

УДК 520.253+521.97

Об учете рефракции и гнуптия в меридианной астрометрии

С. С. Перуанский

Предложены новые методы прямых измерений рефракции в приземном слое, исследования гнуптия, измерения зенитных расстояний с исключением влияния гнуптия, зальной и местной рефракции, ошибок отсчетов круга, а также прибор для реализации этих методов. Показаны преимущества данных методов. Описаны результаты экспериментальных измерений зальной рефракции в павильоне и горизонтального гнуптия меридианного круга Астрономической обсерватории им. В. П. Энгельгардта (АОЭ). Установлена неоднозначность зависимости гнуптия от температуры (температурный гистерезис).

ON THE ACCOUNT OF REFRACTION AND FLEXURE IN THE MERIDIAN ASTROMETRY, by Peruanskiy S. S.—New methods for direct measurements of the refraction near the ground, of the flexure investigation, of the zenith distances measurement eliminating the flexure influence, the room and local refraction influence as well as errors of the circle readings and the instrument for realization of these methods are proposed. The advantages of these methods are shown. The results of the experimental measurements of the room refraction in the meridian circle house and of the horizontal flexure of the meridian circle of the Engelhardt Astronomical Observatory are described. It is shown that the dependence of the flexure on the temperature is of a two-digit nature (the temperature hysteresis).

В настоящей работе предлагается единый подход к измерению приземной рефракции и гнуптия на фиксированных зенитных расстояниях (например, через каждые 5°) с помощью одного и того же прибора. Пусть нужно измерить рефракцию на отрезке AB с зенитным расстоянием z (рис. 1). Установим перед объективом телескопа автоколлимационное зеркало, скрепленное с уровнем так, чтобы нормаль к отражающей поверхности зеркала и ось уровня лежали в коллимационной плоскости телескопа. Определим автоколлимационный отсчет окулярного микрометра M_A и отсчет уровня m_A . Поместим зеркало на противоположный конец отрезка измерения рефракции в точку B . Определим аналогичные отсчеты M_B и m_B . Разность отсчетов $M_B - M_A$ вызвана, во-первых, наклоном отражающей поверхности зеркала, который складывается из угла поворота зеркала $(m_B - m_A)\tau$ (τ — цена деления уровня) и угла $\Delta\varphi$ между отвесными линиями в точках A и B , во-вторых, углом полной рефракции r на отрезке AB (на рис. 1 для простоты изображен случай, когда $r = \Delta\varphi$). Таким образом, $r = (M_B - M_A)R \pm (m_B - m_A)\tau + \Delta\varphi$, где R — масштабный множитель окулярного микрометра. Знак разности определяется положением нуля уровня по отношению к объективу.

Принципиальная схема устройства, позволяющего реализовать эту идею, показана на рис. 2. Многогранная зеркальная призма 1 (с зеркальными боковыми гранями) подвижно скреплена с осью 2, жестко скрепленной с рамой 3, подвешенной на чувствительной подвеске 4, которая может поворачиваться вместе с втулкой 5 вокруг оси 6. Основание 7 лежит в лагерах 8, подвижно скрепленных со стойками 9. Винты 10 могут поворачивать рычаг 11, что позволяет ввести чувствительную подвеску в диапазон чувствительности. Видно, что прибор аналогичен известному устройству — зенитному зеркалу, от которого отличается только тем, что вместо горизонтального зеркала чувствительная подвеска несет многогранную призму, поворачивающуюся вокруг горизонтальной оси.

Возможен вариант прибора с уровнями вместо чувствительной подвески. В этом случае рама 3 жестко скрепляется с втулкой 5, а с

осью 2 скрепляются уровни так, что их оси перпендикулярны оси 2.

Призма позволяет измерять рефракцию на зенитных расстояниях z_i , которые имеют нормали к боковым граням призмы, образующим углы α_i , когда биссектрисы этих углов занимают вертикальное положение (рис. 3). Зенитное расстояние z_i связано с рабочим углом α_i соотношением $z_i = 90^\circ - \alpha_i/2$.

Методика измерений. Устанавливаем визирную линию телескопа 12 (рис. 2) на одно из зенитных расстояний z_i . Перемещаем лагеры 8 по стойкам 9 и поворачиваем призму вокруг оси 2 так, чтобы грани

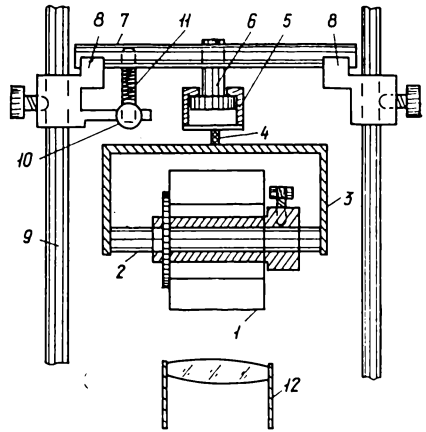
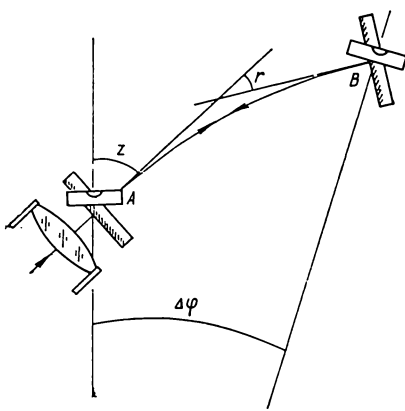


Рис. 1. Схема измерения рефракции r на отрезке AB с зенитным расстоянием z ; $\Delta\varphi$ — угол между отвесными линиями в точках A и B

Рис. 2. Схема прибора для измерения рефракции и создания направлений с эталонными зенитными расстояниями (объяснение в тексте)

соответствующего угла α_i создавали автоколлимационный блик в поле зрения телескопа. При этом биссектриса угла α_i может отклоняться от вертикали на угол ε_i , не превышающий $1'$. Определяем автоколлимационный отсчет микрометра M_1' , а если прибор содержит уровень вместо чувствительной подвески, то находим и отсчет уровня m_1' . Поворачиваем втулку 5 вокруг вертикальной оси 6 на 180° и определяем аналогичные отсчеты M_1'' и m_1'' . Затем переносим прибор на противоположный конец отрезка измерения рефракции и снимаем аналогичные отсчеты M_2 и m_2 .

Чтобы получить автоколлимационные отсчеты микрометра M_{01} и M_{02} , какими они были бы при строго вертикальном положении биссектрисы рабочего угла (т. е. при $\varepsilon_i = 0$), в случае прибора с чувствительной подвеской применяем такие формулы:

$$M_{01} = 0.5(M_1' + M_1''), \quad M_{02} = 0.5(M_2' + M_2''); \quad (1)$$

при использовании уровня —

$$M_{01} = 0.5(M_1' + M_1'') \pm (m_1' - m_1'') \tau / (2R), \quad M_{02} = 0.5(M_2' + M_2'') \pm (m_2' - m_2'') \tau / (2R). \quad (2)$$

Определив расстояние между точками, в которых устанавливалась призма, по известным формулам найдем угол между отвесными линиями в этих точках $\Delta\varphi$ и рассчитаем рефракцию r по формуле

$$r = (M_{02} - M_{01}) R + \Delta\varphi. \quad (3)$$

Теория прибора. Основные погрешности связаны с погрешностями уровня (подвески) и нарушением геометрических условий, предъявляемых к относительному расположению осей прибора: 1) смещение нуль-

пункта уровня; 2) систематические ошибки отсчетов уровня (например, из-за неправильностей шлифовки ампулы); 3) изменения цены деления уровня; 4) неперпендикулярность оси уровня к горизонтальной оси вращения призмы; 5) неперпендикулярность нормалей зеркальных граней призмы к той же оси; 6) наклонность горизонтальной оси к плоскости горизонта; 7) изменение углов призмы со временем; 8) подвижки телескопа в процессе измерений.

Смещение нуль-пункта уровня в значительной степени исключается поворотами на 180° вокруг вертикальной оси, а систематические ошиб-

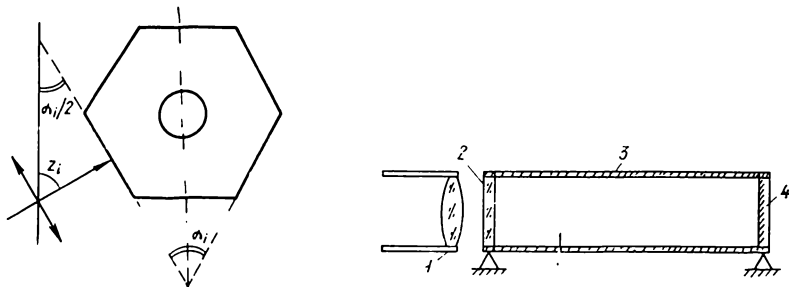


Рис. 3. Связь между рабочим углом призмы α_i и эталонным зенитным расстоянием z_i , задаваемым этим углом

Рис. 4. Устройство для измерения рефракции в произвольной плоскости (объяснение в тексте)

ки отсчетов исключаются в разности отсчетов $M_{02} - M_{01}$ при условии, что используется примерно один и тот же диапазон шкалы уровня.

Погрешности призмленного блока 4—6 аналогичны погрешностям универсала или вертикального круга. Их влияние на зенитное расстояние нормали к поверхности рабочей грани призмы описывается следующей формулой [5]:

$$\Delta z_n = 0.5(i^2 + k^2) \sin z \cos z + ic \sin z - kc \cos z - ki \cos^2 z, \quad (4)$$

где i — наклонность горизонтальной оси призмы; c — неперпендикулярность нормали к горизонтальной оси; k — неперпендикулярность горизонтальной оси к коллимационной плоскости телескопа.

Ошибка отсчета ΔM_0 складывается из ошибки Δz_n нормали и ошибки положения оси уровня, описываемой той же формулой. Если учесть, что зенитное расстояние оси уровня всегда близко к 90° , то из (4) получаем

$$\Delta M_0 = 0.5 \{ [(i')^2 + (i'')^2 - (k')^2 - (k'')^2] \sin z_n \cos z_n + [i'c'_n + i''c''_n] \sin z_n - [k'c'_n + k''c''_n] \cos z_n - [k'i' + k''i''] \cos^2 z_n - [i' + i''] c_m \}, \quad (5)$$

где c_m — неперпендикулярность оси уровня к горизонтальной оси.

Оценим погрешности, которые будут вызывать ошибку ΔM_0 , не превышающую $0.01''$. Наибольшее значение ΔM_0 отмечается при наблюдениях в зените. Считая все погрешности равными i , получаем из (5)

$$\Delta M_0 = 0.01'' \geq 6i^2/206\ 265''. \quad (6)$$

Из (6) имеем $i \leq 18''$, что вполне достижимо при практической юстировке.

Для исключения влияния подвижек телескопа и изменения угла призмы отсчеты M_{01} и M_{02} определяют многократно и строят их зависимости от времени, что позволяет снятые в разное время отсчеты свести к одному моменту.

Ошибка в случайном отношении при использовании пузырькового уровня определяется отсчетами уровня. Для повышения точности при-

вязки к отвесной линии при использовании фотоэлектрического микрометра можно применять динамический способ, теория которого разработана в [1, 2]. При этом способе призма крепится на маятниковом подвесе. Во время наблюдений она свободно колеблется с малой (2—5') амплитудой, и автоколлимационная марка совершает свободные колебания по фотоэлектрической решетке с горизонтальными щелями, угловые расстояния ψ_i которых от заданного нуля-пункта заранее прокалиброваны. Результаты наблюдений — отметки времени T_i' , когда автоколлимационная марка пересекает щели. В работе [2] показано, что по величинам ψ_i , T_i' , применяя закон свободных колебаний, можно определить отсчет микрометра ψ_0' для одного из моментов T_0' , в который призма проходит через положение равновесия. Повернув призму на 180° вокруг вертикальной оси и выполнив аналогичные наблюдения, найдем ψ_0'' для момента T_0'' . Величина ψ_0 , равная $0.5(\psi_0' + \psi_0'')$ и относящаяся к моменту $T_0 = 0.5(T_0' + T_0'')$, эквивалентна отсчету M_0 . При динамическом методе не требуется демпфирование подвески призмы и исключается эффект «мертвой зоны», снижающий точность любого устройства, реализующего статический метод привязки к отвесной линии.

Для опробования автоколлимационного метода измерения рефракции определялась зальная рефракция в павильоне меридианного круга АОЭ. Прибор вместо призмы имел двустороннее зеркало, оправа которого скреплялась с двумя секундными уровнями. Горизонтальная ось зеркала укладывалась в лагера подставки теодолита ТТ-2/6, находящейся в павильоне перед объективом на штативе, а вне павильона — на столбе в 1.1 м от стенки павильона. В наблюдениях участвовали студенты Казанского университета Н. Б. Курочкина, В. Н. Мухаметшина, Л. Р. Валитова, О. Г. Аргат, Е. С. Гончарова, Г. М. Нарматова, Т. Ю. Флерова и др. Табличные данные этих наблюдений опубликованы в [4]. Наблюдения показали: 1) зальная рефракция в горизонте достигает $\pm 0.8''$; 2) зальная рефракция в южном люке изменяется в больших пределах, чем в северном, и следовательно, требует специального учета во избежание систематической ошибки вида $\Delta\delta$ при наблюдениях южных и северных звезд.

Автоколлимационный метод можно применять для измерения и рефракции в трубах, и боковой зальной рефракции, но с помощью существенно иного прибора (рис. 4). Перед объективом телескопа 1 устанавливается полупрозрачное зеркало 2, которое скреплено штангами 3 с плоским зеркалом 4. Для измерения рефракции в слое воздуха, ограниченном зеркалами 2 и 4, определяем автоколлимационные отсчеты с использованием каждого зеркала. Отсчет для зеркала, ближнего к объективу, — M_1' , дальнего — M_2' . Разность отсчетов определяется клиновидностью зеркала 2, непараллельностью отражающих поверхностей зеркал и рефракцией на отрезке между зеркалами. Если повернуть прибор вокруг оси, перпендикулярной к поверхностям зеркал, на 180° , то клиновидность и непараллельность зеркал войдут в автоколлимационные отсчеты микрометра M_1'' и M_2'' с другими знаками, но сохранят свою величину при отсутствии гнуптия штага 3. Поэтому полусуммы отсчетов $0.5(M_1' + M_1'')$ и $0.5(M_2' + M_2'')$ будут свободны от влияния клиновидности и непараллельности, и рефракцию r можно найти по формуле: $r = 0.5(M_2' + M_2'') - 0.5(M_1' + M_1'')$.

Это устройство позволяет измерять рефракцию в произвольной плоскости, а при наличии двухкоординатного микрометра можно измерять одновременно и вертикальную, и боковую рефракцию. Особенно удобно измерять рефракцию в вертикальных трубах, зальную рефракцию в зените, так как в этом случае гнуптие штага 3 отсутствует и прибор имеет наиболее простую конструкцию.

Для определения гнуптия находим отсчет M_0 при вертикальном положении биссектрисы рабочего угла призмы, как описано выше. За-

тем получаем обычным путем отсчет на зенит M_z (например, по ртутному горизонту). Зенитное расстояние z_n нормали к грани рабочего угла α_i при вертикальном положении его биссектрисы найдем двойкой:

$$z'_n = [M_{\text{круга}} + (M_0 - M)R] - M_z, \quad (7)$$

где R — масштабный множитель микрометра, M — его нуль-пункт, а если призма прокалибрована, то

$$z_n = 90^\circ - \alpha_i/2 - \Delta\varphi, \quad (8)$$

где $\Delta\varphi$ — угол между отвесными линиями в точках установки призмы и телескопа. Гнутие ΔM_z найдем по формуле

$$\Delta M_z = z'_n - z_n. \quad (9)$$

Достоинство этого способа заключается в том, что гнутие определяется индивидуально для каждого положения трубы и можно изучать его асимметрию при наблюдениях на севере и юге. Более того, величина ΔM_z включает в себя все систематические ошибки, присущие данному телескопу, при измерении зенитных расстояний (гнутие круга, ошибки штрихов круга и т. д.). Поэтому открывается возможность непосредственного сравнения инструментальных систем телескопов разных обсерваторий путем определения ΔM_z с одной и той же призмой, что имеет существенное значение для сравнения каталогов, полученных по наблюдениям на этих телескопах.

Принципиально важно, что калибровку призмы можно осуществить в павильоне с помощью микрометра самого телескопа в тех же температурных условиях, в которых проводятся наблюдения звезд. Калибровку выполняем следующим образом: определим автоколлимационный отсчет микрометра M_{0i} при вертикальном положении биссектрисы угла α_i . Затем повернем призму вокруг горизонтальной оси так, чтобы рабочим углом стал угол α_1 , и найдем отсчет M_{01} . Многократно находим отсчеты M_{0i} и M_{01} для того, чтобы построить их зависимость от времени и привести к одному моменту. По этим данным получаем

$$\alpha_i/2 - \alpha_1/2 = (M_{0i} - M_{01})R, \quad i = 2, 3, \dots, n. \quad (10)$$

Аналогично сравниваем все углы с углом α_1 . Учитывая, что

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 180^\circ (n - 2), \quad (11)$$

из (10) и (11) получаем

$$n\alpha_1 = 180^\circ (n - 2) + 2 \sum_{i=1}^n (M_{01} - M_{0i})R, \quad (12)$$

откуда найдем α_1 , затем из (10) определим все углы α_i .

Прокалиброванная многогранная призма, скрепленная с чувствительной подвеской или уровнем, является, как видно из (8), эталоном зенитных расстояний. Но если ртутный горизонт и зенитное зеркало задают лишь одно зенитное расстояние, то призма содержит целый набор эталонных зенитных расстояний. Это позволяет при измерении зенитных расстояний z_σ подбирать такие рабочие углы α_i , для которых зенитное расстояние нормалей z_n максимально близко к z_σ . Наиболее интересен случай, когда

$$z_\sigma - z_n < \varepsilon, \quad (13)$$

где ε — рабочее поле зрения телескопа. В этом случае призму можно использовать для измерения зенитных расстояний светил с автоматическим исключением влияний гнутия, зальной и местной рефракции,

ошибок отсчетов круга. Для этого устанавливается визирная линия на эфемеридное зенитное расстояние звезды z_{σ} . Рабочим углом призмы выбираем угол α_i , для которого z_n , рассчитанное по формуле (8), удовлетворяет условию (13). Призму устанавливаем на высокую опору, расположенную вне павильона. Определяем отсчет M_0 . Затем призму убираем и находим отсчеты микрометра M_{σ} на звезды, проходящие через поле зрения. Снова устанавливаем призму и дальнейшие наблюдения проводим так же, как с зенитным зеркалом, но без поворота трубы телескопа. Зенитное расстояние z_{σ} получаем из выражения

$$z_{\sigma} = z_n + (M_{\sigma} - M_0) R. \quad (14)$$

Поскольку гнутые и рефракция на участке от микрометра до рабочей поверхности призмы одинаково искажают отсчеты M_0 и M_{σ} (с точностью до их короткопериодических вариаций), то в разности $M_{\sigma} - M_0$ их влияние исключается. Отсчеты круга при такой методике не определяются, и появляется возможность определять склонения светил абсолютным способом с помощью широкоугольных телескопов, не имеющих круга (например, зенит-телескопа ЗТЛ-180, рабочее поле которого 1.5°).

Новая ошибка предложенного метода заключается в изменчивости углов призмы. Возможно, что она будет незначительной для призм, выполненных из ситалла. Кроме того, призма калибруется непосредственно в павильоне, что позволит изучить поведение углов. Ошибки углов придут на смену ошибкам, вызываемым гнутым и аномальной рефракцией, но стабильность углов призмы, несомненно, выше стабильности этих двух эффектов, и выигрыш в точности будет существенным.

Нетрудно показать, что для измерения любых зенитных расстояний с помощью ЗТЛ-180 необходима 36-гранная призма, содержащая углы, кратные 5° . Чтобы призма имела широкие грани, соизмеримые с диаметром объектива телескопа, и была бы при этом компактной, ее можно изготовить в виде двух шестигранников, основания которых скреплены друг с другом через оптический контакт. Возможны различные варианты таких призм. Один из них — правильный шестигранник, скрепленный с шестигранником, содержащим пять углов по 115° и один угол 145° . Такую призму можно калибровать с помощью окулярного микрометра ЗТЛ-180. Возможны призмы, образованные четырехгранниками.

Таким образом, изготовление призм, позволяющих измерять зенитные расстояния светил с помощью ЗТЛ-180, не представляет принципиальных затруднений, тем более что погрешность углов не имеет значения (призма калибруется), а допуск на пирамидальность составляет $20''$.

Для практического опробования автоколлимационный метод применен при исследовании горизонтального гнутия меридианного круга АОЭ [3]. Использовался тот же прибор, что и для измерения рефракции. Труба телескопа устанавливалась горизонтально, перед объективом помещалось зеркало, скрепленное с уровнем. Проводились измерения, необходимые для определения отсчета M_{0S} , и находился отсчет круга M_{kS} . Затем труба поворачивалась на 180° и проводились аналогичные измерения. Зеркало для исключения его клиновидности поворачивалось в оправе на 180° вокруг оси, перпендикулярной к отражающей поверхности. Определялись отсчеты круга M_S и M_N по формулам

$$M_S = M_{kS} + (M_{0S} - M) R, \quad M_N = M_{kN} + (M_{0N} - M) R. \quad (15)$$

Горизонтальное гнутие b вычислялось по формуле

$$2b = M_S - (M_N - 180^{\circ}) - \Delta\varphi, \quad (16)$$

где $\Delta\varphi$ — угол между отвесными линиями в точках установки зеркала, который находился по расстоянию между этими точками.

Для приведения отсчетов M_S и M_N к одному моменту выполнялись длительные ряды наблюдений. Эти отсчеты снимались с графика их зависимости от времени. С аналогичного графика на тот же момент определялась температура воздуха в павильоне. Всего было выполнено семь рядов наблюдений в период с 16 апреля по 9 мая 1981 г., продолжительностью от 5 до 12 ч. Усредненные значения гнуптия и температуры показаны на рис. 5. Числа на кривой показывают время, стрелка — направление изменения температуры, вертикальные черточки — средние квадратичные ошибки.

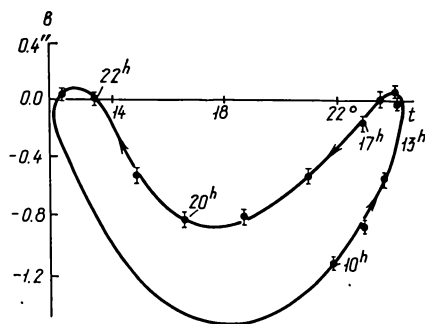


Рис. 5. Усредненная зависимость горизонтального гнуптия b от температуры воздуха. Числа на кривой — поясное время, стрелка — направление изменения температуры, вертикальные черточки — средние квадратичные ошибки

В этих измерениях обнаружен интересный эффект — неоднозначность зависимости гнуптия от температуры. Он имеет естественное объяснение. Гнуптие — это мера упругих деформаций трубы. Но если деформируемое тело подводить к одному и тому же температурному режиму разными путями (в одном случае повышая температуру, в другом — понижая), то деформации будут различными в силу явления гистерезиса, который в данном случае можно назвать температурным гистерезисом. Таким образом, кривая на рис. 5 изображает суточную петлю гистерезиса. Она имеет необычный вид: в ночные часы градиент гнуптия меняет знак — кривая идет вверх после 19 ч, хотя температура продолжает убывать.

Такое явление можно объяснить на основании того, что астрономическое гнуптие является суммой различных факторов: прогиба трубы, подвижек объектива и т. д. Допустим, что подвижки объектива изменяют гнуптие с изменением температуры в противофазе с прогибом трубы. Тогда сложную кривую на рис. 5 можно представить как сумму двух простых петель гистерезиса.

Интересная и, возможно, неслучайная особенность петли температурного гистерезиса заключается в том, что минимальные значения гнуптия приходится на время суток, когда скорость изменения температуры минимальна, а максимумы гнуптия (по абсолютной величине) наблюдаются в период быстрого изменения температуры.

Для окончательного суждения об этих особенностях поведения гнуптия необходим более обширный наблюдательный материал, но факт существования температурного гистерезиса можно считать установленным.

Заключение. Здесь описана сущность метода учета систематических ошибок меридианной астрометрии, стержнем которого является новый подход к использованию автоколлимационных зеркал, фиксированных относительно отвесной линии. В настоящее время используются зеркала, нормали которых вертикальны, — надирное зеркало, зенитное зеркало (в геодезии — зеркала с горизонтально ориентированной нормалью). Предлагается использовать автоколлимационные зеркала, фиксированные относительно отвесной линии, с произвольно ориентированной отражающей поверхностью. Такие устройства позволяют проводить прямые измерения эффектов, которые не имеют ничего общего по своей физической природе (приземную рефракцию и гну-

тие), причем они измеряются строго раздельно: гнутые — без влияния рефракции (так как зеркальная грань находится вблизи объектива), рефракция — без влияния гнутости, так как используется только микрометр. Наоборот, можно исключить суммарное влияние этих эффектов (локальной рефракции и гнутости) на результаты измерения зенитных расстояний, если измерять последние с помощью призмы, фиксированной относительно отвесной линии. Этот подход, очевидно, наиболее перспективен. Он не только освобождает от трудоемких исследований гнутости и локальной рефракции, но и позволяет исключить гнутости и рефракцию для моментов наблюдения светил, а не усредненные фиктивные величины, полученные в предварительных исследованиях.

Важнейшее достоинство предложенного прибора — система «телескоп — призма с чувствительной подвеской (или уровнем)» оказывается самоконтролируемой системой, у которой важнейшие характеристики определяются внутри системы. Так, цена деления уровня, углы призмы определяются через масштабный множитель микрометра, который становится тем самым единственным эталоном угла. Правда, возможно и обращение задачи: одну и ту же эталонную призму использовать для определения масштабных множителей разных телескопов. Возможность сравнения инструментальных систем телескопов — это еще одно ценное свойство предложенного устройства. Даже самые первые измерения, выполненные с далеко не совершенным прибором, позволили обнаружить новые эффекты в поведении рефракции (разность величин рефракции в северном и южном люках павильона) и гнутости (температурный гистерезис). Это показывает, что предложенные методы просты в реализации, и позволяет надеяться, что они могут повысить точность меридианных наблюдений в систематическом отношении.

Автор выражает благодарность за помощь в практической части работы Ш. Т. Хабибуллину, А. И. Нефедьевой, М. И. Лаврову, А. С. Мамакову, а также В. В. Подобеду за полезное обсуждение различных аспектов работы.

1. А. С. 1118856 СССР, G 01 C 21/02. Способ измерения разности зенитных расстояний светил / С. С. Перуанский. — Оpubл. 15.10.84. Бюл. № 38.
2. Перуанский С. С. Об определении координат точки наблюдения на поверхности Луны методом близких высот // Астрон. журн. — 1984. — 61, вып. 3. — С. 577—581.
3. Перуанский С. С., Абдуллина З. М., Аузинь Г. В. Исследование горизонтального гнутости меридианного круга АОЭ автоколлимационно-уровневым методом. — Казань, 1981. — 8 с. — (Рукопись деп. в ВИНТИ, № 4548-81).
4. Перуанский С. С., Курочкина Н. Б., Мухаметшина В. Н. и др. Измерения зальной рефракции в павильоне меридианного круга АОЭ автоколлимационным методом. — Казань, 1981. — 7 с. — (Рукопись деп. в ВИНТИ, № 3550-81).
5. Подобед В. В. Фундаментальная астрометрия. — М.: Наука, 1968. — 74 с.

Казан. ун-т
им. В. И. Ульянова-Ленина

Поступила в редакцию 03.12.86,
после доработки 02.02.87