

## ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.232.283

Е. М. ВОРОНОЙ

### МЕТОД УСКОРЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ АЗИМУТА ПОЛЯРНОЙ

Способы определения азимута из астрономических наблюдений позволяют ориентировать линии с высокой точностью, что широко используется в астрономо-геодезических работах. Для определения азимуты со средними квадратическими ошибками от  $\pm 15''$  до  $\pm 3'$  применяются приближенные способы. Наблюдения выполняют малыми теодолитами по упрощенной программе, а вычисления производят с использованием таблиц и номограмм. Способы быстрого определения азимуты требуют небольших затрат времени, что очень важно для специальных работ. Они широко применяются в инженерно-геодезической практике, в мореходстве и военном деле. Для упрощенных вычислений не нужна высокая специальная подготовка исполнителя. Большой вклад в разработку ускоренных способов определения и вычисления астрономических азимуты внесли советские геодезисты.

Известно, что Полярная особенно удобна для определения азимута по часовому углу. Она является яркой незаходящей близполюсной звездой с малым азимутым, который медленно изменяется. Это упрощает расчет таблиц ее приближенных азимуты.

Таблицы получаются довольно компактными и занимают от одной страницы (при точности в  $1'$ ) до трех—шести страниц (при точности  $3-5''$ ). Обычно входом в таблицы являются местное звездное время и широта [1]. Чтобы рассчитать местное звездное время  $s_M$  и азимут  $a_N$ , по карте крупного масштаба (обычно  $1:50\,000-1:100\,000$ ) определяют геодезическую широту  $B$  и долготу  $L$  места наблюдения с ошибкой не более  $\pm 1'$ .

Для приближенного определения азимута местное звездное время чаще всего вычисляется по формуле [4]

$$s_M = (T_M - 3^h) + S_0 + \Delta s_0 + L, \quad (1)$$

где  $T_M$  — средний момент наблюдений (московского времени);  $S_0$  — звездное время в Гринвиче в  $0^h$ ;  $\Delta s_0$  — поправка за переход от интервала среднего к интервалу звездного времени

$$\Delta s_0 = 10^s (T_M - 3)^h. \quad (2)$$

Однако при всей простоте пользования таблицами азимуты Полярной расчет  $s_M$  для лиц среднего технического состава затруднителен. К тому же для расчета нужны «Астрономический ежегодник СССР» [1], «Каталог координат Солнца и ярких звезд» [2] или «Морской астрономический ежегодник» [3].

Предлагаемые автором метод и таблицы для вычисления местного звездного времени (для входа в таблицы азимуты Полярной) просты и уже нашли широкое применение в работах инженеров и техников-геодезистов. Для вычислений азимуты Полярной с ошибкой не более

1,5' по предлагаемому методу и таблицам требуется до одной минуты времени.

Местное звездное время рекомендуется вычислять по формуле:

$$s_m = L + S'_0 + \Delta s'_0 + \Delta T, \quad (3)$$

где  $S'_0$  — звездное время в Гринвиче на последнее число предыдущего месяца для целых часов московского времени;  $\Delta s'_0$  — изменение звездного времени в полночь от последнего числа предыдущего месяца до даты наблюдения;  $\Delta T$  — минуты момента наблюдений в градусной мере.

Таблица 1  
Звездное время ( $S'_0$ ) в Гринвиче на последнюю дату месяца 1973 г.

$T_m$	Месяцы					
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
19 <sup>h</sup>	340°10'	10°43'	38°19'	68°52'	98°26'	129°00'
20	355 13	25 46	53 22	83 55	113 29	144 02
21	10 15	40 48	68 24	98 57	128 32	159 05
22	25 17	55 51	83 26	114 00	143 34	174 07
23	40 20	70 53	98 29	129 02	158 36	189 10
24	55 22	85 56	113 31	144 05	173 39	204 12
1	69 26	99 59	127 35	158 08	187 42	218 16
2	84 28	115 01	142 37	173 10	202 45	233 18
3	99 30	130 04	157 40	188 13	217 47	248 20
4	114 33	145 06	172 42	203 15	232 50	263 23
5	129 35	160 09	187 45	218 18	247 52	278 25
6	114 38	175 11	202 47	233 20	262 54	293 28
7	159 40	190 14	217 50	248 23	277 57	308 30
8	174 43	205 16	232 52	263 25	292 59	323 33

Продолжение таблицы

$T_m$	Месяцы					
	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й	12-й
19 <sup>h</sup>	158°34'	189°07'	219°41'	249°15'	279°48'	309°22'
20	173 36	204 10	234 43	264 17	294 51	324 25
21	188 39	219 12	249 46	279 20	309 53	339 27
22	203 41	234 15	264 48	294 22	324 56	354 30
23	218 44	249 17	279 50	309 25	339 58	9 32
24	233 46	264 20	294 53	324 27	355 00	24 35
1	247 50	278 23	308 56	338 30	9 04	38 38
2	262 52	293 26	323 59	353 33	24 06	53 40
3	277 55	308 28	339 01	8 35	39 09	68 43
4	292 57	323 30	354 04	23 38	54 11	83 45
5	308 00	338 33	9 06	38 40	69 14	98 48
6	323 02	353 35	24 09	53 43	84 16	113 50
7	338 04	8 38	39 11	68 45	99 18	128 53
8	353 07	23 40	54 14	83 48	114 21	143 55

Все величины в формуле (3) вычисляются в градусной мере.

Величина  $S'_0$  — выбирается с точностью до 1' из табл. 1 на целые часы момента наблюдений московского времени (дата учитывается в  $\Delta S'_0$ ). Эта таблица составляется по данным «Морского астрономического ежегодника» или «Астрономического ежегодника СССР» для целых часов каждого месяца по последней дате предшествующего.

Для вычисления  $\Delta S'_0$  используется несоответствие средних и звездных суток (разница 3<sup>m</sup>56<sup>s</sup>,5 или 59'08" [1]). При получении  $\Delta S'_0$  с точностью до 1' берется число градусов, равное дате, вычитается такое же

число минут, и на каждые семь суток добавляется одна минута. Например, на 16-е число поправка  $\Delta S'_0$  будет равна

$$\Delta S'_0 = 16^\circ - 16' + 2' = 15^\circ 46'.$$

Поправка  $\Delta T$  (за перевод минут среднего момента наблюдений в градусную меру) будет равна:

при $m = 1 - 0^\circ 15'$	при $m = 8 - 2^\circ 00'$
„ $m = 2 - 0 30$	„ $m = 9 - 2 15$
„ $m = 3 - 0 45$	„ $m = 10 - 2 30$
„ $m = 4 - 1 00$	„ $m = 20 - 5 00$
„ $m = 5 - 1 15$	„ $m = 30 - 7 30$
„ $m = 6 - 1 30$	„ $m = 40 - 10 00$
„ $m = 7 - 1 45$	„ $m = 50 - 12 30$

Так, для  $27^m$

$$\Delta T = 5^\circ 00' + 1^\circ 45' = 6^\circ 45'.$$

Время  $s_m$  вычисляется путем суммирования всех величин в формуле (3). По рассчитанному значению  $s_m$  входят в табл. 2 азимутов Полярной и определяют румб  $a'_N$ , затем и азимут  $a_N$ . Величину  $s_m$  достаточно вычислять с точностью до  $10'$ , что соответствует точности азимута в  $0,2'$ .

Табл. 2 составлена по средним значениям  $\alpha_N$  и  $\delta_N$  для 1973 г. Использование средних координат Полярной может вызвать ошибки в 1973 г. прямого восхождения и склонения соответственно до  $1^m 44^s = 26'$  и  $0,3'$ , а в пределах 18,6 лет — до  $36,5'$  и  $0,8'$  (например, в ноябре 1958 г.). Чтобы установить предельную ошибку азимута при составлении таблиц по средним координатам Полярной, путем дифференцирования простейшей формулы для вычисления азимута [5]

$$\alpha_N = \Delta'_N \sin t_N \sec h_N \quad (4)$$

по переменным  $\Delta$  и  $t$  и замены дифференциалов истинными ошибками получаем:

$$\Delta a_t = \frac{\Delta'_N}{\rho'} \cos t_N \sec h_N \Delta t'; \quad (5)$$

$$\Delta a_\Delta = \cos t_N \sec h_N \Delta'_\Delta \quad (6)$$

или при  $\Delta_N = 52'$ ,  $t = 0^h$  и  $h_N \leq 60^\circ$

$$\Delta a'_t = \frac{52' \cdot 1 \cdot 2 \cdot 36,5'}{3438'} = 1,1',$$

$$\Delta a'_\Delta = 1 \cdot 2 \cdot 0,8' = 1,6'.$$

Предельная ошибка азимута в результате использования средних координат может достигать

$$m_{a \max} = \pm \sqrt{1,1'^2 + 1,6'^2} = \pm 1,9'.$$

Но средняя квадратическая ошибка не превзойдет  $\pm 0,6' - 0,7'$ .

Таблицы 1 и 2 составлены на 1973 г. с точностью до  $0,1'$  для полюсы  $B = 50^\circ \pm 2^\circ$ . В колонке  $\Delta B$  дана поправка в румб азимута за изменение широты на  $1^\circ$  и знак поправки (широта больше  $50^\circ$  — знак поправки +; широта меньше  $50^\circ$  — знак поправки -).

(Румб  $a'_N$  Полярной) на 1973 г.

$S_M^*$	$a'_N$	$S_M$	$\pm \Delta a_B$	$S_M$	$a'_N$	$S_M$	$\pm \Delta a_B$	$S_M$	$a'_N$	$S_M$	$\pm \Delta a_B$
31,5	0	31,5	0,0	61	0	2	0,9	91	1	332	1,4
32	0,8	212		181	40,2	241		152	9,7	271	
33	2,2	213		180	41,4	242		151	10,4	272	
34	3,6	214		179	42,6	360		150	11,0	273	
35	5,1	215	0,1	178	43,8	359	1,0	149	11,7	274	1,5
36	6,5	216		177	45,0	358		148	12,3	275	
37	7,9	217		176	46,2	357		147	12,9	276	
38	9,3	218	0,2	175	47,4	356	1,1	146	13,5	277	
39	10,7	219		174	48,5	355		145	14,1	278	
40	12,1	220	0,3	173	49,7	354		144	14,6	279	
41	13,6	221		172	50,8	353		143	15,1	280	1,6
42	15,0	222		171	51,9	352	1,2	142	15,6	281	
43	16,4	223		170	52,9	351		141	16,0	282	
44	17,7	224	0,4	169	53,9	350		140	16,4	283	
45	19,1	225		168	54,9	349	1,2	139	16,9	284	1,6
46	20,5	226		167	55,9	348		138	17,3	285	
47	21,9	227		166	56,8	347		137	17,7	286	
48	23,3	228		165	57,8	346		136	18,0	287	
49	24,7	229	0,5	164	58,8	345	1,3	135	18,3	288	1,7
50	26,0	230		163	59,8	344		134	18,6	289	
51	27,3	231		162	0	343		133	18,9	290	
52	28,6	232	0,6	161	1	342	1,3	132	19,1	291	1,7
53	29,9	233		160	1,7	341		131	19,3	292	
54	31,2	234	0,7	159	2,6	340		130	19,5	293	
55	32,5	235		158	3,5	339		129	19,6	294	
56	33,9	236		157	4,3	338	1,3	128	19,7	295	
57	35,2	237	0,8	156	5,1	337		127	19,8	296	
58	36,5	238		155	6,0	336		126	19,9	297	
59	37,7	239	0,9	154	6,8	335	1,4	125	20,0	298	1,7
60	39,0	240		153	7,6	334		124	20,2	299	
				90	8,3	333		123	20,3	300	
				153	9,0	270		120	20,3	300	

\* Если  $S_M$  берется в колонках слева, то  $a_N = 360 - a'_N$ , если справа, то  $a_N = a'_N$ .

В зависимости от требуемой точности определения азимута Полярной, табл. 2 можно составлять с применением различных формул. Так, в данном случае румб азимута  $a_N$  вычислен по формуле [3]

$$-a'_N = \frac{\Delta \sin t}{\cos(\varphi + \Delta \cos t)}. \quad (7)$$

Румб азимута с точностью 2—3' можно найти по табл. 6 Каталога координат Солнца и ярких звезд [2].

Поправку  $\Delta a_B$  удобнее всего получить интерполяцией величин румбов азимутов Полярной для нужных широт по табл. 4 того же Каталога.

Точность вычисления азимута можно повысить, если учесть поправку за переход от средних координат Полярной к видимым.

#### Пример вычисления азимута

Условия:	дата	17.2.1973	$B$	$50^\circ 29'$
	$T_m$	$22^h 10^m$	$L$	$24^\circ 10'$
Вычисления:	$L$	$24^\circ 10'$	$\Delta B$	$+29'$
	$S'_0$	$55^\circ 51'$ (по табл. 1)	$a'_N$	$1^\circ 14,8'$ (табл. 2)
	$\Delta S'_0$	$16^\circ 45'$ (по дате)	$\Delta a_B$	$+0,8'$ (по $\Delta B$ )
	$\Delta T$	$2^\circ 30'$ (см. стр. 5)	$a_N + \Delta a_B$	$1^\circ 15,6'$
			$a_N$	$358^\circ 44,4'$
	$s_m$	$99^\circ 16'$	Должно быть	$358^\circ 44,4'$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Астрономический ежегодник СССР на 1973 г. М., Изд-во АН СССР, 1970.
2. Каталог координат Солнца и ярких звезд на 1971—1975. М., 1971.
3. Морской астрономический ежегодник на 1973 г. М., 1971.
4. Руководство по геодезическим работам (РГ-2). М., 1961.
5. Цветков К. А. Практическая астрономия. М., Геодезиздат, 1951.

Работа поступила в редколлегию 30 декабря 1971 года. Рекомендована кафедрой космической геодезии и астрономии Львовского ордена Ленина политехнического института.