

Формула обратного веса поперечного сдвига [3] представляется собой многочлен пятой степени. В [4] выведена более простая формула обратного веса поперечного сдвига, являющаяся многочленом третьей степени. При выводе этих формул сохранили прежний вид условных уравнений и их порядок в системе. Поэтому можем воспользоваться ими для упрощения формул поперечного сдвига с учетом дирекционных углов.

В формулах, выведенных в [4], входным аргументом является k — номер точки или число сторон, отделяющих оцениваемую точку от края сети. Этими формулами можно воспользоваться и для оценки последней точки в ряде, т. е. для точки с номером $k=N+1$. Так как в [1] входным аргументом в формулы для оценки сдвигов является N , подставим в формулы из [4] $k=N+1$. Таким способом получим

$$\frac{1}{P_{св.с}(3)} = 0,0882N^3 + 1,8646N^2 + 2,865N + 1,79;$$

$$\frac{1}{P_{св.с}(5)} = 0,0254N^3 + 1,8724N^2 + 2,896N + 1,83;$$

$$\frac{1}{P_{св.с}(7)} = 0,0110N^3 + 1,8860N^2 + 2,969N + 1,69. \quad (2)$$

Цифра в скобках знаменателя обозначает число рядов треугольников в сети.

Последовательно подставляя в (1) значения обратных весов из (2) и значения A , выведенные в [1] для сети, состоящей из трех, пяти и семи рядов соответственно, получим выражения обратных весов поперечных сдвигов конечной точки ряда треугольников, имеющего на краях исходные дирекционные углы:

$$\frac{1}{P(3)} = 0,0215N^3 + 0,8854N^2 + 2,500N + 2,00;$$

$$\frac{1}{P(5)} = 0,0062N^3 + 0,9216N^2 + 2,553N + 2,05;$$

$$\frac{1}{P(7)} = 0,0023N^3 + 0,9022N^2 + 2,598N + 1,69. \quad (3)$$

В таблице приведены средние квадратические поперечные сдвиги крайнего пункта в сетях, состоящих из трех, пяти и семи рядов треугольников, вычисленные по весам, определенным из (3). Для сравнения даны эти веса, определенные точно путем решения схем Гаусса. При вычислении средней квадратической погрешности единичы веса μ равна 6 см. Из таблицы видно, что поперечные сдвиги, определенные с помощью (3), содержат погрешность не более 3%. Только при $N=5$ в пятикратном ряде погрешность

сдвига составляет 8%. Поэтому при N больше числа рядов в сети формулы можно считать точными.

Средние квадратические поперечные сдвиги пунктов, см

Число центральных систем в одном двойном ряде сети (N)	Число рядов треугольников			
	точно	по ф-ле	точно	по ф-ле
5	37,2	37,6	36,1	33,3
7	50,0	50,3	47,9	47,4
10	70,0	70,2	66,1	65,3
25	186,2	185,3	162,2	156,8
			162,7	154,9

Примечание. $\mu=6$ см.

Список литературы: 1. Костецкая Я. М. Учет исходных дирекционных углов при оценке точности сетей трилатерации. — В кн.: Тр. конференции «50 лет Ленинского декрета об учреждении ВГУ». Львов, 1970. 2. Костецкая Я. М. К вопросу оценки точности сплошных сетей трилатерации. — Геодезия, картография и аэрофотогеодезия, 1967, вып. 6. 3. Костецкая Я. М. Определение поперечного сдвига диагональ ряда треугольников, называющегося в сети. 1969, вып. 8. 4. Костецкая Я. М. Поперечный сдвиг пунктов в сетях трилатерации. — Геодезия, картография и аэрофотогеодезия, 1978, вып. 28.

Статья поступила в редакцию 10.05.83

УДК 629.783:528.2

И. Н. КУНОВСКИЙ

**О ТОЧНОСТИ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЗВЕЗД
ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ КАМЕРЫ АФУ-75**

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

Во всех исследованных случаях считают, что в камере АФУ-75 изображение звезд на снимке сдвигаются равномерно [4], так как она или предполагают, что за время экспозиции (до 30^с) ошибки за точность слежения в среднем будут малы [1].

Точность отслеживания звезд ЭП зависит от продолжительности съемки и определяется смещением изображения звезды в точке севера N , которое вызывается перемещением северного подлинника 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 $30''$, то, согласно формуле К. Лапушки [3] (для широты $\varphi = 52^\circ$)

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

максимальное смещение ε изображения звезды на снимке равно $0,24''$, что в масштабе снимка камеры (1 мкм = $0,28''$) и диаметре изображения звезды $30 \dots 40$ 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 принимаемых 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 изображению 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, изменив угол ψ (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 установке уровня удастся найти такое положение, то это будет говорить о хорошем качестве изготовленного подлинника 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 $30''$ времени пузырек уходит на $1,6-3''$ к югу, а остальные $60''$ времени остается неподвижным. При возвращении ЭП из конечного положения в начальное пузырек снова за $20 \dots 30''$ 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 $30''$ по $60''$, 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 $30''$ до начала съемки.

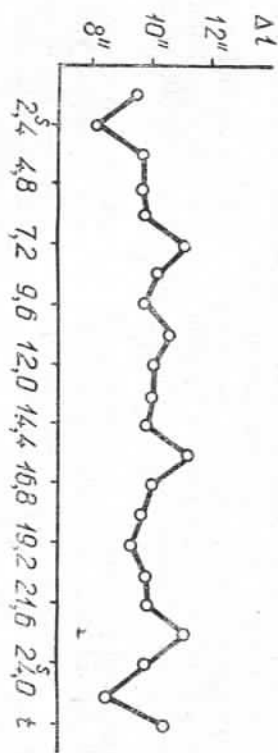
Для исследования направляющей в точке востока E камера поворачивается вокруг вертикальной оси на 90° . Достаточная точность установки оси уровня в первом вертикале составляет $\pm 10''$ [2].

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 наклонностей 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 $0^\circ,6 = 9''$.

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

Максимальные разности наклонностей 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 результаты определения положения спутника.



Ошибки отслеживания звезд экваториальной платформой в первом вертикале.

В режимах наблюдений «П», «А», «Я» время экспозиции отдельной точки спутника — сотни и тысячи доли секунды, а звезд — около 30". Поэтому из-за неточностей отслеживания звезд ЭП отследимые изображения спутника будут смещены относительно осредненных положений звезд приблизительно на 1,5".

В компенсационном режиме наблюдений при экспозиции звезд в 1" и спутника в 0,5—1,5" 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]

$$\begin{aligned} a &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3, \\ \delta &= \delta_0 + \delta_1 t + \delta_2 t^2 + \delta_3 t^3. \end{aligned} \quad (6)$$

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 положение 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 дополнить 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. Назтов А. А. Основы спутниковой геодезии. — М.: Недра, 1974. 2. Куновский И. И. Установка оси уровня камеры АФУ-75 в плоскости меридиана при помощи экваториальной платформы. — Геодезия, картография и аэрофотогеодезия, Львов, 1982, № 36. 3. Данишиса К. К. Спутниковая фотокамера АФУ-75. Руководство для работы. — Рига: М: Астрономическая АН СССР, 1971. 4. Данишиса К. К., Данишиса И., Валдис Я. Некоторые вопросы эффективности применения камер АФУ-75 в географической спутниковой ориентации и спутниковой геодезии. — Научные информации астрономического института АН СССР, 1977, № 35.

Статья поступила в редакцию 6.05.83

УДК 528.063

Н. А. ЛОШКАРЕВ, А. А. ПЕРЕПЕЧКИН
ПРИМЕНЕНИЕ χ^2 -КРИТЕРИЯ
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КРИТИЧЕСКОГО ОБЛАСТИ
МНОГОМЕРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕКТОРОВ
НЕВЯЗОК И СМЕЩЕНИЙ ТОЧЕК

Результаты геодезических измерений можно в большинстве случаев интерпретировать как нормально распределенные многомерные векторы, преобразуемые линейными (или линеаризованными) операторами в выходные многомерные векторы так, что распределение последних остается нормальным, а ковариационная матрица этих выходных векторов вычисляется по формуле

$$K_{xx} = A \cdot K_{ii} \cdot A^T, \quad (1)$$

где A — матрица произвольных выходных величин x по измеренным значениям i ; K_{ii} — ковариационная матрица измеренных значений.

В случае параметрического метода оценивания используются аналогичную формулу

$$K_{xx} = (B^T \cdot K_{ii}^{-1} \cdot B)^{-1}, \quad (2)$$

где B — матрица произвольных измеренных (выходных) значений i по выходным величинам x .

С точки зрения контроля измерений и оценок устойчивости во времени и пространстве важен случай, когда математические ожидания равны нулю

$$M[x] = 0. \quad (3)$$

Невыполнение (3) можно использовать в качестве признака наличия грубых или систематических ошибок в измерениях или как признак неустойчивости положения точек.