

Ф. Д. ЗАБЛОЦКИЙ, В. В. КИРИЧУК

ВЫЧИСЛЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ И ЕЕ АНОМАЛИЙ НА ЭВМ «М-222»

Как известно [1, 2, 3, 8], рефракционное влияние атмосферы на астрономические наблюдения можно разделить на нормальную рефракцию и ее аномалии. Нормальная рефракция соответствует некоторому среднему состоянию атмосферы (в случае таблиц рефракции — определенной модели атмосферы). Аномальная, напротив, носит ярко выраженный местный характер, следовательно, таблицы рефракции, основанные на среднем физическом состоянии атмосферы в конкретном районе

земного шара, не являются представительными в глобальном смысле и не могут использоваться универсально.

Поэтому необходимо улучшать существующие таблицы рефракции, то есть приспособлять их к местным физико-географическим условиям, или, по крайней мере, давать им оценку с точки зрения надежности на основе сравнения действительной (полученной из наблюдений), табличной* и аэрологической (вычисленной по результатам зондирования атмосферы) рефракций.

Вычисления действительных, табличных и аэрологических значений рефракции обычно выполняются по следующим формулам:

$$\rho = \zeta_0 - \zeta; \quad (1)$$

$$\lg \rho_n = \mu + \lg \operatorname{tg} z + \lambda \gamma + A(B + T) + C + D + E; \quad (2)$$

$$\rho_a = \int_1^{\mu_1} \frac{\frac{R\mu_1}{r\mu} \sin \zeta}{\sqrt{1 - \left(\frac{R\mu_1}{r\mu}\right)^2 \sin^2 \zeta}} \cdot \frac{d\mu}{\mu}. \quad (3)$$

Здесь ζ — измеренное зенитное расстояние светила; ζ_0 — теоретическое зенитное расстояние светила, вычисляемое по его часовому углу с помощью формул:

$$\cos \zeta_0 = \frac{\cos(\varphi - M) \cos t \cos \delta}{\cos M}; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos t}; \quad (5)$$

$$t = T + u - \alpha, \quad (6)$$

где $\mu + \lg \operatorname{tg} z$, λ , γ , A , B , T , C , D — величины, интерполируемые из таблиц рефракции [4] соответственно по измеренному зенитному расстоянию, температуре барометра и спектральному классу светила; E — поправка в логарифм рефракции за широту и высоту места наблюдения; μ_1 и μ — коэффициенты преломления воздуха в начальной (у инструмента) и текущей точках светового луча; R и r — радиус Земли и радиус-вектор текущей точки светового луча соответственно.

Сложность вычислений аэрологической рефракции, заключающихся в численной оценке интеграла рефракции (3) на основе данных зондирования атмосферы, потребовали привлечения ЭВМ, что и было практически осуществлено в конце 50-х — начале 60-х годов.

В настоящее время разработан ряд программ для различных типов ЭВМ, позволяющих автоматизировать процесс определения аэрологической рефракции [2, 5, 6, 7, 9].

Что же касается нахождения действительной и табличной рефракций, то, очевидно, из-за простоты вычислений по формулам (1), (2), (4—6) при небольшом числе наблюдений, вопрос о применении ЭВМ в этом случае до сих пор остается открытым.

Но если учесть, что для определения действительных и табличных значений астрономической рефракции, кроме обработки результатов наблюдений небесных светил (звезд, Солнца и планет), необходима обработка журналов наблюдений, а также, принимая во внимание тот факт, что для получения надежно обоснованных выводов о величинах рефракции в полном диапазоне зенитных расстояний от 0 до 90° в различных

* Имеются в виду «Таблицы рефракции Пулковской обсерватории», как основные, применяющиеся в СССР.

азимутах необходимы сотни и тысячи наблюдений светил, то приходится констатировать, что простота вычислений по формулам (1), (2), (4—6) практически не снижает затрат времени на вычислительные работы. Таким образом, очевидной становится целесообразность применения ЭВМ для определения действительной и табличной рефракции.

В августе 1973 г. экспедиция Львовского политехнического института выполнила экспериментальные работы по определению астрономической рефракции на больших зенитных расстояниях $80^\circ \leq z \leq 90^\circ$ в Заполярье.

Объектом наблюдений служило Солнце. Общий объем — 720 наблюдений, для обработки которых на ЭВМ «М-222» была составлена программа на языке АЛГОЛ-60.

При составлении программы учтена специфика объекта наблюдений и применявшегося оборудования. В основу программы были положены следующие формулы:

$$\left. \begin{aligned} \zeta &= (270^\circ + MZ) - 2L \\ \zeta &= 2R - (90^\circ + MZ) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\cos \zeta'_0 = \frac{\cos(\varphi - M) \cos \delta_\odot \cos t_\odot}{\cos M}; \quad (8)$$

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg} \delta_\odot}{\cos t_\odot}; \quad (9)$$

$$t_\odot = T + u + E; \quad (10)$$

$$\zeta_0 = \zeta'_0 \pm R_\odot + \rho_\odot \sin \zeta'_0; \quad (11)$$

$$\rho = \zeta_0 - \zeta; \quad (12)$$

$$\lg \rho_n = \mu + \lg \operatorname{tg} z + \lambda_\gamma + A \cdot B; \quad (13)$$

$$\Delta \rho = \rho - \rho_0. \quad (14)$$

Здесь MZ — место зенита; L и R — отсчеты по вертикальному кругу (при наблюдениях применялся оптический теодолит ОТ-02) при «круге лево» и «круге право» соответственно; δ_\odot и E склонение Солнца и уравнение времени; R_\odot и ρ_\odot — радиус и горизонтальный экваториальный параллакс Солнца; t_\odot — часовой угол Солнца; $\Delta \rho$ — аномалия астрономической рефракции.

При вычислении табличной рефракции в логарифм не вводились поправки C , D и E , ибо согласно [1, 3], суммарная погрешность при этом существенно меньше ошибок определения рефракции на больших зенитных расстояниях из наблюдений Солнца. Кроме того, не учитывалась поправка T , так как при наблюдениях применялись компенсированные барометры-анероиды.

Программа состоит из двух подпрограмм (см. рисунок).

Первая подпрограмма обеспечивает обработку наблюдений Солнца вплоть до получения действительных значений астрономической рефракции.

Вторая подпрограмма обеспечивает вычисление соответствующих табличных значений рефракции и аномалий рефракции.

Исходными данными для первой подпрограммы служат: 1) вводимые во временной последовательности моменты наблюдений, отсчеты вертикального круга, значения места зенита, температуры и давления воздуха для данной даты наблюдений; 2) средние моменты приема сигналов времени; 3) широта и долгота места наблюдений; 4) данные из «Астрономического Ежегодника», необходимые для интерполирова-

ния склонения параллакса, радиуса Солнца и уравнения времени на моменты наблюдений Солнца.

Исходными данными для второй подпрограммы служат значения величин $\mu + \lg \operatorname{tg} z$, λ , A для диапазона $80^\circ \leq z \leq 90^\circ$ и величин γ и B для диапазона изменения температуры и давления воздуха за весь период, выбранные из таблиц рефракции [4].

Образец выдачи на печать

№ таб. наблюд.	Моменты наблюдений	Отсчеты вертикального круга	Температура воздуха	Давл. воздуха	Измеренное зенитное расстояние	Действ. рефракция	Табл. рефракция	Аномалия рефракции
1	$h^m s$ 4 55 57,22	87° 41' 09,9	7,9	743,2	85° 24' 38,5	10 11,9	10 23,1	-11,2
2	4 59 36,18	87 18 28,6	7,9	743,3	84 37 15,9	9 20,2	9 07,9	+12,3
3	5 00 37,36	87 31 40,4	7,9	743,3	85 03 39,5	9 52,7	9 47,6	+ 5,0

В случае использования таких объектов наблюдений как Луна, планеты, звезды в программе необходимо заменить несколько перфокарт (для универсальных инструментов — введение поправок за уровень при вертикальном круге, вычисление измеренных зенитных расстояний светил, а также вычисление координат светил).

Программа рассчитана на обработку полевых наблюдений в их временной последовательности по датам. Переход к последующей дате осуществляется заменой перфокарты программы с информацией, касающейся постоянных для каждой даты величин. При большом числе дат наблюдений программу можно легко видоизменить, внося в память машины всю информацию, относящуюся ко всем датам, или к большей их части.

С помощью описанной программы обработано свыше 500 наблюдений Солнца при общем расходе машинного времени около одного часа.

Вывод на печать полностью соответствует требованиям последующего анализа рефракционных величин.

Образец информации, выводимой на печать, приведен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко Н. А. Определение астрономической рефракции в различные периоды года. — «Астрономия и астрофизика», 1972, вып. 17.
2. Колчинский И. Г. Рефракция света в земной атмосфере. Киев, «Наукова думка», 1967.
3. Киричук В. В. Об аномалиях астрономической рефракции вблизи горизонта. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», вып. 3. М., 1971.
4. Таблицы рефракции Пулковской обсерватории. Издание 4-е. М.—Л. АН СССР ГАО, 1956.
5. Тельнюк-Адамчук В. В., Грегулюк О. Я. Обчислення рефракції на електронно-обчислювальній машині «Раздан-2». — «Вісник Київського університету. Серія астрономії», 1967, № 9.
6. Garfinkel. Astronomical refraction in a polytropic atmosphere. — A. J. vol. 72, 1967.
7. Hikuti Naokiti. Vertical distribution of the atmospheric density and astronomical refraction. — «Proc. Intern. hat. Obser.» Mizusawa, 10, 1970.
8. Teleki G. Local variations of astronomical refraction, Studii și cercetari astron. — Akad. RSR, 14, 1, 1969.
9. Teleki G. Astronomska refrakcija i njeni problemi. Pubbls, Observ. astron. Beograd, 16, 1970.

Работа поступила 15 января 1974 г. Рекомендована кафедрой теории математической обработки геодезических измерений Львовского политехнического института.