

Методы измерения астрономической рефракции

Н.Н. Редичкин, И.Н. Редичкин

(Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону)

Необходимость исследований астрономической рефракции обусловлена тем, что в настоящее время существенно возросли требования к точности астрономо-геодезических определений, а также появился круг научных и практических задач геодезии и астрономии, которые требуют оперативного и высокоточного определения зенитных расстояний (Z) небесных светил вблизи горизонта.

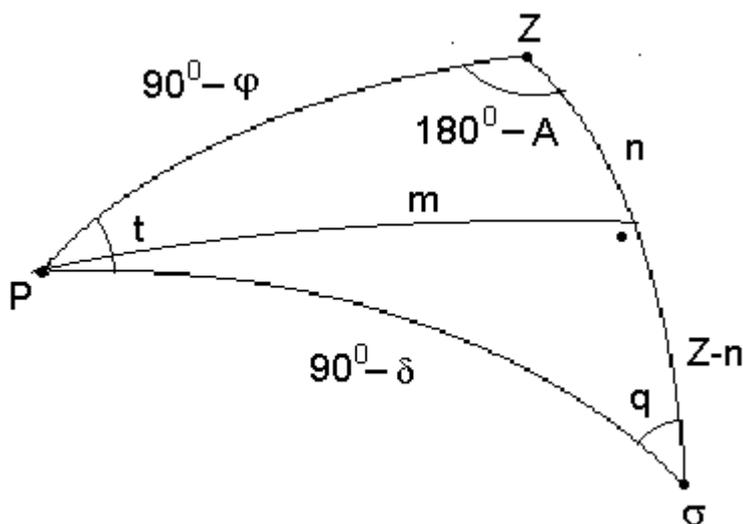
Основные пути решения этой задачи связаны с использованием возможностей современных ЭВМ и с повышением точности учета влияния внешних факторов, наиболее существенным, из которых является астрономическая рефракция (r_a).

В работе [1] отмечается, что «существующая точность учета r_a уже не удовлетворяет нужды традиционных разделов практической астрономии, в частности астрометрии». Кроме того, «развитие космонавтики потребовало дальнейшего повышения точности и экспрессности определений r_a вблизи горизонта при выполнении расчетов траекторий искусственных и естественных космических объектов» [1].

Исследования методов повышения точности определений r_a вблизи горизонта являются актуальными также, например, при выполнении работ на пунктах ФАГС (фундаментальная астрономо-геодезическая сеть), которые созданы на основании разработанной Федеральной службой геодезии и картографии России концепции и программы перехода топографо-геодезического производства на автономные методы спутниковых координатных определений.

Учет r_a вблизи горизонта на основании теории рефракции (т.е. путем решения ее интеграла различными способами) не всегда соответствует предъявляемым требованиям из-за трудностей учета аномалий рефракции (Δr_a), которые вблизи горизонта могут достигать величин, превышающих точность измерений на порядок и выше. Поэтому наиболее точным является «измерительный метод» (ИМ), который представляет собой определение астрономической рефракции как разницы между измеренным зенитным расстоянием (ζ) светила и вычисленным, т.е. свободным от влияния рефракции (Z).

Исследования ИМ учета и определения углов r_a и Δr_a являются актуальными, т.к. позволяют повысить точность измерений зенитных расстояний светил вблизи горизонта и разрабатывать способы учета аномалий рефракции на любых зенитных расстояниях.



Измерительный метод предусматривает вычисление углов r_a по формуле:

$$r_a = z - \zeta, \quad (1)$$

где ζ — измеренное зенитное расстояние светила; z — свободное от влияния рефракции зенитное расстояние светила, которое находят из решения параллактического треугольника $PZ\sigma$ (полус-зенит-светило).

В зависимости от состава исходной информации и измеренных величин различают следующие способы определения угла r_a по формуле (1) [2]:

а. Способ «часового угла»

В этом способе для определения зенитного расстояния ($z=Z\sigma$) необходимо знать широту пункта наблюдений (φ) (например, из астро-определений) и склонение (δ), которое выбирают на момент наблюдений (t) из каталога координат звезд.

Если в треугольнике $PZ\sigma$ измерить часовой угол (t), то по формуле (2) косинуса стороны найдем:

$$\left. \begin{aligned} z &= a \operatorname{arccos}(\cos \varphi \cos \delta \cos t); \\ t &= s - \alpha; \quad s = T + u; \\ u &= u_1 + \omega(T - T_1) + 0.02^s \operatorname{arccos} \zeta; \\ \omega &= \frac{u_2 - u_1}{(D_2 - D_1)^h}; \quad u_1 = s_1 - T_1; \quad u_2 = s_2 - T_2; \\ s_1 &= S_0 + (D_1 - (n+1)^h) + \mu(D_1 - (n+1)^h) + \lambda; \\ s_2 &= S_0 + (D_2 - (n+1)^h) + \mu(D_2 - (n+1)^h) + \lambda; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где α — прямое восхождение светила, выбираемое из каталога;

D — местное декретное время;

s, T, u — местное звездное время, отсчет по хронометру и поправка хронометра в момент наблюдений светила, соответственно;

$D_i; u_i; s_i; T_i$ — величины, полученные в моменты приема сигналов точного времени;

$\mu(D_i - (n+1)^h)$ — поправка за переход от среднего времени к звездному,

$$\left(\mu = \frac{1}{365254} \right);$$

n, ω — номер часового пояса места наблюдений и ход хронометра соответственно;

S_0 — звездное время в 0^h всемирного;

$0,02^s \operatorname{arccos} \zeta$ — поправка за суточную абберацию;

λ — долгота места наблюдений.

б. Азимутальный способ измерительного метода определения углов r_a

В этом способе, предложенном в работе [2], необходимо иметь широту φ , склонение светила δ и его измеренный азимут A . Значения z можно вычислить по формуле (3) [2]:

$$z = a \operatorname{arccos} \left(\frac{s \cdot \varphi \cdot \sin \delta \cdot \sin A \cdot \sqrt{1 - s^2 \sin^2 A} + s \cdot \cos \delta \cdot \cos A \cdot \sqrt{1 - s^2 \sin^2 A}}{1 - s^2 \sin^2 A} \right) \quad (3)$$

или по формуле (4), полученной на основании работы [3]:

$$z = a \operatorname{arccos} \left(\frac{c \cdot r \cdot A}{t \cdot \varphi \cdot g} \right) \quad (4)$$

Возможность и особенности решения треугольника по (4), т.е. по двум сторонам и углу, прилежащему к одной из них, рассмотрены в работе [4].

в. Комбинированный способ

Способ определений r_a , применяя который измеряют одновременно зенитное

расстояние, часовой угол и азимут небесного светила, называется комбинированным. Если экваториальные координаты наблюдаемого светила известны с высокой точностью, то для одного измеренного зенитного расстояния светила определяют два значения угла рефракции: r_a^t - по формулам (1), (2) и r_a^A - по формулам (1), (3) или (4). Это является хорошим контролем точности наблюдений и дает возможность производить оценку точности полученных результатов.

Поэтому в пунктах, где есть возможность решать все трудности организационного характера, связанные с регистрацией времени моментов наблюдений, применение комбинированного способа является более предпочтительным и надежным по сравнению с другими способами измерительного метода определений r_a .

г. Интерполяционный способ определений рефракции измерительным методом

Возможность применения такого способа основана на предположении, что измерено зенитное расстояние искусственного небесного объекта (ИНО) в момент пересечения проекций (на небесную сферу) орбиты ИНО и суточной параллели опорной звезды [5],[6].

Предполагается также, что:

- экваториальные координаты ИНО неизвестны;

- измерительным методом определены углы r_a опорной звезды до и после наблюдений ИНО.

Тогда, углы r_a^H для (ИНО) можно вычислить путем нелинейного интерполирования, используя, например, интерполяционный многочлен Лагранжа и учитывая влияние параллактической рефракции.

Из курса «Численные методы математического анализа» известно, что интерполяционный многочлен Лагранжа имеет вид [7]:

Полагая, что $z=y$; $r_{a_i} = x_i$, найдем (для четырех известных r_a и одного неизвестного):

$$r_a^H = r_{a_0} \cdot \frac{(z - z_1) \cdot (z - z_2) \cdot (z - z_3)}{(z_0 - z_1) \cdot (z_0 - z_2) \cdot (z_0 - z_3)} + r_{a_1} \cdot \frac{(z - z_0) \cdot (z - z_2) \cdot (z - z_3)}{(z_1 - z_0) \cdot (z_1 - z_2) \cdot (z_1 - z_3)} +$$

$$+ r_{a_2} \cdot \frac{(z - z_0) \cdot (z - z_1) \cdot (z - z_3)}{(z_2 - z_0) \cdot (z_2 - z_1) \cdot (z_2 - z_3)} + r_{a_3} \cdot \frac{(z - z_0) \cdot (z - z_1) \cdot (z - z_2)}{(z_3 - z_0) \cdot (z_3 - z_1) \cdot (z_3 - z_2)},$$

где z - зенитное расстояние небесного объекта (ИНО), для которого определяют угол

r_a^H ;

r_{a_i} ; z_i - углы рефракции и зенитные расстояния опорной звезды.

Применение этого способа возможно, если в процессе наблюдений опорной звезды удалось измерить зенитное расстояние ИНО в створе измеренных r_a .

Литература

1. Алексеев А.В., Кабанов М.В., Куштин И.Ф., Нелюбин Н.Ф. Оптическая рефракция в земной атмосфере (наклонные трассы). - Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1983.- 230с.
2. Куштин И.Ф. Методы определения углов рефракции и поправок в дальность.- В сб.: Геодезия и фотограмметрия, изд. РИСИ, Ростов-на-Дону, 1986.- с.3-15.
3. Халхунов В.З. Курс сферической астрономии.- М.: Недра, 1972.- 304с.
4. Ганьшин В.Н., Редичкин Н.Н. Решение треугольников по двум сторонам и углу, расположенному против одной из них.- В сб.: Геодезия и фотограмметрия. Изд. РИСИ, Ростов-на-Дону, 1985.- с.45-49.
5. Куштин И.Ф. Геодезия. Учебно-практическое пособие.- М.: «Издательство ПРИОР», 2001.- 448с.

6. Редичкин Н.Н. Экспериментальные определения углов астрономической рефракции.- В сб.: Геодезия и фотограмметрия. РИСИ, Ростов-на-Дону, 1980.- с.52-65.
7. Данилина Н.И., Кваша О.П. Численные методы.- М.: Высшая школа, 1976.- 367с.