

ВВЕДЕНИЕ. СПЕЦИФИКА АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Успешное прохождение астрометрической практики, в особенности первой, невозможно без тщательной, заранее продуманной подготовительной работы.

Программа практики охватывает ряд разделов сферической и практической астрономии, которые обеспечивают теоретическую основу практики.

Практической (геодезической) астрономией называют часть астрометрии, в которой изучаются способы и приемы точного ориентирования и определения астрономических координат пунктов на земном сфероиде, базирующиеся на измерениях положений звезд и известными экваториальными координатами. Их находят в специальных каталогах звездных положений. В данной практике для этой цели используется Астрономический ежегодник (АЕ) [1].

В практической астрономии обстоятельно анализируются наименее благоприятные условия, при которых в процессе астрономических наблюдений звезд удается определить указанные параметры с наименьшими погрешностями.

Данная учебная практика ставит своей задачей изучить приемы наблюдений звезд с помощью угловых инструментов (теодолитов) и регистраторов времени, освоить основные способы решения астрометрических задач и подготовиться к выполнению более сложных производственных задач того или иного класса точности. Методы решения производственных задач и требования к точности астрономических работ по построению государственной геодезической сети наложены в работе [2].

Студенты 2-го курса, прошедшие геодезическую практику, владеют навыками работы с угловыми инструментами, предназначенными для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Астрометрические наблюдения по сравнению с геодезическими являются более сложными, требующими большого внимания, навыков и умения при работе (в основном в ночное время). Одной из особенностей астрономических наблюдений является то, что с помощью теодолита приходится определять положение движущегося в поле зрения объекта. Исклечением является, пожалуй, наблюдений Полярной звезды. Только по истечении 3 - 5 минут можно

Составители: З. Н. Шукстова,
Н. Б. Фролова

Рецензент проф. ЕГПУ И. И. Бондаренко

© Составители: З. Н. Шукстова,
Н. Б. Фролова, 1993

замечать смещение этой звезды относительно неподвижного инструмента. Заметно движется в поле зрения инструмента звезда с меньшими отклонениями.

Каждому зафиксированному положению звезды в центре поля (перекрестие вертикальной и средней горизонтальной нитей) соответствую отсчеты по вертикальному (ВК) и горизонтальному (ГК) кругу в строго определенном момент времени. Иными словами, "засечка" длительной звезды связана с (фиксирующей) показанием хронометра или хороших часов, имеющих указатель секунд. Это самостоятельно регистрирует положение звезды и момента времени, позволяя реализовать путем сравнительно длительного опыта.

Прохождение службой времени в течение всей практики дает возможность закрепить навыки в работе с хронометром, научиться быстро описывать показания хронометра, проинвестировать прием сигналов точного времени, изучать качество хронометра и его характеристики — отсчетный и часовой ход, которые необходимы для получения поправки хронометра, а следовательно, и точного времени на момент наблюдений.

При проведении астрономических наблюдений нужно знать, о какой окрестности изменятся зенитное расстояние светила в различных положениях относительно зенита. От этого зависит видимость траектории суточного движения звезды относительно средней горизонтальной нити. Высота меридиана высота звезд изменяется незначительно, у первого вертикала эти изменения максимальны. Скорость видимого движения, как известно, зависит также от отклонения звезд.

Не надо забывать, что оптика инструмента дает перевернутое изображение. К этому следует привыкнуть и "идать" звезду с правой стороны поля зрения. Причем, если, например, вы наблюдаете звезду в восточной части неба до кульминации (звезда поднимается над горизонтом), в поле зрения трубы она будет опускаться, смещаясь направо — вниз.

Наиболее сложной операцией при астрономических наблюдениях является, несомненно, фиксация времени по хронометру в тот значительный момент, когда звезда проходит центр поля, либо пересекает вертикальную или горизонтальную нить.

Обычно каждый наблюдатель несколько по-разному и с различной точностью засекает момент времени, да и положение звезды. Это вызывает личную ошибку наблюдателя.

Во время первой учебной практики желательно освоить класс-

ический способ засечки, получающий название "глаз — ухо". Он состоит в том, что один из тех же наблюдателей, используя свои органы чувств, фиксирует и положение звезды, и момент по хронометру. В этом случае при внимательном отслеживании звезды в поле зрения счет секунд (полусекунд) берет на себя наблюдатель до прохождения звезды и продолжается "на слух" в такт ударов хронометра. Совместное выполнение обеих операций требует дальнейшей тренировки.

Процесс наблюдения упрощается, если имеется возможность путем нажатия клавиши записать момент прохождения звезды на ленту печатающего устройства (например, хронографа).

В первой учебной практике, когда главное внимание уделяется самому процессу наблюдения звезд, допускается разделение указанных операций. Основной наблюдатель следит за движением звезды в поле зрения теодолита, в то время как помощник внимательно следит за показаниями хронометра (водит счет секунд, посылает и записывает в журнал наблюдений в начале секунды (даже доли секунды), затем минуты, часы). Ясно, что разделение операций регистрации момента времени и координат звезды двумя наблюдателями приводит к возникновению дополнительных систематических ошибок, да и способ "глаз — ухо" не свободен от них.

Первая практика не дает возможности достичь высокого уровня точности. Кроме того, из-за недостатка наблюдательного времени в летний период на нашей широте в ряде случаев приходится сокращать количество приемов, число программных звезд, что также сказывается на точности результатов. Тем не менее, при должной аккуратности и внимании удается освоить принципы наблюдений и с достаточной точностью получить важнейшие астрометрические параметры — азимуты ряда направлений, уточнить широту и долготу пункта наблюдения.

К каждому вечернему наблюдению необходимо готовить не только инструмент, но и программу наблюдений. Журнал наблюдений должен быть составлен в удобной форме на основании полученных заранее эфемеридных вычислений. Типовые журналы будут приведены при рассмотрении конкретных программ.

После выполнения определенного числа измерений наблюдатель меняет роль. В журнале наблюдений должен быть отослано с указанием наблюдателя.

Г. ЭФЕМЕРИДНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Г.1 ЭФЕМЕРИДЫ ДЛЯ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Важным этапом при подготовке к астрометрическим наблюдениям являются эфемеридные вычисления. На их основе заранее формулируется та или иная надцательная программа. Количество звезд, включаемых в программу, и приемов их наблюдений зависит прежде всего от требуемой точности.

Составление эфемерид состоит в предвычислении момента наблюдения (обычно по звездному времени) и соответствующих этому моменту приближенных значений (α, δ) с точностью $\pm 1'' - 2''$ высот и азимутов объекта, согласно которым для данного угломерного инструмента определяются установочные отсчеты вертикального и горизонтального кругов, обеспечивающие беззатененное наведение на звезду. В фиксированный момент времени по хронометру (с учетом его поправки) данная звезда должна находиться в поле зрения инструмента.

Для расчета эфемерид необходимо знать приближенные координаты пункта наблюдений (φ, λ) и приближенные экваториальные координаты звезд (α, δ) . Для выбора экваториальных координат звезд используется таблица "Средние места звезд" АЕ. Здесь приведены координаты в системе фундаментального каталога на начало года, отнесенные к средним экватору и полюсу. При расчете эфемерид необходимо использовать формулы сферической астрономии, которые описывают координатно-временные связи положений звезд на данной широте с учетом суточного движения Земли.

Звездное время — наилучший указатель хода звездного неба. Если нам известно местное звездное время S , то в верхней кульминации (в.к.) будут находиться звезды с прямым восхождением $\alpha_s = S$ (их часовой угол $t = 0^h$, азимут $A = 0^\circ$). В нижней кульминации (н.к.) — $\alpha_n = S + 12^h$ ($t = 12^h$, $A = 180^\circ$). Поскольку прямые восхождения возрастают к востоку, то в восточной части неба (до в.к.) будут находиться светила с $\alpha_E > S$, в западной — с $\alpha_W < S$. При этом возникает вопрос, можно ли в данную дату наблюдать кульминации избранной звезды, либо ее другое положение в темное время суток.

Годовое движение Солнца оказывает влияние на реальное время наблюдений звезд, поэтому часто проводят расчет соответствующих моментов наблюдений по солнечному времени.

При вычислении эфемерид необходимо решить вопрос о времени наилучшей видности каждого объекта. Как известно, для восходящих и заходящих светил ($\delta \leq 90^\circ - \varphi$) имеются периоды, когда они недоступны для наблюдений в ночное время. Незаходящие близкие звезды постоянно находятся над горизонтом. Однако для их поиска и наблюдений следует также проводить расчет эфемерид. Волествие важности Поларной для астрометрических определений в АЕ приводится ее суточная эфемерида, получающая название "Таблица высот и азимутов Поларной". Главным аргументом этой эфемерид является звездное время w , следовательно, часовой угол звезд $t = S - \alpha$.

В некоторых программах наблюдений Поларной важно знать, например, можно ли в данном часу наблюдать кульминации этой звезды, когда ее геодезический азимут $A_w = 0^\circ$, т.е. приходится ли такое положение α, λ, μ на азимуте или темное время суток. Аналогичные задачи решаются и для других программных звезд.

Как видно, при расчете эфемерид приходится неоднократно обращаться к формулам перевода звездного времени в среднее солнечное.

Поскольку учебная наблюдательная практика проводится в летнее время, когда на нашей широте непродолжителен интервал наблюдательного времени, следует рассчитать звездное время для начала и конца возможных наблюдений с целью максимального его использования. Расположен теодолитом или универсальным инструментом, наблюдения ярких звезд можно начинать при сумеречном небе, не дожидаясь полной темноты.

Г.2. РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ. СУМЕРКИ

В июне — июле на нашей широте ($\varphi \approx 57^\circ$) крайне ограничен период времени для астрометрических наблюдений, поскольку в течение всей короткой и светлой ночи мы находимся в режиме непрерывных сумерек. Даже при максимальном погружении Солнца под горизонт в полночь (нижняя кульминация Солнца) вся тол-

на земной атмосфере над пунктом наблюдения не оказывается в тени Земли. Свет Солнца, пронизывающий все пространство ночной системы, будет освещать при этом средние и верхние слои земной атмосферы. Суперсвое освещение обусловлено рассеянием света Солнца компонентами атмосферы — газами, парами и аэрозолями различного происхождения — земного и космического. Сильнее всего рассеивает свет дневного светила (и поглощает его) наиболее плотные приземные слои. Из наблюдений, выполненных нами, следует, в частности, что при погружении Солнца под горизонт на 5 — 6° граница земной тени над пунктом проходит на высоте 30 — 35 км.

По степени яркости неба после захода Солнца (аналогично перед его восходом) различают три вида сумерек: гражданские, навигационные и астрономические, каждая из которых связана с определенной глубиной погружения Солнца под горизонт.

Самые яркие гражданские сумерки (при ясном безоблачном небе не требуется искусственное освещение) длятся со времени захода Солнца ($Z_0 = 90^\circ$) до погружения Солнца под горизонт на 6 — 7°.

Навигационные сумерки длятся при изменении угла погружения светила от 7 до 12° (на судорожных рейках включают бакен, в портах — маяки).

Вычисляем приближенную высоту Солнца в момент его нижней кульминации в одну из дат летнего периода, например, 1.07:

$$h_0(\text{н.к.}) = -[(90^\circ - \varphi) - \delta] = -10^\circ.$$

Это значит, что даже в полночь на нашей широте не завершаются навигационные сумерки.

Астрономические сумерки являются продолжением навигационных и заканчиваются при угле погружения Солнца, равном 18°.

Только тогда наступает полный темнота и в обсерваториях с помощью мощных телескопов проводятся наиболее тонкие астрофизические наблюдения слабых космических объектов.

Важно учитывать также дополнительное освещение земной атмосферы Луной. Правда, в летнее время помехи со стороны Луны, в особенности для высоких широт, невелики, поскольку ее суточный путь проходит низко над горизонтом. И все же перед началом астрономических наблюдений полезно из АЕ, либо Астрономическо-

то календаря (АК) найти информацию в фазах Луны. Астрономические наблюдения ярких звезд даже в небольшие инструменты можно с успехом проводить в сумеречный период времени.

При расчете сумерек (их начала и конца) на данной широте необходимо вычислить часовой угол Солнца для фиксированных дат и значений зенитного расстояния Солнца, используя известную формулу:

$$\cos Z = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t. \quad (1)$$

В качестве исходного значения зенитного расстояния Солнца возьмем $Z_0 = 98^\circ$, $\cos Z = -0.139$.

Задача. Для дат начала и конца учебной практики по формуле (1) вычислите часовой угол Солнца для указанного Z_0 . Как известно, в летнее время часовой угол Солнца для указанного Z_0 больше 6 часов.

Экваториальные координаты Солнца α_0 , δ_0 приводятся в таблицах АЕ "Солнце". Для аэрометрических вычислений используемая приближенная значения координат с точностью $\Delta \alpha_0 = \pm 0.1^\circ$, $\Delta \delta_0 = \pm 1^\circ$.

При вычисленном часовом угле Солнца косинус звездного времени для начала (конца) наблюдений в заданную дату дано:

$$S_H = \alpha_0 + t_0, \quad S_K = \alpha_0 - t_0, \quad (2)$$

где S_H — вечернее время начала наблюдений;

S_K — утреннее время их окончания по местному звездному времени.

Эти данные будут определены прямые восхождения звезд, которые в течение "ночного" времени будут кульминировать в южной (в.к.) либо северной (н.к.) части неба. Эти данные будут необходимы при составлении программы наблюдений звезд в меридиане.

Пользуясь таблицей АЕ "Солнце", легко преобразовать численные моменты S_H и $S_K(2)$ в среднее местное время m и его производные — поясное T_M , декретное T_d , летнее T_g . На каждую дату в этих таблицах приведен момент верхней кульми-

нации центра диска Солнца по меридиану Гринича ($\lambda = 0^\circ$) по среднему солнечному времени. В соседнем столбце этой таблицы можно найти поправку к этому моменту за долготу для получения точного местного среднего времени в момент истинного полудня на меридиане с долготой λ . Эта поправка учитывает параболы уравнения времени с момента полудня на данном и нулевом меридиане. Для эфемеридных наблюдений этой поправкой можно пренебречь (она $\ll 1^m$). В этом случае вычислений за 45 минут можно считать моментом верней кульминации Солнца по местному времени нашего меридиана.

Для определения местного времени начала и конца наблюдения m , n , l и k попользуемся уравнением часового угла Солнца:

$$m_H(\kappa) = m_{S.K.} \pm t^\oplus.$$

Тогда всемирное время в этот момент $\tau = \tau_0 \sqrt{1 - \beta^2}$, полное $T_M = M + M$, декремент $T_M^2 = T_0^2 + T_0^2 \beta^2$, левое $T_M^A = T_0^A + T_0^A \beta^2$.

TROTTING I

Времі почала й конця наслідуючим!

λ_{min}	S_N	$T_g^A(M)$	θ_K	$T_g^A(K)$

Для успешного выполнения заданий нам необходимо детально разобратся с различными системами сбора данных.

1.3. СВЯЗЬ ШКАЛ ЗВЕЗДНОГО И СОЛНЕЧНОГО ВРЕМЕНИ

Сдвиг шкал звездного и солнечного времени, как известно, вызван различием начал звездных и солнечных суток и различием их продолжительности. Вследствие годового движения Земли

- 0.1 -

Солнечные сутки оказываются в среднем длинее звездных на 4 минуты ($3^m 56^s.55$). На такую величину ежегодно возрастает прямое восхождение среднего Солнца. За более короткие промежутки времени имеет место обратотетание им пропорциональные приращения: за 6 часов — на 1^m , за 1 час — на 10 секунд (точнее 9.856^s), за 6 минут — на 1^s , за 3 минуты — на 0.5^s и т.д. Так сдвигается вперед шкала звездного времени относительно среднего. Последнюю величину (0.5^s) можно непосредственно отсчитать в лаборатории службон времени.

Нуль-пунктом связи этих шкал времени является приводимое в ΔE на каждую секунду значение звездного времени на момент всемирного времени $UT = 0^h$. Его обозначают S_0 . Аналогичным параметром может быть звездное время в местную полночь (н.к. среднего Солнца на меридиане λ) долготы λ). Обозначим его S_λ . Разность $S_\lambda - S_0 = \Delta S_\lambda$ называют поправкой на долготу, которая дает возможность учесть изменение среднего восхождения среднего Солнца за интервал времени между нижними кульминациями его на данной и начальной меридиане. Понятно, что для точных долгот эта поправка отрицательна, поскольку там полночь наступает на λ^h раньше, чем на меридиане Гринича.

$$\Delta S_1 = \frac{3.56 \times 55}{24} \cdot \lambda^h = 9.856 \cdot \lambda^h.$$

Для нашей плотности ($\lambda \approx 4 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$) $\Delta S_{\lambda} = -3,5 \cdot 10^{20} \text{ эв}$.

о указании моментов начала тех и других оуток показано на рис. 1.

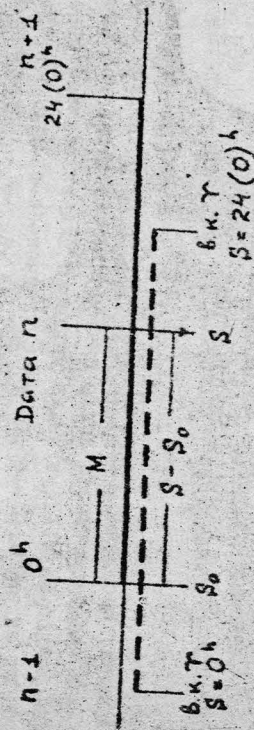


Рис. 1. Соотношение шкал времени S и M.

Рис. I построен для меридиана Гринича, т.к. пром. всего решать задачу перевода среднего солнечного времени в звездное и обратно, используя всемирное время. Точно так же строится рисунок соотношения шкал времени для пункта с любой долготой.

По верхней шкале течет среднее солнечное время, на этой шкале происходит смена дат. Началом средних суток является момент н.к. среднего Солнца (на рисунке всемирное время $M = 0^h$). По нижней шкале, отмеченной пунктиром, течет звездное время. Началом звездных суток, как вы знаете, является момент в.к. точки весеннего равноденствия $\gamma (S = 0^h)$. Вертикальной стрелкой отмечен момент $S - S_0$ - звездное время в момент наблюдения, который приходится на дату "н". Обратите внимание на то, как расположен момент звездного времени S относительно начала звездных ($S = 0^h$) и солнечных ($M = 0^h$) суток. Связь звездного времени на Гриниче S и местного звездного времени S на долготу λ определяется зависимостью $S = S - \lambda$. Оба времени относятся к одному физическому моменту.

Из АЕ на дату наблюдения находим значение S_0 . Интервал звездного времени $S - S_0$ определяет промежуток времени в звездных единицах с момента $M = 0^h$ до момента наблюдения. Выразив его в более крупных средних единицах, мы получим всемирное время M :

$$M = (S - S_0) - \gamma (S - S_0). \quad (4)$$

Поправку $\gamma (S - S_0)$ находим по таблицам "Перевод звездного времени в среднее" АЕ.

Задача. Пользуясь рис. I, составьте схему связи шкал звездного и среднего времени на 5.07. Обратите внимание на расположение момента начала звездных суток в эту дату относительно начала солнечных суток. Сколько будет звездного времени в следующую полночь 6.07? Ответьте на шкале звездного времени (приблизженно) $S_1 = 6^h$ и $S_2 = 15^h$.

При проведении астрономических наблюдений часто приходится вычислять момент кульминации различных объектов по солнечному времени. На следующем примере проведем расчет приближенного декретного (летнего) времени в момент в.к. Арктура ($\alpha \text{ Boo}$) на 5.17 (с точностью 1^m).
Местное звездное время $S = \alpha_* = 14^h 15^m$.

Звездное время в этот момент на Гриниче $S = S - \lambda = 10^h 13^m$. На 5.07 из АЕ $S_0 = 18^h 52^m$ (1995.0).

$$S - S_0 = 10^h 13^m + 24^h - 18^h 52^m = 15^h 21^m.$$

Нам пришлось к S прибавить 24^h , т.к. между $M = 0^h$ и моментом наблюдения $S = 10^h 13^m$ имел место в.к. γ , т.е. на данном интервале времени произошла смена звездных суток, когда звездное время дискретно меняется о 24^h на 0^h .

Итак, нам момент наблюдений отстоит от момента $M = 0$ на $15^h 21^m$ звездных единиц времени. Выразим этот интервал в средних единицах:

$$M = (S - S_0) - \gamma (S - S_0) = 15^h 21^m - \gamma (S - S_0).$$

Приблизженное значение этой поправки: $150S + 35.5 = 2^m 33.5$.
Итак, $M = 15^h 21^m - 2^m 33.5 = 15^h 18^m 5.5$.

$$T_g^A = M + 6^h = 21^h 18^m 5.5.$$

Следовательно, в.к. Арктура 5.07.93 происходит в $21^h 18^m$

летнего декретного времени, когда на нашей широте ответит Солнце. В самом начале вечерних наблюдений (см. табл. I) эта звезда будет находиться в западной части неба.

Так как звездные сутки короче солнечных, происходит заметный сдвиг моментов кульминации звезд по солнечному времени. Через 5 суток, например, кульминация звезд по нашим солнечным часам будут происходить на 20 минут раньше, т.е. вечерние звезды через некоторое время оказываются недоступными для наблюдений.

Очень просто решается задача перехода от солнечного к звездному времени, которую нам придется неоднократно решать в лаборатории службы времени. Пусть нам необходимо вычислить местное звездное время в момент T_g^A на определенную дату. Вычисления удобно расположить следующим образом.
Определение M : $M = T_g^A - (M + 1) - 1^h = T_g^A - 6^h$.
Номер нашего часового пояса $N = 4$.
На заданную дату из АЕ выписываем S_0 .

$$S = S_0 + M + \mu M \quad (5)$$

Поправку $\mu M = 9^s 856 \cdot M^h$ находим по таблицам "Перевод среднего времени в звездное" АЕ.

$$S = S + \lambda, \quad \lambda = S - S. \quad (6)$$

Из формул (6) ясно, что уточнение долготы нашего меридиана всегда связано с определением местного звездного времени

из астрономических наблюдений.

Принимая сигналы точного времени на звездный хронометр, мы имеем возможность найти его поправку. Поправка к местному звездному времени будет получена с той точностью, с которой нам известна долгота места наблюдения.

1.4. ЭФЕМЕРИДНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ РЯДА НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

При расчете эфемерид звезд используются формулы параллактического треугольника "исходно - зенит - звезда", приведенного для некоторого светила σ на рис.2. Здесь же обозначены все его элементы.

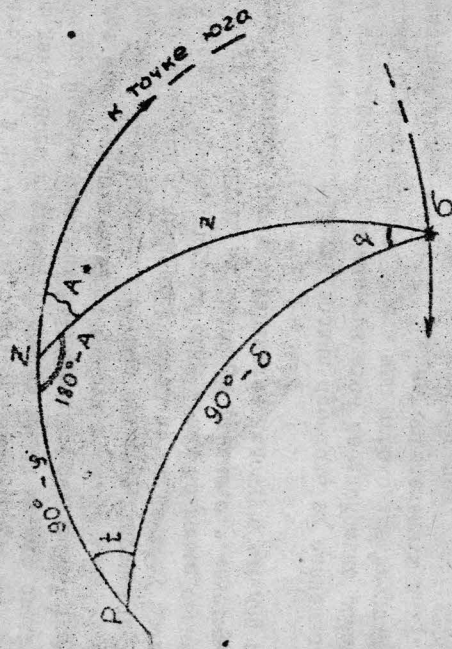


Рис.2. Параллактический треугольник

Запишем основные формулы этого сферического треугольника:

$$\begin{aligned} \cos z &= \sin \delta \cdot \sin \delta + \cos \delta \cdot \cos \delta \cdot \cos t \\ \sin z \cdot \sin A &= \cos \delta \cdot \sin t \\ \sin z \cdot \cos A &= -\cos \delta \cdot \sin \delta + \sin \delta \cdot \cos \delta \cdot \cos t \\ \cos (90^\circ - \delta) &= \sin \delta \cdot \cos z + \cos \delta \cdot \sin z \cdot \cos (180^\circ - A). \end{aligned} \quad (7)$$

Последняя формула используется при определении азимутов звезд, если выполнены измерения зенитных расстояний звезд с известными склонениями на заданной широте.

Ниже рассмотрено вычисление эфемерид для тех программ, которые изучаются на первой учебной астрономической практике.

Эфемериды Полярной. Эфемериды этой звезды по аргументу звездного времени приведены в АЕ и АК. Высота Полярной в течение звездных суток изменяется в соответствии с ее часовым углом. Векторные координаты Полярной в настоящее время (1993.0): $\alpha \approx 2^h 25^m$, $\delta \approx +89^\circ 14'$. Поэтому верхний кульминация этой звезды происходит в $2^h 25^m$ звездного времени, нижняя кульминация - в $14^h 25^m$.

Задание. Проверьте, можно ли 5.07 наблюдать кульминации Полярной? В какую дату в.к. Полярной происходит в полночь?

Суточное движение Полярной показано на рис.3. Условно дуга суточной параллели, которая соответствует часовому углу звезды σ в произвольный момент при $S > 14^h 25^m$. Как видно, вертикаль Полярной в этот момент расположена к востоку от точки Севера N и геодезический азимут звезды положителен ($+a_N$). Астрономический азимут при этом $A = 180^\circ + a_N$.

Высота Полярной всегда близка к высоте Пόлюса Мира, особенно вблизи эклиптики.

Таблица высот и азимутов Полярной составлена на основании решения узкого сферического треугольника "P - Z - σ " (рис.2), причем в эфемериде приведен результат его приближенного решения.

$$h_{\text{исл}} = \varphi + f, \quad \text{где } \varphi - \text{ши}$$

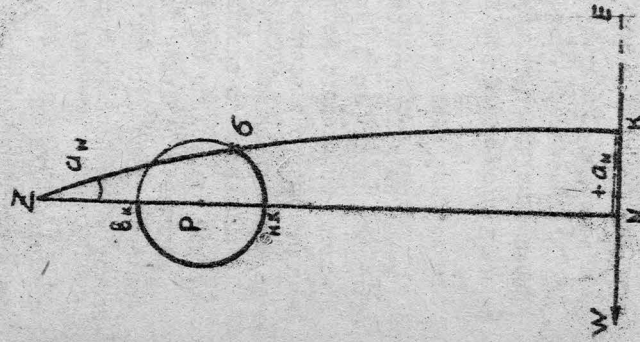


Рис.3. Суточное движение σ U M.

удовлетворяющие указанным выше условиям. Данные записаны в табл. 3.

ВНУТР.

Эфемериды для наблюдения звезд в геридиане

№ п/п	№ звезды в АЕ	m	α	δ	s	h	A
1							
2							

Рядом эфемерид для наблюдений нар Ингера. В этой программе с целью последующего определения поправки хронометра и долгиоты места наблюдения зафиксируются близкие друг другу моменты прохождения нар звезд через один альмукантарат. С учетом наиболее благоприятных условий наблюдения звезды должны проходить за заданным альмукантарат вблизи 1-го вертикала (в восточной и западной части неба).

Чтобы сформировать такую пару, выбираем звезды с небольшой разностью склонений $\Delta \delta = \delta_2 - \delta_1 \approx 5-10^\circ$ с тем расчетом, чтобы часовые углы звезд в определенный момент звездного времени находились в пределах $\pm 4.5^h \div 6.5^h$. Звездное время в момент наблюдения пары должно находиться в пределах интервала $5^h - 5^k$. Так, например, для $s \approx 20^h$ такими могут быть звезды с $\alpha_1 \approx 14^h(w)$ и $\alpha_2 \approx 2^h(e)$. Для удобства наблюдений

Для удобства наблюдений с помощью теодолита в программе используются сравнительно низкие альмукантараты $70^\circ > z > 55^\circ$. Для наимень широты такие звезды имеют склонение $+20^\circ$ и $+35^\circ$. Вследствие сравнительно больших z на сумеречном небе нельзя использовать сравнительно яркие звезды.

Задача расчета пары решеток методом последовательных приближений. Первое приближение можно выполнить с помощью стереографической сетки Вульфа (рис.4).

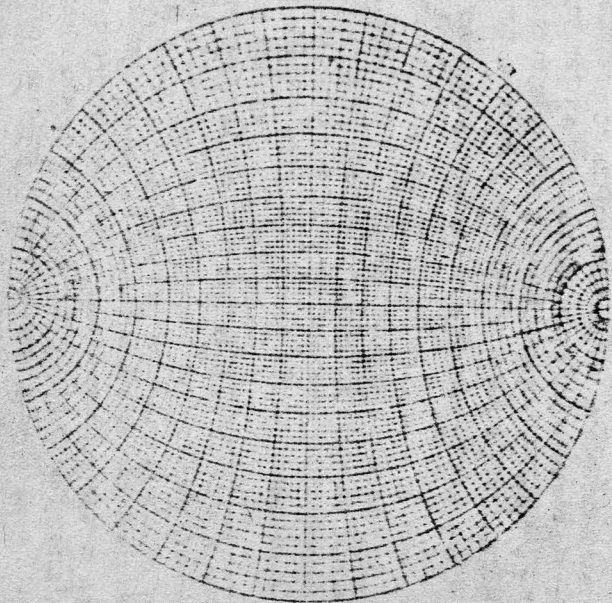


Рис. 4. Сетка Вульфа

Сетка Булфа дает возможность осуществления простейшей, без использования аналитических зависимостей связи горизонтальной и 1-й экваториальной систем координат. Если контн вертикального диаметра — Зенит Z и Надир N , контн горизонтального диаметра — точки Юга S и Севера M , сетка задает горизонтальную систему координат, на ней можно отметить нулевой альмукенхарат. Указанные точки, центр сетки и выбранный альмукенхарат относятся на кальке, наложенной на сетку. Полос Мира P отстоит от Z по меридиану в сторону т. M на угол $90^\circ - \varphi$. Повернув кальку на этот угол, мы получаем на концах взаимно перпендикуляр-

Расчет эфемерид записать в виде таблицы, составленной по следующей схеме (табл. 4). Ряд эфемерид пар Цингера для наблюдений в мае, име приведен в приложении.

Таблица 4

Эфемериды пар Цингера

Пара	№ зв. по №	звезда	m	α	δ	z	A _w	A _e	S _w	S _e	ΔS	t _w	t _e
1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. ИЗУЧЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ И АППАРАТУРЫ ДЛЯ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

2.1. УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ, ОПТИЧЕСКИЙ ТЕОДОЛИТ ТТ-4, ЕГО ПОВЕРКИ, КОМПАРСОНА, ПРИЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Характеристика теодолита ТТ-4. Для первых астрономических наблюдений избран оптический 10" теодолит ТТ-4, который удовлетворяет ряду условий:

- наличие подсветки инструмента, необходимой для работы в ночное время (освещенные сетки нитей и отсчетных шкал вертикального и горизонтального кругов);
- наличие призмочной насадки, которую надевают на окулярный конец трубы для наблюдения светил с $h > 45^\circ - 50^\circ$;
- отсчеты обоих кругов - горизонтального и вертикального - сведены на совмещенную шкалу, что ускоряет снятие отсчетов;
- наличие темного солнечного фильтра, что позволяет проводить

них диаметров северный и южный полюсы мира P, P' и северную и южную точки экватора Q, Q' . В этом случае сетка воспроизводит 1-ю экваториальную систему координат. Звезды можно отмечать в углах склонения, посылку часовой угол изменяется за сутки от 0° до 24^h . Находя точки пересечения кругов склонения с аликвандаром, удобно подбирать пары звезд, пересекающих выбранный аликвандар в нужных часовых углах и с небольшим интервалом времени.

Расчитать эфемериду - значит прежде всего найти часовые углы и азимуты двух звезд (с известными экваториальными координатами) при их нахождении на одном и том же зенитном расстоянии. Сетка Бульба дает возможность приближенного подбора звезд. Часовой угол каждой звезды вычисляем по формуле (1):

$$\cos z = \sin \delta \cdot \sin \delta + \cos \delta \cdot \cos \delta \cdot \cos t.$$

Тогда звездное время в момент прохождения аликвандарата восточной звезды $S_e = \alpha_e - t_e$, западной - $S_w = \alpha_w + t_w$. Обратите внимание, каков из звезд восточнее проходит длинный аликвандарат, причем желательно, чтобы разность моментов прохождения $3'' \leq \Delta S \leq 8 - 10''$. Этот интервал наиболее удобен для наблюдений. При очень быстром прохождении наблюдатель может не успеть установить трубу в другом азимуте.

Предвычисление азимутов проведем по формуле (7):

$$\sin z \cdot \sin A = \cos \delta \cdot \sin t.$$

Однако эта формула не дает возможность определить четверть угла A . Для однозначного определения азимута нужно из формулы (7) получить двучленное выражение $\tan A$. Прямой проверкой знака азимута может быть графическое решение задачи по сетке Бульба.

Задача. Рассчитать прохождение через оми аликвандарат с азимутным расстоянием $z = 60^\circ$ следующих звезд:

$$2 \text{ Boo}, \beta \text{ Peg}, \alpha \text{ CrB}, \alpha \text{ Cvn}, \epsilon \text{ Boo}.$$

Изменяя в небольших пределах зенитное расстояние, подбирайте пары, содержащие восточную и западную звезды. Критерием выбора является приемлемая разность моментов прохождения данного аликвандарата и, по возможности, симметрия расположения звезд относительно меридиана.

дять дневные наблюдения Солнца для получения приближенного азимута, широты, долготы. Наблюдения Солнца в летний период оказываются практически единственно возможными при астрономических определениях указанных геодезических параметров в период белых ночей и полярных дней на широтах $\varphi \geq 62^\circ$.

При хорошей выверке теодолита, его аккурратной nivel-ровке, а также фиксации нуля уровня при алидаде вертикального круга и выверке зенитного расстояния могут быть выполнены с точностью порядка $\pm 2'' - 5''$.

Общее знакомство с теодолитом. Каждый новый прибор требует предварительного осмотра и изучения, а бережное отношение и нему является показателем вашей культуры.

Обратите внимание на обилие крепежных и микрометрических винтов в этом теодолите!

Теодолит ТТ-4 является повторительным, поэтому содержит в нижней части два винта (закрепительный и микрометрический), с помощью которых верхняя часть инструмента вместе с лимбом поворачивается вокруг вертикальной оси.

Лимб находится закрепительный и микрометрический винты алидады. Не спутайте их во время наблюдений!

Особенно внимательным следует быть при снятии отсчетов по ВК. Кроме закрепительного винта ВК на уровне трубы расположен винт два винта сходящих микрометрических винта - микрометрический винт алидады вертикального круга и винт, который фиксирует положение нуля-пункта алидады ВК с помощью уровня. Винт при уровне ВК установлен на закрытом корпусе вертикального круга, и положение трубы инструмента (круг влево - 12 или круг право - 12) определяется по положению уровня, а следовательно, и самого вертикального круга относительно линии визирования.

Перед снятием отсчета по ВК пузырек алидадного уровня должен быть приведен в середину алидады. Для удобства наблюдения за положением пузырька уровня имеется специальное зеркальце.

Задание. Разберитесь и заполните назначение каждого из винтов теодолита. Установите теодолит в положении ТТ, КИ.

Оптические системы теодолита.

Обратите внимание на поле зрения, фокусировочное устройство сетки и объекта наблюдения, а также на окуляр оптического микрометра, который расположен рядом с окуляром зрительной трубы и предназначен для снятия отсчетов по ТК и ВК.

Для рассмотрения отсчетных шкал и сетки нитей трубы пользуются подметкой, которая предусмотрена конструкцией прибора. Лампочки расположены в специальных колодах, смонтированных в корпус теодолита. Напряжение $3 - 6 В$ (в зависимости от используемых лампочек) подается с помощью специальных штекеров для дистанционно от сети переменного тока с помощью понижающего трансформатора, либо от спаренных батареек, закрепленных на приборе. В свободное время суток подсветки сетки нитей трубы не требуется, а для подсветки отсчетных шкал применяется поворотное зеркальце. В ночное время при недостаточной подсветке можно пользоваться фонариком.

Задание. Внимательно разберитесь с подсветкой прибора в различных условиях наблюдений.

Снятие отсчетов. В отсчетном окуляре расположено две шкалы - ТК и ВК. Градусные деления отсчетных лимбов разделены штрихами на три части по $20''$. Сверху над ними находится микрометр, оценивающий штрихи и секунды $20''$ интервала лимба (рис. 5) в поле зрения отсчетного устройства имеется биссектор, который смещается вместе с односторонним штрихом микрометра при вращении головки микрометра.

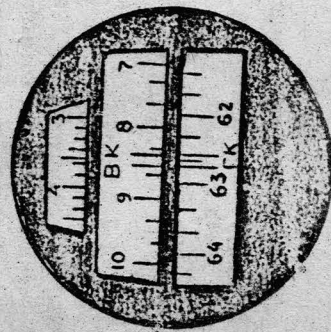


Рис. 5 Вид отсчетного устройства

Отсчет по ТК: $62^\circ 40' 40''$ 37

Для снятия отсчетов последовательно вводят в биосектор алидады 20' штрих разделенного, а дополнительные минуты и секунды снимают по штриху микрометра. Отсчет по ВК будет верным, если пузырек уровня при ВК находится на середине. На рис показан вид отсчетного устройства (на ГК установлен отсчет 62° 43' 37")

Задание. Внимательно разберитесь с конструкцией отсчета го устройства. Определите цену деления штриха, микрометра, точность снятия отсчета, поправку нуля-пунктов. Сделайте несколько пробных отсчетов по ГК и ВК.

Нивелировка теодолита. Как известно, с помощью теодолита с определенной точностью воспроизводится горизонтальная схема координат в пункте наблюдения. Поэтому первой поверхкой теодолита является его нивелировка или горизонтирование с помощью уровня (или уровней) при алидаде горизонтального круга. В процессе нивелирования следует убедиться, что ось уровня перпендикулярна оси вращения теодолита. Для этого установив вертикальный уровень вдоль двух подземных винтов, приводит пузырек на середину и поворачивает алидаду на 180° вокруг вертикальной оси.

Задание. Подумайте, как расположена вертикальная ось теодолита?

Смещение пузырька более чем на 0,5 - 1 делен э означает негоризонтальность оси уровня. Для ее исправления винтом при уровне устраним половину смещения пузырька и приводим пузырек на середину подземными винтами инструмента, исправляя положение вертикальной оси. Вытировка повторяется, пока смещение пузырька не будет удовлетворять допуску, что означает горизонтальность оси уровня и вертикальность вертикальной оси инструмента в плоскости двух подземных винтов.

После этого проводят тщательную нивелировку инструмента общеизвестным в геодезии методом.

Задание. Выполните поверку уровня при алидаде ГК и т.д.

тальную нивелировку инструмента.

Теодолит, как известно, является переносным инструментом. При проведении астрономических наблюдений рекомендуется сохранять постоянным положение пункта наблюдения. Выпавшие нивелировку инструмента, зафиксировав о помощи оптического центра место установки прибора над точкой. Выберете несколько характерных достаточно удаленных земных объектов для контроля установок инструмента по азимуту. Они могут быть здания, трубы, антенны и т.п. Известные из наблюдений азимуты этих направлений могут быть использованы при ориентировании горизонтальной круга.

Определение и устранение коллимации. Коллимационная плоскость - это плоскость того вертикала, который описывает визирная ось теодолита. Эта плоскость не всегда проходит через зенит пункта наблюдения, если даже теодолит хорошо выверен.

Коллимационная ошибка учитывает непараллельность визирной оси трубы к горизонтальной оси теодолита.

Задание. Дайте определение визирной оси. Как расположить на горизонтальной ось теодолита?

Коллимацию определяют по наблюдениям некоторого достаточно удаленного земного предмета при двух кругах инструмента (КЛ и КП), беря отсчеты по ГК. Используя эти отсчеты, коллимация "с" может быть найдена по формуле:

$$c = \frac{(КП \pm 180^\circ) - КЛ}{2}$$

Для 10" теодолита допустимое значение $c \leq 10''$. Если коллимационная ошибка не превышает допуска, при учебных наблюдениях (в случае недостатка времени) можно работать при одном круге инструмента, например, КП.

Для исправления коллимации прежде всего необходимо определить безколлимационный отсчет. Он равен $КЛ + c$, или $КП - c$. Безколлимационный отсчет для КП может быть определен по формуле:

мудр:

$$\frac{181 + (\pi\Gamma - 180^\circ)}{2},$$

которую можно использовать для контроля.

Безолиминационный отсчет устанавливается винтом микро-метра и винтом алидады. Вернуть визируемую цель в крест нитей нужно регулировочными винтами сетки нитей. Для этого осматривают пачечку в окулярной части трубы, закрывающий винты, ослабляют один из вертикальных винтов на $1/4$ оборота, а боковыми винтами перемещают нить до совмещения перекрестий с изображением цели. Работайте шпилькой очень осторожно. Помните, что два противоположных винта работают по принципу контргайки!

После устранения колеблещими проводит повторное контрольное ее определение. Если колеблещая находится в допуске, закрепляют винты и закрывают колпачок.

Контроль климатической ошибки проводится до и после на-
звания.

Определение места зенита (MZ) проводится совместно с определением координатной ошибки. MZ — тот отсчет по вертикальному кругу, который соответствует строгому направлению звезды в зенит. Место зенита необходимо знать для определения зенитного расстояния объекта в процессе наблюдений, а также получения установочных отсчетов на звезду по данным эфемеридных вычислений.

МЗ находят из отчетов по ВК при обсах кругах инстру-
мента (КЛ и КЛ) :

$$M_2 = \frac{M_1 + M_2}{2}.$$

Тогда при наблюдениях звезды ее зенитное расстояние

$$Z = MZ - KI - WZ$$

Поскольку $MZ \approx 90^\circ$, то при наблюдениях при $KI \approx 90^\circ - KI = MZ - KI$, то $KI \approx h$, или $KI = h + \Delta MZ$, где $\Delta MZ = 90^\circ - MZ$. При $\Delta MZ \leq 1'$ прогибная звезда будет находиться вблизи средней горизонтальной нити в поле зрения трубы.

Если ошибка цента азимута превышает γ' , его рекомендуется исправлять вертикальными регулировочными винтами сетки на-

тей. Контроль места зенита должен проводиться до и после наблюдений.

Результаты определения σ и $M\bar{\Sigma}$ записывают в журнал наблюдений, отмечая дату и время их определения.

Числовой пример определения с и м

КЛ: РК $130^{\circ} 48' 50''$
 КЛ: РК $310^{\circ} 50' 40''$
 $C = \frac{310^{\circ} 50' 40'' - 180^{\circ} - 130^{\circ} 48' 50''}{2} = 55^{\circ}$
 Безколымационный отсчет:
 $KЛ + 0 = 130^{\circ} 49' 45''$
 $KЛ - 0 = 310^{\circ} 49' 45''$

Безколлизионный отчет:

$$KM + C = 130^{\circ} 49' 45''$$

$$\text{КП} - 0 = 310^{\circ} 49' 45''$$

При его установлении поворотом головки оптического микрометра выставили 9,45 и микрометричным винтом алидады вводят в биссектор штрих 40'.

Совместно с исправлением каллиграфии выполняется поверка горизонтальности (вертикальности) сетки нитей. Установленная на горизонтальную (вертикальную) нить визирная точка не должна смещаться с этой нити при повороте инструмента микрометрическим винтом горизонтального (вертикального) круга. Проверка достигается поворотом сетки с помощью винтовых винтов.

Для различных наблюдательных программ нужно различное положение сетки нитей. Три параллельных нити могут устанавливаться в вертикальном или горизонтальном положении (рис.6.) с целью увеличения числа регистраций прохождения звезды через нити сетки. Эта операция выполняется вручную после освобождения крепежных винтов сетки. После поворота должна быть проверена горизонтальность центральной нити сетки.

Задание. 1. Определить и исправить коллизию с и место земли из тодолита ТТ-4.

2. Внимательно рассмотреть методику поворота сетки нитей на 90° . Проверить горизонтальность горизонтальной и вертикальность вертикальной нитей сетки. Провести регулировку. Сделать заключение о взаимной перпендикулярности нитей сетки.

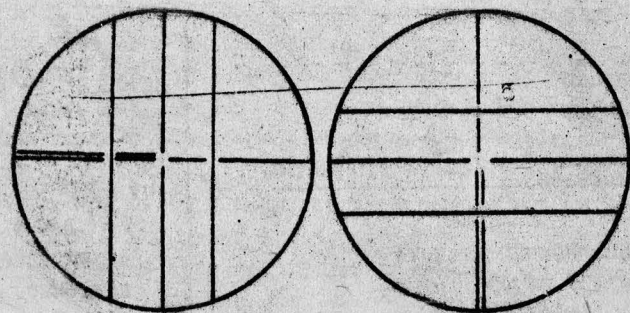


Рис.6. Различное положение сетки нитей в поле зрения ТТ-4

2.2. ХРОНОМЕТРЫ. ЛАБОРАТОРИИ СЛУЖБЫ ВРЕМЕНИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ И ХОДА ХРОНОМЕТРА. ПЕРЕНОС ПОПРАВКИ НА МОМЕНТ НАБЛЮДЕНИЙ

Каждое астрономическое определение сопровождается отсчетом времени с большей или меньшей степенью точности. В астрономических работах основным экспедиционным прибором для определения и хранения времени является хронометр. Техника изготовления хронометров, идущих в соответствии со звездным, либо средним временем, весьма совершенна. Однако не удастся создать часовые механизмы с абсолютно равномерным ходом. Тем более, что имеется ряд причин, влияющих на ход хронометров.

Качество каждого хронометра и его пригодность к точным астрономическим наблюдениям определяется стабильностью хода. Для исследования хода хронометра — суточного или часового — необходимо сравнивать его с каким-то известным эталоном времени. Так, например, имея в обсерватории инструмент, строго установленный в меридиане, и наблюдая по хронометру последова-

тельные кульминации одной и той же звезды, легко получить поправку хронометра и величину суточного хода непосредственно из наблюдений.

Лучшим эталоном точного времени являются сигналы точного времени, путем многократного приема которых на хронометр можно без астрономических наблюдений изучить качество хода данного хронометра.

Сигналы точного времени передаются через радиостанции ГСВЧ круглосуточно по специальным программам [6] с часовой периодичностью, чередуясь с передачей несущей частоты, позывными радиостанций, сигналами с частотой 10 Гц и др. На Урале лучше всего принимается радиостанция РВМ на трех несущих частотах: 4996, 9996, 14996 кГц. Эта радиостанция передает сигналы точного времени в течение двух десятиминутных интервалов $10^m - 20^m$ и $40^m - 50^m$ каждого часа. Длительность сигналов с частотой 1 Гц (секундные сигналы) составляет 100 мс. Сигналы, приходящиеся на начало каждой минуты, удлинены до 500 мс.

Пусть в средний момент подачи сигналов всемирное время равно M . Звездное гриничское время в этот момент определяется из соотношения (5):

$$S = S_0 + M + \mu M,$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{местное звездное время} \quad s = S + \lambda = S_0 + M + \mu M + \lambda \\ \text{местное среднее время} \quad m = M + \lambda, \\ \text{поясное время} \quad T_N = M + M, \\ \text{декретное время} \quad T_g = T_N + 1 = M + (N+1), \\ \text{летнее время} \quad T_g^A = M + (N+1) + 1. \end{array} \right\} \quad (8)$$

Восточную долготу нашего пункта наблюдения в формулах (8) будем считать положительной.

Найдя показание хронометра в средний момент приема (подачи) сигналов точного времени, мы можем определить поправку нашего хронометра относительно одного из вышеуказанных видов астрономического времени. Точное время минус показание хронометра (приведенное к этому времени) есть поправка хронометра относительно того вида времени, с которым произведено сравнение.

Систематический прием сигналов точного времени на хронометр позволяет изучить изменение его поправки и найти часовой

ход хронометра на исследуемом отрезке времени.

Пусть в средний момент приема сигналов времени T , определена поправка хронометра u_1 , а в момент T_2 — поправка u_2 . Тогда часовой ход в интервале $\Delta T = T_2 - T_1$

$$\omega^h = \frac{u_2 - u_1}{T_2 - T_1} \quad (9)$$

Если нужно определить поправку хронометра в момент T , находящийся в исследуемом интервале ΔT , то

$$u(T) = u(T_1) + \omega^h(T - T_1) = u(T_2) - \omega^h(T_2 - T). \quad (10)$$

Однако, если долгота пункта известна весьма приблизительно, то путем приема радиосигналов на хронометр с высокой точностью можно найти лишь поясное, декретное и, конечно, всемирное время. Местное (среднее или звездное) время, а следовательно, и поправка хронометра относительно этих времен, будут найдены с ошибкой, численно равной разности истинной и принятой долготы места наблюдения. Если долгота неизвестна, то точную поправку хронометра относительно местного времени можно определить только из астрономических наблюдений.

Практическая часть. Прохождение лаборатории времени дает возможность изучить работу хронометра, исследовать его ход, получить практические навыки в приеме сигналов времени и сравнении хронометров.

Прием сигналов точного времени. Выполнение работы следует начать с изучения аппаратуры лаборатории времени и приема сигналов точного времени [6].

В лаборатории времени студенты осваивают прием сигналов путем непосредственного определения показаний хронометра в моменты совпадения секундного, либо полусекундного ударов хронометра с соответствующим сигналом данной серии (способ "глаз — ухо"). Точность этого метода зависит от внимательности наблюдателя и, конечно, от качества приема радиосигналов (наличие помех). Указанный способ подвержен влиянию систематических ошибок. Одна из них состоит в том, что различные наблюдатели улавливают разные совпадения нескольких ударов, трудно различимых на слух совпадений. Однако эта ошибка невелика. Сдвиг уловленного совпадения на 3^s вызывает

ошибку $\pm 0.01^s$, однако навык для успешного выполнения работы необходим.

При достаточном умении уверенно отмечается одно из средних унисонных совпадений и берется показание хронометра в этот момент (сначала секунда, а затем — минуты и часы). В журнал наблюдений записываются номера серии и совпадающего сигнала. По этим данным, зная час и минуту начала серии (по программе и часам), легко воссоставляется декретное всемирное время момента совпадения.

Прием сигналов точного времени должен производиться на звездный хронометр. Дело в том, что, как уже было отмечено, звездные сутки короче солнечных на $3^m 56^s$. Нетрудно посчитать, что звездный хронометр обгонит секундные сигналы точного времени на минимальный интервал между ударами хронометра (0.5^s) за $\sim 3^m 03^s$. Этот промежуток времени и пройдет между последовательными унисонными совпадениями. Следовательно, за 10^m серии сигналов точного времени произойдет минимум три максимум четыре совпадения.

Прием серии сигналов точного времени записывается в журнал наблюдений в соответствии с примером, приведенным в табл. 5.

За средний момент приема можно принять средний момент сигналов точного времени.

При приеме сигналов на звездный хронометр поправка вычисляется относительно местного звездного времени, к которому приводится средний момент приема (долгота пункта наблюдения задается с некоторой точностью).

После приведения показаний хронометра к этому среднему моменту они усредняются, находится отклонение каждого момента от среднего. Средняя квадратическая ошибка приема определяется по формуле:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon' &= \pm \sqrt{\frac{[\nu^2]}{n-1}} \\ \text{ср. кв. ошибка поправки хронометра: } \epsilon &= \pm \sqrt{\frac{[\nu^2]}{n(n-1)}} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Из ряда приемов сигналов точного времени, выполненных всей бригадой на данный хронометр, необходимо вычислить его часовой (суточный) ход, построить график изменения часового (суточного) хода со временем, проанализировать возможные причины колебаний хода хронометра.

Таблица 5

прием сигналов точного времени. Определение поправки звездного хронометра

Date: 23.07.92 г

Т. 4 на 4 = 1240

Хронометр N 2981

Разносты : РВМ

 $t^{\circ}\text{O}=+22^{\circ}\text{O}$, $B=730\text{ mm pt. cr}$

N сер.	N ситл	T д	S _{хр}	ΔT ср. ед. тл-тл	Юпр. зв.ед. (+)	ΔT в зв.ед.	S _{хр} в ср.ном.	$\bar{s}_{хр-s_{хр}}$	$\bar{v} =$	$v^2_{\times}$ 10 ⁻⁴
2	36	12 44 36 ⁸	6 49 00.5 ⁵	+3 24 ⁸	0 ⁵ 56	+3 24 ⁵ 56	6 52 25.06	+0.02		4
5	25	12 44 25	6 51 50.0	+0 35	0.10	+0 35.10	5 52 25.10	-0.02		4
8	28	12 47 28	6 54 53.5	-2 28	0.41	-2 28.41	6 52 25.00	-0.01		1

$$\bar{T}_H = 12^h 45^m$$

$$\bar{z}_D = 6.452^{m} 25.08^s$$

$$\sum v^2 = 0.0009$$

12	45	00.00
6	45	00.00
1	06.53	
20	03 55.88	
4	02 32.68	
6	52 35.09	
6	52 25.08	

+10.01

$$0.2 + 10^5.01 \pm 0^5.01$$

Задание. Сделайте каждый по три успешных приема сигналов точного времени на звездный хронометр.

Сведите всё приемы одной бригады в табл. 6.

Постройте график изменения хода хронометра со временем. Имели ли место заметные колебания внешних условий в период приема сигналов точного времени?

С какой средней точностью исследуемый хронометр обеспечивает хранение времени?

Определите по формуле (II) среднюю квадратическую ошибку полученного часового хода хронометра (при условии отсутствия систематических ошибок хода).

Таблица 6

Сводная таблица исследования звездного
хронометра

Хронометр №

[illegible]

Сравнение хронометров (звездного и среднего) выполняется с целью определения поправки среднего хронометра на основе известной из приема сигналов точного времени поправки звездного хронометра.

Сравнение показаний звездного хронометра со средним производится по способу "глаз - ухо". В процессе сравнения необходимо "уловить" момент наилучшего унисонного совпадения секундного, либо полусекундного ударов того и другого хроно-

метра. Такие совпадения, как мы уже выяснили, наступают спустя немногим более трех минут. Услышав приближение совпадения ударов, наблюдатель на слух берет счет секунд (потусекунд) одного из хронометров (лучше звездного, который в сравнении играет роль эталона).

Число сравнений в одном приеме не менее пяти. Звездный хронометр считается основным, т.к. его поправка известна из приема сигналов точного времени. На первом этапе вычислений его поправка считается равной нулю. При этом условии определяется так называемая относительная поправка среднего хронометра.

Сравнение хронометров целесообразно проводить в периоды между приемами сигналов точного времени. В этом случае точнее производится переход по формуле (10) от относительной к абсолютной поправке среднего хронометра.

В таблице 7 приведен пример сравнения звездного хронометра со средним и определения поправки среднего хронометра.

Соответствующие показания записаны в момент наилучших (унисонных) совпадений секундных или полусекундных ударов сравниваемых хронометров. Даже опытный наблюдатель слышит 6 - 10 совпадающих ударов. Следует по-возможности зафиксировать средний из них.

В качестве среднего момента сравнения, к которому будут приводиться все зафиксированные моменты, можно взять центральный из пяти совпадений. Находя разницу ΔS среднего момента сравнения и каждого момента совпадения по звездному хронометру, переводя эти интервалы в средние единицы и прибавляя их к моментам совпадений T_{xp} по среднему хронометру, находим показание среднего хронометра в средний момент серии. Возможное "сдвигание" среднего момента ($\sim 0.1^s$) за время сравнения - результат разности ходов обоих хронометров.

Для вычисления "относительной" поправки среднего хронометра показание звездного хронометра в средний момент принимаем за местное звездное время. Его нужно перевести в летнее время, по которому идет средний хронометр.

По аналогии с формулами (5,8) переходим сначала к звездному времени на Гриниче:

$$S = S_{xp} - \lambda,$$

Таблица 7

Сравнение хронометров. Определение поправки среднего хронометра

Звездный хронометр N 2381

Средний хронометр N 2972

Дата: 9.07.92 г.
t°С = +19°С, В = 736 мм рт. ст.

N	пор	S _{xp}	T _{xp}	Δs (зв. ед.) S _{xp} - S ₀	Δs (зв. ед.) S _{xp} - S ₀	AS в ср. ед.	T _{xp} в ср. мом.	$\frac{v}{T_{xp}} \cdot T_{xp}$	$\frac{v^2}{10^4}$
1	1	8 33 41.9	15 38 36.5	+ 6 07 ^m	1.00	+ 6 06.00	15 31 42.50	0	0
2	2	8 41 44	15 38 39.0	+ 3 04	0.50	+ 3 03.50	15 31 42.50	0	0
3	3	8 44 48	15 31 42.5	0	0	0	15 31 42.50	0	0
4	4	8 47 55	15 34 49.0	- 3 07	0.51	- 3 06.49	15 31 42.51	-0.01	1
5	5	8 50 58	15 37 51.5	- 6 10	1.01	- 6 08.99	15 31 42.51	-0.01	1
$\bar{S}_{xp} = 8^h 44^m 49^s$									$\sum v^2 = 0.0002$

$S_{xp} - S_0$ 9 33 31.23
 $v(S_{xp} - S_0)$ 1 33.96
N+2 9 31 57.27
N+2 6
T_п(xp) 15 31 57.27
T_п 15 31 42.50
u +14.77

$u_{отн} = +14.77 \pm 0.0002$

9.07 $S_1 = 14^h 25^m$ $u_{S_1} = +1.5$ $u = +0.20$
10.07 $S_2 = 4^h 31^m$ $u_{S_2} = +14.70$
9.07 $S = 8^h 45^m$ $u_S = +11.10$
 $u_{9.07} = +14.77 \pm 11.5$ $10 = 25.87$

$$M = (S - S_0) - \nu(S - S_0),$$
$$\mathbf{T}^{\wedge}(\mathbf{xp}) = \mathbf{M} + \mathbf{N} + \mathbf{T}^{\wedge} + \mathbf{T}^{\wedge}.$$
$$u_{\sigma\pi} = T_0'(x_p) - \bar{T}_{xp} = u_{\sigma c} - u_s,$$
$$u_{\alpha\beta\gamma} = u_{\sigma\tau\eta} + u_{\varepsilon\zeta\theta}$$

Задание. Сделайте по три успешных сравнения звездного и среднего хронометров. Рассмотрите изменение относительной поправки среднего хронометра со временем. Изменение представить графически. Каков физический смысл этой величины?

Сведите все приемы в таблицу в 8

Таблица 8.

Сводная таблица исследования среднего хронометра

[illegible]

Из ряда сравнений, приведенных в табл. 8, вычленил из ряда (суточных) ход среднего хронометра, построил изменения часового (суточного) хода во времени, проанализировав возможные причины колебаний хода хронометра.

С какой среднел точностью исследуемый хронометр обеспечивает хранение времени?

Определите среднюю квадратическую ошибку определения хода хронометра (при условии отсутствия заметных систематических ошибок).

Прием сигналов точного времени на печатающий хронометр
с кварцевым генератором. Импульсная приставка.

Задание. Внимательно разберитесь по описаниям с интереснейшей аппаратурой, принципами работы, возможностями.

Проведите несколько приемов сигналов точного времени на ленту печатающего хронографа для привязки временной шкалы хронографа к всемирному времени и определения хода хронографа.

Путем вычитания ударов контактного хронометра из показаний хронографа сравните показания хронометра с печатающим хронографом.

Определите запаздывание импульсной приставки, впечатывая показания хронометра на ленту с приставкой и без нее.

Обработку лент хронографа проведите в рабочей тетради.
К отчету приложите ленту хронографа.

ЗАКТОЧЕНЕ

Задача, поставленная перед настоящим лабораторным практикумом по астрометрии, состоит в подготовке студентов к выполнению астрономических наблюдений, которые используются при определении положений астрономических государственных геодезических сетей. При этом студенты получают навыки работы с геодезическими инструментами, приборами службы времени. Выполнение заданий вызывает необходимость повторения ряда разделов сферической и практической астрономии.

Вопрос, рассмотренный в лабораторном практикуме, обычно слабо освещен в специальной литературе ввиду своей кажущейся

Таблица III

Список ярких звезд, использованных при составлении программы наблюдений пар Цингера

№	№1	Назв.	m	α 2000	δ 2000
п/п	AE	зв.			
1	2	α And	2.06	00 ^h 08 ^m 23 ^s	29° 05.4'
2	4	γ Peg	2.83	00 13 14	15 11.0
3	44	α Tzi	3.41	01 53 05	29 34.7
4	48	β Azi	2.64	01 54 38	20 48.5
5	54	α Azi	2.00	02 07 10	23 27.8
6	27	γ Tau	2.87	03 47 23	24 06.3
7	119	α Tau	0.85	04 35 55	16 30.6
8	215	π Gem	3.70	07 44 27	24 23.9
9	253	ϵ Leo	3.12	09 45 51	23 46.5
10	262	ζ Leo	3.65	10 16 42	23 25.0
11	281	δ Leo	2.58	11 14 06	20 31.4
12	293	β Leo	2.14	11 42 04	14 34.3
13	318	α Cvn	2.90	12 56 01	38 19.1
14	319	ϵ Vtz	2.83	13 02 10	10 57.5
15	336	γ Boo	2.68	13 54 41	18 23.9
16	345	α Boo	-0.04	14 15 40	19 11.0
17	356	ϵ Boo	2.70	14 44 59	27 04.5
18	373	α CrB	2.23	15 34 41	26 42.9
19	400	β Mez	2.77	16 30 13	21 29.4
20	405	ζ Mez	2.81	16 41 17	31 36.2
21	424	α Oph	2.08	17 34 56	12 33.6
22	429	γ Mez	3.48	17 46 28	27 41.2
23	461	γ Lyr	3.30	18 58 57	32 41.4
24	488	γ Sge	3.71	19 58 45	19 29.5
25	533	π Peg	4.27	21 44 39	25 38.7
26	558	γ Peg	2.94	22 43 00	30 13.3
27	560	μ Peg	3.48	22 41 00	24 36.1
28	565	β Peg	2.42	23 03 46	28 05.6

ся для обеспечения простоты. В то же время у студентов они порой вызывают значительные затруднения.

Мы надеемся, что предложенная схема обучения поможет учащимся с меньшими затратами времени и более сознательно подготовиться к проведению непосредственных астрономических наблюдений.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам кафедр астрономии и геодезии УрГУ Д.В.Быбе и Г.Н.Хренли за помощь при составлении программы пар Цингера и оформлении рукописи.

Список литературы

1. Астрономический ежегодник СССР на год. Л.: Наука, 1984. 381 с.
2. Руководство по астрономическим определениям. М.: Недра, 1984. 381 с.
3. Куликов М.А. Курс сферической астрономии. М.: Физматгиз, 1961. 184 с.
4. Кузнецов А.И. Геодезическая астрономия. М.: Недра, 1966. 370 с.
5. Шуктова Э.И. Лабораторный практикум по астрономии. Свердловск, 1968. 138 с.
6. Эталоны частоты и времени. М.: Изд-во стандартов, 1983. 30 с.

№ п/п	№ АЕ	Назв. зв.	m	z	A	s	t
14	405	γ Mez	2.81	52.5	91° 55'	21° 15.6'	4 34.4
	44	δ Tel	3.41		272 06	21° 30.2'	4 22.9
15	373	α CrB	2.23	69.0	107 02	21° 43.1'	6 08.4
	97	η Tau	2.87		257 44.5	21° 55.1'	5 52.4
16	400	δ Mez	2.77	67.5	95 13	21° 55.8'	5 26.6
	97	η Tau	2.87		259 58	22° 06.2'	5 41.2
17	405	γ Mez	2.81	62.5	106 27.5	22° 29.9'	5 48.6
	97	η Tau	2.87		267 25	22° 45.0'	5 04.4
18	424	α Oph	2.08	73.0	87 01	22° 47.2'	5 12.3
	119	α Tau	0.85		265 40.5	22° 59.8'	5 36.1

Таблица 13

Эфемериды избранных пар Цингера для наблюдений
в мае ($\varphi = 56^{\circ}50'$)

№ п/п	№ АЕ	Назв. зв.	m	z	A	s	t
1	215	α Mez	3.70	60.0	89° 20'	12° 32.4'	4 47.9
	429	μ Mez	3.48		264 21	12° 39.3'	5 07.2
2	215	α Gem	3.70	64.0	95 23	13° 01.6'	5 17.1
	461	γ Lyr	3.30		249 23	12° 52.1'	6 06.8
3	253	ε Leo	3.12		82 35.3	14° 04.4'	4 18.5
	461	γ Lyr	3.30	56.5	260 08.5	15° 49.0'	5 09.9
4	262	γ Leo	3.65	68.0	99 31	15° 57.5'	5 40.8
	533	χ Peg	4.27		256 24	15° 50.4'	5 54.3

Таблица 12

Эфемериды избранных пар Цингера для наблюдений
в мае ($\varphi = 56^{\circ}50'$)

№ п/п	№ АЕ	Назв. зв.	m	z	A	s	t
1	281	δ Leo	2.58	59.5	80° 56.5'	15° 35.3'	4 21.2
	488	γ Sge	3.71		281 09	15° 43.8'	4 14.9
2	281	δ Leo	2.58	64.0	88 06	16° 08.4'	4 54.3
	533	χ Peg	4.27		262 18	16° 20.1'	5 24.5
3	293	α Leo	2.14	68.5	83 46	16° 40.6'	4 51.5
	565	α Peg	2.42		251 12.5	16° 50.7'	6 13.1
4	319	ε Vir	2.83	66.5	73 22	17° 16.2'	4 14.0
	560	μ Peg	3.48		260 32	17° 04.2'	5 36.8
5	336	η Boo	2.68	57.5	73 06	17° 47.7'	5 53.0
	558	η Peg	2.94		263 20	17° 39.8'	5 03.2
6	336	η Boo	2.68	60.0	77 27	18° 06.6'	4 12.0
	565	α Peg	2.42		263 40	17° 54.5'	5 09.8
7	318	α Cvn	2.90	56.0	109 34.5	18° 34.5'	5 38.5
	565	α Peg	2.42		269 40	18° 23.8'	4 40.0
8	345	α Boo	0.04	62.0	82 20.5	18° 47.2'	4 31.6
	4	α And	2.06		258 52.5	18° 38.4'	5 30.0
9	356	ε Boo	2.70	51.5	81° 08.5	18° 46.1'	4 01.1
	565	α Peg	2.42		276 45	18° 56.8'	4 07.0
10	336	η Boo	2.68	60.5	90 59.5	19° 09.2'	5 14.5
	4	γ Peg	2.83		275 03.5	19° 18.0'	4 55.2
11	345	α Boo	0.04	71.0	96 13	19° 53.2'	5 37.5
	48	α Ari	2.64		260 48	20° 07.3'	5 47.4
12	356	ε Boo	2.70	66.0	103 16	20° 32.9'	5 47.9
	48	α Ari	2.64		268 18	20° 44.0'	5 10.6
13	373	α CrB	2.23	62.5	97 28	20° 54.4'	5 19.7
	54	α Ari	2.00		268 37.5	21° 06.5'	5 00.7

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. СПЕЦИФИКА АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ. . .	3
1. ЭФЕМЕРИДНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ.	6
1.1 Эфемериды для астрометрических наблюдений.	6
1.2 Расчет продолжительности наблюдательного времени. Сумерки.	7
1.3 Связь шкал звездного и солнечного времени.	10
1.4 Эфемеридные вычисления для ряда наблюдательных программ	14
2. ИЗУЧЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ И АППАРАТУРЫ ДЛЯ АСТРОМЕТРИ- ЧЕСКИХ РАБОТ	21
2.1 Угломерные измерения, Оптический теодолит ТТ-4, его проверки, юстировка, приемы измерения горизонтальных и вертикальных углов	21
2.2 Хронометры. Лаборатория слуха времени. Определение поправки и хода хронометра. Перенос поправки на мо- мент наблюдений.	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
Список литературы	38
ПРИЛОЖЕНИЕ	39

BANZAY

Подготовка к астрометрическим наблюдениям
Лабораторный практикум по астрометрии

Редактор Т. А. Сасина
Технический редактор Э. А. Максимова

Подписано в печать 05.10.93. Формат 60 x 84 1/16.
Бумага для множительных аппаратов. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 2,52. Усл. печ. л. 2,5. - Заказ 667.
Тираж 200 экз.

Уральский ордена Трудового Красного Знамени государ-
ственный университет им. А. М. Горького. Екатеринбург,
пр. Ленина, 51.

Типолаборатория УрГУ. Екатеринбург, пр. Ленина, 51.