

И. П. КУНОВСКИЙ

О ТОЧНОСТИ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЗВЕЗД ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМОЙ КАМЕРЫ АФУ-75

В настоящее время при оценке точности фотографических наблюдений ИСЗ камерой АФУ-75 основными источниками ошибок считают недостатки астрометрических качеств объектива «Уран-16» и применяемых фотоматериалов [4]. Объектив «Уран-16» имеет значительную хроматическую аберрацию и кому, а используемые фотопленки на триацетатной основе подвержены большим нерегулярным деформациям.

Во всех исследованиях считают, что в камере АФУ-75 изображения звезд на снимке сдвигаются равномерно [4], так как она отслеживает звезды с помощью экваториальной платформы (ЭП), или предполагают, что за время экспозиции (до 30^с) ошибки за неточность слежения в среднем будут малы [1].

Точность отслеживания звезд ЭП зависит от продолжительности съёмки и определяется смещением изображения звезды в точке севера N , которое вызывается перемещением северного подшипника ЭП по плоской горизонтальной направляющей, а не по точной параллели в этой точке [3]. Так как продолжительность экспозиции звезд Δt при фотографировании активных и ярких спутников камерой АФУ-75 не превышает 30^s , то, согласно формуле К. Лалушки [3] (для широты $\varphi = 52$)

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \cos \Delta t)}{\cos \Delta t \cdot \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi}, \quad (1)$$

максимальное смещение ε изображения звезды на снимке равно $0,24''$, что в масштабе снимка камеры ($1 \text{ мкм} = 0,28''$) и диаметре изображения звезды $30 \dots 40 \text{ мкм}$ не влияет на симметричность звезд.

Но неравномерность отслеживания звезд ЭП камеры АФУ-75 имеет место и ее необходимо исследовать. Вследствие аберраций объектива, недостаточной резкости края изображения на применяемых фотопленках, неустойчивости камеры и турбулентных явлений в атмосфере изображение звезды на снимке представляется некоторым кружком, не обладающим подчас необходимой круговой симметрией как по форме, так и по яркости изображения.

Поэтому при правильно отъюстированной и установленной на полюс мира ЭП по изображениям звезд на снимках трудно судить о неточностях отслеживания звезд (приблизительно $1-3''$).

Для выявления таких неточностей отслеживания на левой стойке камеры мы установили уровень с ценой деления $\tau = 2''$. Исследования проводили в плоскостях меридиана и первого вертикала. Для ориентировки уровня в этих плоскостях был разработан специальный способ установки оси уровня в плоскости меридиана с помощью ЭП [2].

Согласно [2], наклонность оси уровня, вызываемая наклоном ЭП на угол $i = 15 \cdot \Delta t \cdot \cos \varphi$ и несопадением оси уровня с направлением ON ЭП (на угол ψ), составляет

$$l_1 = \frac{15 \cdot \Delta t \cdot \cos \varphi \cdot \psi''}{\rho''}, \quad (2)$$

а наклонность оси уровня, вызываемая наклоном направляющей в точке севера N на угол i_1 , —

$$l_2 = \frac{15 \cdot \Delta t \cdot \sin \varphi \cdot i_1''}{\rho''}. \quad (3)$$

Пусть за время работы ЭП Δt наклонности l_1 и l_2 оказались равными и противоположно направленными, т. е.,

$$l_1 - l_2 = 0, \quad \text{или} \quad l_1 = l_2. \quad (4)$$

Тогда из (2), (3) и (4) получим

$$\psi = i_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (5)$$

Но так как $i_1 \leq 50''$ [3], то для широт до 67° угол $\psi \leq 2'$, а угол $i_2 \leq 0,6''$.

Из (5) следует, что, изменяя угол φ (при постоянных величинах i_1 и φ), можно найти такое положение уровня, при котором на всем протяжении работы ЭП его ось будет горизонтальной. Если же практической установкой уровня удастся найти такое положение, то это будет говорить о хорошем качестве изготовления подшипника и направляющей в точке севера N .

Исследования проводили на камерах АФУ-75 № 008 и № 116. При практической установке уровня в плоскости меридиана наименьшее перемещение его пузырька для камеры № 008 составляет $1,6 \dots 3''$, а для камеры № 116 — $0,2 \dots 0,4''$.

Каждый раз после включения ЭП камеры № 008 с положения «1/2» приблизительно за первые 30^s времени пузырек уходит на $1,6-3''$ к югу, и остальные 60^s времени остается неподвижным. При возвращении ЭП из конечного положения в начальное пузырек снова за $20 \dots 30^s$ уходит на $1,6 \dots 3''$ к северу, а потом остается неподвижным. Аналогичное явление наблюдается при включении ЭП с положения «1».

Для остановки ЭП в нужный момент (без возвращения ее в начальное положение) в электрическую цепь муфты «Назад» нами был введен выключатель. Если теперь после ухода пузырька ЭП выключить в интервале с 30^s по 60^s , а затем снова включить, то пузырек останется неподвижным. Аналогичное явление наблюдается и в процессе остановки и включения ЭП во время ее возвращения в начальное положение.

Из сказанного следует, что наклон направления ON происходит только в случае изменения направления движения ЭП на обратное. А именно так и работает ЭП. Поэтому для устранения этого наклона при наблюдении активных и ярких спутников ЭП камеры № 008 должна включаться за 30^s до начала съемки.

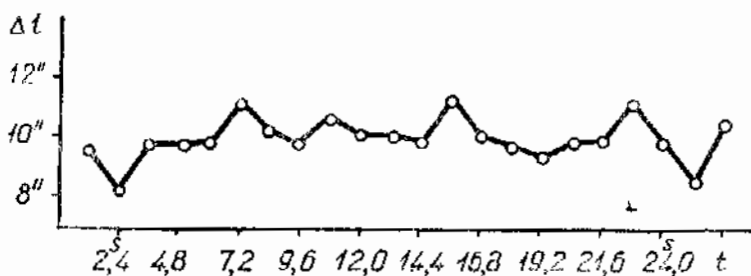
Для исследования направляющей в точке востока E камера поворачивается вокруг вертикальной оси на 90° . Достаточная точность установки оси уровня в первом вертикале составляет $\pm 10'$ [2].

Угол наклона ЭП в первом вертикале $i = 15 \cdot \Delta t \cdot \cos \varphi$ задается рукояткой указателя направления движения ЭП. Каждый раз, поворачивая рукоятку ровно на один оборот или часть оборота и фиксируя показания уровня, по разностям наклонов можно судить о точности отслеживания звезд в точке востока E и качестве изготовления направляющих и микрометричного винта привода ЭП. Один оборот рукоятки соответствует углу поворота ЭП в плоскости небесного экватора приблизительно $0^s,6 = 9''$.

Достаточная точность установки рукоятки составляет $\pm 3'$. Для вращения рукоятки, причем только в направлении отслеживания звезд, необходимо устранить свободный ход.

Максимальные разности наклонов уровня в первом вертикале для камеры № 008 составляют $2,9''$ (см. рисунок), а для камеры № 116 — $2,0''$.

Неточность отслеживания, вызываемая вытянутостью изображений звезд (до 10 мкм), почти не обнаруживается на снимках из-за нечеткости и размытости краев изображений. Если бы время экспозиции звезд и спутника совпадало, то неточности отслеживания звезд не влияли бы на результат определения положения спутника.



Ошибки отслеживания звезд экваториальной платформой в первом вертикале.

В режимах наблюдений «П», «А», «Я» время экспозиции отдельной точки спутника — сотые и тысячные доли секунды, а звезд — около 30^s . Поэтому из-за неточностей отслеживания звезд ЭП отдельные изображения спутника будут смещены относительно осредненных положений звезд приблизительно на $1,5''$.

В компенсационном режиме наблюдений при экспозиции звезд в 1^s и спутника в $0,5$ — $1,5^s$ неточности отслеживания звезд мало влияют на результаты определения положения спутника.

Положения изображений активных, ярких и слабых спутников для каждого снимка представим временными интерполяционными полиномами вида [4]

$$\begin{aligned} \alpha &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3; \\ \delta &= b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3. \end{aligned} \quad (6)$$

Полученные по результатам уравнивания на основе (6) средние квадратические погрешности изображений активных и ярких спутников равны $\pm 1,1''$, а слабых — $\pm 0,7''$ (при обработке снимков отличного качества) [4]. Лучшая точность работы камеры в компенсационном режиме, по нашему мнению, объясняется именно меньшим влиянием ошибок отслеживания звезд ЭП на положения спутников в этом режиме.

Такие исследования проведены нами лишь на двух камерах АФУ-75. Результаты исследования для других камер могут отличаться от приведенных, поэтому желательно выполнять их на разных камерах. Даже если на других камерах ошибки будут не-

значительны, применение дополнительного уровня обеспечивает хороший контроль изготовления и юстировки экваториальной платформы.

Список литературы: 1. *Изотов А. А.* Основы спутниковой геодезии. — М.: Недра, 1974. 2. *Куновский И. Н.* Установка оси уровня камеры АФУ-75 в плоскости меридиана при помощи экваториальной платформы. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, Львов, 1982, № 36. 3. *Лапушка К. К.* Спутниковая фотокамера АФУ-75. Руководство для работы. — Рига; М.: Астросовет АН СССР, 1971. 4. *Лапушка К. К., Лауценшекс Л., Балодис Я.* Некоторые оценки эффективности применения камер АФУ-75 в фотографической спутниковой и спутниковой геодезии. — Научные информации астросовета АН СССР, 1977, № 35.