

УДК 528.282

Ф. Д. ЗАБЛОЦКИЙ

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБА КРЫЖАНОВСКОГО (ВИДОИЗМЕНЕННОГО СПОСОБА ГЕДЕОНОВА) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Как известно [1], существующие способы определения времени можно разделить на зенитальные (с измерением зенитных расстояний светил) и азимутальные (с измерением азимутов светил). В СССР в полевых астрономических работах наибольшее распространение получили зенитальный способ Цингера (при  $\phi < 70^\circ$ ) и азимутальный способ Деллена (при  $\phi > 70^\circ$ ) [5].

При определенных преимуществах \* способ Деллена имеет и ряд существенных недостатков, например, [1, 6]:

- необходимость совместного наблюдения разных по скорости видимого движения объектов — Полярной и южной звезды;
- необходимость отсчетов окулярного микрометра и внецентренность наблюдений южных звезд в поле зрения;
- наблюдения Полярной в высоких широтах на малых зенитных расстояниях (до  $20-15^\circ$ ), что затрудняет использование накладного уровня ( $AU-2''/10''$ ) и увеличивает поправки за уровень и за микрометр и их ошибки в  $cot Z$  и  $cosec Z$  раз, то есть в 2,5—3 раза;
- сложность самих наблюдений и их обработки.

Все это заставляло искать новый способ определения времени в высоких широтах [1, 2 и др.].

В 1963 г. инженер А. А. Крыжановский [7] предложил определять время универсальным инструментом, то есть видоизменить известный способ Д. Д. Гедеонова. Сущность его предложения заключается в наблюдении не четверки звезд, как в способе Гедеонова, а пары звезд (южной и северной) при КЛ и КП в общих вертикалях в симметричном удалении от меридиана порядка  $0^\circ,5-1^\circ,0$ .

В зависимости от соотношения моментов кульминаций, а также скоростей  $v$  движения звезд по азимуту, возможны два варианта наблюдений:  $L_N, R_S, L_S, R_N$  (рис. 1) и  $L_N, R_S, R_N, L_S$  (рис. 2). Четыре последовательных наблюдения двух звезд пары дают 4 уравнения ошибок с четырьмя неизвестными видами [7]:

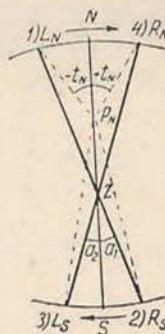


Рис. 1. Первый порядок наблюдений.

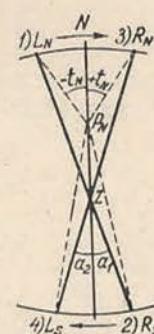


Рис. 2. Второй порядок наблюдений.

\* Наблюдение ярких звезд; продолжительность одного приема наблюдений составляет примерно  $10''$ ; отсутствие отсчетов по горизонтальному кругу.

$$\left. \begin{array}{l} u + A_N a_1 + C_N c = l_1; \\ u + A_S a_1 - C_S c = l_2; \\ u + A_S a_2 + C_S c = l_3; \\ u + A_N a_2 - C_N c = l_4. \end{array} \right\} \quad (1)$$

Здесь  $u$  и  $c$  — поправка хронометра и коллимация;  $a_1$  и  $a_2$  — азимуты вертикалов наблюдений;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  — коэффициенты Майера,  $l_i$  — свободный член, где  $l_i = T_i + Bb + \frac{C_S(N)}{2} (M_k - M_x) - (\alpha + \delta\alpha)$ .

Попарно складывая уравнения (1) и (4), (2) и (3), можно исключить  $c$  и получить 2 уравнения [10]

$$\left. \begin{array}{l} u + A_N a_m = l_N; \\ u + A_S a_m = l_S. \end{array} \right\} \quad (2)$$

где  $a_m = \frac{1}{2}(a_2 + a_1)$ ;  $l_N = \frac{1}{2}(l_1 + l_4)$ ;  $l_S = \frac{1}{2}(l_2 + l_3)$ .

$$\text{Отсюда } u = l_N + (l_S - l_N) \frac{A_N}{A_N - A_S} = l_S + (l_S - l_N) \frac{A_S}{A_N - A_S}, \quad (3)$$

$$a_m = \frac{l_S - l_N}{A_S - A_N}. \quad (4)$$

Попарно вычитая уравнение (1) из (4) и (2) из (3) системы (1), получим 2 уравнения

$$\left. \begin{array}{l} A_N \Delta a - C_N c = \frac{1}{2}(l_4 - l_1); \\ A_S \Delta a + C_S c = \frac{1}{2}(l_2 - l_3). \end{array} \right\} \quad (5)$$

где  $\Delta a = \frac{1}{2}(a_2 - a_1)$ .

Решение системы (5) дает значения  $c$  и  $\Delta a$ , а затем можно получить  $a_1$  и  $a_2$  (см. образец журнала наблюдений и пример его обработки, приведенный в табл. 1, 2).

#### Образец журнала наблюдений (первый порядок наблюдений)

Наблюдатель Кирничук В. В.  
Инструмент АУ-2"/10" № 299  
Хронометр средний № 4474  
Пара № 5

$\tau = 2^{\circ} 070$   
 $R = 7^{\circ} 600$   
Дата 20/21 октября 1969 г.

$N-227^*$	$S-504$
$\delta_N = 64^{\circ} 26', 0$	$\delta_S = 21^{\circ} 05', 8$
$z_N = 65^{\circ} 44', 0$	$B_N = 0,9521$
	$C_N = 2,3178$
	$z_S = 28^{\circ} 44', 2$
	$C_S = 1,0720$

Уровень		Уровень	
круг $R$	круг $L$	круг $L$	круг $R$
23,9—11,0	25,2—12,3	24,8—11,9	23,9—11,0
11,6—24,4	10,6—23,5	11,3—24,1	12,0—24,9
$(L+\Pi)_1$	34,9	37,5	36,7
$(L+\Pi)_2$	36,0	34,1	35,4
$x$	35,45	35,8	36,05
$b$	+1,1	-2,4	-1,3
$b \frac{\tau}{60}$	+0,038	-0,083	-0,045

\* В южном полушарии изменится очередность записи наблюдений (сначала южная, а затем — северная звезда).

Таблица I

Пример обработки журнала (папа № 5)

Номер контакта	$T_N^R$	$T_N^L$	$\frac{1}{2}(T_N^R + T_N^L)$	$T_S^L$	$T_S^R$	$\frac{1}{2}(T_S^L + T_S^R)$
1	20 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup> ,45	20 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup> ,99	20 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup> ,72	20 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup> 17 <sup>s</sup> ,08	20 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup> ,15	20 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup> ,12
2	59,14	12,47	80	18,79	11,29	04
3	02 02,45	08,88	66	20,44	09,70	07
4	05,98	05,26	62	21,85	08,08	14,96
5	09,45	01,89	67	23,74	06,45	15,10
6	12,96	08 58,43	70	25,15	04,89	02
7	16,44	54,97	70	26,76	03,35	06
8	19,95	51,10	52	28,40	01,91	16
9	23,69	47,60	64	30,06	00,23	14
10	27,50	43,83	66	31,70	05 58,58	14
Среднее	20 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup> ,301	20 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> ,042	20 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup> ,669	20 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup> ,397	20 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup> 05 <sup>s</sup> ,763	20 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup> ,081
$Bb \frac{\tau}{60}$	+0,036	-0 <sup>s</sup> ,079	-0 <sup>s</sup> ,022	-0 <sup>s</sup> ,042	+0 <sup>s</sup> ,065	+0 <sup>s</sup> ,012
$\frac{C}{2}$ (Шк-Мx)			+0 <sup>s</sup> ,076			+0 <sup>s</sup> ,035
$\alpha_N$	$8^h37^m36^s,007$					$20^h37^m10^s,509$
$\delta\alpha$	+12 <sup>h</sup>	-0 <sup>s</sup> ,032				+0 <sup>s</sup> ,015
$T_N$	$-20^h05^m35^s,723$					$-20^h05^m15^s,128$
$I_N$	$+32^m00^s,252$					$+31^m55^s,395$
$T_S$						$T_S$
$I_S$						

Опытные наблюдения, выполненные на АУ=2"/10" А. А. Крыжановским в 1962—1963 гг. [7] и В. В. Киричуком в 1969—1970 гг. показывают, что способ Крыжановского по точности не уступает способу Деллена. Однако из-за ряда причин (отсутствие эфемерид, наличие апробированного способа Деллена и т. д.) он не нашел практического применения при астрономических работах в северных районах СССР. В вышедшем же в 1971 г. «Наставлении» [9], обязательном для астрономических подразделений ГУГК, в основу методики определения азимутальной лично-инструментальной разности (АЛИР) положены предложения А. А. Крыжановского [7].

Пример вычисления поправки хронометра

Таблица 2

Элементы формул	Вычисления	Элементы формул	Вычисления
$A_N$	2,1126	$A_N \frac{1}{A_N - A_S}$	1,3226
$A_S$	0,5153	$A_S \frac{1}{A_N - A_S}$	0,3226
$A_N - A_S$	1,5973	$u$	$31^m 53^s,829$
$l_S$	$31^m 55^s,396$	$u$	$31^m 53^s,824$
$l_N$	$32^m 00^s,252$	$(l_4 - l_1) C_S$	$-439^s,165$
$l_S - l_N$	$-4^s,856$	$(l_3 - l_2) C_N$	$-375^s,189$
$l_4$	$28^m 35^s,936$	$2(A_N C_S + A_S C_N)$	6,9186
$l_1$	$35^m 24^s,562$	$\frac{1}{n} (a_2 - a_1)$	$-117^s,705$
$l_4 - l_1$	$-6^m 48^s,626$	$\frac{1}{2} (a_2 + a_1)$	3 <sup>s</sup> ,049
$l_3$	$31^m 04^s,661$	$a_1$	120 <sup>s</sup> ,752
$l_2$	$33^m 46^s,134$	$a_2$	$-114^s,658$
$l_3 - l_2$	$-2^m 41^s,473$	$(l_3 - l_2) A_N$	$-342^s,061$
$A_N C_S$	2,2643	$(l_4 - l_1) A_S$	$-211^s,142$
$A_S C_N$	1,1941	$c$	$-18^s,923$

В настоящее время в Антарктиде проводятся геологические, картографические, космические и другие исследования, требующие точного астрономического определения координат пунктов.

Богатый опыт долготных определений в Антарктиде [3, 8, 11, 13] показывает, что если в зоне  $65^{\circ} S < \varphi < 70^{\circ} S$  время можно определять с точностью I класса по способу Цингера, то при  $\varphi > 70^{\circ} S$  практически сейчас для Антарктиды не существует эквивалентного ему по точности способа определения времени.

Именно поэтому нужны экспериментальные работы по определению времени способом Крыжановского в Антарктиде для исследования его точности и уточнения методики. Но практическое использование того или иного способа требует детально разработанной методики наблюдений, их обработки и достаточно полных эфемерид. Поэтому по предложению проф. А. В. Буткевича и Антарктической экспедиции автор уточнил методику наблюдений и их обработки по способу Крыжановского в условиях Антарктиды с учетом особенностей суточного движения звезд в южном полушарии [8] и опыта астрономических определений в Антарктиде и составил рабочие эфемериды с помощью ЭВМ для зоны  $65^{\circ} S \leq \varphi \leq 75^{\circ} S$ .

Эфемериды вычислялись на основании составленного списка 532 южных звезд, из которых 238 выбрано из «АЕ-СССР», 28 — из «ката-

\* В дальнейшем эфемериды будут расширены до  $85^{\circ} S$ .

лога геодезических звезд» (КГЗ-2) и 266 из каталога «GC» [12]. Звезды списка подбирались при следующих условиях:

- интервал широт  $\varphi$  от  $65^\circ S$  до  $75^\circ S$ ,
- видимая величина звезд  $m \leq 4,5$  [4],
- зенитные расстояния  $15^\circ \leq z \leq 75^\circ$  (то есть склонения звезд от  $+10^\circ$  до  $-90^\circ$ ).

Образец рабочих эфемерид на эпоху 1975,0

Таблица 3

Номера звезд и "GC"	$S^*N$	$m$	Моменты наблюдения		$VA_T$	$z$	$VA_z$	$a$	$t$
			$T_1$	$T_2$					
635 (158)	$S$	2,9	$0^h 01^m .7$	$0^h 12^m .5$	$0.^m 05$	$59^\circ 25' .0$	$-0.^m 33$	$60'$	$5.^m 4$
	$N$	3,9	$0^h 05^m .8$	$0^h 10^m .4$	$0.^m 06$	$24^\circ 06' .9$	$+0.^m 33$	$2$	$2,3$
636	$S$	3,1	$0^h 09^m .6$	$0^h 18^m .0$	$0.^m 05$	$51^\circ 23' .5$	$-0.^m 33$	$42$	$4,2$
6	$N$	3,8	$0^h 15^m .7$	$0^h 20^m .7$	$0.^m 05$	$61^\circ 02' .3$	$0.^m 33$		$2,5$

\* В скобки взяты номера звезд по "GC".

\*\* Для южных звезд  $S$  в нижней кульминации  $T_{1(2)} = \alpha_S \pm 12^h \mp t$ .

Прямые восхождения и склонения звезд, а также их годичные изменения, переведены на эпоху 1975,0. Пары комбинировались для двух вариантов наблюдений. Подбор пар звезд осуществлялся под условиями:

- разность прямых восхождений  $|\alpha_S - \alpha_N \pm 12^h| \leq 10^m$ ,
- часовой угол северной звезды  $t_N \geq 1^m$ ,
- разность моментов наблюдений звезд  $|T_N - T_S| \geq 2^m$ ,
- азимут общего вертикала звезд  $a \leq 1^\circ$ .

Эфемериды составлены для каждого градуса широты от  $65^\circ S$  до  $75^\circ S$ . В каждом градусном интервале пары звезд располагаются по возрастанию моментов наблюдений от  $0^h$  до  $24^h$  (образец эфемерид см. в табл. 3).

Число  $n$  пар звезд в градусных интервалах в зоне  $65^\circ S \leq \varphi \leq 75^\circ S$  приведено ниже:

$\varphi$	$n$	$\varphi$	$n$
$65^\circ$	261	$71^\circ$	246
$66^\circ$	256	$72^\circ$	233
$67^\circ$	265	$73^\circ$	224
$68^\circ$	263	$74^\circ$	225
$69^\circ$	257	$75^\circ$	229
$70^\circ$	252		

Некоторое уменьшение пар звезд при увеличении широты связано с недостатком ярких южных звезд с большими склонениями. Всего получено свыше 2700 пар звезд в среднем по 4–5 пар за 2 часа (без перекрытий и с интервалом между парами больше  $3^m$ ), что позволяет получать долготы в любом двухчасовом интервале с весом равным 1.

Для 266 звезд, выбранных из каталога "GC", вычислены средние экваториальные координаты  $\alpha$  и  $\delta$  (до  $0^s, 001$  и  $0''01$ ) и их изменения на эпоху 1975,0, а также бесселевые редукционные величины ( $a, b, c, d, a', b', c', d'$ ) и их десятилетние изменения для приведений на видимые места. Все вычисления, включая подбор пар и составление эфемерид, выполнялись на ЭВМ М-222 с выдачей результатов на печать в виде готовых таблиц.

Автор выражает благодарность ст. преподавателю ЛПИ В. В. Киречку за представленные материалы наблюдений и кандидату технических наук Г. Е. Лазареву за консультации по организации астрономических работ в Антарктиде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буткевич А. В. О методах определения долготы в Заполярье. — «Труды НИИГАиК», 1966, вып. XIX.
2. Буткевич А. В. Упрощение вычислений при определении поправки хронометра по способу В. К. Деллена. — «Астрономический журнал», т. XXXII, в. 5, 1955.
3. Галеев В. Х. Астрономические определения на материке Антарктида в период Международного геофизического года. — «Геодезия и картография», 1958, № 8.
4. Заблоцкий Ф. Д. Подготовка рабочих эфемерид для определения широты в Антарктиде. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1971, № 4.
5. Колупаев А. П. Определение астрономических долгот I класса на Севере при помощи универсала с контактным микрометром. — «Труды ЦНИИГАиК», 1951, вып. 81.
6. Кузнецов А. Н. О сравнении основных способов определения времени. — «Геодезия и картография», 1957, № 12.
7. Крыжановский А. А. Определение времени универсальным инструментом вблизи меридиана. — Сб. научно-технических статей. XVII, М., 1966.
8. Лазарев Г. Е. Особенности астрономических определений координат в Антарктиде. — «Труды САЭ», 1960, т. 10.
9. Львов В. Г. Наставление по определению геодезического азимута из многократных наблюдений ярких звезд вблизи меридиана. ОНТИ ЦНИИГАиК, М., 1971.
10. Могилевский Э. А. Развитие способов определения времени универсальным инструментом вблизи меридиана. — В сб.: Геодезия. Новосибирск, Западно-Сибирское изд-во, 1969.
11. Albright John C., Clapp James L. Evaluation of Antraktis star observation. — «J. Surv. and Mapp. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs», 1968, 94, № 2.
12. Boss B. General Catalogi of 33324 stars for the Epoch 1950,0. Washington, 1937.
13. Liebert J. Astronomische Ortsbestimmungen in der Antarktis. — «Vermessungstechnik», № 9, 1965.

Работа поступила 5 января 1973 года.  
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.