались звезды с разными склонениями. Для каждой звезды получалось от 30 до 60 моментов замыкания контактов барабана при 6—12 оборотах винта, интервал между которыми составлял от 0.4 до 1.5 с в зависимости от склонения звезды. Из наблюдений 30 звезд в течение трех ночей по внутренней сходимости определена ошибка одного отсчета σ_1 , а также коэффициенты корреляции между соседними отсчетами ρ_1 и через один контакт ρ_2 (табл. 1). Стандартное отклонение среднего из n контактов может быть представлено в виде $\sigma_\alpha = \sigma' / \sqrt{n}$, где величина $\sigma' = \sigma_1 \sqrt{1 + 2\rho_1 + 2\rho_2}$ имеет смысл «эффективной» (или внешней) ошибки одного контакта, которой следует пользоваться, если принять, что отсчеты являются некоррелированными. В табл. 1 оценки

σ_1 , σ' и σ_α приведены к экватору умножением на $\cos \delta$, причем σ_α получено для $n=30$ с ошибкой $\pm 0.001^s$. Так как при каждом наблюдении звезды получено большое число отсчетов, все величины определены достаточно уверенно. Интересно отметить то, что уменьшение коррелированности отсчетов для медленно перемещающихся по экрану изображений звезд приводит к повышению «эффективной» точности их бисектирования при практически неизменном σ_1 . Так, для звезд с $\delta=80^\circ$ точность бисектирования вдвое выше, чем для экваториальных звезд. В табл. 1 для сравнения приведены данные визуальных наблюдений обычным способом. Оба способа практически не различаются по точности.

Таблица 1. Характеристики точности бисектирования по прямому восхождению

Склонение	σ_1	ρ_1	ρ_2	σ'	σ_α
0—10°	0.119 ^s	0.44	0.25	0.182 ^s	0.033 ^s
60	0.103	0.21	—	0.119	0.022
80	0.090	—	—	0.090	0.016
0—20 (визуально)	0.100	0.48	—	0.140	0.026

Таблица 2. Результаты наблюдений прямых восхождений и склонений звезд

Координата	Зона склонений	Звездная величина	Количество			σ
			отсчетов на звезду	звезд	ночей	
α	0—20°	3—6 ^m	~27	8—11	2	0.033 ^s (из наблюдений звезд FK4)
α	60—65	9—9.4	30	11	4	0.023 ^s (с ослабляющим на 1.2 ^m фильтром)
δ	50	8.7—9.4	3—5	6	2	0.26" (из сравнения результатов микрометрических наблюдений в соседние ночи)
δ	54	8.5—9.1	3—5	6	2	0.40" (из средних квадратичных значений разностей «микрометрическое склонение — склонение из SAO»).

Ошибка σ_2 одного микрометрического наведения по склонению определялась в зонах 50—55 и 80°. Коррелированности соседних отсчетов и зависимости σ_2 от склонения не обнаружено. Из наблюдений 16 звезд в течение трех ночей получена оценка $\sigma_2=0.44\pm 0.02''$. Она оказалась значительно меньше σ_1 по следующим причинам. Во-первых, один отсчет по δ выполняется за 3—4 с, в течение которых наблюдатель может усреднять видимые колебания изображения звезды. При отслеживании по прямому восхождению такой возможности нет. Во-вторых, из-за инерционности телевизионной трубки изображение несколько растягивается вдоль следа, усложняя ведение по α . Тем не менее за полное время наблюдения (15—20 с) ошибки среднего отсчета по обеим координатам сравнимы и равны $\pm 0.2—0.3''$ для звезд с $\delta \approx 60^\circ$.

Для независимой проверки предыдущих выводов о достаточной точности бисектирования изображений звезд определены прямые восхождения и склонения ярких и слабых звезд. По прямому восхождению наблюдались 11 звезд FK4, для которых в результате обработки дифференциальным способом выводились разности $O—C$ в смысле МАК—FK4 (табл. 2). Ошибка одного наблюдения $\sigma=33$ мс почти равна ошибке визуальных наблюдений (28—34 мс). Кроме ярких звезд в те-

чение четырех ночей наблюдались 11 звезд АГКЗ (табл. 2, вторая строка), для которых выводились средние по всем ночам положения, как обычно делается при составлении дифференциальных каталогов. Определенная для этих двух случаев ошибка наблюдений σ практически совпадает с оценкой σ_α по микрометрическим наблюдениям.

В случае склонений для исключения влияния ошибок лимба и гнуття инструмента мы ограничились микрометрическими наблюдениями, которые проводились в зоне склонений шириной около $5'$. Из сравнения результатов микрометрических измерений 12 звезд, выполненных в разные ночи, выведена ошибка одного наблюдения $\sigma = 0.26''$, согласующаяся с найденной ранее оценкой σ_2 для одного наведения.

Оценка проницающей силы получена на основании каталога SAO, при этом изображения ярких звезд каталога приходилось дополнительно ослаблять нейтральным фильтром на 5.0^m . Предельно слабые видимые на экране изображения соответствовали звездам 13.2^m , но для уверенного бисектирования выбирались изображения звезд до 13.0^m . Это оказалось ниже расчетного значения чувствительности аппаратуры $14.5\text{--}15.0^m$ [1]. Достижение такой чувствительности путем подбора лучшего экземпляра телевизионной трубки позволит наблюдать в северном полушарии примерно десять квазаров. Повышение чувствительности до $16\text{--}17^m$ может быть обеспечено дополнительной механической системой, которая перемещает окуляр для компенсации перемещения изображений звезд на фотокатод, а также постановкой наблюдений с накоплением света. Наблюдение более слабых квазаров до $19\text{--}20^m$ требует организации микрометрических наблюдений с телевизионной аппаратурой на телескопах с $D = 2\text{--}6$ м. В этом случае при неподвижной трубе телескопа положение объекта определяется относительно опорных звезд, которые перемещаются в поле зрения.

Таким образом, предложенный метод по точности не уступает наблюдениям с визуальным микрометром. При повышении чувствительности аппаратуры он перспективен для постановки меридианных наблюдений квазаров, астероидов, комет и других слабых объектов, причем в систематическом отношении эти наблюдения будут более точными, чем фотографические.

1. Абраменко А. Н., Агапов Е. С., Анисимов В. Ф. и др. Телевизионная астрономия.— М.: Наука, 1983.—272 с.
2. de Vegt C., Gehlich U. K. Precise optical positions of radio sources in the FK4 system // *Astron. and Astrophys.*—1982.—113, N 2.— P. 213—218.
3. Fogh Olsen H. J., Helmer L. Meridian observations made in Brorfelde // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1977.—30, N 2.— P. 349—360.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР, Киев,
Киев. ун-т им. Т. Г. Шевченко

Поступила в редакцию 13.06.88,
после доработки 30.08.88