

ОБ ИЗМЕНЯЕМОСТИ СПУТНИКОВОЙ РЕФРАКЦИИ В АТМОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Известно, что искривление светового луча в атмосфере зависит от величины ее параметров по траектории луча. Применение различного рода моделей стандартных атмосфер для вычисления рефракции при наблюдении объектов в земной атмосфере недопустимо, так как реальная атмосфера есть неоднородная динамическая среда с постоянно изменяющимися параметрами как в пространстве, так и во времени. Поэтому при вычислении спутниковой рефракции учитывают отклонения фактических условий измерений от стандартных условий. Однако при зенитных расстояниях, близких к 90° , это не дает желаемого результата [1] (остаточные погрешности являются значительными).

В настоящей статье покажем изменяемость спутниковой рефракции в атмосфере северного полушария. Для этого нами обработан большой аэрологический материал для атмосферы северного полушария [2].

В работе [2] приведены среднемесячные значения метеорологических элементов для высот от 1 до 24 км в узлах картографической сетки. В результате анализа профилей плотности атмосферы выделены граничные значения изменяемости плотности на высотах от 1 до 24 км. Выделение граничных значений изменяемости плотности атмосферы и группирование их профилей проводилось по значениям плотности на высоте 1 км и разности значений плотности на высотах 1 и 2 км.

Значения граничных интервалов этих параметров соответствуют точкам на земной поверхности, которые находятся в северном полушарии на широтах примерно 70° и 5° . Они соответственно равны:

$$I \begin{cases} 1,208 < \bar{\rho} < 1,229; \\ 0,143 < \Delta < 0,151; \end{cases} \quad II \begin{cases} 1,082 < \bar{\rho} < 1,103; \\ 0,089 < \Delta < 0,097; \end{cases}$$

где $\bar{\rho}$ — значения плотности атмосферы на высоте 1 км;

Δ — разность значений плотности на высотах 1 и 2 км.
По формуле

$$r_A = \frac{\rho'' c_\lambda (R + H_A) \sin z}{d} \times$$

$$\times \left\{ \left| \sum_{i=1}^n \int_{d_i}^{d_{i+1}} \frac{a_{0i} \exp \{ a_{0i} + a_{1i} [\sqrt{(R + H_A + H)^2 - 2 \times} \right. \right.}{\times (R + H_A + H) \xi \cos (r - \varphi) + \xi^2 - (R + H_A)} \left. \left. \right\} \right| \times$$

$$\left. \left| \frac{\{ 1 + c_\lambda \exp \{ a_{0i} + a_{1i} [\sqrt{(R + H_A + H)^2 - 2 \times} \right. \right.}{\times (R + H_A + H) \xi \cos (r - \varphi) + \xi^2 - (R + H_A)} \left. \left. \right\} \right| \right\} \times$$

$$\frac{\xi d \xi}{\sqrt{(R + H_A + H)^2 - 2(R + H_A + H) \xi \cos (r - \varphi) + \xi^2}} +$$

$$+ \sum_{j=1}^k \int_{d_j}^{d_{j+1}} \frac{b_{0j}}{\left\{ \left| 1 + c_\lambda \{ b_{0j} + b_{1j} [\sqrt{(R + H_A + H)^2 - 2 \times} \right. \right. \right.} \times$$

$$\left. \left. \left. \frac{\times (R + H_A + H) \xi \cos (z - \varphi) + \xi^2 - (R + H_A)}{\right\} \right| \right\} \times$$

$$\times \frac{\xi d \xi}{\sqrt{(R + H_A + H)^2 - 2(R + H_A + H) \xi \cos (r - \varphi) + \xi^2}}$$

нами для объекта, наблюдаемого на различных высотах и зенитных расстояниях, вычислены значения рефракции для двух указанных выше граничных интервалов изменчивости плотности на высоте 1 км и разностей значений плотности на высотах 1 и 2 км. Здесь в формуле r_A — угол спутниковой рефракции; ρ'' — число секунд в радиане; z — теоретическое зенитное расстояние; c_λ — дисперсионный коэффициент, зависящий от физико-химических свойств среды; φ — геоцентрический угол между радиусами, проведенными через точку наблюдения и объект (при условии, что Земля принимается за шар с радиусом $(R + H_A)$); H — высота объекта наблюдения; a_{0i}, a_{1i} — параметры i -го слоя атмосферы; b_{0j}, b_{1j} — параметры j -го слоя; ξ — ось координат, совмещенная с хордой и имеющая начало в точке расположения наблюдаемого объекта; η — ортогональная к ξ ось, лежащая в отвесной плоскости; d — длина хорды световой кривой.

Значения спутниковой рефракции для граничных значений ρ и Δ приведены в таблице.

Вычисление интегралов, содержащихся в выражении для вычисления рефракции, было проведено по методу численного интегрирования с использованием ЭВМ «Минск—32».

На точность определения r_A влияют ошибки численного интегрирования и погрешности в значениях коэффициентов $a_{0i}, a_{1i}, b_{0j}, b_{1j}$. Нами установлена предельная величина искажения вычисленного угла r_A вследствие суммарного влияния упомяну-

тых погрешностей, равная 1,2% от величины рефракции, что соответствует $\sim 20''$ при $z=90^\circ$ и $H=300$ км.

Значения спутниковой рефракции при различных зенитных расстояниях и высотах наблюдаемого объекта для двух граничных интервалов I и II

Z	Граничные интервалы	H (км)					
		5	10	20	40	100	300
0,5	I	0,1	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5
	II	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5
	Разность	0,0	0,0	+0,1	+0,1	0,1	0,0
1°	I	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1
	II	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9
	Разность	+0,1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2
5°	I	1,5	2,4	3,6	4,6	5,2	5,5
	II	0,9	1,6	2,7	3,6	4,2	4,6
	Разность	+0,6	+0,8	+0,9	+1,0	+1,0	+0,9
30°	I	9,8	16,0	23,8	30,2	34,1	36,2
	II	5,8	10,9	17,8	24,0	27,9	30,0
	Разность	+4,0	+5,1	+6,0	+6,2	+6,2	+6,3
60°	I	29,3	47,8	71,3	90,1	102,0	108,4
	II	17,3	32,6	53,4	71,8	83,3	89,6
	Разность	+12,0	+15,2	+17,9	+18,3	+18,7	+18,8
85°	I	185,8	294,6	422,1	520,2	584,9	620,9
	II	108,8	198,0	310,1	403,9	466,2	500,9
	Разность	+77,0	+96,6	+112,0	+116,3	+118,7	+120,0
88°	I	396,4	587,1	787,8	941,5	1056,0	1128,4
	II	225,5	378,8	551,8	693,7	800,0	867,4
	Разность	+170,8	+208,3	+236,0	+247,9	+256,0	+261,0
90°	I	962,9	1237,8	1518,4	1750,5	1961,7	2119,0
	II	463,3	660,0	877,5	1070,0	1244,5	1374,5
	Разность	+499,6	+577,8	+640,9	+680,5	+717,2	+744,5

Как видно из таблицы, разность значений рефракции на малых зенитных расстояниях незначительна. При увеличении зенитных расстояний и высот она возрастает и для зенитного расстояния 90° и высоты объекта, равной 300 км, достигает $700''$.

Выводы: 1. Для определения спутниковой рефракции при наблюдении объектов вблизи горизонтальной зоны стандартные атмосферы применять нецелесообразно. 2. Для полного учета спутниковой рефракции при наблюдении ИСЗ и других объектов на больших зенитных расстояниях следует проводить зондирования атмосферы по траектории светового луча.

Список литературы: 1. Колчинский И. Г., Курьянова А. Н., Шмелькина Е. Б. Таблицы поправок за рефракцию при наблюдении объектов в земной атмосфере. — Астрометрия и астрофизика, № 5, Киев, Наукова думка, 1969. 2. Средние значения температуры, давления и плотности на стандартных высотах в узлах картографической сетки над северным полушарием / Под. ред. Ханевской И. В. — М., 1969.

Статья поступила в редколлегию 13.01.81