

теля либо на каждой станции, либо через две станции (вблизи моментов изотермии — на каждой станции). Последнее не увеличивает времени нивелирования на станции.

По результатам разностей Δt , определенных по двум психрометрам, вычислена средняя квадратическая ошибка определения разности температуры психрометром Ассмана по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[dd]}{2 \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 498}{2 \cdot 251}} = 0.09^\circ,$$

где d — разности Δt ; n — количество разностей.

Список литературы: 1. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. — М.: Недра, 1974. 2. *Островский А. Л., Кметко И. Н., Литинский В. О.* Исследование нивелирной рефракции в ходах с затяжным уклоном. — *Геодезия, картография и аэрофотосъемка*, 1982, вып. 35. 3. *Островский А. Л., Сидорик Р. С.* Определение промежутков времени суток с минимальным действием земной рефракции по радиационному балансу. — *Инженерная геодезия*, 1966, вып. 3.

Статья поступила в редколлегию 15.04.82

УДК 528.28

В. А. КОВАЛЕНКО, В. М. КОЛГУНОВ

О НЕКОТОРЫХ ПОГРЕШНОСТЯХ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОЛЕВЫХ АСТРООПРЕДЕЛЕНИЙ

Практическая реализация фотографического метода наблюдений в полевых условиях выполнена с применением астрономического теодолита АУ-2/10, снабженного фотонасадкой на окулярную часть зрительной трубы [3]. В процессе наблюдений автоматически (по задаваемой хронорегистратором программе [5]) осуществляются экспозиции наблюдаемых звезд.

Измерительная обработка астронегатива с одиночным следом звезды заключается в определении прямоугольных координат 8...10 точек следа звезды в центральной части снимка и координат точки пересечения нитей. Одним из наиболее подходящих приборов для этой цели следует считать стереокомпаратор с точностью отсчитывания по шкалам X и Y координатометра до 0,001 мм.

Математическая обработка произведенных измерений сводится к следующим пунктам:

а) определение уравнения аппроксимирующей прямой, которая вероятнейшим образом представляет след звезды на измеренном участке;

б) редуцирование измеренных координат точек следа звезды на аппроксимирующую прямую;

в) вычисление линейной скорости звезды в плоскости негатива в масштабе снимка по результатам вычислений (п. б);

г) вычисление временных и угловых редукиций, с которыми производится окончательная обработка наблюдений.

Точность вычисления указанных редукиций, определяющая точность фотографического метода полевых астроопределений вообще, зависит в конечном счете от точности измерения положений точек следов звезд на негативе.

К основным источникам искажения положений точек следа звезды на снимке относятся следующие:

1. Инструментальные погрешности. Недостатки регистрирующих приборов. 2. Влияние атмосферных факторов. 3. Погрешности измерения негативов. 4. Погрешности фотографического процесса.

1. Влияние инструментальных погрешностей определяется качеством приборов и методикой наблюдений. В течение 1...2 мин, необходимых для прохождения звезды через центральную часть поля зрения трубы, астрономический теодолит и фотокамера должны сохранять неизменное положение, т. е. быть механически стабилизированными во времени и пространстве. С этой целью произведена весовая балансировка горизонтальной оси, а именно — определен вес дополнительного противовеса на ламповую часть зрительной трубы. Отметим, что вместо общепринятого в конструкции АУ-2/10 противовеса в описываемых работах применена труба-искатель с большим полем зрения из комплекта астрономического теодолита УВ-2/2. Таким образом, пассивный противовес заменен активным элементом конструкции прибора. Механическая балансировка выполнена с применением динамометров, точность ее примерно 20 г. Благодаря наличию трубы-искателя, визирная ось которой параллельна визирной оси АУ-2/10, можно независимо контролировать процесс экспонирования звезды. Как важный момент описываемой методики фотографической регистрации прохождений звезд отметим тот факт, что во время экспонирования звезд программы наблюдатель не касается прибора; легкое перемещение экспозиционного затвора (ЭЗ) не вызывает дрожания установки; положение визирной оси по высоте контролируется талькоттовским уровнем, наклон горизонтальной оси — накладным уровнем.

Анализ результатов наблюдений звезд нескольких десятков пар Цингера и Певцова показал, что отсчеты по талькоттовскому уровню, взятые в начале и конце экспонирования звезды, различались не более чем на 0,3 деления шкалы ампулы. Можно полагать, что в течение 1...2-минутного интервала взаимное расположение узлов прибора остается неизменным. Измерения астронегативов, выполненные на стереокомпараторе с точностью порядка 0,01 мм (0,8"), не обнаружили нарушений в положении прибора или его отдельных частей.

На качество изображений звезд на негативе влияют недостатки объектива. Сферическая аберрация, кома и астигматизм при-

водят к размытости изображения точки следа. По данным [6], объектив АУ-2/10 имеет удовлетворительное качество, если продольная сферическая aberrация меньше $F : 1000$, продольная хроматическая aberrация меньше $F : 2000$ и астигматизм (максимальная астигматическая разность) меньше $F : 3000$. В фотографическом методе наблюдений основной интерес представляют поперечные aberrации. Поперечная сферическая aberrация (радиус кружка рассеивания) может быть определена [1] из выражения

$$\rho_c = \delta_s \operatorname{tg} u,$$

где u — угол вышедшего луча, а δ_s — продольная aberrация.

Приближенно $\operatorname{tg} u = \frac{y}{F}$, где y — удаление точки от оси в фокаль-

ной плоскости объектива. Простой расчет показывает, что при удалении крайних точек следа звезды от центра негатива на 5 мм, как это имеет место в описываемых исследованиях, величина ρ_c достигает значения 5 мкм. Другие виды aberrаций (кома, астигматизм, дисторсия, хроматическая aberrация), обусловленные недостатками оптических систем, при наблюдениях в центральной части поля зрения трубы астрономического теодолита также будут пренебрежимо малы.

К числу инструментальных погрешностей фотографического метода относятся искажения, вносимые взаимным расположением конструкции фотонасадки и астрономического теодолита. Рассмотрим характер искажений, возникающих вследствие неперпендикулярности плоскости снимка к оптической оси прибора.

На рис. 1 O_1O_2 — окуляр, $O\sigma_0$ — оптическая ось, C_1C_2 — плоскость, перпендикулярная к оптической оси, $\sigma_1\sigma_0$ и $\sigma_0\sigma_2$ — след звезды на негативе, $\sigma_1\sigma_0$ и $\sigma_0\sigma_2$ — отрезки следа за равный промежуток времени t . Взаимное расположение элементов, представленное на рисунке, всегда можно получить, совместив след звезды с плоскостью чертежа поворотом вокруг оси $O\sigma_0$, так что угол φ — это угол между следом звезды и плоскостью C_1C_2 . Значение угла φ будет изменяться в пределах от нуля до ε , где ε — угол наклона плоскости негатива (на рисунке не показан). Очевидно,

что $\varphi_{\max} = \varepsilon$. Согласно рис. 1, $\operatorname{tg} \varphi = \frac{h}{a}$; вследствие угла φ отрезок

следа $\sigma_1\sigma_0$ укорачивается, а отрезок $\sigma_0\sigma_2$ удлиняется на Δl . Приближенно, по малости углов φ и α , $\Delta l = h \sin \alpha = h \frac{a}{d}$. Тогда $\varphi^\circ =$

$$= \frac{\Delta l \cdot d \cdot \rho^\circ}{a^2}.$$

Принимая $\Delta l = 0,01$ мм (точность измерения негатива), $d = 100$ мм, $a = 5$ мм, получим $\varphi = 2,3^\circ$. Следовательно, влиянием угла наклона негатива в $2^\circ \dots 3^\circ$ можно пренебречь.

Наклон негатива является одной из причин изменчивости масштаба в плоскости снимка. При отсутствии наклона масштаб, выраженный в секундах дуги, $M_0 = \frac{15t \cos \delta}{a}$; при наклоне на от-

резках, симметричных относительно оптического центра σ_0 , получим $M_1 = \frac{15t \cos \delta}{a_1 \sigma_0}$ и $M_2 = \frac{15t \cos \delta}{\sigma_0 \sigma_2}$. В процессе обработки измере-

ний негатива все моменты наблюдений звезды в точках, расположенных по обе стороны от точки симметрии следа, приводят к той точке и вычисляют среднее из всех приведенных моментов. В этом случае различие масштабов M_1 и M_2 несущественно, так

как $\frac{1}{2} (M_1 + M_2) = M_0$. Подобная компенсация будет отсутствовать

при определении $\Delta \delta$. Для исключения влияния наклона негатива на $\Delta \delta$ необходимо при наблюдениях устанавливать вертикальную трубу так, чтобы след звезды проходил через точку O негатива (см. рис. 2) или вблизи нее. Если на кадр фотографируют пару звезд, наблюдаемых на одном зенитном расстоянии, то за точку симметрии принимается точка пересечения их следов на снимке. Точки следа звезды на негативе не только определяют положение суточной параллели звезды относительно координатных осей, но и являются записью моментов ее экспозиций. Систематические погрешности моментов экспозиций приводят к постоянной для данного оптического прибора и применяемой фотонасадки ошибке в оценке среднего момента наблюдений звезды. Случайные погрешности открывания и закрывания ЭЗ изменяют взаимное расположение точек следа и оказывают влияние на точность определяемых величин.

Инерционность хода ЭЗ (запаздывание) является важной систематической погрешностью, вносимой системой регистрации моментов экспозиций звезд, и может быть определена прямым методом [5]. Абсолютная величина запаздывания заключается в пределах $0,020 \dots 0,025$ с при напряжении $10 \dots 12$ В. Стабильность величины запаздывания ЭЗ (главное требование, предъявляемое к затвору) для описываемой фотонасадки порядка $0,001$ с.

Вследствие наличия инерционности хода ЭЗ все точки следа звезды будут смещены на негативе в сторону направления движения звезды на постоянную линейную величину. Чтобы исключить влияние запаздывания, необходимо среднее из его значений на открывание и закрывание затвора вводить со знаком плюс в окончательный момент наблюдения экспонированной звезды.

2. К атмосферным факторам относятся фон неба, турбулентность воздуха, образование воздушных линз, дымка, запыленность, туман, роса и, наконец, рефракция света в атмосфере [1].

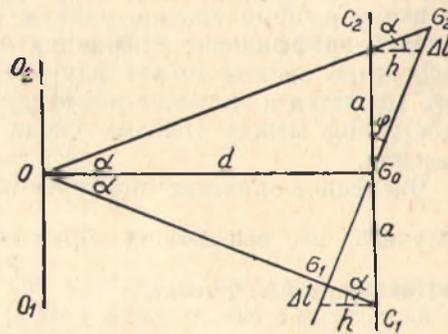


Рис. 1. Схема искажений, вносимых наклоном снимка.

Эффект мерцания звезд приводит к увеличению на негативе диаметров их изображений. Турбулентность атмосферы вызывает дрожание изображений звезд, что является причиной разброса точек следов по отношению к истинным положениям суточных параллелей звезд на снимке. Изложенная выше методика математической обработки измерений астронегатива (в частности в пункте б) позволяет ослабить влияние турбулентности воздушных масс на результаты определений.

Особого рассмотрения требует влияние дифференциальной рефракции. Известно, что рефракция смещает светило к зениту на величину ρ , приближенно равную $\rho_0 = k \operatorname{tg} z$. Для средних метеорологических коэффициент рефракции $k = 58,3''$. На негативе зенитное расстояние звезды может изменяться до $10'$ дуги, в результате чего меняется и значение рефракции, приводящее к укорачиванию расстояний между точками следа. Определим порядок этих изменений.

Численное значение дифференциальной рефракции может быть получено из выражения $\Delta\rho = \frac{k\Delta z}{\rho \cos^2 z}$. Известно, что $\Delta z'' = 15 \cos \varphi \sin A \Delta T^s$, тогда

$$\Delta\rho'' = k \frac{15 \cos \varphi \sin A}{\cos^2 z} \Delta T^s.$$

Отсюда следует, что $\Delta\rho = 0$ в меридиане и имеет максимальное значение в первом вертикале вблизи горизонта. Влияние дифференциальной рефракции на отображение следов звезд на негативе показано на рис. 2.

Пунктирной кривой изображен след звезды на негативе, сплошной кривой — суточная параллель звезды. Om — нормаль из точки пересечения нитей O к следу звезды, Op — нормаль к суточной параллели. В результате обработки измерений негатива [4] получим момент T_m прохождения звезды через точку m и расстояние Om . Необходимо же иметь момент T_p и расстояние Op . Разности $\Delta t = T_p - T_m$ и $\Delta\delta = Op - Om$ будут искомыми поправками к результатам обработки измерений негатива, обусловленными дифференциальной рефракцией, соответствующей дуге pm (рис. 2).

Из рис. 2, б следует: $\Delta\delta = \Delta\rho \sin q$; $\Delta t = \frac{1}{15} \Delta l \cos \delta = \frac{1}{15} \Delta\rho \cos \delta \times$

$\times \cos q$, где q — параллактический угол. Положим $\varphi = 50^\circ$, $A = 90^\circ$, $z = 80^\circ$, $k = 58,3''$, $\Delta T = 1^m$, тогда $\Delta\delta = 3,5''$, $\Delta t = 0,27$ с. Следовательно, при обработке наблюдений одной звезды необходимо вычислять и учитывать поправки $\Delta\delta$ и Δt за дифференциальную рефракцию.

3. Погрешности измерения негатива зависят от точности измерительного прибора, качества негатива, методики измерительного процесса и личных качеств наблюдателя. В рассматриваемых исследованиях негативы измерялись на стереокомпараторе STECO 1818 фирмы Цейс, Иена (ГДР), точность отсчитывания по коор-

динатным шкалам 0,001 мм. Секундные экспозиции изображений звезд во время наблюдений позволяют получать на негативе прерывистый след звезды в виде штрихов длиной порядка 0,1 мм. Координаты геометрических центров этих штриховых изображений измерялись прямым методом. В названном приборе измерительная марка представлена в виде тонкого и короткого нитяного креста. Наведения марки на центры точек следа звезды заканчивались положительным вращением головок измерительных винтов.

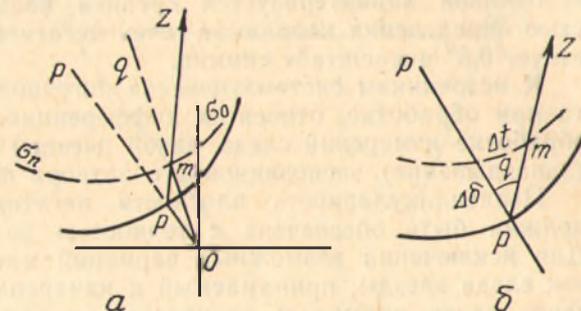


Рис. 2. Схема искажений, вносимых дифференциальной рефракцией.

Считается достаточным двух-трех наведений на точку следа при одном положении негатива [2]. Для исключения личной ошибки наведения на точки следа следует повторять измерения снимка после его поворота на 180° . Выполнялась тщательная фокусировка окуляра и добивались равномерной неяркой освещенности поля зрения. Непрерывные измерения из-за физиологической утомляемости глаз оператора производились не более 2...3 ч.

В ходе выполняемых работ исследовалась зависимость точности наведения от расположения негатива на столике стереокомпаратора. Оказалось, что координаты точек следа определяются с меньшим разбросом при такой ориентировке, когда след звезды совмещается (или близок по направлению) с одной из координатных осей прибора.

Принимая во внимание равномерность перемещения звезд по суточным параллелям и строгую ритмичность чередования пауз и экспозиций, промежутки между точками следа в линейной мере также должны быть равными. С этих позиций и производилась оценка перечисленных выше случайных погрешностей измерений. Определялись разности координат точек следа, вычислялись их средние значения. Уклонения от средних значений рассматривались как случайные при выводе средних квадратических уклонений. Из обработки измерений 30 астронегативов установлено, что средняя квадратическая погрешность определения разности координат точек снимка, а следовательно, и расстояния между ними, равна 0,01 мм.

4. Погрешности фотографического процесса обусловлены свойствами светочувствительного слоя и подложки применяемого фотоматериала, а также технологией фотохимической обработки экспонированного материала. Одним из основных источников погрешностей фотографического процесса является деформация эмуль-

сионного слоя, которой подвержен снимок на этапе фотохимической обработки. Этот вопрос требует специального исследования.

Из других источников погрешностей фотографического метода полевых астроопределений следует назвать невыравнивание снимка в плоскость (при использовании фотопленки) в процессе наблюдений и метрическую нестабильность негатива, связанную с фактором времени и условиями хранения.

Следовательно, влияние случайных погрешностей от различных источников характеризуется средней квадратической погрешностью определения координат точек негатива 0,01 мм, что соответствует 0,8" в масштабе снимка.

К источникам систематических погрешностей, требующим учета при обработке, относятся дифференциальная рефракция (при обработке измерений следа одной звезды) и инерционность хода (запаздывание) экспозиционного затвора фотонасадки.

Перпендикулярность плоскости негатива к оптической оси должна быть обеспечена с точностью до нескольких градусов. Для исключения возможных вариаций масштаба негатива отрезок следа звезды, принимаемый к измерениям, должен проходить через центр снимка и располагаться симметрично центральной точке.

Список литературы: 1. Альбицкий В. А. и др. Курс астрофизики и звездной астрономии. — М.: Гостехиздат, 1951. 2. Изотов А. А. и др. Основы спутниковой геодезии. — М.: Недра, 1974. 3. Коваленко В. А., Колгунов В. М. Об опытных астрономических наблюдениях фотографическим способом. — Геодезия и картография, 1976, № 3. 4. Коваленко В. А. Об обработке фотографических наблюдений одной звезды. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1981, вып. 34. 5. Колгунов В. М., Гончаренко Ю. Я. Полевой программный хронорегистратор для астрономических наблюдений фотографическим способом. — Геодезия и картография, 1977, № 8. 6. Колупаев А. П., Мауерер В. Г., Старостин А. М. Практическое руководство по геодезической астрономии. — Тр. ЦНИИГАиК, 1962, вып. 148.

Статья поступила в редколлегию 14.05.82

УДК 538.35:621.385.382

А. С. КОЛОС

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КВАНТОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ И КОНТРОЛЯ РАССТОЯНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭКРАННО-МАСОЧНЫХ УЗЛОВ ЦВЕТНЫХ КИНЕСКОПОВ

В настоящее время на предприятиях, которые выпускают цветные электронно-лучевые трубки, расстояние экран—маска выставляется, в основном, с помощью спейсера. В зависимости от радиуса экрана и радиуса маски расстояния между ними в центре и на краях экранно-масочного узла будут различными. А это требует специальной профилированной формы спейсера по толщине

и значительно усложняет технологию его изготовления. Кроме того, при неоднократном использовании спейсера в серийном производстве кинескопов изменяются его размеры, что приводит к нарушению точности сборки, а значит, и к нарушению цветоделения.

Можно рассчитать (и это подтверждается данными массового производства цветных кинескопов), что устанавливаемое расстояние маска—экран не должно отклоняться от заданного более чем на 5...7%*.

Другие существенные недостатки этого способа — большая трудоемкость и невозможность автоматизации.

В этой работе предлагается метод контроля и установки расстояния экран—маска при помощи оптических квантовых генераторов.

Суть этого метода состоит в том, что лучи двух лазеров, распо-

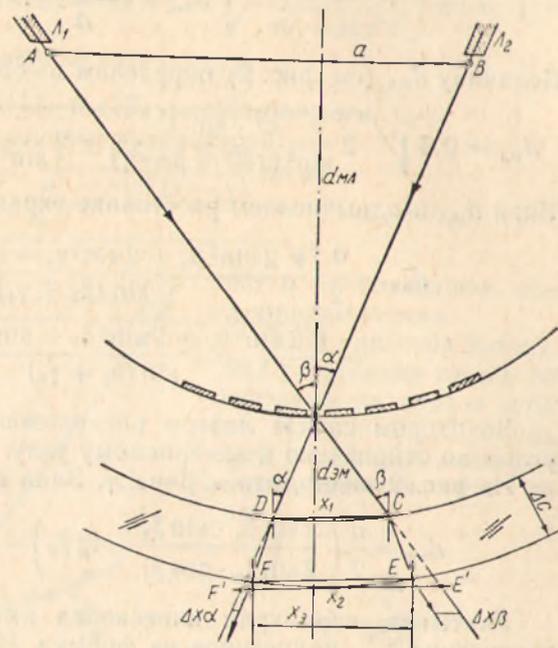


Рис. 1. Измерение расстояния экран-маска при размещении лазеров под разными углами.

ложенных на некотором расстоянии друг от друга, направляются на экранно-масочный узел. Лучи лазеров, попадая в щель маски, освещают экран в двух точках. Зная на каком расстоянии и под каким углом находятся лазеры по отношению к экрану и определив величину расстояния между засветками, можно определить расстояние между экраном и маской.

Замер расстояния экран—маска проводят по центру и краям или по диагоналям экранно-масочного узла. При измерении расстояния экран—маска лазеры могут быть расположены по отношению к измеряемому узлу под разными или равными по величине углами.

Рассмотрим первый случай, когда лазеры расположены по отношению к измеряемому узлу под разными углами.

Из рис. 1 видно, что для того чтобы определить расстояние маска—экран $d_{эм}$, нужно знать величину x_1 , $d_{мл}$, a .

* Производство цветных кинескопов / Под ред. В. И. Баряновского. — М.: Издрия, 1978.