

Б. И. КРАСАВЦЕВ

# ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ МОРЕХОДНОЙ АСТРОНОМИИ



«ТРАНСПОРТ»  
МОСКВА • 1972

Б. И. КРАСАВЦЕВ

# ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ МОРЕХОДНОЙ АСТРОНОМИИ

*Издание второе, переработанное  
и дополненное*

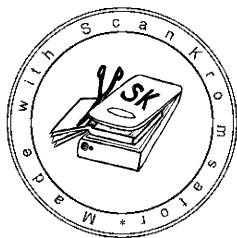


ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТРАНСПОРТ»

МОСКВА ● 1972

**Инструменты и методы мореходной астрономии.**  
Красавцев Б. И. Изд. 2-е, изд-во «Транспорт»,  
1972 г., стр. 1—88.

В книге рассмотрены особенности работы с отечественными пособиями и инструментами по мореходной астрономии, а также внесенные в них изменения (за последние годы). Особое внимание уделено дневным определениям места, особенно по Солнцу и Венере, предвычислению линий положения и работе с авиационными таблицами подобранных звезд. Книга предназначена для повышения квалификации штурманов морского флота. Рис. 26, табл. 6, библи. 13.



Scan AAW

Рассмотрим некоторые особенности работы с действующим образцом МАЕ.

При наблюдениях светил рекомендуется не ограничиваться одним измерением, а всегда производить три (иногда пять) измерений (высот,  $K\Pi$ ). При этом появляется уверенность, что не сделан промах, т. е. грубый просчет, и, кроме того, несколько повышается точность. Обработка каждого из трех (или пяти) наблюдений отдельно допустима только при применении вычислительных машин (ЭВМ) или авиационных таблиц, в обычных же условиях она слишком трудоемка, поэтому измерения следует осреднять.

**Пример 1.** Наблюдали звезду  $\alpha$  Орла. Определить среднее арифметическое из трех моментов хронометра и отсчетов секстана

Разности:	$T_{xp}$	ос	Разности:
$-20^c$	$1^h41^m17^s$	$28^{\circ}01'3$	$+3',2$
00	41 37	27 58,1	0,0
$+26$	42 03	27 54,0	$-4,1$

3

Вычислять среднее арифметическое по разностям достаточно просто, и расчеты можно выполнять «в уме».

Кроме того, по величинам разностей можно проконтролировать наблюдения «на промах». Большой  $\Delta T$  должна соответствовать и большая  $\Delta \alpha$  (в примере — 4',1). Невозможная разность, например десятки минут вместо минут, показывает промах (см. § 7).

*Контроль выборок из МАЕ.* При выборе  $t$  и  $\delta$  звезд возможен точный промежуточный контроль и приблизительный контроль результатов (пример 2).

**Пример 2.** 19/IX 1971 г. около  $T_c = 18^h50^m (-3^s 0^{st})$ ;  $\varphi_c = 34^\circ 32' S$ ;  $\lambda_c = 40^\circ 48' 0^{st}$ . Наблюдали три звезды:  $\alpha$  Скорпиона  $T_{xp} = 3^h43^m04^s$ ;  $\alpha$  Ю. Рыбы  $T_{xp} = 3^h48^m05^s$ ;  $\alpha$  Лиры  $T_{xp} = 3^h52^m26^s$ ;  $u_{xp} = -3^m23^s,0$ . Получить  $t_m^*$  и  $\delta_*$  с контролем.

### Решение

$-T_c$ №	$\alpha$ Скорпиона		$\alpha$ Ю. Рыбы	$\alpha$ Лиры	
	$18^u50^m$ 3	$T$ $u$	$3^u43^m04^c$ —3 23	$3^u48^m05^c$ —3 23	$3^u52^m26^c$ —3 23
19. IX $T_{zp}$	$15^u50^m$ $T_{zp}$	$t_T$	$15^u39^m41^c$ 222°51'8	$15^u44^m42^c$ 222°51',8	$15^u49^m03^c$ 222°51',8
		$\Delta t$	9 56,9	11 12,3	12 17,8
		$+ t_{zp}$	232 48,7 40 48,0	234 04,1 40 48,0	235 09,6 40 48,0
		$t_M^V$	273 36,7	274 52,1	275 57,6
		$\tau$	113 04,9	15 58,0	81 00,1
Контроль по $\Delta t^V = \Delta T_{xp}$		$t_M^*$ $t$	386 41,6 26°41',6 <sup>W</sup>	290 50,1 69°09',9 <sup>Ost</sup>	356 57,7 3°02',3 <sup>Ost</sup>
		$\delta_*$	26°22',4 S	29°46',2 S	38°45',6 N

### Контроль вычислений

1. Проверить  $T_{zp}$  и дату, получить  $T_c$  наблюдений. Последний момент  $T_{zp}$ , к которому обычно приведены все наблюдения, исправляется принятым номером пояса и сравнивается с принятым  $T_c$ :

$T_{zp}$ $N_{Ost}$	$15^h49^m03^s$ 19/IX 3
$T_c$	$18^h49^m$ 19/IX

Результат правильный

Это время и является точным временем обсервации. Убедившись в правильности даты и  $T_{эр}$ , следует вторично выбрать из МАЕ табличное  $t^V$  ( $S_{эр}$ ) и сверить с записанным.

2. Произвести промежуточный контроль по разностям. Для этого образовать и сравнить разности  $\Delta t^V_m$  между колонками с разностями  $\Delta T_{xp}$ , переведенными в  $\Delta t^V$  по минутным таблицам МАЕ.

Колонка	2—1	3—2
Разности $\Delta T_{xp}$ По минутным таблицам МАЕ $\Delta t^V$	$5^m 01^c$ $1^\circ 15', 5$	$4^m 21^c$ $1^\circ 5', 4$
Разности $\Delta t^V_m$	$1^\circ 15', 4$	$1^\circ 5', 5$

Разности не должны расходиться более чем на  $0', 1$  (в данном случае — допустимо).

3. Проверить величины  $\tau_*$  и  $\delta_*$  по вкладышу в МАЕ и последние суммы:

$$t^V_m + \tau_* = t^*_m.$$

4. Контроль по звездному глобусу. Установить глобус по  $\varphi_c$  и  $t^V_m$  (на последний момент) и проверить приближенно, сходятся ли  $t^*_m$  с вычислениями, а также  $h$  с  $oc$ . Это особенно необходимо при опознавании звезд, наблюдаемых в разрывы облаков.

Не следует жалеть времени на проверку  $t$  и  $\delta$ , так как ошибки, обнаруженные в них только после расчета  $h_c$  и  $A_c$ , приведут к большим потерям времени, а иногда и к потере обсервации.

**Выборка  $t_m$  и  $\delta$  Солнца.** При определении места судна по Солнцу наблюдения производятся не одновременно, как по звездам, а через некоторый интервал времени. Вследствие этого меняются не только часовые углы, но и долгота судна. Поэтому при контроле по разностям к величинам  $\Delta t^{\odot}_m$ , полученным по  $\Delta T_{xp}$ , нужно прибавить  $\Delta \lambda$  между считаемыми местами, снятую с карты. Этим одновременно проверяем, правильно ли были сняты и записаны  $\lambda_c$ .

Обычно наблюдаются две линии по Солнцу; при наблюдении трех линий контроль производится аналогично двум.

**Пример 3.** 8/VIII 1971 г. около  $T_c = 10^h 52^m$ ,  $\lambda_c = 169^\circ 48', 5$   $O^{st}$  наблюдали Солнце  $T_{xp} = 11^h 51^m 10^c$ ,  $u = +0^m 48^c$ . Следуя далее, около  $T_c = 12^h 53^m$ ;  $\lambda_c = 170^\circ 20', 0$   $O^{st}$  снова наблюдали Солнце  $T_{xp} = 1^h 51^m 48^c$ . Определить  $t^{\odot}_m$  и  $\delta^{\odot}$ , произвести контроль.

# Р е ш е н и е

1.	$\frac{T_c}{N_2}$	$10^u52^M$ 8/VIII	$T_{xp}$	$11^u51^M10^C$	
		11	$u$	+0 48	
	<hr/>		<hr/>		
	$T_{zp}$	$23^u52^M$ 7/VIII	$T_{zp}$	$23^u51^M58^C$	
			$t_T$	$163^\circ34',2$ (0',4)	$\delta_T$ $16^\circ24',4$ (-0',7)
			$\Delta t_{1,2}$	12 59,5	$\Delta\delta$ -0 ,6
			$t_{zp}^\odot$	176 33,7	$\delta_\odot$ $16^\circ23',8$ N
			+ $\lambda$	169 48,5	
			$t_M^\odot$	$346^\circ22',2$	
	2.	$\frac{T_c}{N_2}$	$12^u53^M$ 8/VIII	$T_{xp}$	$1^u51^M48^C$
		11	$u$	+0 48	
<hr/>		<hr/>			
$T_{zp}$		$1^u53^M$ 8/VIII	$T_{zp}$	$1^u52^M36^C$	
			$t_T$	$193^\circ34',4$	$\delta_T$ $16^\circ23',0$
			$\Delta t_{1,2}$	13 09,1	$\Delta\delta$ -0,6
			$t_{zp}^\odot$	206 43,05	$\delta_\odot$ $16^\circ22',4$ N
			+ $\lambda$	+170 20,0	
			$t_M^\odot$	$377^\circ03',5$	

3. Контроль и проверка результатов. При проверке  $T_{zp}$  и гринвичской даты в данном примере надо брать первый и второй моменты; так как между ними изменилась дата:

$T_c = 23^h51^m58^s$  7/VIII +  $11^h \approx 10^h52^m$  8/VIII... правильно,

$T_c = 1^h52^m36^s$  8/VIII +  $11^h \approx 12^h53^m$  8/VIII... правильно.

Производим контроль по разностям:

$$t_2^\odot - t_1^\odot = 30^\circ41',3,$$

$$\Delta T_{xp} = 2^h00^m38^s.$$

По  $\Delta T = 2^h$  из основных таблиц МАЕ  $\Delta t^\odot = 30^\circ00',2$  и из интерполяционных на  $38^s$   $\Delta t^\odot = 09',5$ ; с карты снимаем  $\Delta\lambda = 31',7$   $O^{st}$ . В сумме получаем:  $\Delta t^\odot = 30^\circ00',2 + 9',5 + 31',7 = 30^\circ41',4$ . Расхождение 0',1, тогда как возможны расхождения до 0',3—0',4 за счет ошибок снятия долгот. Следовательно, арифметических ошибок нет.

Наименование часовых углов и склонений проверяется логически: до кульминации часовой угол  $O^{st}$ , после — W; наименование склонения — по дате.

## Определение времени восхода (захода) Солнца и сумерек

При определении  $T_c$  восхода (захода) Солнца не следует забывать, что в МАЕ приведено время восхода и захода Солнца на Гринвичском меридиане с *уровня моря* и для средних значений рефракции в широтах до  $74^\circ \text{ N}$  и  $60^\circ \text{ S}$ . В малых и средних широтах поправки на высоту мостика, температуру и давление в обычных случаях можно не вводить, в высоких широтах поправки могут иметь заметную величину. Для их учета в Мореходных таблицах (МТ-63) имеется табл. 20-д, в которой помещен коэффициент, дающий изменение времени восхода при изменении высоты Солнца  $\Delta h$  на  $1'$ . Поэтому выбранную из табл. 20-д величину надо умножить на  $\Delta h$ , полученную из табл. 11-б, 14-а, б МТ-63 по данным: высота глаза, температура и давление воздуха.

Если вводить поправку, то время восхода и захода Солнца может быть получено в любой широте с точностью до 1 мин.

**Пример 4.** 12/XI 1971 г. в  $\varphi = 69^\circ 15' \text{ N}$ ;  $\lambda = 41^\circ 50' \text{ O}^{\text{st}}$  определить декретное время захода Солнца и конца навигационных сумерек, если  $e = 17 \text{ м}$ ,  $t = -5^\circ$ ,  $B = 770 \text{ мм}$ ,  $A_\odot \approx 145^\circ \text{ NW}$  или  $35^\circ \text{ SW}$ .

**Р е ш е н и е 1.** Вычисление времени захода Солнца по МАЕ.

Из МАЕ на 12/XI	для $\varphi = 68^\circ \dots$	$T_T$	$14^h 31^m$
Из приложения	$\left\{ \begin{array}{l} \text{по } \Delta\varphi = 1^\circ 15' \\ \text{по } \lambda = 40^\circ \dots \end{array} \right.$	$\Delta T_\varphi$	$-17$ (разность $-29^m$ )
1 к МАЕ		$\Delta T_\lambda$	$+1$ (разность $+5^m$ )
		$- \quad T_M$	$14 \ 15$
		$+ \quad \lambda^m$	$2 \ 47$
		$(N_2 + 1)$	$4$
Заход Солнца с уровня моря		$T_\partial$	$15^h 28^m$

2. Получение поправки ко времени за высоту мостика, температуру и давление.

Подсчет изменения высоты Солнца при данных условиях.

Из табл. 11-б МТ-63 по $e = 17 \text{ м}$ . . . . .	$d$	$-7', 3$
» » 14-а по $t = -5^\circ$ и $h_g = -7', 3$ . . . . .	$\Delta h_t$	$-3, 6$
» » 14-б по $B = 770$ и $h_g = -7', 3$ . . . . .	$\Delta h_B$	$-0, 5$
<hr/>		
$\Delta h$		$-11', 4$



Получение поправки ко времени захода. Из табл. 20-д МТ-63 по  $\varphi = 70^\circ$  и  $A = 35^\circ$  получим  $\Delta T = 0,35^m$  (на 1'). Поправка ко времени захода:  $\Delta T^m = 0,35 \times 11,4 \approx 4^m$ .

3. Заход Солнца в данных условиях:  $T_c = 15^h 28^m + 4^m = 15^h 32^m$ .

4. Получение времени конца навигационных сумерек.

Из МАЕ на 12/XI в $\varphi = 68^\circ$ продолжительность навигационных сумерек . . . . .	$\Delta T_T$	$2^h 26^m$
Поправка на $\Delta\varphi = 1^\circ 15'$ из приложения 1 к МАЕ . . . . .	$\Delta T_\varphi$	$+14 (+24^m)$
Промежуток времени от захода до конца навигационных сумерек . . . . .	$\Delta T$	$2^h 40^m$
Заход Солнца . . . . .	$T_c$	$15^h 32^m$
<hr/>		
Время конца навигационных сумерек . .	$T_c$	$18^h 12^m$

Так можно определить время восхода, захода и сумерек только в широтах от  $60^\circ S$  до  $74^\circ N$ . В больших же северных широтах задача решается по специальным таблицам (см. ниже), в южных время вычисляется через часовой угол Солнца, как это показано в курсах мореходной астрономии.

### Таблицы восхода и захода Солнца для северных широт $74-90^\circ$

Специальные «Таблицы восхода и захода Солнца для  $\varphi > 74^\circ$ », изданные на 1962—1965 гг., в основной своей части пригодны и на последующие годы до 2000 г. В них приведено отдельно время восхода и захода Солнца в часах и минутах для меридиана Гринвича с уровня моря на каждый градус широты, а также дано время кульминации и параллель, на которой Солнце касается в этот день горизонта, т. е. данные для определения времени начала и конца полярного дня и ночи.

Время восхода и захода Солнца определяется по этим таблицам так же, как и по МАЕ.

В случае применения таблиц после 1965 г. необходимо помнить особенности построения гражданского календаря, вследствие которых координаты Солнца в те же самые дни года приблизительно одинаковы через четыре года. Эти так

называемые соответствующие годы можно определить, добавив 4 или  $4 \cdot n$  к данному в таблице году, например  $1964 + 4 = 1968$  г.;  $1965 + 2 \times 4 = 1973$  г. и т. д. В соответствующие годы можно применять одни и те же табличные данные по восходу и заходу, например в 1971 г. данные 1963 г. Однако полученное таким способом время будет приближенным, так как координаты Солнца в следующий тропический год несколько изменяются и, кроме того, не получается полного соответствия тропического года и гражданского календаря. Поэтому в таблицах приводятся данные по изменению склонения Солнца (табл. II, ч. 2) и значение множителя  $\gamma$ , дающего изменение момента восхода при изменении склонения на  $1'$  (табл. II, ч. 1). Поправку  $\Delta T$  ко времени восхода — захода получают их перемножением. Знак поправки определяется знаком  $\Delta\delta$ , указанным в таблице.

Величинами поправок до 1975 г. в  $\varphi < 85^\circ$  можно пренебрегать, так как они менее  $1-2^m$ .

Таблицы можно применять и в южных широтах, но при решении нужно использовать способ «антиподов», применявшийся в МАЕ до 1961 г.

## Изменение Морского Астрономического Ежегодника

В настоящее время применяется МАЕ образца 1961 г., основным недостатком которого являются большие объем и формат. С 1975—1976 гг. предполагается выпуск ежегодника, значительно меньшего по объему. В нем будут помещены те же эфемериды, но на развернутом листе даны три дня вместо двух. На левой странице поместят часовые углы точки Овна, а также  $t_{ар}$  и склонения  $\delta$  Солнца и четырех навигационных планет, причем квазиразности, разности, а также  $T^k$ ,  $\alpha$ ,  $p$  приведены один раз на три дня. На правой странице будут помещены  $t_{ар}$  и  $\delta$  Луны, а также время восхода, захода Солнца и Луны (в часах и минутах) и время начала и конца сумерек. Кроме обычных данных, приведены также возраст и фаза Луны. Интерполяционная таблица переработана так, что для Солнца и планет служит одна графа таблицы. Изменения в схемах и работе коснутся только времени сумерек. Это время можно будет получить по той же схеме, что и восход, заход (см. пример 4) Солнца. По этой форме МАЕ будет мало отличаться от принятого в большинстве морских стран.

## § 2. ТАБЛИЦЫ ВЫСОТ И АЗИМУТОВ 1958 г.

Таблицы высот и азимутов светил (ВАС-58 г.) являются в настоящее время на морском флоте главным пособием для решения основных задач — определения места и поправки компаса. Аналогичные таблицы применяются и на иностранных флотах (НО-214 и НО-229 — в американском, НО-489 — в английском и др.).

Таблицы ВАС — численные, т. е. в них приводятся готовые значения высот и азимутов на целые градусы аргументов и поправки к ним за минуты и их десятые доли. Эти таблицы пригодны для решения любого сферического треугольника почти во всех случаях. По заключению выдающегося советского ученого вице-адмирала Н. Н. Матусевича, таблицы подобного типа являются наиболее простыми как по идее, так и в практическом применении. Рассмотрим некоторые особенности работы с ВАС-58.

Таблицы ВАС состоят из четырех томов основных таблиц (по  $20^\circ$  широты), в которых по  $\varphi_T$ ,  $\delta_T$ ,  $t_T$  (где  $T$  — табличные значения градусов) приводятся соответствующие им значения  $h_T$ ,  $A_T$  и вспомогательного угла  $q_T$ . В конце таблиц помещены таблицы поправок — две основные и одна вспомогательная. Счислимые высота и азимут получаются добавлением поправок из этих таблиц к значениям  $h_T$  и  $A_T$ :

$$h_c = h_T + \Delta h_\varphi + \Delta h_\delta + \Delta h_t + \Delta h_{\text{доп}}, \quad (1)$$

$$A_c = A_T + \Delta A_\varphi + \Delta A_\delta + \Delta A_t. \quad (2)$$

В таком порядке получаются  $h_c$  и  $A_c$  в общем случае обработки морских наблюдений.

Поправки высоты за широту  $\Delta h_\varphi$  и за склонение  $\Delta h_\delta$  вычислены по формулам:

$$\Delta h_\varphi = \cos A \Delta \varphi - \operatorname{tg} h \sin^2 A \frac{\Delta \varphi^2}{2} \operatorname{arc} 1' \quad (3)$$

и

$$\Delta h_\delta = \cos q \Delta \delta - \operatorname{tg} h \sin^2 q \frac{\Delta \delta^2}{2} \operatorname{arc} 1'. \quad (4)$$

Так как структура формул одинакова, то вычислена одна табл. 1.

Поправка высоты за часовой угол  $\Delta h_t$  вычислена по формуле

$$\Delta h_t = -\Delta t \cos \left( \varphi_T + \frac{\Delta \varphi}{2} \right) \sin \left( A_c - \frac{\Delta A_t}{2} \right) \quad (5)$$

и помещена в табл. 2.

Из формул (3), (4) и (5) видно, что в таблицах ВАС-58 учтены по два члена разложения в ряд Тейлора, вследствие этого повышена точность вычисленной  $h_c$ .

*Порядок работы с таблицами ВАС-58:* образовать разность данных (Д) и ближайших табличных значений (Т) аргументов с учетом их знаков: т. е.  $\varphi_c - \varphi_T = \pm \Delta \varphi$  и т. п. (пример 5); из основных таблиц по  $\varphi_T$ ,  $\delta_T$ ,  $t_T$  выбрать и записать пять величин:  $h_T$ ,  $A_T$ ,  $q_T$ , величину и знак  $\Delta A_t$  — поправки азимута за минуты часового угла, округленные до  $0^\circ,1$  (интерполированием по вертикали), и знак  $\Delta A_\delta$  — с соседней колонкой; открыть табл. 1 на нужном диапазоне высот — по  $h_T$ ; в табл. 1 входят два раза — первый с  $A_T$  и  $\Delta \varphi$  (получаются поправки  $\Delta h_\varphi$  и  $\Delta A_\varphi$ ) и второй с  $q_T$  и  $\Delta \delta$  (получаются поправки  $\Delta h_\delta$  и  $\Delta A_\delta$ ). Если  $\Delta \varphi$  или  $\Delta \delta$  отрицательны, то вход производится снизу таблицы, а азимут или  $q$  нужно брать справа. Знак поправки в этом случае берется внизу колонки поправок. Интерполирование на десятые доли минут производится с помощью таблиц на полях;

получить  $A_c$  добавлением поправок к  $A_T$ . Наименование азимута — полукруговое, т. е. первая буква по широте, вторая — по часовому углу;

открыть табл. 2 на нужном диапазоне широт, отыскать сверху нужное  $\Delta t$ , затем — слева  $\varphi_T$ , в колонке которого найти строчку по  $A_c$  и выбрать  $\Delta h_t$ . Знак поправки противоположен  $\Delta t$ ;

из табл. 3 определить дополнительную поправку. Это требуется очень редко и только при точных выборках (если  $\Delta \varphi$  больше  $10'$ , а  $\Delta A_\delta$  больше  $0^\circ,2$ ). Вход в эту таблицу — по  $\Delta A_\delta$  (сверху или снизу), азимуту и  $\Delta \varphi$ ;

сложить отдельно положительные и отрицательные поправки и результат приписать к  $h_T$ . Получим величину  $h_c$ .

**Пример 5.**  $\varphi = 66^\circ 11'$ , О N;  $\lambda = 9^\circ 32',0$  Ost;  $t^m = 31^\circ 12',3$  Ost,  $\delta = 3^\circ 54',1$  N. Определить  $h_c$  и  $A_c$  по сокращенной схеме.

$T$ и $D-T$	$h_T$	$24^{\circ}18',0$	$A_T$	$145^{\circ},7$	
$\varphi=66^{\circ}+11',0$	$\Delta h_{\varphi}$	$-9',1$	$\Delta A_{\varphi}$	$+0^{\circ},1$	$q_T=13^{\circ}$ $A_c - \frac{A_t}{2} = 145^{\circ},6$ (для входа в табл. 2)
$\delta=4-5,9$	$\Delta h_{\delta}$	$-5,8$	$\Delta A_{\delta}$	$+0,0$	
$t=31+12,3$	$\Delta h_t$	$-2,8$	$\Delta A_t$	$-0,4$	
	$\Delta h_{\text{доп}}$	$0,0$			
Одноименные	$h_c$	$24^{\circ}00',3$	$A_c$	$145^{\circ},4 \text{ NO}$	

При работе с ВАС-58 следует обратить внимание на операции, в которых возможен промах. К ним относятся:

вход в основные таблицы с разноименным склонением (снизу и справа), причем промах обнаруживается сразу — сравнением с  $h_{\text{общ}}$ ;

вход в табл. 1 с отрицательными  $\Delta\varphi$  и  $\Delta\delta$  (также снизу и справа); обратить внимание на знак поправки, особенно снизу, — иногда надо посмотреть одну строку вверх; выборка диапазона  $h$  в табл. 1 ВАС-58

*Определение поправки компаса по ВАС-58.* Для этой задачи азимут светила выбирается из основных таблиц и интерполируется по  $\delta$  и  $t$  также по основным таблицам. При высотах пеленгуемого светила менее  $22^{\circ}$ , что соответствует наивыгоднейшим условиям определения поправки компаса, поправка азимута за широту  $\Delta A_{\varphi}$ , выбираемая из табл. 1, ВАС-58 не превышает  $0^{\circ},1$  и ею практически можно пренебрегать.

Если определять поправку при высотах светила более  $22^{\circ}$ , что применяется сравнительно редко, величину поправки  $\Delta A_{\varphi}$  можно получить по графику поправок азимута за широту (рис. 1), предложенному штурманом Антоновым. Его можно вычертить на пластмассе и применять как палетку при выборках из ВАС-58. (По графику можно учитывать и поправку  $\Delta A_{\varphi}$  для высот  $-0-22^{\circ}$ , так как кривая  $\Delta A_{\varphi} = 0^{\circ},1$  для этих высот совпадает с  $\Delta A_{\varphi} = 0^{\circ},2$ , для высот  $22-40^{\circ}$  и выше нее  $\Delta A_{\varphi} = 0^{\circ},1$ .)

Следовательно, для получения  $\Delta K$  с табл. ВАС достаточно входить только в основные таблицы, при этом получение азимута заметно упрощается.

**Пример 6.**  $\varphi = 46^{\circ}45',5$  N;  $\delta = 18^{\circ}10',6$  S;  $t = 50^{\circ}27',3$  W;  
 $\Gamma КП = 230^{\circ},5$ . Определить  $\Delta ГК$ .

Р е ш е н и е.

	$A_T$	$131^{\circ},3$
$\varphi = 47^{\circ} - 14^{\circ},5$	$\Delta A_{\varphi}$	0,0
$\delta = 18 + 10,6$	$\Delta A_{\delta}$	+0,1
$t = 50 + 27,3$	$\Delta A_t$	-0,4
$h \approx 10^{\circ}$ $q = 147^{\circ}$	$A_c$ ИП КП	$131^{\circ},0$ NW 229,0 230,5
	$\Delta ГК$	$-1^{\circ},5$

Как видно из примера, трудоемкость получения  $A_c$  по ВАС-58 не больше, чем по другим таблицам (А. П. Ющенко, ТИПС).

*Определение  $h_c$  и  $A_c$  с перемещенным счислимым местом.*  
 При вычислениях по таблицам ВАС-58 число поправок можно сократить до двух:  $\Delta h_{\delta}$  и  $\Delta A_{\delta}$ , если  $\varphi_c$  округлить до целых градусов, а долготу  $\lambda_c$  изменить так, чтобы часовой угол также составил целые градусы. Новые координаты  $\varphi_n$  и  $\lambda_n$  относятся к так называемому «перемещенному счислимому месту» ПМ (рис. 2), из которого и прокладывается в дальнейшем линия положения. Перемещенная долгота может быть

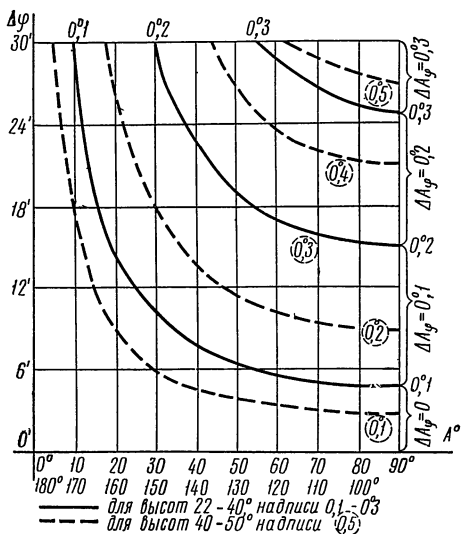


Рис. 1

получена двумя путями: подбором долготы, дающей  $t_m$  в градусах, т. е.  $t_{zp} \pm \lambda_n = t_m^{\circ}$ , и добавлением разности долгот, т. е.  $t_m \pm \Delta \lambda = t_m^{\circ}$ . Второй прием несколько проще.

Прием перемещенного места (по английски А.Р. или С.Р., т. е. Assumed, chosen position) известен очень давно и широко применялся при работе со многими таблицами, особенно на английском и американском флоте (с таблицами НО-214). Однако упрощение выборок из таблиц усложняет прокладку: каждая линия прокладывается из своего места на карте, точность линии понижается за счет больших переносов, а сами линии оторваны от счисления. По этим причинам на отечественном флоте прием перемещенного места почти не применялся.

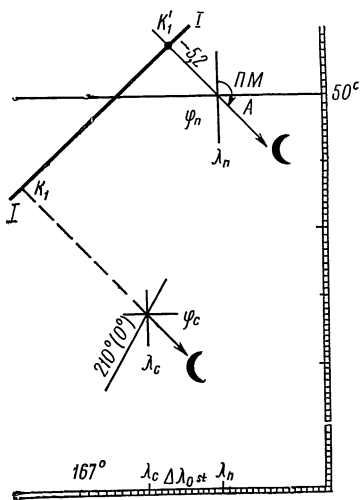


Рис. 2

При пользовании некоторыми таблицами, например ТВАЗ, НО-249, АР-3270 и другими, этот прием обязателен, так как в них нет поправок за  $\varphi$  и  $t$ . Применять

его с таблицами ВАС-58 в общем случае нерационально, но при высотах более  $73^\circ$  этот прием обязателен.

**Пример 7.**  $\varphi_c = 49^\circ 43',5$  N;  $\lambda_c = 166^\circ 51',0$  W, наблюдали Луну  $t_{zp} = 134^\circ 41',5$  W;  $\delta = 8^\circ 27',9$  N;  $h_{обс} = 40^\circ 35',9$ . Рассчитать и проложить линию положения из перемещенного места.

Решение.  $\varphi_n = 50^\circ$

I прием

II прием

$t_{zp}$	$134^\circ 41',5$	$t_{zp}$	$134^\circ 41',5$
$\lambda_n$	$166^\circ 41',5$	$\lambda_c$	$166^\circ 51',0$
$t_\delta$	$328^\circ 00',0$	$t_\delta$	$327^\circ 50',5$
$t_n$	$32^\circ \text{ Ost}$	$\Delta\lambda$	$+9',5 \text{ Ost}$
		$t_n$	$32^\circ \text{ Ost}$

$\varphi_n = 50^\circ$  N

$\delta = 8^\circ + 27',9$  N

$t_n = 32^\circ \text{ Ost}$

$h_T$	$40^\circ 16',3$	$A_T$	$136^\circ 5'$
$\Delta h_\delta$	$+24,8$	$\Delta A_\delta$	$-0^\circ,3$
$h_c$	$40^\circ 41',1$	$A_c$	$136^\circ,2$

$q = 27$   $h_o$   $40^\circ 35',9$   
 $h_c$   $40^\circ 41',1$

$\text{NOst}$   $h$   $-5',2$

Для счислимого места имели бы  $h_0 - h_c = -12,9 \text{ Ас} = 135^\circ,9$ . Прокладка показана на рис. 2.

Из примера видно, что количество выборок сократилось на четыре, а действий — на три. Однако выбор перемещенного места включает два действия и нанесение дополнительной точки на карту.

В этом примере ошибок от перемещения места нет, так как перемещенное место находится ближе к линии, чем счислимое, и обе линии совпадают. Но чаще всего новый перенос значительно больше.

Ошибка в линии при больших  $\Delta\varphi$  и  $\Delta\lambda$  и высотах, больших  $60^\circ$ , может оказаться больше  $1'$ . В этих случаях следует вводить поправки, как показано в учебниках.

*Применение таблиц ВАС при высотах, больших  $73^\circ$ .* Табл. 1 ВАС-58 составлена только для высоты до  $73^\circ$ , поэтому при больших высотах приходится пользоваться специальным приемом, который заключается в следующем: поправки  $\Delta\varphi$  и  $\Delta t$  исключаются введением перемещенного счислимого места, оставшаяся поправка  $\Delta h_\delta$  выбирается из таблиц путем интерполирования угла  $q$ . Порядок работы следующий:

подобрать перемещенное счислимое место и записать  $\varphi_n$ ,  $\lambda_n$  и  $t_n$ ;

выбрать по  $\varphi_n$ ,  $t_n$  и  $\delta_T$  из основных таблиц ВАС высоту, азимут и угол  $q_T$ ; получить интерполированием  $\Delta A_\delta$ ;

проинтерполировать угол  $q$  на  $\frac{\Delta\delta}{2}$ , т. е. получить  $\frac{\Delta q_\delta}{2}$ ;

вычислить  $q' = q_T + \frac{\Delta q_\delta}{2}$ , т. е. исправить угол  $q_T$  полученной поправкой;

войти в табл. 1, диапазон высот  $0-22^\circ$ , и по  $\Delta\delta$  и  $q'$  выбрать поправку  $\Delta h_\delta$  (следует интерполировать на  $0^\circ, 1q'$ ); получить

$$h_c = h_T + \Delta h_\delta.$$

**Пример 8.**  $\varphi_c = 31^\circ 17',7 \text{ S}$ ;  $\delta = 16^\circ 32',9 \text{ S}$ ;  $\lambda_c = 43^\circ 38',3 \text{ W}$ ;  
 $t_{2p} = 47^\circ 02',1 \text{ W}$ ;  $h_0 = 74^\circ 47',9$ .

**Решение.**  $\varphi_n = 31^\circ$ ;  $t_n = 47^\circ 02',1 - 44^\circ 02',1 = 3^\circ 0',0 \text{ W}$ .

$$\varphi_n = 31^\circ \text{ S}$$

$$\delta = 17^\circ - 27',1 \text{ S}$$

$$t_n = 3^\circ \text{ W}$$

$h_T$	$75^\circ 44',2$	$A_T$	$168^\circ,3$	$q_T = 10^\circ; \Delta q_\delta = 0^\circ,5$
$\Delta h_\delta$	$-26,7$	$\Delta A_\delta$	$-0,4$	$q' = 10^\circ,25$
$h_c$	$75^\circ 17',5$	$A_c$	$167^\circ,9$	SW



При больших высотах и перемещенном месте заметную величину принимают ошибки кривизны линии и надо вводить поправки. Поэтому при  $h > 73^\circ$  вычисление  $h_c$  лучше производить по ТВА-57.

*Применение таблиц ВАС-58 для получения скорости изменения азимута  $W_A$  или промежутка времени между наблюдениями Солнца.* Время определения по Солнцу удобнее всего рассчитывать относительно его кульминации  $T_{ск}^s$ . При этом легче определить  $W_A$  для входа в таблицы промежутка времени между наблюдениями Солнца (см. § 8) или, при отсутствии таких таблиц, для его расчета.

1. Расчет скорости изменения азимута. Расчет основан на образовании разности  $A_2 - A_1$  за промежуток  $\Delta T = \Delta t = 1^h = 15^\circ$ .

Для входа в таблицы ВАС-58: получить  $\varphi_c; \lambda_c$  на предполагаемое время наблюдений. Далее следует определить  $T_c^{вк}$  верхней кульминации Солнца и  $\delta$ ; учитывая, что  $T_c^{вк}$  соответствует  $t_m = 0^\circ$  и  $A_1 = 180^\circ (0^\circ)$ , получить  $T_c^{вк} - T_c^{набл.} = \Delta T^{\circ, \mu}$ ; перевести  $\Delta T$  в градусы и получить  $\Delta T^\circ \approx t_m$ . Выбрав по  $\varphi, \delta, t_m$  величину  $A_2$ , получить

$$W_A = \frac{A_2 - A_1}{(t_2 - t_1) : 15},$$

где деление на 15 выполнено для получения часовой скорости.

**Пример 9.** 21/VIII 1971 г.  $\varphi_c = 38^\circ \text{ N}$ ;  $\lambda_c = 35^\circ \text{ W}$ , предполагается время определения  $T_c = 14^h (2\text{W})$ . Рассчитать  $W_A$ .

Решение.

$+ a) \begin{array}{c} T_m \\ \lambda \end{array}$	$12^h 03^m \dots \text{из МАЕ}$ 2 20	$b) \begin{array}{c} T_c'' \\ T_c' \end{array}$	$14^h$ 12 23
$- \begin{array}{c} T_{2P} \\ N^P \end{array}$	$14 \ 23 \ \delta = 12^\circ, 2 \text{ N}$ 2	$\Delta T$ $\Delta t = t_2$	$1^h 37^m$ $24^\circ$
$T_c^{вк}$	$12^h 23^m$		

в) По  $\varphi = 38^\circ \text{ N}$ ;  $\delta = 12^\circ \text{ N}$ ;  $t_2 = 24^\circ$  получаем  $A_2 = 134^\circ$ ;

$$г) \quad W_A = \frac{180^\circ - 134^\circ}{(24 - 0^\circ) : 15} = 29^\circ / \mu.$$

Эта величина служит для входа в табл. 2 (см. стр. 37).

2. Расчет промежутка времени между наблюдениями Солнца. Приближенный расчет промежутка времени между наблюдениями  $\Delta T$  можно осуществить, задаваясь ориентировочной величиной  $\Delta A = 40^\circ$  между линиями положения. Тогда, вычитая  $\Delta A$  из значения  $A_2 = 180^\circ$  на момент кульминации  $T_c^{\text{ок}}$  и выбирая из ВАС по  $\varphi$ ,  $\delta$  и  $A_2$  величину  $t_2$ , получим  $\Delta T = t_2 - t_1$ , где  $t_1 = 0$ . Добавляя (или вычитая)  $\Delta T^{\text{м}}$  ко времени кульминации, получим время вторых (или первых) наблюдений.

**Пример 10.** По данным примера 9 определить время вторых наблюдений при  $\Delta A = 40^\circ$ .

**Решение**

а) Время кульминации определяется аналогично пункту а примера 9; так же по  $T_{zp} = 14^{\text{ч}}$  выбирается  $\delta_\odot = 12^\circ, 2 \text{ N}$ .

б) Из табл. ВАС по  $\varphi = 38^\circ \text{ N}$ ;  $\delta = 12^\circ \text{ N}$ ;  $t_1 = 0^\circ$  получаем  $A_1 = 180^\circ$ .

в)  $A_2 = 180^\circ - 40^\circ = 140^\circ$ . В той же колонке таблиц отыскиваем  $A_2 = 140^\circ, 2$ ; это соответствует  $t_2 = 20^\circ$  (справа).

г)  $T^{\text{м}} = 20^\circ \times 4^{\text{м}}/^\circ = 80^{\text{м}} = 1^{\text{ч}}20^{\text{м}}$ ;  $T_2 = 12^{\text{ч}}23^{\text{м}} + 1^{\text{ч}}20^{\text{м}} = 13^{\text{ч}}43^{\text{м}}$ .

Если первые наблюдения выполнить в  $T_c = 12^{\text{ч}}23^{\text{м}}$ , а вторые в  $13^{\text{ч}}43^{\text{м}}$ , то разность азимутов будет около  $40^\circ$  (см. также пример 18).

*Определение отрицательной высоты по ВАС-58.* Эта задача может встретиться при обработке высот Солнца, измеренных около горизонта в высоких широтах, а также в навигационных задачах. Порядок работы с таблицами ВАС обычный, изменяются только следующие операции:

вход в основные таблицы производится, как обычно, сверху при одноименных  $\varphi$  и  $\delta$  или снизу — при разноименных, но путем перехода через черту, разделяющую эти данные;

знак поправки  $\Delta h_t$  будет одноименен с  $\Delta t$  (обычно — разноименен);

полученный азимут вычитается из  $180^\circ$  и ему придается обычное наименование (по широте и часовому углу). Следует иметь в виду, что при интерполировании азимута по основным таблицам его следует брать в одной четверти; полученной  $h_c$  придается знак минус.

**Пример 11.**  $\varphi = 71^\circ 29', 0 \text{ N}$ ;  $\delta = 16^\circ 57', 4 \text{ S}$ ;  $t = 29^\circ 28', 5 \text{ Ost}$ .  
Определить  $h_c$  и  $A_c$ .

# Р е ш е н и е

$T$	$D-T$	$h_T$	$0^\circ 14', 2$	$A_T$	$27^\circ, 6$	
$\varphi = 71^\circ$	$+29', 0 \text{ N}$	$\Delta h_\varphi$	$+25', 7$	$\Delta A_\varphi$	$0^\circ, 0$	$q = 9$
$\delta = 17$	$-2, 6 \text{ S}$	$\Delta h_\delta$	$-2, 6$	$\Delta A_\delta$	$+0, 0$	
$t = 29$	$+28, 50^{\text{st}}$	$\Delta h_t$	$+4, 3$	$\Delta A_t$	$+0, 5$	
	Разн.	$h'_c$	$0^\circ 41', 6$	$A'_c$	$28^\circ, 1$	
		$h_c$	$-0^\circ 41', 6$	$A_c = \text{N } 151^\circ, 9 \text{ Ost}$		

Определение элементов  $K_n$ ,  $K_k$  и  $\sigma$  дуги большого круга по ВАС-58. Параллактический треугольник светила, решаемый по ВАС-58, является обычным сферическим треугольником, поэтому для его вычисления на поверхности Земли, принятой за шар, надо только заменить названия вершин и величины сторон и углов  $\Delta P_N ZC$  на  $P_n AB$ , где  $A$  и  $B$  обозначают начальную и конечную точки плавания (рис. 3).

Для определения  $K_n$ ,  $K_k$  и  $\sigma$  надо принять  $\varphi_c = \varphi_1$ ,  $\delta = \varphi_2$  и  $t_n = \Delta\lambda$ ; из таблиц ВАС-58 выбрать  $A_c = K_n$ ,  $q = 180 - K_k$  (или  $q = K_k$ ) и  $h_c = 90^\circ - \sigma$ . Величина курса в круговом счете определяется логически.

**Пример 12.** Начальная точка плавания  $A$  имеет координаты:  $\varphi_1 = 41^\circ 32' \text{ N}$ ;  $\lambda_1 = 143^\circ 10' \text{ Ost}$ ; конечная точка  $B$  —  $\varphi_2 = 37^\circ 42' \text{ N}$ ;  $\lambda_2 = 122^\circ 48' \text{ W}$ . Определить элементы  $K_n$ ,  $K_k$  и  $\sigma$  большого круга.  
Р е ш е н и е Принимаем  $\varphi_c = \varphi_1$ ,  $\delta = \varphi_2$ ,  $t = \Delta\lambda = 94^\circ 2' \text{ Ost}$ .

$D$	$T$	$D-T$	$h_T$	$21^\circ 10', 8$	$A_T$	$58^\circ, 7$	
$\varphi_1 = 41^\circ 32' \text{ N}$	$42^\circ$	$-28'$	$\Delta h_\varphi$	$-14', 6$	$\Delta A_\varphi$	$-0^\circ, 1$	$q = 53^\circ$
$\varphi_2 = 37^\circ 42' \text{ N}$	$37$	$+42^*$	$\Delta h_\delta$	$+18, 0$	$\Delta A_\delta$	$-0, 4$	
$\Delta\lambda = 94^\circ 02' \text{ Ost}$	$94$	$+2$	$\Delta h_t$	$+7, 2$ $-1, 3$	$\Delta A_t$	$-0, 2$ $0, 0$	
			$h_c$	$21^\circ 20', 1$	$A_c$	$\text{N} = 58^\circ, 00^{\text{st}}$	

\* Иногда разность  $\Delta\delta$  оказывается больше  $30'$ . В этих случаях надо интерполировать на  $30'$  плюс остаток. Для данной задачи точность при этом будет достаточной.

Получим:  $\sigma = 90 - k_c = 68^\circ 40' = 4\ 120$  милям;  $K_H = 58^\circ$ ;  $K_K = 180 - q = 127^\circ$ . Эти результаты полностью сходятся с вычисленными по формулам и пятизначным таблицам.

*Достоинства и недостатки таблиц ВАС-58.* Таблицы ВАС-58 имеют следующие достоинства. Из всех отечественных таблиц они требуют наименьшей затраты времени для получения величин  $h_c$  и  $A_c$ , особенно при обработке наблюдений трех или четырех линий, например звезд. При этом выбираются сначала все основные значения  $h_T$  и  $A_T$  для всех звезд, затем все поправки из табл. 1, потом из табл. 2 и, наконец, все величины суммируются.

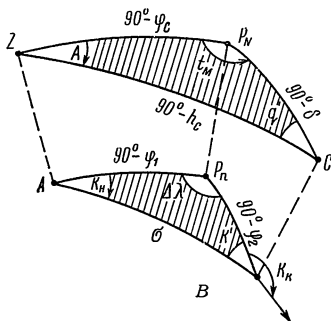


Рис. 3

Точность  $h_c$ , определенная по ВАС, составляет  $\pm 0',1 - 0',2$ , а азимута  $\pm 0^\circ,1 - 0^\circ,2$ , т. е. вполне достаточна для всех задач мореходной астрономии. Американские таблицы НО-214 дают значительно меньшую точность, а для высот, превышающих  $60^\circ$ , их точность уже недостаточна. Таблицы НО-229 достаточно точны, но более трудоемки.

Таблицы ВАС-58 универсальны, т. е. позволяют решать почти все задачи астрономии и навигации, в том числе и ряд вспомогательных задач; кроме того, их объем меньше аналогичных зарубежных таблиц.

Недостатками таблиц ВАС-58 являются:

сравнительно сложные таблицы поправок, их мелкий шрифт;

необходимость применения перемещенного счислимого места при высотах, больших  $73^\circ$  (в этих случаях лучше применять ТВА-57).

На ближайшее время таблицы ВАС-58 остаются основным пособием для вычисления  $h_c$  и  $A_c$ .

## НАВИГАЦИОННЫЙ СЕКСТАН И ДРУГИЕ УГЛОМЕРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

### § 3. ОШИБКИ НАВИГАЦИОННОГО СЕКСТАНА И ИХ УЧЕТ. СЕКСТАН СНО-Т

В настоящее время суда морского и промыслового флотов снабжены отечественными секстанами марки СНО-М и более ранних образцов СН, СНО, СНО-2М. Промышленность переходит на выпуск новой марки секстана СНО-Т, но эти секстаны еще долго будут применяться на флоте.

Рассмотрим основные источники так называемых инструментальных ошибок секстанов с микрометрическим барабаном по данным исследований секстанов, проведенных на кафедре астрономии ЛВИМУ имени адмирала С. О. Макарова.

*Ошибки нарезки зубчатой рамки.* У большинства современных секстанов как новых, так и бывших в эксплуатации основным источником ошибок в отсчетах являются систематические ошибки в нарезке зубчатой рейки лимба. Исключение составляют секстаны с верниером (выпускаемые, например, в Англии) и секстаны с оптическим отсчетом (выпускаемые в ГДР), у которых имеется только значительно меньшая ошибка в нанесении делений лимба.

Ошибки нарезки достигают  $1',0$  и накладываются на другие ошибки, главным образом от эксцентриситета (рис. 4), так что общая ошибка достигает у образцов выпуска до 1965 г.  $1',5—2',0$ , а у более новых  $0',5—0',8$ . Опыт показал, что ошибки нарезки заметно изменяются через  $5^\circ$ , в связи с чем поправки секстана в формуляре даются теперь через  $5^\circ$ .

Основная причина появления ошибок нарезки — это низкое качество изготовления и несовершенная конструкция зубчатого зацепления. В секстане СНО-Т эти ошибки значительно уменьшены.

Следует отметить, что у зарубежных секстанов эти ошибки также имеются (иногда до  $0',5$ ) несмотря на то, что в их аттестатах обычно ошибки не указаны.

Кроме систематических ошибок, червячное зацепление дает случайные ошибки, проявляющиеся в неустойчивости

отсчетов (при каждом новом измерении угла). Эта ошибка в большинстве случаев не более  $\pm 0',2$ , но у старых, изношенных секстанов доходит до  $\pm 0',5$ , что нетерпимо. По этой причине, в числе других, секстаны следует периодически проверять и отбраковывать. У секстана СНО-Т эта ошибка порядка  $\pm 0',1$ .

*Ошибка от эксцентриситета алидады.* Эксцентриситетом называется несовпадение центра вращения большого зеркала с центром дуги лимба, по которой производится

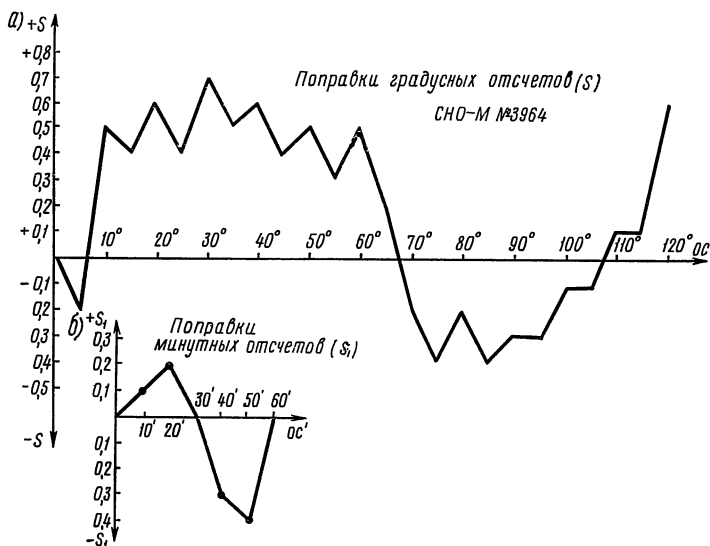


Рис. 4

отсчет угла. Эксцентриситет характеризуется направлением  $P$  смещения и  $e_{мм}$  величиной смещения, вместо которой применяется угловая величина  $\varepsilon'' = \frac{e_{мм}}{R \text{ arc } 1''}$ , где  $R$  — радиус лимба.

Поправки отсчетов за эксцентриситет можно вычислять по формуле

$$\Delta h''_s = 2\varepsilon'' \left[ \sin \left( \frac{oc}{2} - P \right) + \sin P \right], \quad (6)$$

из которой видно, что поправки возрастают с увеличением угла.

Исследования секстанов показывают, что ошибки за счет эксцентриситета у новых секстанов СНО-М невелики, у более старых марок — значительны. Они действуют совместно с ошибками нарезки рейки (рис. 4, а). Около 30% приборов вообще не имеют заметного эксцентриситета. Однако встречаются отдельные приборы, у которых появился вследствие ударов или повреждений оси значительный эксцентриситет. Такие секстаны следует браковать. У секстана СНО-Т заметного эксцентриситета не обнаружено.

*Ошибки от призматичности большого зеркала.* Призматичностью (или клиновидностью) называется непараллельность передней и задней поверхностей зеркала, а образующийся угол называют углом клина. Так как отражающей является задняя поверхность зеркала, то угол клина вызывает ошибку в отсчете, возрастающую с увеличением угла. Призматичность проявляется в раздвоении изображений на больших отсчетах, встречается она сравнительно редко. Секстаны с таким дефектом следует заменять. Зеркала секстанов СНО-Т имеют отражающий слой на передней поверхности зеркала, так что этой ошибки они не имеют.

*Инструментальная поправка s.* Ошибки нарезки, эксцентриситета и призматичности действуют при наблюдениях совместно, поэтому их определяют вместе и компенсируют введением  $s$  — инструментальной поправки градусных отсчетов, которая определяется через каждые  $5^\circ$  угла.

*Ошибки от нарезки и положения тангенциального винта.* Отсчетное устройство винта секстанов имеет червячное зацепление, при помощи которого производится отсчет в промежутке между градусными делениями, т. е. отсчитываются минуты и десятые доли угла. Эти величины являются долями поворота червячного винта относительно зубчатой рейки.

При наличии у червячного зацепления так называемой «циклической ошибки» угол поворота барабана не будет соответствовать углу поворота большого зеркала и возникнет дополнительная ошибка — на минуты угла.

Исследование показало, что ошибка характерна для секстанов СН и более ранних марок и иногда достигает  $1',0$ ; у секстанов выпуска после 1965 г. эта ошибка не превышает  $0',5$  (рис. 4, б). Такая ошибка встречается и у большинства зарубежных секстанов фирм «Плат», «Хьюз» и др. Не имеется этой ошибки у секстанов из ГДР, а также у секстанов СНО-Т.

Для устранения ошибки червячного винта следует определить на поверочном приборе поправки барабана  $s_1$ , которые можно давать через  $10'$  угла. Поправка  $s_1$  должна добавляться к поправке градусных отсчетов  $s$ .

Наличием этой ошибки объясняются, в частности, расхождения при определении поправки индекса по Солнцу ( $i_{\odot}$ ) и по горизонту или звезде ( $i_z$ ). Действительно,  $i_z = 360^\circ - oi_z$ , где  $oi_z$  включает только «градусную ошибку» около  $0^\circ$ . Отсчеты по Солнцу включают также ошибки барабана около  $30'$  делений, поэтому в них нужно ввести поправки  $s_1$  для этих отсчетов и только тогда  $i_{\odot} = i_z$ , т. е.

$$i_{\odot} = 360^\circ - \frac{(oi_1 + s_1) + (oi_2 + s_1)}{2} = 360^\circ - oi'_{cp} - s_1 \dots \quad (7)$$

или

$$i_{\odot} = i'_z - s_1 = i_z, \quad (8)$$

где  $oi'_{cp}$  — средний отсчет без поправок;

$i'_{\odot}$  — поправка, определенная по Солнцу обычным путем;

$s_1$  — поправка, выбранная из аттестата секстана на  $30'$ .

Следовательно, поправка  $i$ , определенная по Солнцу, относится не к  $0^\circ$ , а к  $0^\circ 30'$  (или  $359^\circ 30'$ , что близко), а  $i$  — по звезде — точно к  $0^\circ$ . Если поправка  $s_1$  неизвестна, т. е. нет нового аттестата и ввести ее по формуле (7) нельзя, то следует применять следующее правило:

поправка  $i$  по звезде или по горизонту принимается для высот, близких к целым градусам, например для  $oc = 28^\circ 07',4$  и т. п.;

поправка  $i$  по Солнцу принимается для высот, близких к  $30'$ , т. е. промежуточных, например для  $oc = 28^\circ 37',4$  и т. п.

По формуле (8) можно также приближенно определить  $s_1$  для  $30'$ .

*Клиновидность светофильтров.* Так называют непараллельность плоскостей стекла фильтра, вызывающую ошибки в высоте. По техническим условиям клиновидность не должна превышать  $10''$ , тогда ошибка в высоте будет меньше  $0',1$ . Исследования показывают, что в большинстве случаев светофильтры секстанов не дают существенных ошибок. Только около  $1/3$  фильтров дают ошибку  $0',2-0',3$  и лишь единичные больше  $0',6$ . Подобные фильтры следует заменять при проверках секстанов на приборе.



Следует отметить, что цвета светофильтров (синий, красный) неудачны, они научно не обоснованы и иногда мешают наблюдениям. Нет фильтров повышения контрастности горизонта (например, оранжевого). Те же недостатки и у фильтров нового секстана СНО-Т. С клиновидностью фильтров, их перекосами, а иногда и их загрязненностью связано явление «ложных солнц», затрудняющих наблюдения. При их появлении прежде всего следует промыть фильтры и установить, нет ли перекосов. Если «солнца» не исчезают, значит один (или несколько) фильтр имеет клиновидность и его следует заменить.

*Мертвый ход отсчетного устройства (м. х.).* Так называют разность показаний барабана при установке на секстане одного угла вращением барабана в одну, а затем в другую стороны. При этом свободного хода (люфта) у прибора обычно не бывает. По данным исследований получено следующее распределение величин мертвого хода:

Величина м. х. .	0'—0'1	0',2—0',5	0',6—1',0	1',1—1',7
% секстанов . . .	18	64	14	4

У секстанов, бывших в употреблении, чаще встречается значительный м. х., поэтому при наблюдениях следует применять меры для его устранения. Опыт показал, что ошибка от м. х. приблизительно одинакова на всех отсчетах и устранить ее можно путем вращения отсчетного барабана всегда в одну сторону — в сторону увеличения отсчетов как при определении  $i$ , так и при наблюдениях. Так же выполняется определение  $s$  на приборе.

*Определение инструментальных поправок на поверочном приборе.* Некоторые иностранные фирмы, в частности VEB (ГДР) и «Плат» (ФРГ), выпускают поверочные приборы, конструкции которых отличаются друг от друга только отдельными деталями. Одним из лучших является прибор предприятия VEB (рис. 5). Он состоит из следующих основных деталей: точно разделенного эталонного круга 5 с отсчетным устройством 1, платформы и консолей 3 для установки проверяемых секстанов, коллиматоров 4, дающих изображение удаленного предмета, зрительной трубы 2 и осветительной системы 6.

Приготовленный, т. е. смазанный и выверенный, секстан устанавливают в середине прибора. Вращением барабана секстана в одну сторону на нем устанавливают последовательно углы 0,5, 10, 15° и т. д. Их сравнивают с точными углами, получаемыми на отсчетном устройстве прибора. Это дает поправки  $s$  с их знаками. Поправки получают несколько раз, из них находят среднее арифметическое, которое и будет величиной  $s$ .

Аналогично получают поправки барабана. На этом же приборе проверяется и мертвый ход барабана.

Такие приборы должны быть в каждой навигационной камере пароходств, однако в настоящее время они имеются только в ВИМУ и в гидрографических отделах, а также в иностранных портах.

Между тем секстан необходимо периодически проверять в лаборатории, так как в море его поправки  $s$  получить невозможно (способ «звездных расстояний» для штурманов практически неприменим).

Полученные поправки  $s$  и  $s_1$  вписываются в формуляр секстана или в свидетельство, выдаваемое организацией (образец, применяемый в ЛВИМУ, дан на рис. 6). Общая поправка для данного угла  $s_0$  складывается из двух поправок — на градусы и минуты угла, т. е.

$$s_0 = s + s_1, \quad (9)$$

которой и исправляется данный  $ос$ .

*Изменение поправок во времени.* Повторные исследования секстанов из БМП в интервале от одного до трех лет показали, что в 98% случаев изменения поправок  $s$  меньше 0',3 и во всех случаях не превышают 0',5. Поправки  $s_1$  также не меняются больше чем на 0',1—0',2. Однако имеются случаи повреждений рейки, при которых поправка  $s$

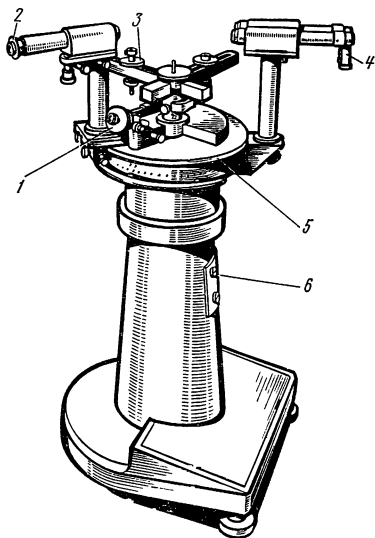


Рис. 5

изменялась на нескольких отсчетах до 1'. При увеличении интервала до пяти лет больших отклонений значительно больше. На этом основании нами предлагается переаттестация и осмотр секстанов через три года эксплуатации и внеочередные — после повреждений.

*Астрономическая обсерватория ЛВИМУ*

СВИДЕТЕЛЬСТВО  
о проверке секстана

№ \_\_\_\_\_

$OC^\circ$	$s$	$OC^\circ$	$s$	$OC^\circ$	$s$	Поправка делений барабана		Поправки за влияние свето-фильтров		
0		45		90		Деления барабана	$s_1$	№ фильтра	$s_2$	$s_2'$
5		50		95					$B$	$M$
10		55		100		Зеркало				
15		60		105		0'		1		
20		65		110		10'		2		
25		70		115		20'		3		
30		75		120		30'		4		
35		80		125		40'		Мертвый ход		
40		85		130		50'				

Примечания: 1. Поправки  $s_1$ ,  $s_2$  и  $s'_2$  придаются со своим знаком к основной поправке  $s$ .

2.

3.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 197 г. Исполнитель \_\_\_\_\_

Рис. 6

*Краткие выводы и рекомендации.* 1. Секстаны типа СНО-М требуют переаттестации через 3 года и при повреждениях. Рекомендуется наладить в навигационных камерах пароходств проверку секстанов.

2. Зубчатую рейку секстана следует периодически про-чищать жесткой щеткой и смазывать маслом, после чего про-кручивать барабан от 0 до  $120^\circ$ . Рейку надо беречь от уда-ров, появления зазубрин, попадания грязи, льда и т. п.

3. Иметь в виду, что у отсчетного барабана могут быть поправки и их необходимо вводить в величину *ос*.

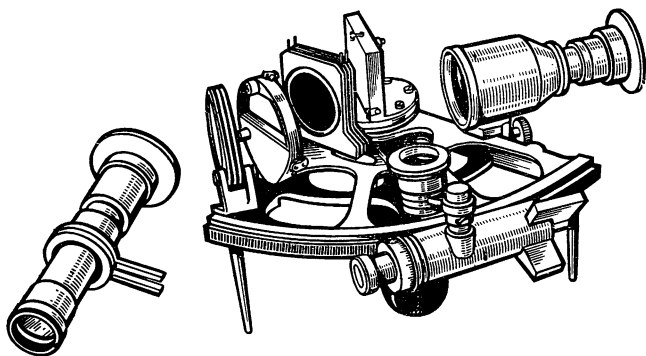


Рис. 7

4. При определении поправки индекса по Солнцу сле-дует в каждый отсчет вводить поправку барабана. Чтобы избежать введения поправки, следует определять значения *i* по звезде.

5. Измерение высот необходимо заканчивать вращением барабана всегда в сторону увеличивающихся отсчетов и так же вращать барабан при определении *i*. В этом случае мертвый ход будет сказываться меньше.

**Секстан СНО-Т.** С 1972 г. отечественная промышлен-ность будет выпускать новую марку секстана СНО-Т (секстан навигационный с осветителем — тропический). Опытные образцы секстана (рис. 7) в 1970 г. прошли испы-тания, которые показали хорошее качество этих приборов. Основные отличия нового секстана: улучшен металл рамы и деталей, изменены рама и ось вращения (алидада — внутри рамы), покрытия зеркал внешние, изменены фильтры, даны две трубы новой конструкции. Вес секстана 1,3 кг, пределы

измеряемых углов  $120^\circ$ , инструментальная поправка менее  $0',3-0',4$ , точность отсчета  $0',1$ , мертвый ход  $0',1-0',3$ . Измерения высот Солнца дали  $\varepsilon_{oc} = \pm 0',3-0',4$ , звезд  $\pm 0',5$ .

#### § 4. СЕКСТАНЫ С ИСКУССТВЕННЫМ ГОРИЗОНТОМ

Исследования секстанов ИМС-3 (о секстанах ИМС-3 и ГИМС-3 см. [7]), проведенные в последние годы, показали, что принципиально эти приборы могут дать точность в месте порядка  $\pm 2'-3'$  и служить вспомогательным прибором для определения места в основном ночью и иногда днем при плохой видимости горизонта. Однако для этого следует учесть следующее.

1. Требуется повысить качество изготовления ИМС, так как большинство действующих приборов дает неверные или нестабильные показания. В связи с этим следовало бы изменить и методику проверки этих секстанов в лаборатории завода. (Следует давать общую поправку относительно вертикали прибора.)

2. Штурманы, применяющие этот прибор, должны тренироваться в береговых условиях и только после получения хороших результатов пользоваться им в море.

3. Перед выходом в рейс штурману следует составить таблицу поправок прибора для разных высот по формуле

$$\Delta = h - h_{\text{имс}},$$

где  $h$  вычисляется по известным  $\varphi_0$ ;  $\lambda_0$ ,

$h_{\text{имс}}$  — отсчет секстана, исправленный рефракцией и поправкой  $i$ .

4. При значительной качке (более  $15^\circ$ ) прибор практически неприменим.

К некоторым иностранным обыкновенным секстанам прикладывается уровень с ночным освещением (например, к секстанам фирм «Плат», «Хьюз» и др.). В морских условиях они пригодны только для ориентировки секстана, но не для измерения высоты над искусственным горизонтом.

#### § 5. НАКЛОНОМЕРЫ

Наклономер представляет собой небольшой угломерный прибор отражательного типа, предназначенный для измерения углов, близких к  $180^\circ$ , но дающий отсчет угла сверх

$180^\circ$  в минутах (в пределах  $\pm 15'$ ). Измеренное прибором значение наклона горизонта будет всегда надежнее, чем выбранное из таблиц, которые составляются для средних состояний атмосферы, а поэтому могут значительно расходиться с действительностью.

Принцип устройства всех наклономеров одинаков и заключается в применении отражательной схемы (рис. 8, а) для измерения угла ( $180^\circ \pm 2d$ ).

Схема последнего образца накломера Н-5 показана на рис. 8, б. Сложная призма — крыша 2 — неподвижна, а луч от правой части горизонта поворачивается с помощью линз — подвижной 4 и неподвижной — отрицательной 3, представляющих собой как бы «оптический клин». При перемещении линзы 4 лучи от горизонта  $\Pi$  поворачиваются на угол до  $\pm 15'$ , который и фиксируется на поворотной шкале 5. Уравнивание яркостей

изображений горизонтов  $\mathcal{L}$  и  $\Pi$  производится диафрагмой 1. Зрительная труба 6 имеет увеличение 4 и  $5\times$ .

Наклонение горизонта измеряют поворотом шкалы 5, при помощи которой перемещается линза 4. Горизонты в накломерах Н-5 изображены в вертикальном положении (рис. 8, в). При повороте шкалы они совмещаются, причем при наклонах прибора изображения не расходятся. Чтобы исключить ошибки нуля, следует выполнять два измерения — при «прямом» ( $d_1$ ) и «перевернутом» ( $-d_2$ ) приборе; при этом сам наблюдатель поворачивается на  $180^\circ$ . Из отсчетов следует взять среднее арифметическое, т. е. наклонение определяется по формуле

$$d = \frac{d_1 - d_2}{2}. \quad (10)$$

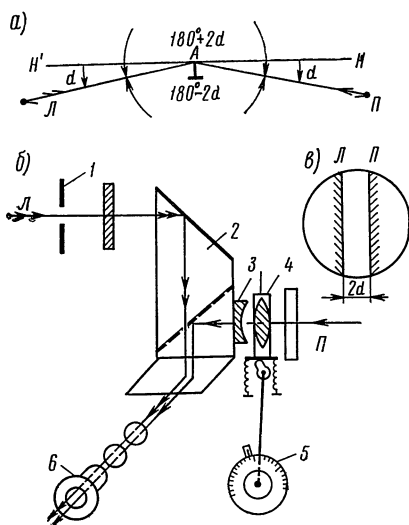


Рис. 8

Прямое положение прибора (отсчет  $d_1$ ) будет при диафрагме вверх. Если значение  $d_1$  отсчитывалось по черной шкале (+), то наклонение вычитается из высоты, если по красной (—), — прибавляется.

На судах встречаются также наклономеры Каврайского (НК). Работа с ними аналогична, только отсчет производится по оптической шкале одновременно с совмещением горизонтов.

Исследования наклономеров, проведенные автором книги осенью 1970 г., показали, что наклонение в море получается с точностью около  $\pm 0',2$  и что на измерение наклонения штурман тратит около 3—4 мин.

Наклономер рекомендуется применять главным образом при обсервациях, требующих повышенной надежности, например, при подходах к берегу, в экспедициях и т. п. Особенно полезен наклонмер при дневных наблюдениях, когда число линий ограничено двумя-тремя.

### ГЛАВА III

## ОСОБЕННОСТИ ДНЕВНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ МЕСТА СУДНА ПО СВЕТИЛАМ

### § 6. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА СУДНА В МОРЕ

Достижения современной техники в области мореходной астрономии, например автоматические астронавигационные системы для визуальных и радиоастрономических наблюдений могут значительно повысить безопасность плавания, позволяя определять место автоматически и при облачной погоде. Однако они еще слишком дороги, сложны, громоздки и, вероятно, имеют ограниченный срок службы. Наличие в этих системах гироскопических стабилизаторов, следящих систем, механических, электрических и оптических линий передач заставляет предполагать, что, помимо ошибок основного измерительного прибора, в них действуют еще ошибки этих элементов. Поэтому общая точность обсерваций, вероятно, не выше, чем при ручной работе штурмана. Пона-

добиться, по-видимому, еще некоторое время, чтобы простейшие из этих систем появились и распространились на транспортном флоте. В связи с этим основным методом астрономического определения места остается в настоящее время метод высотных линий положения (ВЛП). Имеется тенденция сделать этот метод единственным, исключив из практики различные «частные случаи», в том числе определение широты места по близмеридиональным высотам. Поэтому нужно, чтобы штурман в совершенстве знал основной метод ВЛП, различные варианты его применения, а об остальных методах только имел представление. Для тропиков полезно также знать способ соответствующих высот и высот, больших  $88^\circ$ .

На большинстве судов в ближайшее время будет продолжаться «ручная» обработка наблюдений по таблицам и только на некоторых — экспедиционных, исследовательских, ледоколах и т. п. к обработке подключится ЭЦВМ, в частности навигационная машина МВУ-3.

В общий метод высотных линий внесено несколько усовершенствований:

- определение наивыгоднейшего промежутка времени между наблюдениями Солнца;

- предварительные вычисления (предвычисления) линий положения, и особенно второй линии по Солнцу;

- применение в определенных условиях трех линий по Солнцу;

- расширение пределов дневного определения места по Солнцу и Венере или Луне;

- применение при океанских определениях авиационных таблиц подобранных звезд;

- предвычисления с этими таблицами пяти — семи линий по звездам;

- более тщательный анализ ошибок определения места, в связи с чем рекомендовано заранее планировать наблюдения, определяться по четырем звездам, привлекать к наблюдениям второго (третьего) наблюдателя, применять метод весов при выборе места и объединении обсерваций.

В способах определения поправки компаса уточнена методика определения поправки гирокомпаса (на данный момент и на длительный промежуток времени), а также даны упрощения при обработке по ВАС-58.

Существенной особенностью современных рекомендаций является: наблюдения запланированных светил по их



$h$  и  $A$  (в том числе предвычисленных), осреднение трех высот, введение контроля решения и выявление промахов.

Таким образом, в общем случае следует определяться всегда по линиям положения при любом положении светила, отбросив всякие частные способы. Преимущество метода ВЛП — его универсальность и стандартность обработки и анализа определения.

## **§ 7. ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ. КОНТРОЛЬ ИЗМЕРЕННЫХ ВЫСОТ**

Наиболее сложным моментом при определении места судна являются измерения высот светил. Точность определения зависит от качества секстана и качества наблюдения высот. При наличии хороших приборов решающим фактором является искусство наблюдателя. Нужно уметь подобрать: приборы, наилучшие условия, место, освещение и т. п., предварительно выбрать выгодные в данном случае светила и надлежащим образом организовать наблюдения (количество наблюдателей, фиксация моментов, контроль наблюдаемых высот, обработка наблюдений).

Рассмотрим подробнее подбор светил, организацию наблюдений и проведение их контроля.

*Дневные наблюдения.* Выбор времени наблюдений одного Солнца зависит от поставленной задачи, например место судна к полудню или более точное место и т. п. Промежуток же времени между наблюдениями зависит от ряда причин, главная из которых — скорость изменения азимута Солнца. Поэтому во всех случаях наивыгоднейшими будут наблюдения до и после кульминации, так как азимут изменяется здесь быстрее всего. Для трех линий по Солнцу к этим наблюдениям добавляется наблюдение в момент кульминации Солнца.

Наблюдения Солнца и Венеры, Солнца и Луны планируются на то время, когда разность их азимутов наибольшая или допустимая (не менее  $30^\circ$ ). При этом следует нанести на глобус Венеру и Луну и проверить возможность получить третью линию.

*Подбор звезд для наблюдений.* Две звезды или планеты. При подборе двух звезд разность их азимутов должна быть  $70-80^\circ$ , направление среднего азимута лучше выбирать совпадающим с линией пути судна. Тогда смещение от постоянных ошибок будет нам известно — в направлении

пути (см. § 16). Высоты светил должны быть по возможности одинаковыми.

Три звезды или планеты. При подборе трех светил следует стремиться, чтобы они были в разных частях горизонта, т. е. разность азимутов между тремя звездами должна быть по  $120^\circ$  при одинаковых высотах.

Четыре звезды или планеты. При четырех звездах подбор производится попарно: разность азимутов в паре  $180^\circ$  и одинаковые высоты; разность азимутов между парами  $90^\circ$ ; в разных парах могут быть разные высоты светил.

Во всех этих случаях нужно учитывать, что вечером первым лучше планировать наблюдение наиболее яркой звезды над менее освещенной остовой частью горизонта, а утром — более слабой звезды из планируемых над наиболее ярко освещенной — также остовой частью горизонта.

*Организация наблюдения светил.* Наиболее рациональной является работа основного наблюдателя совместно с помощником. Днем помощник замечает моменты по хронометру или по палубным часам и записывает отсчеты секстана. При ночных наблюдениях лучше, чтобы помощник производил также и отсчеты по секстану, так как очень важно, чтобы глаз основного наблюдателя был приспособлен к одним условиям (горизонт и звезда). Если это затруднительно, то наблюдающий звезды не должен производить отсчет при ярком освещении. Это возможно выполнить только при помощи секстана СНО-М со светящимися делениями. У большинства зарубежных секстанов отсчет производится на свету, после чего наблюдатель плохо видит горизонт, а иногда и «теряет» звезду.

Если наблюдатель работает один, то моменты надо замечать по секундометру (пущенному по  $T_{зр}$ ) или палубным часам, и записи  $T_{хр}$  и  $ос$  производить на месте наблюдений.

При проведении особо ответственных наблюдений нужно организовать группу наблюдающих из двух (трех) основных наблюдателей. Наблюдения можно производить посменно, причем каждый наблюдает свои комбинации светил. Если сумерки очень коротки, то записи могут делать матросы или другие лица, а все основные наблюдатели должны работать одновременно. Каждый наблюдатель измеряет высоты своим секстаном, предварительно выверенным, а моменты замечает по другому измерителю времени — второму хронометру или палубным часам. Если наблюдаются только две звезды или Солнце, то желательно измерять по пять

высот, если наблюдается три-четыре звезды — по три высоты.

*Контроль измерений по разностям.* При измерении трех, пяти или более высот подряд возможен промежуточный контроль измерений по разностям, который может производить помощник. Он может заметить также и азимуты звезд или Солнца по компасу.

Контроль по разностям производится следующим образом. Из табл. 15-б МТ-63 выбирается по  $\varphi$  и  $A$  изменение высоты за 10 сек для каждого светила отдельно (см. пример 13). По полученным  $\Delta h$  составляется табличка для  $\Delta h$  за 20, 30, 40 сек. Записав наблюдения, помощник образует разности отсчетов секстана и моментов между строк. Разности отсчетов секстана сравниваются с выбранными из таблиц и проинтерполированными на то же  $\Delta T^c$ . Если две разности подряд не сходятся, а остальные одинаковы, то среднее между ними наблюдение вычеркивается. Если все разности расходятся более чем на  $1'$ , то наблюдения выполнены плохо (возможно, вследствие плохих условий), и наблюдатель должен решить, может ли он повторить их более точно.

**Пример 13.** В  $\varphi = 54^\circ \text{ N}$ ;  $A = 45^\circ \text{ SO}^{\text{st}}$  наблюдали серию высот звезды.

Произвести контроль по разностям.

Р е ш е н и е.  $\Delta h$  за  $10^c = 1',04$  (табл. 15-б)

ос		$\Delta \text{ос}$	$T_{xp}$	$\Delta T$	$\Delta h_{\text{теорет.}}$
Вычеркиваем	$62^\circ 12',5$	$6',3 \} 9',3$	$7^h 24^m 56^s$	$50^c$	$5',2 \} 10',0$
	$18',8$		$25,46$	$46$	
	$21',8$		$26,32$	$48$	
	$27',3$		$27,20$	$50$	
	$62^\circ 32',9$	$5',6$	$7^h 28^m 10^s$		$5',2$

Сравнивая разности *ос* с теоретическими, видим, что разности 1—2 и 2—3 не сходятся, следовательно, второе наблюдение неточно. Вычеркнув его как промах, проверим разности 1—3, разность *ос* =  $9',3$ , а теоретическая =  $10',0$ , что допустимо.

Начинающему наблюдателю следует также измерить высоту Солнца и звезды одновременно с опытным наблюдателем и, исправив  $i + s$ , сравнить результаты.

Для контроля качества своих наблюдений и учета ошибок в обсервациях штурману полезно время от времени опре-

делять среднюю квадратическую ошибку (СКО) своих наблюдений. Особенно полезно получить ошибку при известных координатах  $\varphi_0$  и  $\lambda_0$ . В этом случае вычисленная высота будет истинной и разность ее с obserвованными, приведенными к одному моменту и зениту, даст общую ошибку наблюдений высоты. Среднее арифметическое из них даст систематическую ошибку, а отклонения от него — случайные ошибки.

Однако проще всего СКО выводится по размаху с графическим его получением по формуле

$$\varepsilon_{oc} = RK_p, \quad (11)$$

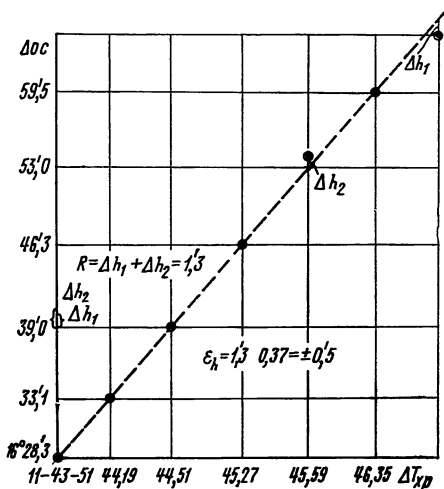


Рис. 9

где  $K_p$  — коэффициент размаха выбирается из табл. 1 по числу наблюдений  $n$ .

Таблица 1

$n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$K_p$	0,59	0,49	0,43	0,39	0,37	0,35	0,34	0,32	0,32	0,31

Для получения размаха после измерения серии высот на миллиметровке в координатах  $\Delta oc$  и  $\Delta T_{xp}$  (от первых наблюдений) наносятся точки (рис. 9). Проведя между точками «на глаз» среднюю линию, снимаем измерителем наибольшее отклонение вверх и вниз и, сложив их, получим размах, т. е.

$$R = \Delta h_1 + \Delta h_2. \quad (12)$$

При этом приведения к зениту и моменту не требуется.

## § 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО ПРОМЕЖУТКА ВРЕМЕНИ МЕЖДУ НАБЛЮДЕНИЯМИ СОЛНЦА И ВЫБОР ВРЕМЕНИ НАБЛЮДЕНИЙ

Наблюдения Солнца производятся не одновременно, а через некоторый промежуток времени, достаточный для изменения азимута Солнца на некоторую величину, т. е. здесь мы имеем дело с крюйс-линиями. Перенесенная по счислению первая линия будет включать ошибки в счислении за этот промежуток времени. Необходимо выбрать такой промежуток, чтобы разность азимутов оказалось достаточной, а ошибки счисления еще не слишком сместили первую линию. Следовательно, для определения промежутка времени между наблюдениями ( $\Delta T$ ) нужно установить связь между ошибками наблюдений и счисления и разностью азимутов Солнца. В курсе мореходной астрономии [7] выведены формулы для средней квадратической ошибки обсервованного места:

$$\varepsilon_{\text{м}} = \sqrt{2\varepsilon_{\lambda}^2 + \varepsilon_z^2 \operatorname{cosec} \Delta A} \quad (13)$$

и

$$\varepsilon_z = \sqrt{\varepsilon_S^2 \cos^2 q + \varepsilon_k^2 S^2 \sin^2 q}, \quad (14)$$

где  $\varepsilon_{\lambda}$  — средняя квадратическая ошибка в разности обсервованной и счисляемой высот Солнца;  
 $\Delta A$  — разность азимутов первой и второй линий;  
 $q = A - ИК$  — курсовой угол на Солнце для первой линии;  
 $\varepsilon_S$  и  $\varepsilon_k$  — ошибки плавания и курса;  
 $S$  — плавание между наблюдениями.

Выражение (14) преобразуем так, чтобы выразить ошибки лага в процентах, а компаса — в градусах, и после подстановки в формулу (13) получим

$$\varepsilon_{\text{м}} = \sqrt{2\varepsilon_{\lambda}^2 + \frac{V^2}{36\,000} L \operatorname{cosec} \Delta A}, \quad (15)$$

где  $V$  — скорость судна;

$$L = 36\varepsilon_{\Delta\lambda}^2 \cos^2 q + 100\varepsilon_{\Delta\kappa}^2 \sin^2 q.$$

Полученная формула исследовалась на минимум ошибки  $\varepsilon_{\text{м}}$  методом последовательных приближений, предложенным Б. А. Мальцевым [8]. В результате выяснилось, что наивыгоднейший промежуток времени между наблюдениями зависит от величин ошибок счисления, от скорости судна  $V$ ,

скорости изменения азимута  $W_A = \frac{\Delta A}{\Delta T}$  и величины ошибок переносов  $\varepsilon_A$ .

Ниже приведена приближенная таблица (табл. 2) для допустимого, т. е. близкого к наивыгоднейшему промежутку  $\Delta T$ , вычисленному для ошибок счисления, условно подразделенных на очень малые ( $\varepsilon_{\Delta k} = \pm 0^{\circ},5$ ;  $\varepsilon_{\Delta A} = \pm 1\%$ ), малые ( $\pm 1^{\circ},5$ ;  $\pm 2\%$ ), средние ( $\pm 2^{\circ}$ ;  $\pm 3\%$ ) и большие ( $\pm 3^{\circ}$ ,  $\pm 4-5\%$ ).

Таблица 2

Ошибки счисления	Скорость судна, узлы	$W_A=10^{\circ}/ч$ $W_A=15^{\circ}/ч$ $W_A=20^{\circ}/ч$ $W_A=25^{\circ}/ч$ $W_A=35^{\circ}/ч$ $W_A=45^{\circ}/ч$											
		Ошибки в переносах											
		$\pm 0',5$	$\pm 1',0$	$\pm 0',5$	$\pm 1',0$	$\pm 0',5$	$\pm 1',0$	$\pm 0',5$	$\pm 1',0$	$\pm 0',5$	$\pm 1',0$	$\pm 0',5$	$\pm 1',0$
Очень малые	10	4',4	5',5	3',3	4',0	2',8	3',0	2',5	2',6	1',9	1',9	1',6	1',6
	15	3',7	4',8	2',9	3',7	2',4	2',9	2',1	2',4	1',6	1',8	1',4	1',4
	20	3',0	4',4	2',5	3',3	2',2	2',8	1',9	2',3	1',5	1',7	1',3	1',4
Малые	10	3',1	4',4	2',5	3',3	2',2	2',8	1',9	2',3	1',5	1',8	1',3	1',4
	15	2',3	3',6	2',0	3',0	1',8	2',4	1',6	2',1	1',3	1',6	1',1	1',3
	20	1',9	3',0	1',7	2',5	1',5	2',3	1',4	1',9	1',2	1',5	1',0	1',2
Средние	10	2',5	3',7	2',1	3',0	1',9	2',5	1',6	2',1	1',3	1',7	1',1	1',3
	15	1',8	3',0	1',7	2',5	1',5	2',2	1',4	1',8	1',1	1',5	1',0	1',2
	20	1',5	2',5	1',4	2',1	1',3	1',9	1',2	1',6	1',0	1',3	0',9	1',1
Большие	10	1',8	2',9	1',5	2',4	1',5	2',1	1',3	1',8	1',1	1',5	1',0	1',2
	15	1',3	2',2	1',2	1',9	1',1	1',7	1',0	1',5	0',9	1',3	0',8	1',1
	20	1',0	1',8	1',0	1',6	0',9	1',5	0',8	1',3	0',8	1',1	0',7	1',0

**Пример 14.** В  $\varphi = 48^{\circ} \text{ N}$ ;  $\delta = 9^{\circ} \text{ N}$ ;  $IK = 356^{\circ}$ ,  $V = 15$  узлам. Определить допустимый промежуток времени между наблюдениями Солнца.

**Решение.** 1. На основании опыта принимаем:  $\varepsilon_{\Delta k} = \pm 1^{\circ},5$ ;  $\varepsilon_{\Delta A} = 2\%$ ;  $\varepsilon_h = \pm 0',5$ .

2. Выбираем из таблиц ВАС-58 скорость изменения азимута около кульминации (см. пример 9):

$$t = 15^{\circ}, \quad W_A = 23^{\circ}/ч.$$

3. Из табл. 1 по малым ошибкам  $V = 15$ ;  $W^A = 23^{\circ}/ч$  и  $\varepsilon_h = \pm 0',5$  получим кратчайший промежуток времени между наблюдениями, равный  $1',7$ .

## Определение времени выхода на наблюдения линии по Солнцу

Время наблюдений Солнца, с точки зрения наивыгоднейших условий, должно быть ближе к полудню, где значение  $W_A$  — наибольшее. Однако на практике оно зависит от постановки задачи. Рассмотрим некоторые из них.

*Определение наивыгоднейшего промежутка времени  $\Delta T$  для получения места к полудню и времени первых наблюдений  $T_1$ .* Утром, до начала наблюдений, находим время кульминации Солнца и приближенно задаемся искомым  $\Delta T'$  (в высоких широтах около 3 ч, в средних 2 ч) и получаем  $T_1$ . Затем определяем отстояние  $T_1$  от кульминации (см. пример 9) и из таблиц ВАС-58 выбираем  $W_A$ , т. е. изменение  $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ .

Так, для данных примера 9, задаваясь  $T_1 = 10^h$ , имеем  $t' = 2^h 23^m \approx 36^\circ$  и по таблицам ВАС  $W_A = \frac{180^\circ - 119^\circ}{36^\circ : 15} = 25^\circ/\text{ч}$ .

Положим, что  $V = 15$  узлам, ошибки — средние и  $\varepsilon_h = \pm 0',5$ . Тогда по табл. 2 имеем  $\Delta T = 1^h,4$ .

Уточненное время первых наблюдений будет:  $T_1 = 12^h - 1^h,4 = 10^h 36^m$ .

*Определение времени вторых наблюдений, если первые уже выполнены.* В этой задаче следует опять задаться приближенной величиной  $\Delta T'$  для выборки из таблиц ВАС-58 величины  $W_A$  (см. пример 9). Получение точного интервала производится по табл. 2. Время вторых наблюдений определяется просто:

$$T_2 = T_1 + \Delta T.$$

*Определение промежутка времени для наиболее точного определения места судна по Солнцу и времени первых и вторых наблюдений.* Эта задача решается проще и точнее, чем предыдущие, так как задаваться промежутком времени не надо,  $T_c$  кульминации определяется по МАЕ, а скорость  $W_A$  выбирается из таблиц ВАС-58 на момент кульминации, отсчитывая от  $t = 0^\circ$  вниз  $15^\circ$  и выбирая  $A_2$ , тогда  $180 - A_2 = \Delta A$  за  $1^h$ , т. е.  $W_A$ .

При высотах Солнца более  $60-65^\circ$  нужно откладывать  $\Delta t = 7',5$ , тогда  $W_A = 2\Delta A$ . Определив по табл. 2 допустимый интервал  $\Delta T$ , придаем  $\pm \frac{\Delta T}{2}$  к моменту кульми-

нации и получаем время первых и вторых наблюдений. Наблюдения будут производиться симметрично меридиану, высоты — близки к «соответствующим». Это и будет наилучшим расположением наблюдений. Так, в примере 9 мы получили бы  $W_A = 34^\circ$ . По данным  $V = 17$  узлам;  $\epsilon_h = \pm 0',5$ ; для средних ошибок счисления из табл. 2 имеем  $\Delta T = 1''$ , и первые наблюдения надо выполнить в  $12^h23^m - 30^m = 11^h53^m$ , а вторые в  $12^h53^m$ .

### Три линии по Солнцу

Если скорость изменения  $A$  достаточно велика — больше  $20^\circ/ч$ , то для получения более точного места можно наблюдать Солнце три раза и получить три линии положения. В этом случае первую линию лучше всего наблюдать до кульминации (кратчайший промежуток  $\Delta T$  из табл. 2), вторую — в момент кульминации, третью — симметрично первой — после кульминации, (см. пример 15). Проложив три линии положения, получаем треугольник ошибок и находим два места — внутри и снаружи треугольника.

### § 9. ОСОБЕННОСТИ СПОСОБА ВЫСОТНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ СОЛНЦА В МАЛЫХ ШИРОТАХ

Определять место способом ВЛП можно и при высотах Солнца, больших  $60^\circ$ , примерно до  $85-87^\circ$ . В этих случаях вычислять высоты  $h_c$  лучше не по таблицам ВАС-58, где требуется перемещенное место, а по таблицам ТВА-57 или МТ-63 — по формуле  $\sin^2 \frac{Z_c}{2}$ . При небольших переносах (до  $5-10'$ ) место судна практически определится с той же точностью, что и обычно.

Наблюдения высот следует выполнять ближе к кульминации Солнца. Выгоднее всего здесь применить наблюдения трех линий: до кульминации (при высотах  $h > 60^\circ$  интервал будет от 1 ч до 10 мин), в момент кульминации и после нее, лучше на той же высоте, что и первая. Промежуток времени от первого наблюдения до кульминации можно определить по табл. 2, а при  $W_A > 45^\circ/ч$ , т. е. при больших  $h$ , его приходится рассчитывать, задаваясь  $\Delta A = 30-40^\circ$  по таблицам ВАС-58. Наибольшую высоту можно здесь обрабатывать для получения  $\varphi_0$  и параллель принимать за линию. При



$h > 70^\circ$  можно применять измерения Солнца «через зенит», тогда в средней из двух линий исключаются систематические ошибки.

**Пример 15.** 5/I 1972 г. в Атлантическом океане, следуя ИК =  $= 136^\circ$ ,  $V = 14$  узлам, наметили определить место по Солнцу. На полдень сняли  $\varphi = 30^\circ 45' \text{ S}$ ;  $\lambda = 14^\circ 30' \text{ Ost}$ .

**Решение 1.** Определение времени наблюдений. В данном случае высота в полдень будет около  $82^\circ$  (по  $\varphi$  и  $\delta = 23^\circ$  — из МАЕ). Поэтому промежуток времени приходится рассчитывать. Задаемся

$\frac{\Delta A}{2} = 30^\circ$ ; при этом  $\Delta A$  между первой и третьей линиями равна  $60^\circ$ , тогда  $A' = S 150^\circ \text{ Ost}$ . Из таблиц ВАС-58 от кульминации на  $180 - -30 = 150^\circ$  имеем  $t = 5^\circ$  и  $\Delta T = 5^\circ = 20^m$ . Время кульминации Солнца будет  $T_c = 12^h 05^m - \lambda_c + N_0 = 12^h 07^m$ , время первых наблюдений  $T_1 = 12^h 07^m - 20^m = 11^h 47^m$ ; время вторых —  $T_2 = 12^h 07^m$ ; время третьих —  $T_3 = 12^h 07^m + 20^m = 12^h 27^m$ .

2. Наблюдения и обработка.

Первые и третьи наблюдения обрабатывались по ТВА-57, а по вторым наблюдениям определена широта. Результаты обработки приведены ниже:

I линия		II линия		III линия	
$h_0$	$80^\circ 55',6$	$\varphi_0$	$30^\circ 37',8 \text{ S}$	$h_0$	$80^\circ 55',6$
$h_c$	$80^\circ 46',0$	$\varphi_c$	$30^\circ 45',9 \text{ S}$	$h_c$	$80^\circ 50',5$
$h_1$	$+9',6$	$\Delta\varphi_2$	$0^\circ 8',1 \text{ N}$	$h_3$	$+5',1$
$A_1$	$31^\circ,0$	$A_2$	$0^\circ$	$A_3$	$331^\circ,5$

При прокладке (рис. 10) место судна принимаем внутри треугольника ошибок, так как наклонение измерено (если бы систематические ошибки остались, то место судна могло бы оказаться в точке  $M'$ ). Снимаем:  $PШ = 8',2 \text{ N}$ ;  $ОТШ = 4',7$ ;  $РД = 5',6 \text{ Ost}$ .

$\varphi_c$	$30^\circ 49',4 \text{ S}$	$\lambda_c$	$14^\circ 33',6 \text{ Ost}$	$T_c = 12^h 25^m$ ; $oa = 97,0$
$PШ$	$8',2 \text{ N}$	$PД$	$5',6 \text{ Ost}$	
$\varphi_0$	$30^\circ 41',2 \text{ S}$	$\lambda_0$	$14^\circ 39',2 \text{ Ost}$	$C = 30^\circ - 9',5$

## § 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ДНЕМ ПО ВЕНЕРЕ И СОЛНЦУ

В последнее время большое внимание уделяется определениям по Венере и Солнцу. Это объясняется тем, что одновременные наблюдения не включают ошибок счисления и поэтому точнее разновременных. К тому же место получается быстрее, особенно если предвычислить линии заранее. Выяснилось, что пределы применения этого способа значительно шире, чем считалось. Основной трудностью способа является то, что Венера днем простым глазом не видна, но видна через трубу секстана. Кроме того, Венера сближается с Солнцем (в верхнем и нижнем соединениях) и вблизи этих точек она вообще не видна.

*Определение пределов видимости Венеры.* Опыт показал, что Венеру можно видеть в трубу секстана при ее угловом удалении от Солнца в  $12^{\circ}$ — $15^{\circ}$  от нижнего соединения и в  $15^{\circ}$ — $20^{\circ}$  при верхнем соединении. В первом случае угловой диаметр Венеры и ее блеск значительно больше, значительнее и суточное перемещение по сфере. Поэтому удаления от Солнца в  $12^{\circ}$  она достигнет за 10—12 дней до и после нижнего соединения, и при яркости ее в  $-3^m,7$  планету можно свободно наблюдать днем. При верхнем соединении смещение планеты мало, меньше и яркость —  $3^m,3$ , поэтому наблюдать ее можно только за 2—2,5 месяца до и после верхнего соединения. Следовательно, общий период невидимости около нижнего соединения 20—25 дней, а около верхнего 4—5 месяцев. Данные по видимости Венеры в 1972—1974 гг. приведены в табл. 3. Даты соединений на каждый год приводятся в начале МАЕ. В годы, когда произойдут оба соединения, общее время невидимости Венеры порядка 5 месяцев; это годы, неблагоприятные для наблюдений. Если произойдет одно нижнее соединение, то Венеру можно наблюдать почти весь год (кроме 20 дней). В 1970 г. было два соединения (24/I верхнее и 10/XI нижнее), в 1971 г. было одно верхнее соединение (27/VIII) и Венера была невидима 4 месяца. В 1972 г. было одно нижнее соединение (17/VI), и этот год благоприятен для наблюдений (см. табл. 3).

Для определения периода невидимости Венеры рекомендуется к дате соединения, указанной на стр. 26 МАЕ, прибавить и отнять 2 мес. при верхнем соединении и 10 дней при нижнем. Например, для 1972 г. получим период невидимости с 7/VI по 28/VI. В английском морском ежегоднике

Таблица 3

Дата	Угловое удаление от Солнца	Видимый угловой диаметр	Фаза	Звездная величина (яркость)	Даты соединений и элонгаций	Видимость простым глазом	Видимость в трубу секстана
1/I 1972 г.	30°	13"	0.87	—3 <sup>m</sup> .4	7/IV восточная элонгация 17/VI ниж- нее соеди- нение с Солнцем 26/VIII западная элонгация	Вечерняя	Видима днем
I/III	43	18	0.68	—3.7		види- мость	
7/IV	46	25	0.5	—4.0		Нет	
1/V	44	33	0.36	—4.2		Утрен- няя види- мость Нет	7/VI по 28/VI период невидимости
7/VI	16	60	0.05	—3.7			
28/VI	16	60	0.05	—3.7			
1/VIII	43	34	0.35	—4.2			
26/VIII	46	25	0.5	—4.0	13/XI восточная элонгация 23/I ниж- нее соеди- нение	Вечерняя види- мость Нет	Видима днем
1/XI	40	15	0.76	—3.5			
1/I 1973 г.	27	12	0.9	—3.3			
17/I	20	22	0.94	—3.3		С 7/II по 9/VI период невиди- мости	С 12/I по 4/II период невидимо- сти
1/II	17	11	0.96	—3.3			
9/VI	17	11	0.96	—3.3			
22/VI	20	11	0.94	—3.3			
1/IX	37	15	0.77	—3.5	13/XI восточная элонгация 23/I ниж- нее соеди- нение	Вечерняя види- мость Нет	Видима днем
1/XI	46	23	0.55	—3.9			
12/XI	46	25	0.5	—4.0			
I/I 1974	30	50	0.15	—4.1	23/I ниж- нее соеди- нение	Нет	С 12/I по 4/II период невидимо- сти
12/I	17	60	0.05	—3.7			
4/II	17°	60"	0.05	—3.7			

приведен график «Планеты ...» (стр. 9), по которому также можно определить эти периоды (в заштрихованной полосе).

*Выбор условий наблюдений в данном месте.* Видимость Венеры еще не означает, что ее можно применить для определения места. Необходимо установить условия в данном месте, т. е. время, когда разность ее азимута с Солнцем, а также ее высота будут иметь допустимые величины. Опыт показал, что можно принять за допустимую  $\Delta A_{\min} = 30^\circ$  и  $h_{\min} = 15^\circ$ . Условия зависят от соотношения широты и склонения и времени наблюдений. В общем случае наибольшая разность азимутов будет, когда Солнце и Венера

находятся по разные стороны меридиана вблизи верхней кульминации. Выбор условий наблюдений следует производить по глобусу, на который по дате наносятся Венера и Солнце по их  $\alpha$  и  $\delta$ . Для Венеры координаты приведены в МАЕ ( $\alpha$  — внизу колонки, а  $\delta$  выбирается на  $T_{\text{эр}} = 12^{\text{ч}}$ ), а для Солнца  $\alpha$  получается по формуле

$$\alpha = t_{\text{эр}}^{\text{V}} - t_{\text{эр}}^{\odot},$$

где часовые углы выбираются на одно время (в строке  $T_{\text{эр}} = 12^{\text{ч}}$ ).

После нанесения светил устанавливаем звездный глобус по широте места, как обычно, и вращаем его, пока Солнце и Венера не окажутся по разные стороны меридиана в полуденной его части. Если разность азимутов, полученная с помощью вертикалов, превышает  $30^\circ$ , то наблюдения возможны. Поворотом глобуса к  $\text{Ost-у}$  и  $\text{W-у}$  подбираем положение Солнца (и Венеры), ближайшее к нужному времени обсервации и при котором  $\Delta A$  не меньше  $30^\circ$ . Судовое время определяется по  $S_{\text{м}}$ , снятому с глобуса под кольцом меридиана. При небольших угловых удалениях Венеры от Солнца достаточная разность азимутов может быть получена не всюду, а в основном в малых широтах. Если склонение северное, то более благоприятные условия в северных широтах, и наоборот. Например, 7/VI 1972 г. наблюдать Венеру ( $\delta = 24^\circ$ , 4 N) и Солнце можно с широты  $55^\circ \text{ N}$  до  $10^\circ \text{ S}$ , причем в  $\varphi_{\text{м}} = 55^\circ$  — в течение 1 ч после кульминации Солнца. В конце 1972 г. склонение Венеры  $21^\circ,7 \text{ S}$  и наблюдать ее можно от  $80^\circ \text{ S}$  до  $30^\circ \text{ N}$ , причем в южных широтах — в широком диапазоне времени. Во время элонгаций возможности наблюдений значительно шире, например 7/IV 1972 г. от широты  $90^\circ \text{ N}$  до  $55^\circ \text{ S}$ , и ограничиваются только высотой Венеры, так как при высотах менее  $15^\circ$  наблюдать Венеру трудно из-за плохой прозрачности атмосферы.

*Отыскание Венеры через трубу секстана.* Наибольшую трудность при дневных наблюдениях Венеры представляет ее отыскание на светлом фоне неба. Для этого необходимо заранее рассчитать  $h$  и  $A = \text{ИП Венеры}$ . Если расчет произведен с точностью до  $30\text{—}40'$ , то планета находится почти сразу же после наведения трубы на точку горизонта по компасу. Если же точность ниже, то отыскивать планету приходится довольно долго, а иногда не удается найти вообще. Для расчета  $h$  и  $A$  Венеры можно применить три приема: расчет  $h$  и  $A$  по звездному глобусу;

приближенный расчет по таблицам ВАС-58 (на целые градусы аргументов);

предвычисление линии по Венере на намеченное время наблюдений.

Расчет по звездному глобусу проще всего, так как глобус уже приготовлен при подборе времени наблюдений. Однако вследствие неточности глобусов современных конструкций ошибки в  $h$  и  $A$  иногда достигают  $1,5-2^\circ$ , и увидеть Венеру в этом случае не удастся. Расчет по таблицам ВАС более трудоемок, так как требует выборки  $t_m$  и  $\delta$  из МАЕ, но дает большую вероятность отыскания Венеры, особенно когда приходится ожидать видимости из-за дымки, облачности и менять время наблюдений. Для этого на каждые  $4^m$  задержки наблюдений к часовому углу добавляется  $1^\circ$  и с новым  $t_m$  из ВАС выбираются следующие значения  $h$  и  $A$ .

При ясной и устойчивой погоде наиболее надежный путь отыскания Венеры — это предвычисление ее высоты и азимута. Предвычисленная высота отличается от обсервованной на величину переноса, т. е. до  $15'$ , что способствует легкому отысканию планеты и, как всякое предвычисление, ускоряет получение места.

Первой всегда наблюдается Венера. На секстане устанавливается отсчет, равный найденной высоте, наблюдатель располагается в тени и в намеченное время направляет трубу секстана в направлении  $A$  по компасу. Применять можно дневную и ночную трубы секстана, однако дневная труба ( $7^x$ ,  $8^\circ$ ) дает лучшие результаты; при плохой же видимости только она и пригодна. Стойка трубы вдвигается до отказа, чтобы увеличить яркость отраженного изображения. Поводив трубой по горизонту, обнаруживаем Венеру, видимую как белое расплывчатое пятнышко на фоне неба; на фоне моря планета видна хуже. Если горизонт слишком ярок, то набрасывается слабый фильтр. С горизонтом совмещается середина светлого пятна. Покачивание выполняется очень осторожно, чтобы не потерять изображения. Рекомендуется измерять по три высоты. Обработка наблюдений обычная для одновременных наблюдений. Приведение к зениту выполняется аналитически, и всегда наблюдения Венеры приводятся к зениту солнечных.

Исследование дневного определения по Венере и Солнцу, произведенное автором совместно с дипломантами в рейсе на Австралию, показало, что пределы применения этого способа значительно шире, чем считалось. Точность измере-

ния высот Венеры оказалась более высокой, чем у Солнца, что объясняется, по-видимому, лучшей видимостью горизонта «под Венерой». Средняя квадратическая ошибка в линии Венеры в среднем  $\pm 0',5$ , для Солнца  $\pm 0',6$ . Общая ошибка определения места (по сравнению с навигационным) составила (в среднем из 20 наблюдений)  $\pm 1$  милю с колебаниями от  $+0',3$  до  $2'$ , причем 60% имели ошибку менее  $0',7$ . По точности эти наблюдения приближаются к определениям по четырем звездам, но при определениях по двум светилам, в том числе и этим вариантом, не хватает данных о действии систематических ошибок и промахов. Поэтому для повышения надежности определения следует увеличивать число линий. Некоторые возможности этого рассмотрены далее.

*Об исправлении высот Венеры.* Высоты планет исправляются так же, как и высоты звезд, но с добавлением поправки за параллакс. При точном исправлении высот Венеры надо учитывать еще одну поправку. Измерение высоты Венеры производится совмещением середины видимого в трубу светлого пятна с горизонтом. Но середина пятна совпадает с центром диска Венеры только около полной фазы, когда Венера наблюдается редко (см. табл. 3). Большая часть наблюдений падает на неполную фазу. При этом с горизонтом совмещается середина освещенной части диска, т. е. линия  $\beta-\beta$  на рис. 11. Чтобы привести наблюдения к центру диска планеты, необходимо ввести еще одну поправку:

$$\Delta h_{\phi} = -K \cos \theta, \quad (16)$$

где  $K$  — расстояние от геометрического центра диска Венеры до середины освещенной части Венеры в данной фазе (см. рис. 11);

$\theta$  — угол между вертикалом Венеры и большим кругом, соединяющим центры Венеры и Солнца (его можно определить по звездному глобусу).

Знак поправки  $\Delta h$  определяется знаком  $\cos \theta$ ; если же брать всегда  $\theta < 90^\circ$ , то знак можно определить по следующему правилу: поправка  $\Delta h_{\phi}$  прибавляется к высоте,

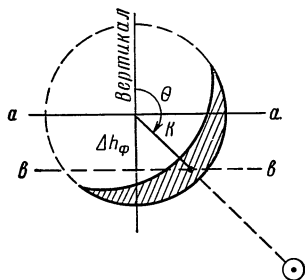


Рис. 11

если Солнце ниже Венеры, и вычитается, если Солнце выше Венеры над горизонтом. Величина поправки  $\Delta h_\phi$  достигает  $0',4$ , так что при точных наблюдениях ее надо учитывать. Величины  $K$  приводятся в английском Ежегоднике<sup>1</sup>.

Грубо приближенно  $K$  определяется как полудиаметр Венеры из МАЕ, уменьшенный на  $0',1$  (см. табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Дата	1/I 1972 г.—1/III—1/V—20/V—6/VI—29/VI—17/VII—9/VIII							
K	0',0	0',1	0',2	0',3	0',4	0',3	0',2	
Дата	9/VIII 1972 г.—27/IX—1/X—1973—15/XI—							
K		0',1	0',0	0',1	0',2			
Дата	15/XII 1973 г.—11/I 1974 г.							
K			0',3					

**Пример 16.** 27/IX 1970 г. в Индийском океане, следуя  $ИК = 84^\circ$ ,  $V = 17,3$  узла,  $\varphi_c = 32^\circ,5$  S,  $\lambda_c = 102^\circ,5$  Ost, решили определить по Венере и Солнцу около полудня.

1. Планирование наблюдений. На 27/IX из МАЕ  $\alpha_\odot = 14^h49^m$ ,  $\delta = 21^\circ,6$  S,  $\alpha_\odot = 185^\circ52' - 2^\circ14' \cong 183^\circ,6$ . Наносим Венеру и Солнце на глобус, устанавливаем его на  $\varphi = 32^\circ,5$  S и, подводя Солнце к меридиану, определяем разность его азимута с Венерой — около  $80^\circ$ , т. е. ограничений во времени наблюдений нет. Намечаем время  $T_c = 11^h30^m$ .

$T_c$	$11^h30^m t_T$	$65^\circ32,1$	С глобуса получаем: $h_\odot = 47^\circ$ , $A_\odot = 87^\circ \text{NO}^{\text{st}}$
$N_2$	7 $\Delta t$	7 31,2	
$T_{zp}$	4 30 $t_{gp}^V$	73 03,3	
27/IX	$+ \lambda$	102 30	
	$t_M^V$	175°,6	

<sup>1</sup> Официальное издание «The Nautical Almanac», стр. 260.

2. Наблюдения. Около намеченного времени начинаем отыскивать Венеру, это заняло 5 мин. Наблюдаем и записываем средние из трех моментов и ос:

Венера	Солнце	Снимаем: $\varphi_c = 32^\circ 34', 0S$
ср. $T = 4^h 35^m 42^s, 5$	ср. $T = 4^h 40^m 10^s, 0$	$\lambda_c = 102^\circ 31', 0O^{st}$
ср. $oc = 48^\circ 33', 8$	$oc = 58^\circ 17', 3$	$u_{xp} = -0^m 28^s, 5$
$i + s = +1', 1$	$i + s = +0', 6$	$e = 15,5 \text{ м.}$

### 3. Вычисления:

$+T_u$	$4^h 35^m 42^s, 5$ — 0 28 ,5	$4^h 40^m 10^s, 0$ — 28,5	$oc$	$48^\circ 33', 8$	$58^\circ 17', 3$
			$i+s$	+ 1 ,1	+ 0 ,6
$T_{2p}$	$4^h 35^m 14^s, 0$	$4^h 39^m 41^s, 5$	$h'$	$48 \ 34 \ ,8$	$58 \ 17 \ ,9$
$t_T$	$203^\circ 16', 6 (1', 8)$	$242^\circ 12', 0 (0', 5)$	$d$	— 6 ,9	— 6 ,9
$\Delta t_1$	8 47 ,9	9 55 ,2	$h_s$	$48 \ 28 \ ,0$	$58 \ 11 \ ,0$
$\Delta t_2$	1 ,1	0 ,3	$\Delta h_Q$	— 0 ,9	— 0 ,5
$+t_{2p}$	$212 \ 05 \ ,6$	$252 \ 07 \ ,5$	$p$	+ 0 ,2	+ 16 ,0
$\lambda$	102 31	102 31	$\Delta h_\phi$	— 0 ,1	
			$\Delta h_z$	+ 1 ,3	
$t_m$	$314 \ 36 \ ,6$	$354 \ 38 \ ,5$	$h_0$	$48^\circ 28', 5$	$58^\circ 26', 5$
$t_{np}$	$45^\circ 23', 6O^{st}$	$5^\circ 21', 5O^{st}$	$h_c$	$48 \ 26 \ ,9$	$58 \ 29 \ ,2$
	— +	— +			
$\delta_T$	$21^\circ 34', 1 (0,7)$	$1 \ 26,7 (1,0)$			
$\Delta \delta$	+0 ,4	+ 0 ,7			
$\delta$	$21^\circ 34', 5 S$	$1^\circ 27', 4 S$	$n$	+ 1', 6	— 2', 7

$$p_Q = 0', 3; K = 0,2; \theta = 45^\circ$$

	$48^\circ 55', 6$	$93^\circ ,7$
$\varphi_c = 33^\circ - 26', 0$	+1,6	—0,4
$\delta = 22^\circ - 25,5$	—10,8	+0,5
$t = 45^\circ + 23,6$	—19,7	—0,2
	+0,2	—

$$q = 65$$

$$h_c \ 48^\circ 26', 9 \quad 93,6 SO^{st} = 84^\circ ,6$$

	$57^\circ 39', 4$	$170^\circ ,6$
$\varphi_c = 33^\circ - 26', 0$	+25,7	—0,1
$\delta = 1^\circ + 27,4$	+27,1	—0,1
$t = 5^\circ + 21,5$	—3,0	—0,6

$$q = 8$$

$$h_c \ 58^\circ 29', 2 \quad 169^\circ ,8 SO^{st} = 10^\circ ,2$$

Приведение  
к зениту:

$-A_{IK}$	$86^\circ ,4$ 84
$A-K$	2,4
$\Delta h_1$	+0', 28
$\Delta T$	$4^m ,5$
$\Delta h_z$	+1', 3



#### 4. Прокладка (рис. 12)



## ПРИЕМЫ УСКОРЕНИЯ ОБСЕРВАЦИЙ

**§ 11. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ  
(ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ) ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ.  
ОБЩИЙ ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

Большим недостатком астрономического определения места при «ручной» обработке наблюдений с обычными пособиями — МАЕ, ВАС-58, ТВА — является длительность обработки. Вследствие этого место получается не сразу после наблюдений, а через 1—1,5 ч при наблюдениях четырех звезд и через 15—20 мин после наблюдения второй линии по Солнцу.

Между тем в условиях безоблачной погоды место можно получить почти сразу же по окончании наблюдений, если вычисления выполнить заранее, т. е. предвычислить линии положения. Предвычисление не только сокращает промежуток времени между получением информации и ее использованием, но также помогает быстрее и лучше выполнить наблюдения, особенно звезд в сумерки и Венеры днем, так как отыскание их при уже известных высотах и азимутах значительно проще.

Предвычисление выполняется в следующем общем порядке. Намечается время обсервации  $T_c$  — днем произвольно, например ко времени сдачи вахты, поворота и т. п., в сумерки — по условиям видимости. На это время подбираются светила: днем — Солнце и Венера или Луна, если же видно только Солнце, то вычисляется время первых его наблюдений; в сумерки подбираются звезды и планеты. На это время по средней скорости и ПУ по карте или письменным счислением получают счислимые координаты судна. Для Солнца эти координаты должны рассчитываться со всей возможной точностью, для одновременных наблюдений звезд или Солнца и Венеры координаты нужны приближенно, с точностью, достаточной для расчета невязки. Далее по намеченному  $T_c$  рассчитывается  $T_{гр}$  и из МАЕ выбираются обычным порядком  $t_m$  и  $\delta$ . Если предвычисляются наблюдения нескольких светил, то намечают интервал между ними  $\Delta T_m$ , устанавливаемый из опыта; при наблюдениях по три высоты этот интервал порядка 4 мин. Добавляя его к  $T_{гр}$ , получим  $t_m$  и  $\delta$  других светил.

Значения  $h_c$  и  $A_c$  выбираются из таблиц ВАС-58 или других. Поправки для исправления высот получают из наблюдений ( $i$ ,  $d$  или  $e$ ) и из таблиц, в которые надо входить с  $h_c$ .

Для Солнца получим

$$\Delta h = i + s - d - \Delta h_p + p \pm R. \quad (17)$$

Для звезд имеем

$$\Delta h = i + s - \Delta h_{\text{общ}} + \Delta h_z. \quad (18)$$

Полученные  $\Delta h$  добавляем к счислимым высотам с обратным знаком и получим предвычисленные высоты:

$$h_{\text{предвыч}} = h_c - \Delta h. \quad (19)$$

Тогда после наблюдений для вычисления переноса берется прямо  $oc$ , т. е.

$$n = oc - h_{\text{предвыч}}. \quad (20)$$

Наконец, в полученные  $T_{gr}$  вводим поправку  $u_{xp}$ , взятую с обратным знаком, т. е. получаем предвычисленные моменты хронометра:

$$T_{xp}^{\text{предвыч}} = T_{gr} - u_{xp}.$$

Последним этапом предвычислений является прокладка на карте, карте-сетке или бланке. При дневных наблюдениях, а также при предвычислении звезд с обычными таблицами из рассчитанного наперед счислимого места прокладывают линии азимутов. При обработке с авиационными таблицами прокладывается только линия пути с отрезками плавания за промежутки  $\Delta T$ . На этом предвычисления заканчиваются. Выполненные в спокойной обстановке, без спешки, с контролем, они обычно не содержат промахов.

Наблюдения выполняются около намеченного времени так, чтобы среднее наблюдение приходилось как можно ближе к  $T_{xp}^{\text{предвыч}}$ . Полученные данные вписывают в схему, в которой уже были записаны предвычисленные  $T$  и  $h$ :

Схема 1

$ср. T_{xp}$		$oc$		
$T_{xp} \text{ предвыч}$		$h \text{ предвыч.}$		
$\Delta T$	$\pm$	$n$	$\pm$	

Если  $\Delta T = 0$ , то переносы откладываются по уже предложенным  $A_c$  из счислимого места, и обсервация закончена. Если же  $\Delta T$  не равны нулю, то в полученные линии следует внести поправки за движение светила  $\Delta h_T$  и судна  $\Delta h_z$ .

*Приемы введения поправок.* Можно применить аналитический и графический приемы введения поправок  $\Delta h_T$  и  $\Delta h_z$ . При аналитическом приеме поправки вычисляются по формулам:

$$\Delta h_T = 0,25 \cos \varphi \sin A \Delta T^c = \frac{K_1}{10} \Delta T^c$$

и

$$\Delta h_z = \frac{V}{60} \cos (A - ИК) \Delta T^u = K_2 \Delta T^u,$$

где  $K_1$  и  $K_2$  выбираются, как обычно, из табл. 15-б и 16 МТ-63, но заранее до наблюдений. После наблюдений они умножаются на величину  $\Delta T$  из схемы I, причем знак  $\Delta h_T$

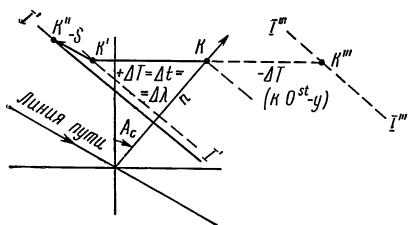


Рис. 14

совпадает со знаком  $\Delta T$  при азимутах востового направления и обратен  $\Delta T$  при остовых азимутах, а знак  $\Delta h_z$  определяется как знак из табл. 16, умноженный на знак, обратный  $\Delta T$ .

Графический прием учета  $\Delta h_T$  заключается в перемещении линии

(или точки  $K$ , рис. 14) на величину  $\Delta T$  к западу по параллели, если наблюдения выполнены позже ( $+\Delta T$ ), или к востоку, если наблюдения выполнены раньше ( $-\Delta T$ ), чем намечено. Для этого  $\Delta T$  переводим по минутным таблицам МАЕ в  $\Delta t$  данного светила, эту величину принимаем равной разности долгот, т. е.  $\Delta t = \Delta \lambda$ , снимаем эту величину с нижней рамки карты и откладываем от точки  $K$  по параллели к  $W$ -у или  $O^{st}$ -у и из полученной точки  $K'$  проводим линию положения перпендикулярно к линии азимута (см. рис. 14). Графическое приведение к зениту заключается в перемещении линии или точки  $K'$  на величину плавания  $S$  за время  $\Delta T$ , причем  $S$  откладывается назад по курсу, если знак  $\Delta T$  «+», и вперед по курсу, если имеем  $-\Delta T$ . Так, на рис. 14 для  $+\Delta T$  точку  $K$  перенесли по параллели к за-

паду и точку  $K'$  — назад на  $—S$  по линии пути, т. е. в точку  $K''$ , из которой и проводится линия  $I'$  перпендикулярно линии  $A_c$ .

Графический прием введения поправок проще аналитического, однако в некоторых случаях удобнее комбинировать эти приемы: поправку  $\Delta h_z$  вводить аналитически и до наблюдений по интервалу  $\Delta T$ , а  $\Delta h_T$  — графически и после наблюдений. Так поступают при предвычислении линий Венеры и Солнца, Луны и Солнца и иногда при предвычислении звезд. Величины  $\Delta T$  вообще не должны превышать 4<sup>мин</sup>, при этом можно не учитывать непропорциональность изменения высоты. Если  $\Delta T$  меньше 30<sup>с</sup>, то  $\Delta h_z$  не вводится.

## § 12. ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ ВТОРОЙ ЛИНИИ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ СОЛНЦА

Как показала практическая проверка, предвычисление — наиболее удобный и простой прием определения места по Солнцу. Действительно, после первых наблюдений удобнее и быстрее сразу же обработать и вторую линию. Особенностью этих предвычислений является то, что первое время наблюдений оказывается зависимым от второго, так как интервал между ними нельзя сокращать произвольно. Поэтому, если второе время намечено на конец вахты или поворот, то из него надо вычесть интервал  $\Delta T$ , полученный по табл. 2, или как показано в примере 10. Если есть возможность определиться по трем линиям, то предвычисляются вторая и третья, но если интервал менее 30 мин, то нет смысла предвычислять их.

Рассмотрим все вычисления на примере, в котором для расчета  $\Delta T$  принята  $\Delta A = 40^\circ$ , как в примере 10.

**Пример 18.** 21/IX 1970 г. в Индийском океане, следуя  $IK = 90^\circ$ ,  $V = 17,6$  узла, требуется определить место на  $T_c = 12^h$ .

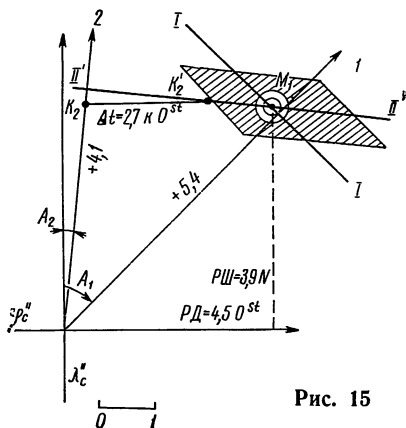
**Решение.** 1. Выбор интервала времени и времени первых наблюдений. На  $12^h$  приближенно снимаем  $\varphi_c = 34^\circ S$ ;  $\lambda_c = 54^\circ O^{st}$  ( $N_2 = -4$ ),  $\Delta A = 40^\circ$ . Определяем  $T_c$  кульминации.

Расчет интервала  $\Delta T$  и времени  $T'_c$ . Считаем, что намеченное время  $12^h$  за  $16^m = 4^s$  до кульминации. По таблицам ВАС с  $\varphi_c = 34^\circ S$ ,  $\delta = 1^\circ N$  (из МАЕ) и  $t_2 = 4^s$  имеем  $A_2 = 173^\circ$ . Вычитая  $\Delta A = 40^\circ$ , получим  $A_1 = 133^\circ$  и из таблиц ВАС обратным входом

ремя куль

$$\begin{array}{r} T_c \\ - \lambda \end{array} \quad 11^h 53^m$$

$T_{2p}$	8 17
$+ N_2$	4
$T_c$	12 <sup>ч</sup> 17 <sup>м</sup>



$t_1 = 31^\circ$ . Поэтому интервал будет  $\Delta t = 31^\circ - 4^\circ = 27^\circ$  или  $1^{\circ}48'$  (по табл. 2 для средних ошибок  $\Delta T = 1^{\circ},7$ ).

Время первых наблюдений определится как разность  $12^h - 1^h48^m = 10^h12^m$ .

2. Первые наблюдения. Наблюдали три высоты и момента, ср.  $oc = 44^{\circ}38',0$ ; ср.  $T_{xp} = 6^h16^m55^s$ ;  $T_c = 10^h17^m$ ,  $ol = 41,5$ ,  $\varphi'_c = 34^{\circ}26'$  S,  $\lambda'_c = 53^{\circ}50'$  Ost,  $i+s_1 = +1',6$ ,  $u_{xp} = -0^m17^s,0$ ,  $e = 16$  м. Для второй линии по  $V_{cp} = 17,6$  узла и  $IK = 90^{\circ}$  предвычисляем  $\varphi''_c = 34^{\circ}26'$  S,  $\lambda''_c = 54^{\circ}26',5$  Ost.

### 3. Вычисления.

## Предвычисления

I      II (предвычисления)

$T_{xp}$ + $u_{xp}$	$6^u 16^m 55^s$ — 0 17	$T_c = 12^u$ — $N_2 = 4$
$T_{zp}$ $t_T$ $\Delta_{A2}$	$6^u 16^m 38^s$ $271^\circ 41', 1$ 4 09,5	$8^u 00^m 00^s$ $301^\circ 41', 6$
$t_{zp}^\odot$ $\lambda$	275 50,6 53 50,0	54 26 ,5
$t_m^\odot$ $t$	32 9 40,6W $30^\circ 19', 40^{\text{st}}$	3 56 08 ,1W $3^\circ 51', 90^{\text{st}}$
$\delta_T$ $\Delta\delta$	$0^\circ 51,6 (\overline{1}, 0)$ — 0,3	
$\delta_\odot$	$0^\circ 51', 3 N$	$0^\circ 49', 6 N$

$oc$ $i + s$	$44^{\circ}38',0$ $+1,6$	$-$ $+1',5$ ( $s_2 = +0,1$ )
$h'$ 44 Табл, 8-а Табл, 8-б	$39,6$ $+8,1$ $-0,1$	$+8,4$ (по $h_c = 54^{\circ},5$ ) $-0,1$
$h_0$ $h_c$	$44^{\circ}47',6$ $44\ 42\ ,2$	$(+9',8) -$ $54\ 33,2$
$n$	$+5',4$	$54^{\circ}23',4 =$ $= h_{np\delta\theta}$ $T_{zp} - u_{xp} \approx$ $= 8^{\circ}00'17'' =$ $T_{np\delta\theta}$ $_{xp}$

# I

	45°04',8	134°,9
$\varphi=34^{\circ}+$	$-18',4$	$+0^{\circ},3$
$+26',0$ S		
$\delta=1-$	$+7,1$	$-0,1$
$-8,7$ N		
$t=30+$	$-11,3$	$-0,3$
$+19,4$ O <sup>st</sup>		

$$q = 144^{\circ} \quad 44^{\circ}42',2 \quad S134^{\circ},8 \text{ Ost}$$
$$ИП = 45,2$$

## II (предвычисления)

	54°47',5	173°,1
φ=34°+ +26',0 S	-25',8	+0°,1
δ=1 — —10,4 N	+10 ,3	—0 ,0
t=4 —	+0, 8	+0 ,2
—8,1 O <sup>st</sup>		

$$q = 174^{\circ} \quad 54^{\circ}33',2 \quad S173^{\circ},40^{\text{st}}$$
$$ИП = 6^{\circ},6$$

4. Прокладка. Предварительная прокладка показана на рис. 15, где из второго счислимого места проложена первая линия и линия второго азимута. Величины  $h_{предв}$  и  $T_{хр}^{предв}$  записываем в схему (см. ниже).

5. Вторые наблюдения. Около намеченного времени наблюдали три высоты Солнца и три момента: ср.  $ос = 54^{\circ}27',5$ , ср.  $T_{хр} = 8^{\text{ч}}00^{\text{м}}06^{\text{с}}$ ; эти средние вписываем в схему:

ср. $ос$ $h_{предв}$	$54^{\circ}27',5$ $54\ 23\ ,4$	ср. $T_{хр}$ $T_{хр}^{предв.}$	$8^{\text{ч}}00^{\text{м}}06^{\text{с}}$ $8\ 00\ 17$
$h$	$+4',1$	$\Delta T$	$-11^{\text{с}}$

$$\Delta t = \Delta \lambda = 2',7 \text{ к Ost}$$

6. Окончательная прокладка. На линии  $A_2$  наносим по  $+4',1$  точку  $K_2$  и смещаем ее по параллели к востоку на  $2',7 = \Delta \lambda$ , снятым с нижней рамки карты. Обсервованное место на  $12^{\text{ч}}$  получается в точке  $M_1$  (см. рис. 15).

$\varphi_c''$ $PШ$	$34^{\circ}26',0 \text{ S}$ $-3,9 \text{ N}$	$\lambda_c''$ $PД$	$54^{\circ}26',5 \text{ Ost}$ $+4,5 \text{ Ost}$
$\varphi_0$	$34^{\circ}22',1 \text{ S}$	$\lambda_0$	$54^{\circ}31',0 \text{ Ost}$

$$C=43^{\circ}-5',4, \quad T_c=12^{\text{ч}}00^{\text{м}}$$

Считаем, что ошибки в переносах  $\pm 0',5$ , а в счислении на 30 миль—того же порядка. Площадь оцениваем параллелограммом ошибок (см. рис. 15).

### § 13. ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ ЛИНИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ СВЕТИЛ

*Предвычисление высот звезд с таблицами ВАС-58.* Общий порядок работы, т. е. планирование наблюдений, их обработка, прокладка и анализ, остаются обычными, но все вычисления и предварительная прокладка производятся заранее. После наблюдений вычисляется только перенос и  $\Delta T$  и производится подправка высот, завершение прокладки и анализ обсервации. Планирование наблюдений производится по звездному глобусу на середину навигационных сумерек утром и середину гражданских — вечером. Высоты Солнца при этом равны  $-9$  и  $-3^{\circ}$  соответственно, и



этот интервал является наивыгоднейшим при наблюдении звезд. Скорость измерения высот, от которой зависит интервал между наблюдениями звезд, устанавливается из опыта. Для серии из трех наблюдений при известных  $h$  и  $A$  звезды интервал обычно равен 3—4 мин. Приведение к одному зениту выполняется заранее на эти интервалы, и если фактические наблюдения расходятся по времени с предвычисленными менее чем на 30 сек, то подправка не делается. Приведение к моменту наблюдений (за разности  $\Delta T$ ) выполняется после наблюдений и графически, что значительно проще.

Большим преимуществом предвычислений для звезд является то, что при высотах и азимутах, вычисленных заранее, наблюдения звезд можно производить, когда звезды видны только в трубу секстана, но не простым глазом. Вечером наблюдения начинаются с середины гражданских сумерек или чуть раньше, когда горизонт виден отлично; утром наблюдения приближаются к началу гражданских сумерек, когда видимость горизонта улучшилась до предела. Это позволяет не только использовать лучшую видимость горизонта, но и продлить время наблюдений в случаях очень коротких сумерек. Автору книги удавалось за самые короткие тропические сумерки измерять по три высоты семи звезд.

Однако предвычисления звезд по таблицам ВАС или ТВА имеют существенный недостаток. При появлении облаков или ухудшении видимости горизонта все вычисления или их часть пропадают, так как заменять звезды на другие или значительно продлевать время наблюдений нельзя. В этих случаях приходится наблюдать те звезды, которые видны над хорошим горизонтом, и все вычисления производить заново. Этот недостаток в значительной степени устранен в авиационных таблицах (см. § 14), где количество вариантов больше, допустимо продление наблюдений, а сами вычисления значительно проще. Рассмотрим предвычисление на примере одновременных наблюдений Солнца и Венеры, где этот прием очень выгоден.

*Предвычисление линий по Венере и Солнцу.* Преимуществами этого приема являются: получение места сразу же после наблюдений, в точно намеченное время, и простота отыскания Венеры по точному значению ее высоты. Предвычисление выполняется, как описано в § 11 и в примере 18, но следует учитывать следующее. Расчет координат  $\varphi_c$  и  $\lambda_c$  на намеченное время можно выполнять неточно, так как

на обсервацию они не влияют. Выбор условий на намеченное время должен выполняться по звездному глобусу. Отыскание Венеры при наблюдениях надо начинать за 4—6 мин до намеченного времени, чтобы к этому времени уже найти ее и подвести к горизонту на фон неба.

**Пример 19.** 5/X 1970 г. в Индийском океане, следуя  $KK = 103^\circ$  ( $\Delta K = 0$ ),  $V = 17,5$  узла, требуется определить место к  $T_c = 12^h$ .

По предыдущим обсервациям известно, что Венера видна днем, поэтому планируем ее наблюдения. Из МАЕ получаем  $\alpha_\varphi = 15^h07^m$  и  $\delta = 23^\circ,7$  S и для Солнца  $\alpha = 191^\circ$ . Нанеся на глобус эти светила и установив его по  $\varphi \approx 38^\circ$  S, определяем, что около кульминации Солнца  $\Delta A$  между светилами около  $70^\circ$ , а высоты порядка  $55^\circ$  и наблюдения возможны в любое время. По средней скорости  $V = 17,4$  узла от  $T = 9^h30^m$  рассчитываем на полдень:  $\varphi_c = 38^\circ31' S$ ;  $\lambda_c = 140^\circ50' O^{st}$  ( $N_2 = -10$ ).

Принимаем интервал между наблюдениями 4 мин, а время вторых наблюдений Солнца  $T_c = 12^h$ .

Решение.

$T_c$	$11^h56^m00^s$	$12^h00^m00^s$
$N_2$	10	10
$T_{zp}$	$1^h56^m00^s$ Венера	$2^h00^m00^s$ 5/X Солнце
$t_T$	$161^\circ26',5$	$212^\circ50',2$
$\Delta t_1$	$13^\circ59',1$	
$\Delta t_2$	$2',1$	
$t_{zp}$	175 27,7	
$\lambda$	140 50,0	140 50,0
$t_m$	316 17,7	353 40,2
$t_{np}$	$43^\circ42',3$ Ost	$6^\circ19',8$ Ost
$\delta_T$	23 35,5	$4^\circ31',2$ S
$\Delta\delta$	0,6	—
$\delta$	$23^\circ36',1$ S	—
$u_{xp}$	$-(-44^c,0)$	$-(-44^c,0)$
$T^{предв}_{xp}$	$1^h56^m44^s,0$	$2^h00^m44^s,0$

Поправки:  $i = +0',7$ ,  $s_1 = -0',1$ ,  $s_2 = -0',3$   $e = 16,5$  м,  $p_\varphi = 0',3$   $K = 0',2$   $\Theta = 50^\circ$

	Венера	Солнце
$i+s$	$+0',6$	$+0',4$
$d$	$-7',2$	$-7',2$
$\rho$	$-0',8$	$-0',6$
$R$	—	$+16',0$
$P$	$+0',2$	—
$\Delta h_\Phi$	$-0',1$	—
$\Delta h_z$	$+1',0$	—
$\Delta h$	$-6',3$	$+8',6$



Окончательная прокладка. Прокладываем переносы по уже нанесенным линиям азимутов, а точки  $K_1$  и  $K_2$  перемещаем на  $\Delta\lambda=12',2$  к  $W^{st}$  и  $1',8$  к  $O^{st}$  по параллели (см. рис. 16). Приведение к зениту подправляем на  $0',2$  за  $0'',8$ ;  $n_1=11',8$ .

Результаты определения.  
 $T=12^h00^m$ ,  $ол=38,5$

$\varphi_c$	$38^\circ 31',0$ S	$\lambda_c$	$140^\circ 50',0$ $O^{st}$
$P_{III}$	$2,8$ S	$P_{II}$	$3,8$ $O^{st}$
$\varphi_0$	$38^\circ 33',8$ S	$\lambda_0$	$140^\circ 53',8$ $O^{st}$

$C=133^\circ-4',0$

#### § 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ЗВЕЗДАМ С АВИАЦИОННЫМИ ТАБЛИЦАМИ ПОДОБРАННЫХ ЗВЕЗД

Во время второй мировой войны и после нее в СССР, Англии, США и Японии были выпущены наиболее простые таблицы для обработки астрономических определений по звездам. Первоначально они предназначались только для авиации, но позже стали применяться и при определениях в океане. В настоящее время в СССР выпускаются авиационные «Таблицы высот и азимутов светил» (ТВАЗ) в шести книгах, в США — Таблицы НО-249, в Англии — Таблицы АР-3270. Две последние таблицы выпускаются в одном томе (не считая томов другого типа) для широт через  $1^\circ$  и поэтому более пригодны для морских определений, чем ТВАЗ, выпускаемые для широт через  $2^\circ$ . Эти таблицы получили широкое распространение на иностранных флотах, а также известны в некоторых советских пароходствах, поэтому остановимся на них подробнее.

В таблицах подобранных звезд по  $\varphi^\circ$ ,  $S^\circ_m$  и названию звезды приведены готовые значения  $h_c$  до  $1'$  и  $A_c$  до  $1^\circ,0$ . При этом ежегодник в принципе не требуется, так как для получения  $S_{эр}$  служат три таблицы в конце тома, но практически удобнее выбирать  $S_{эр}$  из МАЕ. Можно получать  $S_{эр}$  и непосредственно со звездного хронометра.

Предельная простота выборов из этих таблиц (один вход, одна выборка) достигается применением перемещенного места (по  $\varphi_n$  и  $\lambda_n$  или по  $\varphi_n$  и времени) и отсутствием поправок по склонению. Однако эта простота приводит к некоторому снижению точности линии. В этих таблицах название звезды заменяет ее координаты  $\tau_*$  и  $\delta_*$ . При расчете таблиц эти координаты берутся на одну определенную дату, называемую «эпохой», поэтому таблицы должны периодически переиздаваться, обычно через 10 лет ( $\pm 5$  лет от эпохи составления). Например, советские ТВАЗ рассчитаны на эпоху 1972,0, НО-249 — на эпоху 1970,0. АР-3270 — на

эпоху 1970,0. Так как координаты звезд меняются от ряда причин — от прецессии, нутации, абберации, параллакса и собственного движения звезды, то при пользовании таблицами не в году составления необходимо вводить поправку. Из всех причин удастся учесть прецессию и нутацию, действие которых компенсируется введением смещения линии или самого места на величину поправки в указанном направлении. Поправки и направления их действия приводятся в конце таблиц (в НО-249 это табл. 5) по  $\varphi$  и  $S_m$ .

Например, для 1974 г. по  $\varphi = 20^\circ \text{ N}$ ,  $S_m = 330^\circ$  выбираем  $\Delta = 4'$ , направление  $70^\circ$ . Ошибки от приближенности этой поправки и от пренебрежения абберацией могут вызвать ошибку в линии порядка  $\pm 0',5$ .

Таблицы НО-249 составлены по секциям широты в  $1^\circ$  от  $89^\circ \text{ N}$  до  $89^\circ \text{ S}$  для  $S_m$  через  $1^\circ$  до широт  $69^\circ$  и через  $2^\circ$  в больших широтах, для семи наиболее выгодных в данное время звезд. Отечественные ТВАЗ составлены через  $2^\circ$  широты и  $1^\circ S_m$  для пяти звезд в северной широте и шести звезд — в южной.

*Обычное определение места по звездам с обработкой по таблицам подобранных звезд.* Для планирования наблюдений вместо глобуса применяются эти же таблицы. Начало наблюдений намечается, как обычно, на середину гражданских сумерек вечером и середину навигационных утром. На это время с карты получают  $\varphi_c$  и  $\lambda_c$ , по МАЕ рассчитывают  $S_m$  и округляют до большего градуса. По таблицам выбирают  $h_c$  и  $A_c$  первой и второй звезд; изменив  $S_m$  на  $1^\circ$ , выбирают  $h$  и  $A$  третьей и четвертой звезд. По этим величинам устанавливают секстан, что облегчает отыскание звезд при наблюдениях.

После выполнения наблюдений по замеченным  $T_{xp}$  и  $os$  рассчитывают  $S_m^n$  и  $h_0$ ; величины  $h_c$  и  $A_c$  были выписаны ранее. Прокладка производится на путевой карте, карте-сетке или на планшете с построенной шкалой долгот.

**Пример 20.** 14/XII 1970 г. в Атлантическом океане, следуя  $ИК = 0^\circ$ ,  $V = 16,2$  узла, предполагаем определить место в утренние сумерки. Приблизленно на  $T_c = 7^h$ ;  $\varphi_c = 19^\circ,3 \text{ N}$ ;  $\lambda_c = 17^\circ,5 \text{ W}$  ( $N_2 = 1W$ ).

**Решение.** 1. Определение времени наблюдений и подбор звезд. По условиям видимости намечаем начало наблюдений на начало гражданских сумерек  $\Delta T_{гражд} = 24^m$ . Начало наблюдений  $T_c = 6^h35^m - 24^m = 6^h11^m$ .

# Восход Солнца

$T_T$	$6^h08^m$
$\Delta T_\Phi$	$(+19)$
$\Delta T_\lambda$	$+17^m$
	0

## 2. Подбор звезд по таблицам НО-249:

$T_M$	6 25	$T_c$	$6^h11^m$	$t_T$	$187^\circ32',3$
$+\lambda-N_2$	+10	$+N_2$	1	$\Delta t$	2 45 ,5
$T_c$	$6^h35^m$	$T_{zp}$	$7^h11^m14/XII$	$t_{zp}^V$	190 17, 8
				$\lambda$	17 30
				$t_M^V$	$172^\circ47',8 \approx 173^\circ(S_M)$

$S_M$	Звезда	$h$	$A$	Наблюдения
$173^\circ$	Арктур Дуббе	$51^\circ46'$ 46 46	$83^\circ$ 355	$T_{xp}^{oc}$ $7^h09^m10^c$ $51^\circ38',3$
174	Дуббе Спика	46 40 49 57	354 136	7 12 22 47 00 ,7 7 14 44 50 01 ,3
175	Спика Процион	50 36 29 31	138 265	$7^h18^m51^c$ $29^\circ32',5$
176	Процион Поллукс	28 35 34 40	266 292	Не наблюдали

Поправки:  $i = +0',5$ ;  $s_{1-3} = 0',0$ ;  $s_4 = -0',1$ ,  $u_{xp} = +2^m17^c,0$ ;  
 $e = 17^m$ ;  $T_c = 7^h11^m$ ;  $\Phi_c = 19^\circ19' N$ ;  $\lambda_c = 17^\circ40' W$ .

## 3. Обработка наблюдений:

$T_{u_{xp}}$	$7^h09^m10^c$ +2 17	$7^h12^m22^c$ +2 17	$7^h14^m44^c$ +2 17	$7^h18^m51^c$ +2 17
$T_{zp}$	7 11 27	7 14 39	7 17 01	7 21 08
$t_T$	187 32,3	187 32,3	187 32,3	187 32,3
$\Delta t$	2 52,2	3 40,4	4 15,9	5 17,9
$t_{zp}^V$	190 24,5	191 12,7	191 48,2	192 50,2
$\lambda$	17 40	17 40	17 40	17 40
$t_M^V$	172 44,5	173 32,7	174 08,2	175 10,2
$\Delta \lambda$	+ 15,50 <sup>st</sup>	+27,3 O <sup>st</sup>	— 8,2 W	— 10,2 W
$S_M^n$	$173^\circ$	$174^\circ$	$174^\circ$	$175^\circ$

#### 4. Исправление высот:

Приведение к первому зениту

	I	II	III	IV	A	II	III	IV
ос	51°38',3	47°00',7	50°01',3	29°32',5	354°	136°	265°	
i+s	+0,5	+0,5	+0,5	+0,4	0	0	0	
табл.	-8,1	-8,2	-8,1	-9,0				
9-a					A-K	354	136	265
$\Delta h_z$		-0,8	+1,1	+0,3	$\Delta h_1$	-0,26	+0,19	+0,03
					$\Delta T$	3 <sup>м</sup> ,2	5 <sup>м</sup> ,6	9 <sup>м</sup> ,7
$-h_0$	51°30',7	46°52',2	49°54',8	29°24',2	$\Delta h_z$	-0',8	+1',1	+0',3
$-h_c$	51 46	46 40	49 57	29 31				
$h$	-15',3	+12',2	-2',2	-6',8				
$A_c$	83°	354°	136°	265°				

Прокладка на карте-сетке показана на рис. 17. На параллели  $\varphi_n = 19^\circ \text{ N}$  от меридиана счислимой долготы  $\lambda_c = 17^\circ 40' \text{ W}$  наносятся по  $\Delta\lambda = 15',5 \text{ Ost}$  и далее перемещенные места 1, 2, 3, 4, и из них прокладываются, как обычно, линии положения. Место

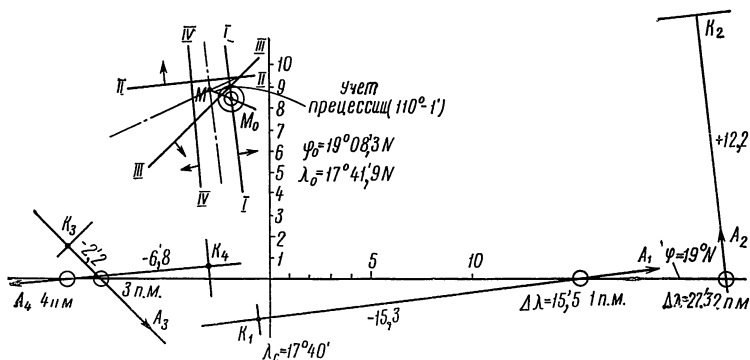


Рис. 17

выбирается в точке. М. Выбрав из табл. 4 в конце НО-249 поправку  $\Delta = 1'$  по направлению  $110^\circ$  (поправка выбирается на 1971 г.), перемещаем место на эту величину.

Результаты определения:  $T_c = 6^{\text{ч}}11^{\text{м}}$ ;  $\varphi_0 = 19^\circ 08',3 \text{ N}$ ;  $\lambda_0 = 17^\circ 42',0 \text{ W}$ . (При обычной обработке с таблицами ВАС-58 имели бы  $\varphi_0 = 19^\circ 08',4 \text{ N}$ ,  $\lambda_0 = 17^\circ 41',8 \text{ W}$ ).

Иногда ошибки обработки по авиационным таблицам могут дать смещение до  $1'$ .

#### Определение места по звездам с предвычислением линий по таблицам подобранных звезд

Предварительное вычисление линий по таблицам типа ТВАЗ (НО-249, АР-3270) очень удобно. Простота обработки наблюдений достигается тем, что почти вся обработка

совмещена с подбором звезд для наблюдений. Кроме того, таблицы позволяют менять подобранные звезды в процессе наблюдений и продлевать время наблюдений при необходимости. Наиболее экономичным с точки зрения сокращения задержек в получении места после окончания наблюдений является способ «перемещения по времени» с регистрацией моментов по секундомеру.

*Принцип перемещения по времени.* Часовой угол звезды изменяется на  $1^\circ$  за 4 мин звездного времени ( $\tau$  и  $\delta$  звезды за сутки практически не меняются), поэтому на счислимом меридиане  $\lambda_c$  часовой угол звезды или  $t_m^V$  за каждые 4 мин звездного времени увеличивается на  $1^\circ$ . Например, если  $t_m^V = 65^\circ$ , то через 4 мин на этом же меридиане  $t_m^V = 66^\circ$  и т. д.

В авиационных таблицах  $h_c$  и  $A$  звезд приводятся через  $1^\circ = 4$  мин звездного времени, и если наблюдать звезды точно через 4 мин, а наблюдения первой приурочить точно к моменту, когда  $t_m^V$  равно целому градусу, то все линии можно прокладывать из одной точки  $\varphi_n$  и  $\lambda_c$ .

Практически наблюдения выполняются не точно в намеченное время, поэтому меридиан  $\lambda_c$  принимается за середину шкалы времени, на которой каждой 1 мин соответствует  $\Delta\lambda = 15'$ . Меридиан  $\lambda_c$  помечается  $S_n = t_m^V$  в целых градусах, соответствующим рассчитанному  $T$ . Если наблюдения выполнены раньше этого времени, то  $S_m$  будет меньше данного градуса и перемещенное место из центра шкалы надо сместить по параллели к востоку на  $\Delta t^V = \Delta\lambda$ ; если наблюдения выполнены позже намеченного времени, то сместить к западу на  $\Delta t^V = \Delta\lambda$ .

Из смещенного таким путем перемещенного места производится прокладка линий положения обычным порядком.

Вместо прокладки на карте-сетке можно воспользоваться прокладочным планшетом (М-63) или специальным прибором — астроплотом, но на них должна быть построена шкала времени в масштабе долготы, где каждые  $15'$  долготы помечаются  $1^m$ ,  $2^m, 5 = 10^c$  и т. д. От центрального меридиана, соответствующего  $\lambda_c$ , вправо и влево откладывается по  $2^m = 30'$  долготы. Наблюдения выполняются по циклам, равным 4 мин, что позволяет наносить перемещенные места прямо по показаниям секундомера.

В условиях транспортного флота удобнее применять прокладку на карте-сетке или путевой карте. Наблюдения удобнее производить с секундомером, который пускается за 2 мин до рассчитанного времени, чтобы успеть произвести



наблюдения, и по нему замечаются все моменты. Обычно измеряется по три высоты каждой звезды. На середину каждого промежутка, равного 4 мин, т. е. на целый градус  $S_m$ , выбирают из таблиц  $h$  и  $A$  одной, двух или трех звезд — сколько успеем пронаблюдать в этот интервал. По нашему опыту, лучше намечать две звезды и вторую повторять в следующем интервале.

Так как секундомеры идут по среднему времени, то для перехода к интервалам звездного времени надо либо воспользоваться таблицами МАЕ (для точки Овна), либо в каждое показание секундомера вводить поправку из табл. 5.

Т а б л и ц а 5

$\Delta T$	4—9 <sup>м</sup>	10—15 <sup>м</sup>	16—21 <sup>м</sup>	22—27 <sup>м</sup>	28—33 <sup>м</sup>
Попр.	+1 <sup>с</sup>	+2 <sup>с</sup>	+3 <sup>с</sup>	+4 <sup>с</sup>	+5 <sup>с</sup>

Например, если по секундомеру получено 10<sup>м</sup>39<sup>с</sup>, то поправка 2<sup>с</sup> и  $\Delta S = 10^m 41^s$ .

*Расчет времени пуска секундомера.* Начало наблюдений звезд планируется, как обычно, на середину гражданских сумерек вечером или на середину навигационных утром. В процессе расчета получается  $T_m$  и  $T_c$ , на последнее снимаются уточненные координаты  $\varphi_c$  и  $\lambda_c$ . Для расчета  $S_m$  наблюдений можно применить приближенный прием, который заключается в том, что в МАЕ входят не с  $T_{ер}$ , а непосредственно с  $T_m$ , по которому и выбирают  $S_m$ . Полученное  $S_m$  округляют до ближайшего градуса, это и будет перемещенным  $S_n$  (см. пример 21). По  $S_n$  рассчитывается точное гринвичское время наблюдений и затем момент пуска секундомера следующим образом. Получаем  $t_{ер}^V = S_n - \lambda_c$  и по  $t_{ер}^V$  из МАЕ обратным входом рассчитываем  $T_{ер}$  до 1<sup>с</sup>. В момент  $T_{ер}$  вводится поправка хронометра, взятая с обратным знаком, т. е.  $T_{хр} = T_{ер} - u_{хр}$ .

Предвычисленный момент хронометра уменьшается на 2 мин, чтобы иметь запас времени от пуска секундомера до первых наблюдений, это и будет точный момент пуска секундомера  $T_{хр}^{пуск}$ .

*Подбор звезд для наблюдений по таблицам НО-249.* В таблицы входят с  $\varphi_n$ , ближайшим к  $\varphi_c$  и рассчитанным  $S_n$ ,

по которым и выбирают две звезды, начиная, как обычно, с  $O^{st}$ -й части горизонта; их  $h_c$  и  $A_c$  вписывают в схему (см. пример 21). Затем  $S_n$  увеличивают на  $1^\circ$  и из следующей строки выбирают еще две звезды, и так для всех намеченных звезд; обычно намечается 6 звезд. По выбранным  $h_c$  из аттестата секстана и таблиц МТ-63 или ВАС выбирают поправки, суммируют и полученную  $\Delta h$  вписывают в схему вычислений. Добавлять их к  $h_c$  с обратным знаком для получения  $h_{предв}$  не всегда рационально, так как часть звезд

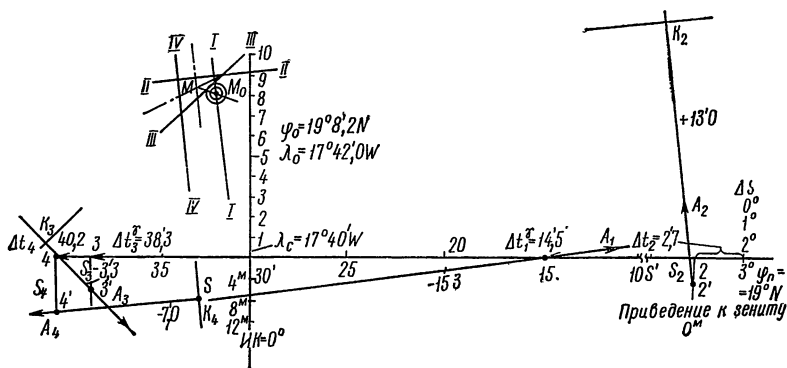


Рис. 18

может не наблюдаться и эти вычисления пропадут. Лучше эту операцию выполнить после наблюдений. На этом фактически заканчиваются почти все вычисления.

*Предварительная прокладка на карте или карте-сетке.* Отыскиваем параллель  $\varphi_n$  и намечаем меридиан  $\lambda_c$  (рис. 18). К востоку и западу от меридиана  $\lambda_c$  откладываем по  $30'$  долготы и восточную точку помечаем  $0^\circ$  и  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$  и т. д. Это — градусы времени по секундомеру (после перевода  $T_{сек}$  в  $\Delta t^v$  по МАЕ). Каждый интервал в 4 мин начинается с этой отметки, а рассчитанные  $S_n$  относятся ко второй минуте интервала, поэтому на меридиане  $\lambda_c$  наносят отметку  $30'$ . На этой шкале по моментам секундомера после наблюдений наносят перемещенные места. Для приведения высот к одному зениту при центре шкалы строится линия пути, на которой откладывается плавание за 4 мин,

8 мин, 12 мин и т. д. в обратном направлении, так как приведение выполняется «назад» — к первому зениту. На этом предварительная прокладка заканчивается.

**Наблюдения.** Наблюдения могут выполняться одним наблюдателем или двумя (наблюдатель и обработчик). Мы рассмотрим работу одного наблюдателя.

Около намеченного времени готовят секстан и точно в намеченное  $T_{хр}^{пуска}$  пускают секундомер. Высоты, записанные в схему, устанавливают на секстане последовательно, а азимут звезды отыскивают по компасу. Полученные  $ос$  и  $T_{сек}$  записывают в схему. Когда интервал в 4 мин истек, переходят к следующему градусу, причем, если успели отнаблюдать обе звезды, то в следующем интервале эту звезду уже не наблюдают. После наблюдений секундомер останавливают по хронометру и, вычитая из его показаний показания секундомера, проверяют время пуска.

**Обработка наблюдений и окончательная прокладка.** Если наблюдалось по три момента и  $ос$ , то их можно осреднить, но можно прокладывать и каждую линию отдельно. В примере взяты осредненные отсчеты. Счислимые высоты тех звезд, которые наблюдались, исправляют поправками  $\Delta h$ , взятыми с обратным знаком, и получают  $n = ос - h_c^{предв}$ . Моменты секундомера переводятся по таблицам МАЕ в  $\Delta t^v$  (графа Овна), после чего приступают к прокладке. По полученным  $\Delta t$  без учета градусов, от начальной (восточной) точки шкалы откладывают  $\Delta \lambda = \Delta t'$  к западу и получают перемещенные места звезд (см. рис. 18). Из этих точек для приведения к первому зениту откладывают плавания по направлению, обратному пути, т. е. «назад» со шкалы, построенной заранее. Из полученных точек и производится прокладка азимутов и далее линий положения.

После прокладки всех линий анализируется фигура погрешностей и выбирается место, которое сносится по направлению и на величину поправки за прецессию и нутацию, выбранную из табл. 5 в конце таблиц НО-249. Координаты  $\varphi_0$  и  $\lambda_0$  снимают обычным порядком.

Вся работа по предварительному вычислению и окончательной прокладке занимает для 5—6 линий около 0,5 ч, из которых после наблюдений — около 10—15 мин.

**Пример 21.** 14/XII в утренние сумерки предполагаем определить место по звездам  $\varphi_c = 19^\circ N$ ,  $\lambda_c = 17^\circ,5 W$  ( $N_2 = 0$ ).

# Р е ш е н и е.

1. Расчет времени наблюдений. 2. Расчет времени пуска секундомера

		На $T_m=6^h01^m$		$S_n^m$	$173^\circ00',0$		
$T_{восх}^m$	$6^h25^m$	$t_m^v$	$172^\circ29,9$	$\lambda_c$	$+17^\circ40'$		
$\Delta T_{сум}^m$	$-24$	$\Delta t$	$15,0$				
$T_m$	$6^h01^m$	$t_m^v$	$172^\circ45'$	$t_{зр}^v$	$190^\circ40,0$		
Округляем до $S_n=173^\circ$				$t_T^v$	$187^\circ32,3$	$\dots T_{зр}$	$7^h$
				$\Delta t$	$3^\circ07',7$	$\dots \Delta T$	$12^m29^s$
По условиям видимости наблюдения планируем на начало гражданских сумерек ( $\Delta T=24^m$ ) $T_c=6^h01^m+1^h10^m=7^h11^m$ . На это время $\varphi_c=19^\circ19' N$ , $\lambda_c=17^\circ40' W$ ; $u=+2^m17^s$ , $i=+0',5$ , $e=17^m$ , $ИК=0^\circ$ ; $V=16,3$ узла						$T_{зр}$	$7^\circ12^\circ29'$
						$u_{зр}$	$-2^\circ17'$
						$T_{зр}$	$7^\circ10^\circ12'$
						$2^m$	$-2^m$
						$T_{пуск}_{зр}$	$7^h08^m12^s$

$S_n$	Название	$h$	$A$	$\Delta h$	$h_{предв}$	$ос$	$n$	$T_{сек}$	$\Delta t^v$
173°	Арктур Дуббе	$51^\circ46'$ 46 46	$83^\circ$ 355	$-7',6$ $-7',7$	$51^\circ53',6$ —	$51^\circ38',3$ —	$-15',3$	$0^m58^s$	$14',5$
174	Дуббе Спика	$46^\circ40'$ 49 57	$354$ 136	$-7,6$	$46^\circ47',7$ 50 04, 6	$47^\circ00',7$ 50 01, 3	$+13,0$ $-3,3$	$4^\circ10'$ 6 32	$1^\circ02',1$ $1^\circ38',3$
175	Спика Процион	$50^\circ36'$ 29 31	$138$ 265	$-8,5$	$29^\circ39',5$	$29^\circ32',5$	$-7,0$	$10^m39^s$	$2^\circ40',2$
176	Процион Поллукс	$28^\circ35'$ 34°40'	$266$ 292°	$-8',2$	Не наблюдали				

Прокладка показана на рис. 18. С карты-сетки получаем:  $\varphi_0 = 19^\circ08',2 N$ ;  $\lambda_0 = 17^\circ42',0 W$ .

Сравнение решения этого примера с примером 20 показывает, что путем предвычисления получается бо́льшая экономия в вычислениях при незначительном осложнении прокладки и при той же точности решения. Показанный прием является в настоящее время простейшим путем получения обсервации по звездам при точности обработки около  $\pm 1'$ .

## Точность и пределы применимости таблиц типа НО-249

Ошибки в линии положения, полученной по авиационным таблицам подобранных звезд, больше, чем по таблицам ВАС-58, за счет ошибок округления высот до минут ( $\pm 0',3$ ), ошибок от пренебрежения аберрацией, от неточного учета прецессии и нутации ( $\pm 0',6$ ) и за счет ошибок прокладки из перемещенного места. Общая ошибка может быть порядка  $\pm 0',8—0',9$  только за счет обработки наблюдений. Экспериментальные исследования, проведенные доц. А. А. Чебаном, дипломантами ЛВИМУ и автором книги, показали, что СКО в линии, сравнительно с таблицами ВАС, оказывается в среднем около  $\pm 0',6$  (в 99% случаев меньше  $1',3$ , а в 50% меньше  $0',3$ ). При определении места большее число линий (а с этими таблицами обычно наблюдают 5—6 звезд) несколько компенсирует ошибки в линиях, но все же место получается менее точно — с ошибкой порядка  $0',5—1',0$  относительно места по ВАС, но с большей гарантией от промаха. Поэтому таблицы типа НО-249 можно применять только для океанских определений места при обычном контроле счисления. Если же требуется более точное место, в более стесненных условиях плавания их применять нельзя. Следовательно, эти таблицы не заменяют основных методов и таблиц ВАС-58, а только дополняют их, если требуется ускорить определение в океане.

### ГЛАВА V

## АНАЛИЗ ОШИБОК АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБСЕРВАЦИЙ

### § 15. ХАРАКТЕРИСТИКА ОШИБОК МОРСКИХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Ошибки наблюдений и их обработки подразделяют на случайные, систематические и промахи, или грубые ошибки.

*Случайные ошибки* получаются от совместного действия большого числа причин, учесть которые невозможно. Поэтому результаты наблюдений бывают неодинаковыми. Эти ошибки содержатся в каждом измерении, имеют разную, но ограниченную величину и разные знаки. Закономерности таких ошибок проявляются только в массе наблюдений,

т. е. являются статистическими. Вследствие случайных ошибок все измерения как бы колеблются около некоторой величины или «рассеяны» около некоторого центра (например, рассеивание попаданий около центра «кучности»).

*Систематические ошибки* происходят от определенных источников, поэтому они действуют на результаты измерений по определенному закону, выраженному определенной функциональной зависимостью. Таких зависимостей может быть много, но в основном они следующие: прогрессивного типа — возрастающие, убывающие; односторонние действующие; периодические и постоянные. Последние наиболее характерны для морских наблюдений; иногда ошибки считают постоянными, не зная более точной зависимости.

Систематическая ошибка представляет собой как бы общий сдвиг измеряемых величин от истинного их значения (например, сдвиг центра «кучности» попаданий от центра мишени).

Случайные ошибки, по мере изучения причин их возникновения, могут переходить в систематические. Иногда случайная ошибка в измеренной или вычисленной величине в дальнейшем действует как систематическая ошибка.

*Грубые ошибки или промахи* — это ошибки наблюдений и вычислений, по величине выходящие за пределы точности данного ряда измерений. Возникают они из-за небрежности наблюдателя и грубых просчетов в наблюдениях или, чаще всего, в вычислениях. Эти ошибки особенно опасны, так как именно они создают предпосылки для аварий.

Систематические и случайные ошибки возникают и действуют на результаты всех наблюдений, независимо от воли наблюдателя и чаще всего без его ведома. Чтобы частично исключить или ослабить их действие, необходимо заранее подобрать инструменты, условия наблюдений и их методы, ввести поправки и систематически анализировать конечный результат. Промахов избегают прежде всего надлежащим контролем наблюдений и вычислений, а также постановкой работы. Именно в этих приемах и проявляется квалификация и искусство наблюдателя.

Рассмотрим, какие операции и величины служат источниками ошибок в вычислениях высот светил и в линиях положения.

*Систематические ошибки в высотах* появляются главным образом при исправлении измеренной высоты — от ошибок в инструментальных поправках секстана и от рас-

хождения табличного наклона горизонта с действительным. Это наиболее крупные ошибки, величина которых может достигнуть нескольких минут.

Кроме того, возможны менее крупные ошибки, зависящие от следующих причин:

«невыверки» секстана; если периодически не проверять положение зеркал и трубы, то могут появиться систематические ошибки в высотах. Поправку индекса также нужно получать при каждом наблюдении;

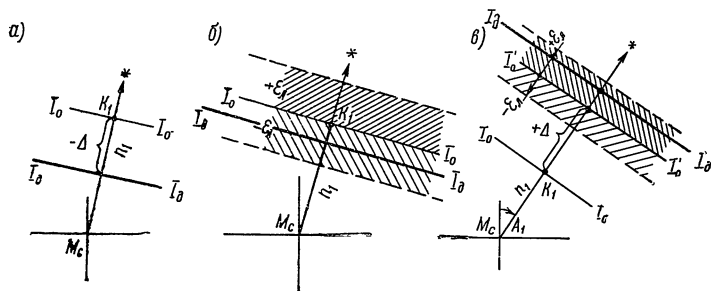


Рис. 18

ошибки в моменте  $T_{эр}$  зависят главным образом от неправильной поправки хронометра.

Инструментальные ошибки зависят от высоты светила, поэтому рекомендуется подбирать близкие по величине высоты для всех звезд.

Общее действие систематических ошибок  $\Delta$  на линию положения выразится сдвигом наблюдаемой линии  $I_0$  по направлению азимута или в обратном направлении на величину  $\Delta$  (рис. 19, а). Если ошибки во всех линиях приблизительно одинаковы, то и сдвиги всех линий будут приблизительно одинаковыми. На этом предположении и построен способ исключения постоянных ошибок с помощью так называемых «астрономических» биссектрис, построенных между двумя линиями.

*Случайные ошибки в высотах* появляются главным образом при их измерении и в меньшей степени при вычислении  $h_c$ . Основной источник ошибок измерений — неточное совмещение изображений светила с горизонтом и неправильное (наклонное) положение секстана при этом. Ошибки совме-

щения зависят главным образом от видимости горизонта и светила, умения наблюдателя и качества секстана. Величины случайных ошибок характеризуют точность произведенных измерений, а в качестве показателя точности применяют так называемую среднюю квадратическую ошибку (СКО)  $\epsilon$  или  $m$ . Вероятность того, что ошибки не превысят  $\epsilon$ , равна 68%; остальные ошибки могут превысить ее. Однако 99,7% ошибок не превысят  $3\epsilon$ , поэтому эту величину называют предельной ошибкой  $\epsilon_{np}$ , а превышающие ее ошибки считаются промахами и из наблюдений исключаются.

Величина СКО измеренной высоты  $\epsilon_h$  непостоянна, так как условия наблюдений изменяются. Для Солнца средняя точность отдельного наблюдения с хорошим секстаном колеблется от  $\epsilon_h = \pm 0',4$  до  $0',9$ ; для звезд — от  $\pm 0',5$  до  $1',2$ . Ошибка  $\epsilon_h$  для Солнца редко превышает  $\pm 1',0$ ; для звезд же до 20% наблюдений выполняются при очень плохом горизонте, и ошибка в этих случаях может достигать  $\pm 2',0$ . Если измерять не одну, а пять высот Солнца и три высоты звезд, то ошибка уменьшится в  $\sqrt{N}$  раз и в среднем может быть  $\epsilon_{\odot} = \pm 0',4$  и  $\epsilon_* = \pm 0',5$  —  $0',6$ . Конкретные значения ошибок для данного случая должны быть получены самим наблюдателем и могут распространяться на аналогичные условия, но с большой осторожностью.

Что касается ошибок вычислений, то, как правило, они имеют меньшую величину. Общая ошибка  $\epsilon_c$  счислимой высоты состоит из ошибок  $\epsilon_1$  в аргументах, ошибок  $\epsilon_2$  формул и таблиц и ошибок  $\epsilon_3$  в вычислениях, включая исправление высот.

Ошибка  $\epsilon_1$  не превышает  $\pm 0',05$ . Во всех современных таблицах, кроме авиационных ТВАЗ, ошибка  $\epsilon_2 \leq \pm 0',2$ ; того же порядка и  $\epsilon_3$ , поэтому величина  $\epsilon_c$  не превышает  $\pm 0',3$ .

Случайная ошибка в линии  $\epsilon_a$  включает ошибки вычислений и наблюдений  $\epsilon_h$  и будет равна

$$\epsilon_a = \sqrt{\epsilon_h^2 + \epsilon_c^2}. \quad (21)$$

Для Солнца  $\epsilon_a$  в среднем может составить  $\pm 0',5$ , а для звезд  $\pm 0',6$ — $0',7$ .

Величина  $\epsilon_a$  характеризует «рассеивание» линий около действительной линии положения  $I_{\partial} — I_{\partial}$ , т. е. показывает



ширину «полосы рассеивания»  $\pm \varepsilon_A$  (рис. 19, б), в которой с вероятностью около 68% должна находиться действительная линия положения, если нет систематических ошибок. В реальных условиях ошибки действуют совместно, поэтому необходимо сначала как-то исключить систематическую ошибку (рис. 19, в), а затем, построив «полосу положения», как бы «накрыть» действительную линию положения  $I_\partial$ .

Уравнение «полосы положения», в которой помещается действительная линия положения с вероятностью 68%, будет иметь вид

$$\Delta\varphi \cos A + \Delta W \sin A = n + \Delta \pm \varepsilon_A, \quad (22)$$

где  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta W$  — текущие координаты точек полосы положения;

$n$  — «истинный перенос» относительно счислимого места, равный  $h_{\text{ист}} - h_c$ .

В этой формуле три неизвестных:  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta W$  и ошибка  $\Delta$ , поэтому методы вычислений или построений должны обеспечить определение  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta W$  и исключение  $\Delta$ . Однако следует помнить, что при вычислении  $n$  (чаще всего в  $h_c$ ) возможен промах. Если промах значительно превышает ошибки счисления, то иногда он выявляется сразу же по величине  $h_{\text{ист}} - h_c$ , однако обычно промах незаметен. Поэтому для выявления промаха необходимы специальные меры и анализ конечного результата.

Таким образом, прокладка линий положения на карте еще не решает задачу, важным этапом решения является анализ определения, в который входят: определение невязки, рассмотрение действия систематических и случайных ошибок, выявление промахов и, в связи с этим, иногда контроль произведенных операций, выбор обсервованного места, оценка его точности, сравнение с дублирующей обсервацией и, наконец, заключение о переносе счисления в принятую точку.

Определение поправки компаса также следует заканчивать анализом. Поправка компаса или гирокомпаса, полученная по светилам, содержит систематическую часть  $\Delta$  и случайную ошибку пеленгования, показаний компаса и обработки  $\pm \varepsilon_{\Delta K}$ , т. е.

$$\Delta K = \Delta \pm \varepsilon_{\Delta K}. \quad (23)$$

Если величина полученной  $\Delta K$  близка или меньше ожидаемой в данном случае  $\varepsilon_{\Delta K}$  (при качке она колеблется от  $\pm 0^\circ,5$  до  $\pm 1^\circ,5$ ), то  $\Delta K$  следует принять равной нулю. Полученную поправку следует сравнить с принятой ранее и, если необходимо, выяснить причины расхождений.

## § 16. АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА СУДНА ПО ДВУМ, ТРЕМ И ЧЕТЫРЕМ ВЫСОТНЫМ ЛИНИЯМ

### I. Две высотные линии

*Оценка действия ошибок.* После прокладки двух линий положения (рис. 20) около полученной точки следует построить стрелки по направлению азимутов светил. Из теории известно, что если систематические ошибки в обеих линиях одинаковы, то место сместится по биссектрисе угла между линиями положения, параллельной линии среднего азимута, т. е. по астрономической биссектрисе. Вследствие того что при определении по двум светилам производится решение двух уравнений типа (22) путем прокладки, то из них можно определить только две величины  $\Delta\phi$  и  $\Delta W$ . Незвестная ошибка  $\Delta$  из двух линий не определяется. Можно лишь сказать, что место будет смещено вдоль биссектрисы  $M'M''$ .

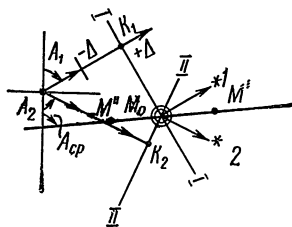


Рис. 20

Задаваясь возможной величиной ошибки  $\Delta$ , можно получить места в точках  $M'$  или  $M''$ . Таким образом, астрономическая биссектриса будет линией, свободной от ошибок  $\Delta$ . Это направление будет более безопасным, если следовать им, например, при проходе между опасностями.

Для учета действия случайных ошибок, как сказано выше, следует построить «полосы положения» (рис. 21), и тогда в площади их пересечения — в «ромбе ошибок» — с вероятностью около 47% находится обсервованное место, если систематическая ошибка  $\Delta = 0$ . Еще лучше площадь вероятного нахождения места судна характеризуется эллипсом ошибок, который можно вписать от руки в ромб (см. рис. 21). Чтобы повысить вероятность нахождения судна внутри эллипса, его оси следует удвоить (вероятность

86%). Однако из-за действия систематических ошибок  $\Delta$  место судна может быть смещено в точки  $M'$  или  $M''$ , при которых и следует построить эллипсы или ромбы рассеивания. Общая площадь возможного нахождения места судна охватит все три эллипса. Как видим, место судна по двум линиям при наличии ошибок не получается достаточно определено.

При определении места по Солнцу все построения выполняются так же, но первая полоса положения будет шире, так как включает ошибки числения  $\varepsilon_z$  (см. § 8).

При построении площади рассеивания получится не ромб, а параллелограмм ошибок, в который и следует вписать эллипс и, если необходимо, удвоить его полуоси. Систематические смещения в первом приближении также можно считать одинаковыми, тогда места судна будут в точках  $M'$  и  $M''$  и можно судить о более надежном направлении.

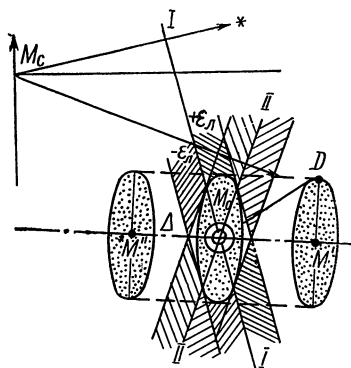


Рис. 21

Выполнение планирования наблюдений и их анализа особенно важно, если цель обсервации частная, например получение наименьших ошибок в заданном направлении. В этом случае заранее при проведении наблюдений следует создать благоприятные условия, исходя из внешних условий и из показанных выше геометрических факторов.

Чтобы возможные места судна расположились вдоль некоторой зоны, например фарватера (рис. 22, а), надо подобрать две звезды на одинаковых высотах так, чтобы линия среднего азимута была направлена вдоль зоны, а величина  $\Delta A$  была бы несколько больше  $90^\circ$ . Тогда возможные места расположатся вдоль зоны и эллипсы рассеивания мест также будут расположены осями вдоль зоны. Подвернув на величину смещения, можно выйти на безопасный путь. При  $\Delta A$ , меньшей  $90^\circ$ , эллипсы будут перпендикулярны оси зоны, что в данном случае менее выгодно.

Если же светила пронаблюдать при среднем азимуте  $A_{ср}$ , расположенном по траверзу, то места судна рассеиваются поперек зоны и полоса возможного нахождения места будет шире всей зоны безопасного пути, но более точно укажет смещение по курсу (рис. 22, б).

Следовательно, правильным подбором светил можно направить действие ошибок в определенную сторону и обезопасить определенные направления.

**Выявление промахов.** После прикидки действия ошибок следует проверить обсервацию на промахи, допускаемые обычно при вычислениях. Особенно крупные промахи замечаются в конце обработки наблюдений по величине  $n$ . Если эта величина больше  $3\epsilon_{сч}$  (где  $\epsilon_{сч}$  — ошибки счисления), то возможно, что сделан промах, и нужно проверить вычисления и наблюдения.

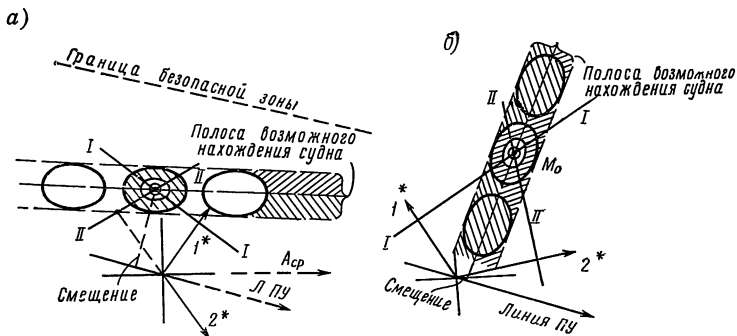


Рис. 22

Единственно надежным способом выявления промахов при двух линиях является сравнение обсервации с другой, выполненной другим наблюдателем и другими инструментами (еще лучше с двумя). Если места судна сходятся в пределах действия ошибок (см. рис. 21, линия  $M_0D$ ), значит промаха нет. Следовательно, однократное определение по двум линиям ненадежно.

### Понятие о весах линии и обсервации

Для оценки степени доверия к линии положения или обсервации, сравнительно с другими линиями или обсервациями, вводится условная величина «вес» ( $P$ ).

Вес линии положения ( $ВЛП$ ) определяется по формуле

$$P_{ВЛП} = \frac{I}{\epsilon_{\lambda}^2}, \quad (24)$$

где  $\epsilon_{\lambda}$  — средняя квадратическая ошибка  $ВЛП$ .

Например, если один наблюдатель получил линию с точностью  $\varepsilon_A = \pm 0',4$ , а другой с  $-\varepsilon_A = \pm 1',0$ , то  $P_1 = 6$ , а  $P_2 = 1$ , т. е. первая линия более достоверна, чем вторая.

Вес точки пересечения двух линий (1, 2) определяется по формуле

$$P_{1,2} = \frac{\sin^2 \Delta A_{1,2}}{\varepsilon_1^2 \varepsilon_2^2}, \quad (25)$$

где  $\Delta A_{1,2}$  — угол пересечения двух ВЛП (разность азимутов).

Если  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_A$ , то вес зависит только от угла пересечения и определяется по формуле

$$P_{1,2} = \sin^2 \Delta A_{1,2}. \quad (26)$$

По этой формуле, умноженной для удобства на 10, составлена табл. 6.

Т а б л и ц а 6

$\Delta A$	0—12°	13—22°	23—30°	31—36°	37—42°	43—48°
$P$	0	1	2	3	4	5
$\Delta A$	49—53°	54—60°	61—67°	68—76°	77—90°	
$P$	6	7	8	9	10	

Так, если выполнены две обсервации по двум звездам — одна с  $\Delta A = 44^\circ$  и  $\varepsilon_A = \pm 0',5$ , а другая с  $\Delta A = 58^\circ$  и  $\varepsilon_A = \pm 1',0$ , то по формуле (25) и табл. 6 имеем  $P_1 = 80$ ,  $P_2 = 7$ ; при равной же точности  $\pm 1',0$  имели бы 5 и 7. Отсюда видно, как важно повышать точность линии, например, увеличением числа высот до 3—5.

*Выбор обсервованного места.* Как правило, при определении по двум линиям место судна принимается в точке пересечения линий. Однако если счисление велось очень точно, а условия определения плохие и оно выполнено неточно, то пренебрегать счислением не следует.

При работе двух или трех наблюдателей место выбирается ближе к месту, полученному более опытным наблюдателем, по методу весов. Соединяя места прямой и разделив ее на число, равное сумме весов, результирующее место получаем ближе к месту с большим весом (в расстоянии, равном числу меньшего веса).

*Перенос счисления.* Перенос счисления в обсервованную по двум линиям точку лучше не производить. Это можно

делать только тогда, когда получены два, а еще лучше три места разными наблюдателями и по разным инструментам и они сходятся между собой в пределах ошибок наблюдений. Каждое из мест анализируется и выбирается общая obserвованная точка, лучше всего — с учетом весов каждой обсервации.

## II. Анализ определения места судна по трем линиям

При прокладке трех высотных линий получается треугольник ошибок (погрешностей) как следствие действия систематических и случайных ошибок, а возможно, и промаха. Промахи в одной, двух или во всех линиях приводят обычно к большим размерам треугольника. Более мелкие

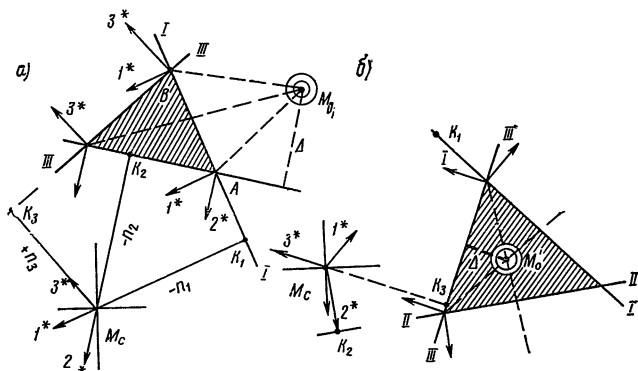


Рис. 23

промахи (10—15') не проявляются, так как обычно вызывают появление треугольника нормальных размеров и поэтому выявлены быть не могут.

Выбор obserвованного места в треугольнике зависит от характера ошибок и расположения светил, поэтому рассмотрим сначала действие ошибок.

*Действие систематических ошибок.* Если во всех линиях есть одинаковая систематическая ошибка, то место судна, свободное от этой ошибки, будет в точке пересечения астрономических биссектрис, которые проводятся между линиями по направлению среднего между ними азимута, т. е. между стрелками, указывающими направления на звезды или другие светила. На рис. 23 показана расстановка стрел-

лок в направлении  $A_c$  сначала при счислимом месте, затем при вершинах треугольника. Например, первая звезда имеет  $A = 65^\circ SW$ , в этом направлении и поставлена стрелка при  $M_c$ , несмотря на отрицательный перенос  $n_1 = -6', 0$ . В этом же направлении поставлены стрелки и при вершинах  $A$  и  $B$ .

Проведя биссектрисы двух углов (третья — для контроля), в точке их пересечения получим obserвованное место  $M'_0$  и ошибку  $\Delta$  как расстояние

до любой линии от  $M'_0$ . Если звезды расположены в одной части горизонта, то место будет вне треугольника (рис. 23, а). Если же звезды расположены в разных частях горизонта, то место будет внутри треугольника (рис. 23, б). Очевидно, что последнее будет более надежным, лучше увязано со случайными ошибками, что и подтверждается многолетним опытом.

Следовательно, при наблюдении трех звезд их надо выбирать в разных частях горизонта ( $\Delta A = 120^\circ$ ), тогда место судна можно будет принимать внутри треугольника ошибок.

*Действие случайных ошибок.*

Если систематические ошибки исключены или их принять равными нулю, то треугольник погрешности будет следствием случайных ошибок при отсутствии промахов. Тогда место судна будет находиться внутри треугольника погрешности в точке пересечения его антимедиан (рис. 24), но при условии, что ошибки во всех линиях одинаковы, как мы обычно и считаем. Например, антимедиана  $AD$  при вершине  $A$  строится так: соединяем точку  $A$  с серединой стороны  $CB$  медианой  $AM$ . От стороны  $AC$  откладываем острый угол  $A'$ . Проведенная под этим углом линия  $AD$  и будет антимедианой. В точке пересечения двух антимедиан и получается вероятнейшее obserвованное место  $M''_0$ . Оно будет всегда ближе к более прямому углу треугольника и его короткой стороне.

*Выбор места при совместном действии ошибок.* Чтобы место можно было принимать всегда внутри треугольника

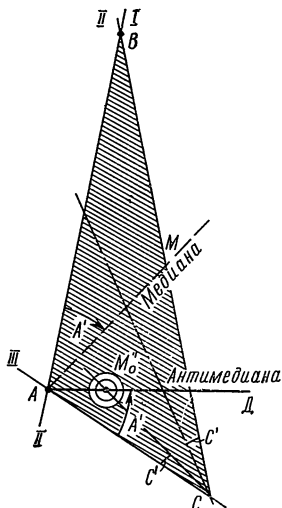


Рис. 24

ошибок в пересечении биссектрис, следует наблюдать светила при разности азимутов в  $120^\circ$ , т. е. в разных частях горизонта.

Если светила наблюдались в одной части горизонта, то при малом треугольнике (стороны менее  $3'$ ) место принимается внутри него, при большом же треугольнике — ближе к опасности.

*Оценка точности полученного места.* Для получения площади вероятнейшего нахождения места при трех линиях проще всего около выбранного места описать круг ошибок радиусом  $\epsilon_m$ , который подсчитывается проще всего по формуле

$$\epsilon_m = \pm \epsilon_l \sqrt{\frac{3}{\sin^2 \Delta A_{1,2} + \sin^2 \Delta A_{2,3} + \sin^2 \Delta A_{1,3}}}, \quad (27)$$

где  $\epsilon_l$  — средняя квадратическая ошибка в любой линии;

$\Delta A_{1,2}$ ;  $\Delta A_{2,3}$ ;  $\Delta A_{3,1}$  — разности азимутов между линиями.

Однако практически можно в среднем считать  $\epsilon_m = \pm 1',3 \epsilon_l$ . Тогда в построенном круге и должно находиться место судна с вероятностью около 65%. Наибольший вес (по табл. 6) обсервации по трем линиям около 22.

**Перенос счисления.** Определение места одним наблюдателем по трем линиям может иметь промахи. Поэтому для получения надежной обсервации к наблюдениям нужно привлекать второго наблюдателя. После нанесения на карту двух мест при их хорошей сходимости обсервацию можно считать надежной, место судна можно принять в середине между двух точек или ближе к месту судна, определенному более опытным штурманом.

### III. Анализ определения места судна по четырем линиям

При определении места судна по четырем линиям (звездам) можно получить две независимые астрономические биссектрисы и тем самым исключить неизвестные постоянные ошибки. Однако для этого надо, чтобы наблюдаемые звезды располагались «по всему горизонту», т. е. разность азимутов между соседними звездами равнялась примерно  $90^\circ$ . Правильнее всего подбирать звезды попарно — в противоположных азимутах и приблизительно на одной высоте. Между парами должен быть угол около  $90^\circ$  (в пределах  $70-110^\circ$ ).



Биссектрисы расположатся тем точнее, чем ближе будет угол  $\Delta A$  к  $180^\circ$ . Поэтому после расстановки стрелок около каждой из четырех линий следует выбирать такие две линии, стрелки около которых имеют  $\Delta A$  ближе всего к  $180^\circ$ , а затем для каждой построить свою астрономическую биссектрису  $B_1$  и  $B_2$  (рис. 25, а). Располагать звезды в одной части горизонта невыгодно, так как угол между биссектрисами будет мал, а располагать их одну над другой бессмысленно, ибо получится одна линия.

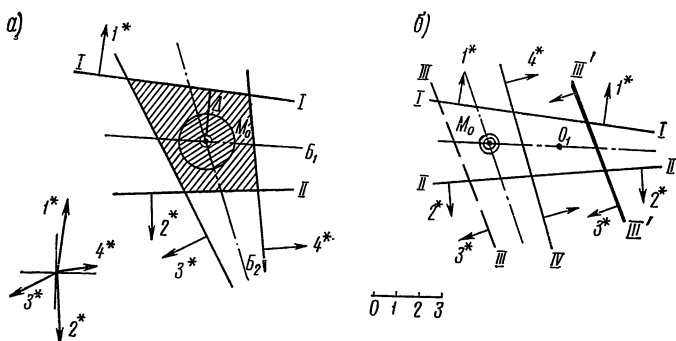


Рис. 25

После прокладки четырех линий, прежде чем намечать наблюдаемую точку, следует проанализировать, не допущены ли промахи в определениях. Для этого после построения стрелок и биссектрис между линиями надо посмотреть, в какую сторону сдвинуты линии относительно биссектрис. Так, для биссектрис  $B_1$  и  $B_2$  обе линии сдвинуты «к светилам» (стрелки «наружу»). Следовательно, во всех четырех линиях есть какие-то одинаковые (постоянные) ошибки. Это значит, что в линиях промаха, по-видимому, **нет**, и место судна будет в точке  $M_0$  пересечения астрономических биссектрис.

Если же после прокладки, расстановки стрелок и построения биссектрис окажется, что для одной пары линий стрелки расположены «наружу», а для другой «внутри», а размеры четырехугольника больше  $2'$ , то одинаковой ошибки в них нет и проводить биссектрисы нельзя. Обычно это является следствием промаха при нахождении одной из линий. Так, если линия  $III$  (рис. 25, б) прошла бы правее (линия  $III'$ ),

то одна пара линий ( $I—II$ ) имела бы стрелки «наружу», а другая ( $III—IV$ ) — «внутри». Для линий  $I—II$  ошибка  $\Delta$  имела бы знак минус, а для  $III—IV$  — плюс. Видимо, одна из линий ошибочна. Проверкой вычислений можно установить, что линия  $III'$  ошибочна на  $6'$ .

Выполнив анализ на промахи и выбрав место в точке  $M_0$  пересечения биссектрис, следует оценить точность обсервации, построив круг величиной  $\epsilon_m = \pm \epsilon_d$ . Наибольший вес обсервации по четырем звездам около 40, т. е. в два раза больше, чем для трех звезд. Это наиболее точное определение при обработке наблюдений по таблицам ВАС-58.

Полученная по четырем звездам обсервация может содержать одну ошибку (ее нельзя определить) — в поправке хронометра или его показаниях. Эта ошибка даст сдвиг всей обсервации по долготе на ее величину. Поэтому перед наблюдениями следует тщательно проверить показания хронометра и его поправку.

## ГЛАВА VI

# ПРИБОРЫ И МАШИНЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОРЕХОДНОЙ АСТРОНОМИИ

## § 17. НАВИГАЦИОННАЯ ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ И УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА

Специализированные цифровые электронные вычислительные и управляющие системы предназначены для выполнения следующих функций:

- автоматического вождения судна по заданному маршруту;
- решения задач на определение места судна;
- выработки элементов движения встречного судна по данным РЛС;
- решения задач маневрирования, включая расхождение со встречным судном.

Некоторые данные вводятся в машины данного типа автоматически, например курс, скорость, пройденное расстояние, данные приемоиндикаторов РНС и др. В связи с этим счисление судна и непрерывное определение места по РНС производится автоматически. Решение других задач, в том числе определение места по астрономическим наблю-

дениям, производится с ручным вводом данных с пульта управления.

Система состоит из следующих основных блоков (рис. 26): блока *А* — автоматического ввода различных данных в вычислительную машину; *Б* — электронной вычислительной машины (ЦВМ); *В* — пульта управления машиной и дистанционного ввода данных; *Г* — устройства печати; *Д* — блока автоматического вывода управляющих сигналов на авторулевой и автопрокладчик; *Е* — преобразовательного агрегата и источника питания; *Ж* — блока и пульта наладки и контроля.

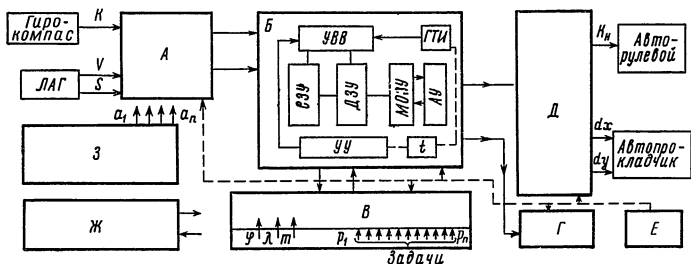


Рис. 26

В блоке *А* информация от гирокомпаса и лага, а если имеются, то и от приборов РНС, преобразуется в сигналы кода, которые и поступают в ЦВМ. Этот блок представляет собой сложные электромеханическую и электронную системы, включающие выходные датчики информации на приборах, устройства дистанционного приема информации, преобразующие устройства схемы: вал — фаза — цифра и электронные схемы преобразования цифр в импульсы кода. Данные из этого блока поступают в ЦВМ, и по ним решаются задачи счисления и обсервации по РНС, программы которых заложены в долговременном запоминающем устройстве (ДЗУ). Результаты ее решения поступают в блок *Д* и далее на авторулевой и автопрокладчик.

Блок *Б* представляет собственно цифровую электронную вычислительную машину и имеет блоки:

а) сменное запоминающее устройство (СЗУ), или блок сменных констант, где хранится периодически сменяемая информация: координаты береговых радиостанций или РНС

данного района, координаты запрограммированных звезд и Солнца на начало месяца и планет и Луны на начало суток и др. Эти данные вводятся оператором по мере надобности;

б) устройство ввода-вывода (*УВВ*), в котором информация от пульта управления или из *СЗУ* преобразуется из десятичной системы в двоично-десятичную и передается в нужные ячейки *МОЗУ*. Здесь же распределяется информация от блока *А*;

в) долговременное запоминающее устройство (*ДЗУ*), устроенное обычно на магнитных ферритовых сердечниках, хранящее программы решения задач и главные константы, например значения функций  $\sin x$ ,  $\cos x$  и т. п.;

г) магнитное оперативное запоминающее устройство (*МОЗУ*), предназначенное для хранения исходных, промежуточных и конечных результатов вычислений. Сюда поступают все данные наблюдений, вводимые вручную или из блока автоматического ввода данных;

д) арифметическое устройство (*АУ*), состоящее из триггерных ячеек, построенных на германиевых диодах, в которых выполняются арифметические и логические действия; управление ими осуществляется по программе из *ДЗУ*;

е) устройство управления (*УУ*), выполняющее команды по выборке чисел и команд из запоминающего устройства, задает арифметическому устройству операции, которые должны быть выполнены с данным числом в соответствии с программой *ДЗУ*. Это устройство выполняет отсылку результата по запрограммированному адресу, а со следующим циклом тактовых импульсов выбирает следующую операцию из *ДЗУ*;

ж) генератор тактовых импульсов (*ГТИ*), генерирующий и выдающий в машину импульсы через строго одинаковые интервалы времени. Импульсы объединены в циклы. Каждая команда программы выполняется за один цикл. Импульсы синхронизируют работу всех устройств машины и одновременно являются энергетическими ресурсами для выполнения операций в ячейках всех устройств машины;

з) хранитель времени (*t*), представляющий собой стабилизированный кварцевый генератор со счетчиком импульсов, который выдает в машину текущее время, по которому и решаются задачи счисления. При пуске машины первоначальный момент времени устанавливается с пульта управления по хронометру.

Блок В — пульт управления машиной, с которого с помощью кнопок вводятся данные для решения задач, осуществляется пуск, остановка и контроль за работой машины. Могут быть также выносные пульта управления.

Результаты решения задачи записываются на устройстве печати (блок Г), где на бумажной ленте печатается буквенный индекс величины и ее цифровое значение.

В блоке Д — автоматического вывода управляющих сигналов результаты решения задачи счисления, в виде приращений по осям координат и изменения курса, преобразуются в управляющие сигналы для авторулевого и автопрокладчика.

Блок З представляет собой приемоиндикаторы РНС для автоматического определения места судна. Машина питается от преобразовательного агрегата (блок Е).

Размеры подобных специализированных машин невелики, но стоимость их все еще очень велика.

## § 18. ФОРМУЛЫ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АСТРОНОМИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА

В ЭЦВМ можно применить прямой аналитический явный метод и методы последовательных приближений. Рассмотрим аналитический метод последовательных приближений, в основе которого лежит метод линий положения. Запишем уравнения для двух высотных линий положения (см. § 15) с началом координат в счислимом месте:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi \cos A_1 + \Delta W \sin A_1 &= n_1 \\ \Delta\varphi \cos A_2 + \Delta W \sin A_2 &= n_2 \end{aligned} \right\}, \quad (28)$$

где  $A_1$  — азимуты первого и второго светил;  
 $\Delta\varphi, \Delta W$  — поправки к счислимым координатам места за широту и отношение;  
 $n$  — переносы, т. е.  $h_0 - h_z$ .

Решая эти уравнения относительно  $\Delta\varphi$  и  $\Delta W$ , получим:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi &= \frac{n_1 \sin A_2 - n_2 \sin A_1}{\sin (A_2 - A_1)} \\ \Delta W &= \frac{n_2 \cos A_1 - n_1 \cos A_2}{\sin (A_2 - A_1)} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

и

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= \varphi_c + \Delta\varphi \\ \lambda_0 &= \lambda_c + \frac{\Delta W}{\cos \varphi} \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

При ручной работе штурман вместо этих вычислений делает прокладку и графически получает координаты или точку. При машинном решении по формулам (29) и (30) выдаются готовые координаты. В машину можно ввести и три уравнения (28). Тогда они решаются по способу наименьших квадратов.

Для расчета высоты  $h_c$  удобнее применить формулу

$$\sin^2 \frac{Z_c}{2} = \sin^2 \frac{\varphi - \delta}{2} \cos^2 \frac{t_M}{2} + \sin^2 \frac{t_M}{2} \cos^2 \frac{\varphi + \delta}{2}, \quad (31)$$

а для азимута

$$\sin A_c = \frac{\cos \delta \sin t_M}{\sin Z_c}. \quad (32)$$

В машине величины  $h_c$  и  $A_c$  вычисляются с большой точностью, но общая точность получения координат  $\varphi_0$  и  $\lambda_0$  — обычная. При решении астрономических задач в машинах этого типа вручную надо ввести:  $T_{ep}$ , исправленные высоты, названия светил (в коде) для звезд —  $t_{ep}^V$  на начало месяца, а для Солнца и планет  $t_{ep}$  и  $\delta$  на начало суток, задачу, а если машина не работала непрерывно, то и  $\varphi_c$ ;  $\lambda_c$ . Это замедляет решение, так что одиночное решение задачи особых преимуществ перед обычным не имеет. Массовое же непрерывное решение очень удобно.

Использование в практике судовождения ЭЦВМ явится большим прогрессом в навигации, облегчит и ускорит работу штурмана, особенно при расхождении судов.

### Список литературы

1. Морской Астрономический Ежегодник на 1970—1972 г. ГУ МО, 1970, г., 444 с..
2. Таблицы ВАС-58. УНГС ВМФ, 1959.
3. Б а р а н о в Ю. К. и др. Современные способы навигации. М., «Транспорт», 1961. 182 с.
4. Д о л м а т о в Б. П. Решение штурманских задач на малых вычислительных машинах. Мурманское книжное изд-во, 1970. 125 с.
5. Д ь я к о н о в В. Ф. Определение места судна по Солнцу с исследованием. М. Водтрансиздат, 1954. 176. с.
6. К о н д р а ш и х и н В. Т., Р а х о в е ц к и й А. Н. Астрономические определения места судна и поправки компаса. Изд. 2-е, перераб. М., «Транспорт», 1971, 112 с.
7. К р а с а в ц е в Б. И. Мореходная астрономия. М., «Транспорт», 1968. 408 с.
8. М а л ь ц е в Б. А. Использование разновременных линий положения в судовождении. М., «Морской транспорт», 1962. 140 с.
9. С а з о н о в А. Е. Электронные цифровые вычислительные машины и их использование на морских судах. Л., «Морской транспорт», 1970, 110 с.
10. С к о р о д у м о в П. П. Мореходная астрономия. Курс кораблевождения, т. II. Л., Упр. Гидрографич. службы ВМФ, 1963. 528 с.
11. Т и т о в Р. Ю., Ф а й н Г. И. Мореходная астрономия. М., «Транспорт», 1969. 384 с.
12. Щ е т и н и н а А. И. Практическое руководство для штурманов. М., «Транспорт», 1965. 560. с.
13. Admiralty Manual of Navigation, V. II, London, 1966.
14. B o w d i t c h N. American practical navigator, 1966.
15. Sight Reduction Tables for Air Navigation, H. O. Pub. № 249, V. 1, Wastington, 1967.

## О г л а в л е н и е

<b>Г л а в а 1. Обзор пособий по мореходной астрономии, перспективы их развития . . . . .</b>	<b>3</b>
§ 1. Морской Астрономический Ежегодник (МАЕ) . .	3
§ 2. Таблицы высот и азимутов 1958 г. . . . .	10
<b>Г л а в а II. Навигационный секстан и другие угломерные инструменты, современное состояние и перспективы развития . . . . .</b>	<b>20</b>
§ 3. Ошибки навигационного секстана и их учет. Секстан СНО-Т . . . . .	20
§ 4. Секстаны с искусственным горизонтом . . . . .	28
§ 5. Наклономеры . . . . .	28
<b>Г л а в а III. Особенности дневных определений места судна по светилам . . . . .</b>	<b>30</b>
§ 6. Современное состояние астрономических методов определения места судна в море . . . . .	30
§ 7. Проведение наблюдений. Контроль измеренных высот . . . . .	32
§ 8. Определение наивыгоднейшего промежутка времени между наблюдениями Солнца и выбор времени наблюдений . . . . .	36
§ 9. Особенности способа высотных линий для Солнца в малых широтах . . . . .	39
§ 10. Определение места судна днем по Венере и Солнцу	41
<b>Г л а в а IV. Приемы ускорения обсерваций . . . . .</b>	<b>50</b>
§ 11. Предварительное вычисление (предвычисление) линий положения. Общий порядок определения	50
§ 12. Предвычисление второй линии при наблюдениях Солнца . . . . .	53
§ 13. Предвычисление линий при одновременных наблюдениях светил . . . . .	55
§ 14. Определение по звездам с авиационными таблицами подобранных звезд . . . . .	59



Г л а в а V. Анализ ошибок астрономических обсерваций	68
§ 15. Характеристика ошибок морских астрономических определений . . . . .	68
§ 16. Анализ определения места судна по двум, трем и четырем высотным линиям . . . . .	73
Г л а в а VI. Приборы и машины для решения задач мореходной астрономии . . . . .	81
§ 17. Навигационная цифровая вычислительная и управляющая система . . . . .	81
§ 18. Формулы и методы решения задачи астрономического определения места . . . . .	84
Список литературы . . . . .	86

*БОРИС ИВАНОВИЧ КРАСАВЦЕВ*

## **ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ МОРЕХОДНОЙ АСТРОНОМИИ**

Редактор *С. В. Приградова*

Техн. редактор *Л. Г. Дягилева*

Корректоры: *М. Г. Плоткина, Л. П. Узлова*

---

Сдано в набор 27/XII 1971 г. Подписано к печати 2/VIII 1972 г.  
 Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Печатных листов 2,75. (условных 4,62).  
 Учетно-изд. листов 4,37. Тираж 6 000 экз. Т12272. Изд. № 1-3-1/11 № 5440  
 Зак. тип. № 724. Бумага типографская № 2. Цена 23 коп.  
 Изд-во «ТРАНСПОРТ», Москва, Басманный туп, 6а

---

Московская типография № 4 Главполиграфпрома Комитета по печати  
 при Совете Министров СССР. Б. Переяславская, 46

23 коп.