

УДК 528.28

*А. В. БУТКЕВИЧ, д-р техн. наук, А. С. ЛАВНИКЕВИЧ*

Львовский политехнический институт

## **ПРИБЛИЖЕННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ВИДИМЫХ КООРДИНАТ ЗВЕЗД И ПОЛЯРНОЙ ПО СПОСОБУ В. П. ВЕТЧИНКИНА**

При топографических, землеустроительных, изыскательских и других работах, а также привязке ориентирных пунктов, для контроля угловых измерений и ориентировки съемочных сетей

и ходов часто необходимо приближенно определять азимуты с точностью  $0,1' - 1'$ .

Для их вычисления нужны видимые координаты Полярной, других звезд и Солнца (с точностью  $1 - 2''$  по  $\alpha$  и  $3 - 6''$  по  $\delta$ ). При этом пользоваться средними координатами звезд соответствующего года не всегда возможно, поскольку они могут отличаться от видимых до  $7,8''$  по  $\alpha$  и  $30''$  по  $\delta$  при  $\delta = 70^\circ$  и до  $153,7''$  по  $\alpha$  и  $44''$  по  $\delta$  при  $\delta = 89^\circ$  (Полярная) [2].

Видимые координаты Солнца быстро и достаточно точно (до  $1 - 2''$  по  $\alpha$  и  $0',1 - 0,2'$  по  $\delta$ ) получают с помощью «Постоянных таблиц Солнца» [4, 6, 7] с учётом поправки  $\Delta k$  за начало года, т. е. за сдвиг начала года в григорианском календаре относительно начала тропического года. К сожалению, таких постоянных таблиц для звезд пока нет.

Видимые координаты 685 ярких звезд ( $\delta < 80^\circ$ ) и 38 близкополюсных ( $\delta > 80^\circ$ ) можно определить линейной интерполяцией с помощью «Астрономического ежегодника СССР» (АЕ СССР). Однако это издание дорогое, громоздкое, выходящее небольшим тиражом, и следовательно, неудобное для работы в полевых условиях тем более, что в большинстве ведомств, ведущих топогеодезические работы, его нет.

Поэтому портативные таблицы для быстрого вычисления видимых координат звезд и Полярной в пределах десяти лет (аналогичные таблицам Солнца), несомненно, будут полезны для производства, тем более что составление их потребует меньших затрат, чем вычисление видимых координат на будущие годы по точным редукционным формулам с последующим округлением, как в сборниках [5], [6].

В 30-х годах проф. В. П. Ветчинкин предложил простой способ вычисления видимых координат звезд с помощью постоянных таблиц. Мы излагаем этот способ, так как он не был опубликован \*, расширяем его для вычисления координат Полярной и повышаем его точность.

**Вычисление видимых координат звезд по способу В. П. Ветчинкина.** Обычно видимые координаты звезд вычисляют, переходя от средних координат  $\alpha_0$ ,  $\delta_0$  начальной эпохи  $T_0$  к средним координатам  $\alpha_T$ ,  $\delta_T$  нужного года  $T$ , а далее к видимым координатам на момент наблюдений с помощью редукционных формул I или II рода [3].

По способу В. П. Ветчинкина сначала, применяя линейную интерполяцию (например, по «АЕ СССР»), находят видимые координаты  $\alpha'_0$ ,  $\delta'_0$  для нужной даты исходного года  $T_0$ , а от них переходят к видимым координатам на ту же дату года наблюдений путем введения «годичных поправок»  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\delta$ , т. е. поправок только за прецессию и нутацию, что более выгодно.

\* Рукопись проф. В. П. Ветчинкина «Постоянный звездный календарь» хранится в библиотеке НИИГАиК в Новосибирске.

Для вывода формул В. П. Ветчинкина напишем известные редукционные формулы I рода для перехода от средних координат данного года к видимым без учета короткопериодических членов нутации, не превышающих 0,02<sup>s</sup> по  $\alpha$  и 0,12<sup>"</sup> по  $\delta$  [3]:

$$\alpha_{\text{вид}} = \alpha_{\text{ср}} + Aa + Bb + Cc + Dd + \tau\mu_\alpha, \quad (1)$$

$$\delta_{\text{вид}} = \delta_{\text{ср}} + Aa' + Bb' + Cc' + Dd' + \tau\mu_\delta. \quad (2)$$

Здесь  $A, B, C, D$  — редукционные величины (бесселевы числа) I рода (функции координат Солнца и Луны);  $a, b, c, d$  и  $a', b', c', d'$  — редукционные звездные постоянные (функции координат звезд, годичной прецессии  $m, n$  и наклонения  $\epsilon$  эклиптики) [1]:

$$\left. \begin{array}{l} a = m^s + n^s \sin \alpha \operatorname{tg} \delta; \quad b = \frac{1}{15} \cos \alpha \operatorname{tg} \delta; \\ c = \frac{1}{15} \cos \alpha \sec \delta; \quad d = \frac{1}{15} \sin \alpha \sec \delta; \end{array} \right\}, \quad (3)$$

$$\left. \begin{array}{l} a' = n'' \cos \alpha; \quad b' = -\sin \alpha; \\ c' = \operatorname{tg} \epsilon \cos \delta - \sin \alpha \sin \delta; \quad d' = \cos \alpha \sin \delta, \end{array} \right\}, \quad (4)$$

где  $\tau$  — промежуток времени от начала года (доля тропического года);  $\mu_\alpha, \mu_\delta$  — годичные собственные движения звезд по прямому восхождению и склонению. При этом для простоты выводов мы в отличие от «AE» не делили  $m$  и  $n$  в формуле (3) на  $n''=20,040$ .

В формулах (1), (2) слагаемые  $Aa+Bb$  и  $Aa'+Bb'$  учитывают влияние прецессии и долгопериодических членов нутации, а  $Cc+Dd$  и  $Cc'+Dd'$  — годичной aberrации.

Если по формулам (1) и (2) вычислить видимые координаты какой-либо звезды для одной и той же даты, но для двух разных эпох  $T_1$  и  $T_2$ , то, определяя их разности и считая пока величины  $a, b, c, d, a', b', c', d'$  постоянными, получаем выражения:

$$\alpha_2^{\text{вид}} - \alpha_1^{\text{вид}} = \alpha_2^{\text{ср}} - \alpha_1^{\text{ср}} + \Delta Aa + \Delta Bb + \Delta Cc + \Delta Dd + \Delta \tau\mu_\alpha; \quad (5)$$

$$\delta_2^{\text{вид}} - \delta_1^{\text{вид}} = \delta_2^{\text{ср}} - \delta_1^{\text{ср}} + \Delta Aa' + \Delta Bb' + \Delta Cc' + \Delta Dd' + \Delta \tau\mu_\delta, \quad (6)$$

где  $\Delta A = A_2 - A_1$  и т. д.

Однако величины  $C, D$  и  $\tau$  зависят от координат Солнца, для одной и той же даты разных лет они практически одинаковы (и лишь незначительно различаются за счет сдвига начала года по григорианскому календарю, который не превышает 0,5 суток при оптимальном выборе начального года — четного невисокосного \*).

\* Хуже всего за исходный брать предвисокосный год, тогда сдвиг начала года может достигать 0,87 суток.

С учетом этого и получаются формулы В. П. Ветчинкина для перехода от видимых координат звезд одного года к видимым координатам для той же даты другого года:

$$\Delta \alpha_k^{\text{вид}} = \Delta \alpha_m^{\text{cp}} \cdot k + \Delta A_k a_m + \Delta B_k b_m; \quad (7)$$

$$\Delta \delta_{\text{вид}} = \Delta \delta_{\text{ср}} k + \Delta A_k a_m' + \Delta B_k b_m'. \quad (8)$$

Здесь  $\Delta\alpha_m^{\text{ср}}$ ,  $\Delta\delta_m^{\text{ср}}$  — средние годичные изменения ( $VA_\alpha$  и  $VA_\delta$ ) средних координат;  $k = T_2 - T_1$  или  $T - T_0$  — число лет между двумя эпохами,  $a_m$ ,  $b_m$ ,  $a'_m$ ,  $b'_m$  — средние редукционные постоянные (отнесенные к средней эпохе  $T_m = T_0 + \frac{k}{2}$ ).

Чтобы не учитывать вековые изменения координат ( $VS_\alpha$  и  $VS_\delta$ ), годичные изменения также нужно брать для средней эпохи  $T_m=0,5$  ( $T_0+T$ ).

Приведем формулы (7), (8) к рабочему виду, учитывая, что [1]:

$$A = \tau - 0,3421^s \sin \Omega + \dots; \quad B = -9,210'' \cos \Omega. \quad (9)^*$$

Поэтому можно записать такие выражения для  $\Delta A_k$  и  $\Delta B_k$ :

$$\Delta A_k = -0,3421^s [\sin(\Omega_1 - 19,341^\circ \cdot k) - \sin \Omega_1]; \quad (10)$$

$$\Delta B_k = -9,210'' [\cos(\Omega_1 - 19,341^\circ \cdot k) - \cos \Omega_1], \quad (11)$$

где  $\Omega_1$  — долгота восходящего узла лунной орбиты, уменьшающаяся на  $19,341^\circ$  в год.

Таблица 1  
Образец таблиц В. П. Ветчинкина. Звезда № 14 α Cas

Даты (1930) г.	$\alpha_{\text{вид}}$	$\delta_{\text{вид}}$	Год	Годичные поправки	
	$0^h36^m$	$56^\circ09'$		$\Delta\alpha_K$	$\Delta\delta_K$
1 января	29,9 <sup>s</sup>	27"	1934	15,0	1'28"
31 января	29,1	24	1935	18,9	48
...	...	...	...	...	...
28 октября	34,7	39	1941	39,8	3'40"
27 ноября	34,4	46	1944	48,6	4 34
27 декабря	34,0	49"	1945	51,5	53
Средние	31,35 <sup>s</sup>	13,3"	1946	54,6	5 13
Годовые изменения	3,39 <sup>s</sup>	19,76"	1948	61,0	55
$tg\delta, \text{sec}\delta$	1,80	1,49	1949	64,5	6 16
			1950	68,2	6'38"

\* Здесь отброшены члены нутации с периодом 37 лет —  $(0,0256^s \sin 2L_{\odot})$  и  $(-0,551'' \cos 2L_{\odot})$  и короткопериодические члены.

На основании формул (7) и (8) В. П. Ветчинкин составил таблицы для приближенного вычисления видимых координат 31-й звезды на период 1934—1950 гг. (табл. 1,  $T_0=1930$  г.). Поним вначале с помощью линейной интерполяции при шаге в один месяц получают видимые координаты звезды на нужную дату исходного года, а затем вводят в них «годичные поправки»  $\Delta\alpha_k^{\text{вид}}$  (7) и  $\Delta\delta_k^{\text{вид}}$  (8) для нужного года.

**Пример 1.** Вычисление координат звезды № 14 α Cas по табл. 1:

А. На 31 января 1950 г.

1930 г. $\alpha_0$	$h$	$m$	$s$	$\delta_0$	56°09'24"
год. поправка			68,2	$\Delta\delta_k$	6 38
1950 г. $\alpha_k$	0	37	37,3	$\delta_k$	56 16 02
по «АЕ СССР»			37,4	$\delta$	16 04
$m_\alpha$			—0,1	$m_\delta$	—2"

Б. На 27 декабря 1941 г.

$\alpha_0$	$h$	$m$	$s$	$\delta_0$	56°09'49"
$\Delta\alpha_k$			39,8	$\Delta\delta_k$	3 40
$\alpha_k$	0	37	13,8	$\delta_k$	56 13 29
по «АЕ» $\alpha$			13,0	по «АЕ» $\delta$	23,6
$m_\alpha$			+0,8 <sup>s</sup>	$m_\delta$	+5,4"

Для исследования точности формул В. П. Ветчинкина А. В. Буткевич в 1963 г. вычислил по его таблицам видимые координаты ряда звезд для разных лет, которые затем сравнил с полученными из «АЕ СССР». При этом расхождения координат не превышали 0,3<sup>s</sup> по  $\alpha$  и 2,8" по  $\delta$ , а средние квадратические ошибки составляли  $\pm 0,1^s$  по  $\alpha$  и  $\pm 1''$  по  $\delta$ .

Однако А. С. Лавникович показал, что данные вычисления пришлись на благоприятную эпоху и что ошибки вычисленных склонений могут достигать 6" (см. пример 1, Б). Он доказал это также, исследуя влияние изменений величин  $A$  и  $B$ . Из формул (8) и (9) следует:

$$dA = -0,3421^s \cos \Omega d\Omega; \quad (12)$$

$$dB = 9,210'' \sin \Omega d\Omega = 0,61^s \sin \Omega d\Omega. \quad (13)$$

Принимая для худшего случая в пределах года  $d\Omega = 19,341^\circ$  (В. П. Ветчинкин вычислял годовые поправки, используя  $\Delta A$  и  $\Delta B$  для начала года и считал их постоянными в течение года), он получил:

$$dA \leq 0,116^s \cos \Omega; \quad (14)$$

$$dB \leq 3,11'' \sin \Omega = 0,21^s \sin \Omega. \quad (15)$$

Для звезд со склонением  $\delta \leq 45^\circ$  (при  $a \leq 4,41^s$ ;  $b \leq 1$ ,  $a' \leq 20,5''$  и  $b' < 1$ ) слагаемые  $adA < 0,51^s$ ;  $b dB < 0,21^s$ ;  $a'dA < 2,4''$  и

$b'dB < 3,1''$ ; а ошибки:  $m_\alpha < 0,7^s$  и  $m_\delta < 5,5''$ , что хорошо согласуется с примером 1.Б.

**Вычисление видимых координат Полярной по способу В. П. Ветчинкина.** В 1963 г. А. В. Буткевич расширил способ В. П. Ветчинкина для вычисления видимых координат Полярной. При исходной эпохе  $T_0 = 1958$  г. он давал видимые координаты Полярной и годичные поправки прямых восхождений через 15 дней для 1963—1970 гг. (табл. 2).

Таблица 2  
Образец таблиц А. В. Буткевича для  $\alpha U Mi$

Год		1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	
Годичные поправки $\Delta\delta_K$		1'21"	1'39"	1'58"	2'18"	2'38"	2'58"	3'18"	3'38"	
Даты	$\alpha_0^{вид}$	$\delta_0^{вид}$	Годичные поправки $\Delta\alpha_R$							
1958 г.	1 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	89° 03'	+2 <sup>m</sup>	+3 <sup>m</sup>	+4 <sup>m</sup>	+4 <sup>m</sup>	+5 <sup>m</sup>	+6 <sup>m</sup>	+7 <sup>m</sup>	+7 <sup>m</sup>
1 января	2 <sup>m</sup> 21,2	1'25"	67,2	39,7	14,4	50,1	30,3	14,6	04,0	57,8
16 января	2 <sup>m</sup> 02,9	1'26"	66,6	39,1	13,8	49,6	30,0	14,6	04,1	58,0
15 июня	1 <sup>m</sup> 05,3	0 55	60,6	33,4	08,8	46,0	27,9	14,4	05,4	60,8
30 июня	1 <sup>m</sup> 44,7	0 54	60,1	32,9	08,4	45,7	27,8	14,4	05,7	61,2
12 декабря	3 <sup>m</sup> 27,1	1 35	54,6	27,9	04,6	43,3	27,2	15,7	08,8	65,9
27 декабря	3 <sup>m</sup> 11,9	1'39"	54,2	27,5	04,3	43,1	27,2	15,9	09,2	66,4

**Пример 2.** Вычисление видимых координат Полярной по табл. 2.

А. 20 июня 1965 г.

$\alpha_0$	1 54 <sup>m</sup> 31,8	$\delta_0$	39°03'55"
$\Delta\alpha_k$	4 08,7	$\Delta\delta_k$	1 58
$\alpha_k$	1 58 40,5	$\delta_k$	89 05 53
по «AE»	$\alpha$	$\delta$	05 54
	37,5		
	$+3,0^s$	$m_\delta$	-1"

Б. 20 декабря 1970 г.

$\alpha_0$	1 56 <sup>m</sup> 19,0	$\delta_0$	89°04'37"
$\Delta\alpha_k$	8 06,2	$\Delta\delta_k$	3 38
$\alpha_k$	2 04 25,2	$\delta_k$	89 08 15
по «AE»	$\alpha$	$\delta$	8 15
	37,3		
	$-12,1^s$	$m_\delta$	0"

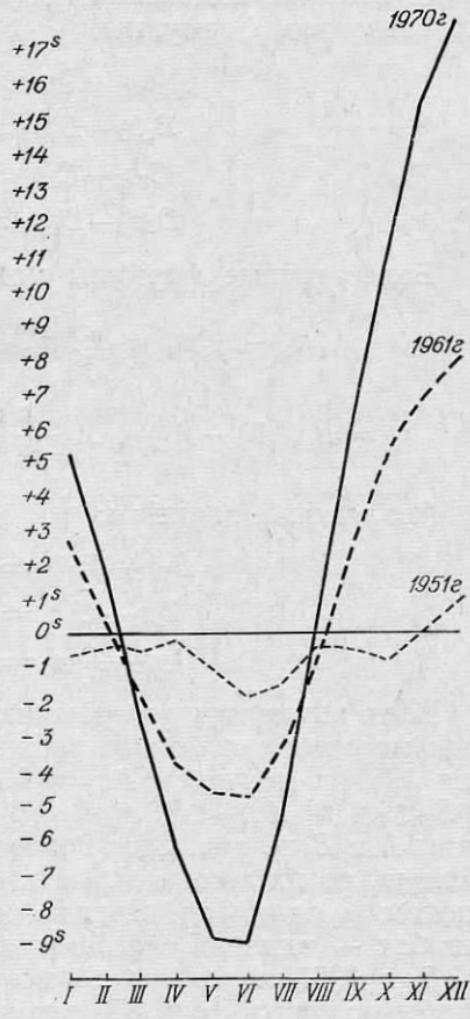
Сравнивая координаты Полярной, вычисленные по табл. 2 и по «АЕ СССР», он пришел к выводу, что в пределах семи лет (1963—1970) предельные ошибки  $m_\alpha < 4,0^s$  и  $m_\delta < 2,8''$ .

А. С. Лавникович вычислял видимые координаты Полярной по методу В. П. Ветчинкина с 1952 по 1970 гг., т. е. на полный период нутации, и сравнил их с полученными по «АЕ СССР». При этом склонение получилось с высокой точностью  $\pm 1''$  (что объясняется отсутствием при вычислении поправки  $\Delta\delta_k$  членов с  $\operatorname{tg} \delta_N$  и  $\operatorname{sec} \delta_N$ ), а прямые восхождения  $a_N$  отличались от вычисленных по «АЕ СССР» в среднем тем больше, чем дальше отстоял момент вычислений от начальной эпохи. Так, к 1970 г. расхождения по  $\alpha$  составили от  $-9,0^s$  до  $+17,8^s$  с амплитудой  $13,4^s$  (пример 2, Б). Графики ошибок представляли синусоиды с периодом в один год, амплитуды которых возрастили по времени (рисунок).

Чтобы установить причины этих расхождений и повысить точность вычисления  $a_N$ , было исследовано влияние различных факторов.

1. *Ошибки линейной интерполяции.* В табл. 2 шаг для  $a_N$  и  $\delta_N$  принят равным 15 дням. При этом максимальное суточное изменение  $\Delta a_N$  составляет  $1,4^s$  и ошибка от округления даты до целого числа не превышает  $0,7^s$ . Вторые разности в таблице не превосходят  $\Delta^2 a_N < 5,6^s$  и  $\Delta^2 \delta_N < 3''$ , а их максимальное влия-

ние  $\frac{\Delta^2 t(t-1)}{n} < \frac{\Delta^2}{8}$  не превышает  $0^s,7$  по  $\alpha$  и  $0'',4$  по  $\delta$ .



Графики ошибок прямого восхождения Полярной.

2. *Влияние изменений  $\Delta A$  и  $\Delta B$  в течение года на годичные поправки.* Величины  $\Delta A$  и  $\Delta B$  зависят от долготы восходящего узла орбиты Луны  $\Omega$ . Так, в 1963 г. при  $T_0 = 1958$  годичная поправка  $\Delta a_k$ , вычисленная с долготой  $\Omega$  на 1 января, равна  $3^m 07,2^s$ , а с долготой на 27 декабря  $2^m 54,2^s$ , т. е. изменяется на  $13,0^s$  (табл. 2). Если вычислять поправку  $\Delta a_k$  с долготой уз-

ла  $\Omega_m$  для середины года, то максимальная ее погрешность не превысит  $6,5^s$  в 1963 г.) и  $0,8^s$  в 1967 г.). Такой же результат дает аналитическое исследование величины  $ad\Delta A + bd\Delta B$ . Если же давать годичные поправки на каждый месяц, то их максимальная ошибка уменьшится до  $0,54^s$ .

3. Влияние изменений коэффициентов  $a, b, c, d$ . Ранее мы использовали формулы:

$$A_2a_2 - A_1a_1 \approx (A_2 - A_1)a_m; \quad (15')$$

$$B_2b_2 - B_1b_1 \approx (B_2 - B_1)b_m; \quad (16)$$

$$C_2c_2 - C_1c_1 \approx (C_2 - C_1)c_m; \quad (17)$$

$$D_2d_2 - D_1d_1 \approx (D_2 - D_1)d_m. \quad (18)$$

Более точные формулы можно получить так:

$$\begin{aligned} A_2a_2 - A_1a_1 &= A_2\left(a_m + \frac{\Delta a}{2}\right) - A_1\left(a_m - \frac{\Delta a}{2}\right) = \\ &= a_m(A_2 - A_1) + A_2\frac{\Delta a}{2} + A_1\frac{\Delta a}{2} = \Delta a a_m + \Delta a A_m. \end{aligned} \quad (19)$$

Аналогично запишем:

$$B_2b_2 - B_1b_1 = \Delta b b_m + \Delta b B_m; \quad (20)$$

$$C_2c_2 - C_1c_1 = \Delta c c_m + \Delta c C_m; \quad (21)$$

$$D_2d_2 - D_1d_1 = \Delta d d_m + \Delta d D_m. \quad (22)$$

Если вычислять годовые изменения  $\Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta d$  численным методом с помощью таблиц, приведенных в работе [8], то для 1961 г. получаем  $\Delta a = 0,3354^s$  и  $\Delta b = 0,1922^s$  и [при  $A < 1$  и  $B < 9,21''$ ]  $\Delta a A < 0,33^s$  и  $\Delta b B < 0,12^s$ . Однако поскольку величины  $A$  и  $B$  не являются периодическими функциями координат Солнца, то их влияние  $\Delta a A$  и  $\Delta b B$  не может изменяться с периодом в один год. Значит, наиболее вероятные источники ошибок — влияние слагаемых  $\Delta c C$  и  $\Delta d D$ .

Для 1961 г. годичные изменения  $\Delta c = 0,0128$  и  $\Delta d = 0,0228$ . Чтобы получить  $\Delta c C$  и  $\Delta d D$ , запишем формулы [4]:

$$C = -20'',47 \cos \epsilon \cos L_\odot; \quad (23) \quad D = -20'',47 \sin \epsilon \cos L_\odot. \quad (24)$$

Вычисления дают (при  $\Delta c = 0,0124$  и  $\Delta d = 0,0273$ )  $\Delta c C + \Delta d D = -0,233 \cos L_\odot - 0,559 \sin L_\odot = -0,628^s \sin(L_\odot + 27^\circ 15')$ . Эта функция имеет максимальное значение  $0^s,682$  при  $L_\odot + 27^\circ 15' = 90^\circ$  или  $L_\odot = 62^\circ 45'$  (дата 24 мая, что хорошо согласуется с рисунком 1), или  $L_\odot + 27^\circ 15' = 270^\circ$ , т. е.  $L_\odot = -242^\circ 15'$  (дата 25 ноября \*). За десять лет эта ошибка, умноженная на  $k$ , возрастает до  $5,2^s$  за 18 лет — до  $9,45^s$ .

\* Влияние членов  $\Delta a A + \Delta b B$  выражается формулой  $q = [0,28\tau - 0,224 \times \sin(\Omega + 64,5^\circ)] \cdot k$  и также может быть табулировано.

Таблица для вычисления видимых координат Полярной на 1978—1983 гг.

Дата (1978 г.)	Видимые координаты				1979 г.				1980 г.				1981 г.				1982 г.				1983 г.				
	$\alpha_0^{\text{вид}}$	$\delta_0^{\text{вид}}$	$P$	$\Delta\alpha_k$	$\Delta\delta_k$	1979 г.				1980 г.				1981 г.				1982 г.				1983 г.			
						$m$	$s$	$m$	$s$	$m$	$s$	$m$	$s$	$m$	$s$	$m$	$s$	$m$	$s$	$m$	$s$	$m$	$s$		
1, 8 I	2 09	89°09'	1 05,6	0,50	46,8	14,8''	1	30,7	30,4''	12,4	46,7''	53,4	03,9''	2	35,3	1'	35,3	1'	35,3	03,9''	35,3	03,9''	21,8''		
16, 8 I	2 18,3	1 58,8	07,6	0,38	46,5	14,9	30,1	30,6	11,6	46,9	52,6	04,1	34,6	2	34,6	04,1	34,6	22,1	34,6	04,1	34,6	22,1			
1, 7 II	1 34,1	08,0	02,2	0,22	46,2	14,9	29,4	30,7	11,0	47,1	51,9	04,4	34,0	2	34,0	04,4	34,0	22,4	34,0	04,4	34,0	22,4			
15, 7 II	1 13,9	07,0	0,07	-0,09	46,2	14,9	29,4	30,7	11,0	47,1	51,9	04,4	34,0	2	34,0	04,4	34,0	22,4	34,0	04,4	34,0	22,4			
1, 6 III	0 55,5	04,9	-0,09	-0,25	45,8	15,0	28,9	30,8	10,3	47,3	51,1	04,6	33,3	2	33,3	04,6	33,3	22,7	33,3	04,6	33,3	22,7			
16, 6 III	39,8	1 01,5	-0,39	-0,51	45,8	15,0	28,9	30,8	10,3	47,3	51,1	04,6	33,3	2	33,3	04,6	33,3	22,7	33,3	04,6	33,3	22,7			
1, 6 IV	28,9	0 57,0	-0,51	-0,58	45,5	15,0	28,4	30,9	09,6	47,4	50,4	04,9	32,8	2	32,8	04,9	32,8	23,0	32,8	04,9	32,8	23,0			
16, 5 IV	24,6	52,4	-0,58	-0,62	45,2	15,1	27,8	31,0	09,0	47,6	49,8	05,1	32,3	2	32,3	05,1	32,3	23,9	32,3	05,1	32,3	23,9			
1, 5 V	26,7	47,8	-0,58	-0,62	45,2	15,1	27,8	31,0	09,0	47,6	49,8	05,1	32,3	2	32,3	05,1	32,3	23,9	32,3	05,1	32,3	23,9			
16, 4 V	34,7	43,4	-0,62	-0,62	44,9	15,1	27,3	31,1	8,4	47,8	49,2	05,4	31,8	2	31,8	05,4	31,8	23,7	31,8	05,4	31,8	23,7			
1, 4 VI	48,9	39,6	-0,62	-0,62	44,9	15,1	27,3	31,1	8,4	47,8	49,2	05,4	31,8	2	31,8	05,4	31,8	23,7	31,8	05,4	31,8	23,7			
16, 4 VI	1 06,7	36,9	-0,58	-0,58	44,9	15,1	27,3	31,1	8,4	47,8	49,2	05,4	31,8	2	31,8	05,4	31,8	23,7	31,8	05,4	31,8	23,7			
1, 3 VII	1 27,7	0 35,4	-0,50	-0,50	44,9	15,1	27,3	31,1	8,4	47,8	49,2	05,4	31,8	2	31,8	05,4	31,8	23,7	31,8	05,4	31,8	23,7			
16, 3 VII	50,2	35,0	-0,39	-0,39	44,6	15,2	26,8	31,2	07,8	48,0	48,6	05,7	31,4	2	31,4	05,7	31,4	24,0	31,4	05,7	31,4	24,0			
1, 2 VIII	2 15,2	36,0	-0,25	-0,25	44,6	15,2	26,8	31,2	07,8	48,0	48,6	05,7	31,4	2	31,4	05,7	31,4	24,0	31,4	05,7	31,4	24,0			
16, 2 VIII	37,6	38,1	-0,10	-0,10	44,3	15,3	26,3	31,4	07,2	48,2	48,0	05,9	31,0	2	31,0	05,9	31,0	24,3	31,0	05,9	31,0	24,3			
1, 1 IX	59,3	41,5	0,00	0,00	44,3	15,3	26,3	31,4	07,2	48,2	48,0	05,9	31,0	2	31,0	05,9	31,0	24,3	31,0	05,9	31,0	24,3			
16, 1 IX	3 36,8	45,6	0,22	0,22	44,0	15,3	25,8	31,5	06,7	48,4	47,6	06,2	30,7	2	30,7	06,2	30,7	24,6	30,7	06,2	30,7	24,6			
1, 1 X	30,9	50,3	0,36	0,36	44,0	15,3	25,8	31,5	06,7	48,4	47,6	06,2	30,7	2	30,7	06,2	30,7	24,6	30,7	06,2	30,7	24,6			
16, 0 X	40,6	55,6	0,48	0,48	43,7	15,4	25,3	31,6	06,2	48,6	47,1	06,5	30,4	2	30,4	06,5	30,4	25,0	30,4	06,5	30,4	25,0			
1, 9 XI	45,8	01,8	0,58	0,58	43,5	15,4	24,9	31,8	05,7	48,8	46,7	06,7	30,2	2	30,2	06,7	30,2	25,3	30,2	06,7	30,2	25,3			
16, 9 XII	44,6	07,3	0,62	0,62	43,5	15,4	24,9	31,8	05,7	48,8	46,7	06,7	30,2	2	30,2	06,7	30,2	25,3	30,2	06,7	30,2	25,3			
1, 9 XII	37,7	12,4	0,62	0,62	43,5	15,4	24,9	31,8	05,7	48,8	46,7	06,7	30,2	2	30,2	06,7	30,2	25,3	30,2	06,7	30,2	25,3			
16, 9 XII	25,1	16,8	0,58	0,58	43,5	15,4	24,9	31,8	05,7	48,8	46,7	06,7	30,2	2	30,2	06,7	30,2	25,3	30,2	06,7	30,2	25,3			
31, 8 XII	3 07,9	1 20,3	0,50	0,50																					

Съединение

1 01,5

0'50"7

Для повышения точности вычисления  $\alpha_N$  до 2—3<sup>s</sup> необходимо составить таблицу значений  $p\Delta cC_m + \Delta dD_m$  по аргументу (см. табл. 3), и, выбирая эти значения по дате и умножая на число  $k$  прошедших лет, получать поправку  $\delta\alpha_k$ . Так, для примера 2, Б получается:  $p = \Delta cC_m + \Delta dD_m = 0,56^s$ ;  $k = T - T_0 = 12$ ,  $\delta\alpha_k = 6,7^s$ \*. Выше приведена табл. 3 для вычисления видимых координат Полярной.

**Пример 3.** Вычисление видимых координат Полярной по табл. 3.

А. 1 января 1970 г.

1978	$\alpha_0$	$h \quad m \quad s$	$\delta_0$	$89^\circ 10' 05,6''$
	$\Delta\alpha_k$	—7 54,1	$\Delta\delta_k$	—2 06,5
	$p \cdot k$	—4,0		
	$\alpha_k$	2 03 21,2	$\delta_k$	89 07 59,1
	по «AE» $\alpha$	23,8	$\delta$	59,3
	$m_\alpha$	—2,6 <sup>s</sup>	$m_\delta$	—0,2''

Б. 31 декабря 1980 г.

$\alpha_0$	$h \quad m \quad s$	$\delta_0$	$89^\circ 10' 20,3''$
$\Delta\alpha_k$	+1 24,3	$\Delta\delta_k$	32,0
$p \cdot k$	1,0		
$\alpha_k$	2 13 33,2	$\delta_k$	89 10 52,0
$\alpha$	32,6	$\delta$	52,0
$m_\alpha$	+0,6 <sup>s</sup>	$m_\delta$	+0,3''

Таким образом, формулы и таблицы проф. В. П. Ветчинкина позволяют получать видимые координаты звезд в пределах  $\pm 10$  лет от исходной эпохи с точностью 1<sup>s</sup> по  $\alpha$  и 5'' по  $\delta$ , вполне достаточной для обработки приближенных определений азимута. Составленные по принципу В. П. Ветчинкина таблицы для вычисления видимых координат 28 ярких звезд на период 1968—1988 гг. ( $T_0=1978$  г.) могут быть полезны организациям, ведущим приближенные определения азимутов.

Авторы уточнили способ В. П. Ветчинкина, расширили его для вычисления координат Полярной и составили таблицы для вычисления видимых координат для 1978—1988 гг. (с учетом членов  $\Delta cC$  и  $\Delta dD$ ), которые обеспечивают точность 1—3<sup>s</sup> по  $\alpha$  и 1'' по  $\delta$ .

В качестве исходного года для таблиц следует принимать четный невисокосный год в средине обслуживаемого периода, делая отступления от него вперед и назад до  $\pm 10$  лет.

Помощь авторам в выполнении расчетов оказали инженеры В. Ф. Петренко и А. И. Дербал.

\* Член  $qk$  дает при этом  $0,65 \times 12 = 7,8^s$ .

**Список литературы:** 1. Астрономический ежегодник СССР на 1968 г. Л., Наука, 1965. 2. *Буткевич А. В., Тран Зуй Тхоан.* Исследование влияния прецессии, нутации и годичной aberrации на средние экваториальные координаты, азимут и высоту Полярной. — Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1972. Вып. 4. 3 *Вентцель М. К.* Сферическая астрономия. М., Геодезиздат, 1952. 4. *Граур А. В.* Таблицы для вычисления истинного азимута. М., Оборониздат, 1939. 5. Каталог координат Солнца и ярких звезд на 1976—1980 годы. М., РИО, 1976. 6. Сборник таблиц для геодезических вычислений. М., РИО, 1953. 7. *Зверев М. С., Казаков Л. С., Казанский И. А. и др.* Справочник и руководство по гравиметрическим работам. М., ОНТИ, 1936. 8. *Циммерман Н. В.* Каталог 2967 геодезических звезд. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 179. М., 1968.

Работа поступила 12 апреля 1978 года.  
Рекомендована кафедрой высшей геодезии  
и астрономии Львовского политехническо-  
го института.