

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Судовождение и безопасность судоходства»

МОРЕХОДНАЯ АСТРОНОМИЯ

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине для студентов специальности
26.05.05 «Судовождение»
(специализация «Судовождение на морских путях»)
Тема I
«Основы измерения времени. Навигационный секстан»

Севастополь
СевГУ
2021

УДК 629.072.1:656.61(076.5)

ББК 39.471.4я73

М79

Р е ц е н з е н т:

Л.Е. Курочкин – доцент кафедры СБС

Ответственный за выпуск:

С.А. Подпорин - заведующий кафедрой СБС, к.т.н, доцент

Составитель: С. А. Потапенко

М79 Мореходная астрономия: методические указания к практическим занятиям по дисциплине для студентов специальности 26.05.05 «Судовождение» (специализация «Судовождение на морских путях»). Тема I «Основы измерения времени. Навигационный секстан» / Сост. С. А. Потапенко ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет. – Севастополь : СевГУ, 2021. – 40 с. – Текст: электронный.

Целью методических указаний является оказание студентам методической помощи при подготовке к практическим занятиям и выполнении индивидуальных заданий, предусмотренных учебным планом, по дисциплине «Мореходная астрономия».

УДК 629.072.1:656.61(076.5)

ББК 39.471.4я73

Рассмотрены и рекомендованы на заседании кафедры «Судовождение и безопасность судоходства» Морского института Севастопольского госуниверситета в качестве методических указаний, протокол № 1 от 04 сентября 2020 г.

© Потапенко С. А., сост., 2021
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ПЗ-1	Решение задач на перевод времени	4
ПЗ-2	Решение параллактического треугольника по таблицам ТВА-57 и формулам сферической тригонометрии	17
ПЗ-3	Выверка и подготовка к работе навигационного секстана	25
ПЗ-4	Определение и уменьшение поправки секстана. Измерение высот светил	33

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ПЕРЕВОД ВРЕМЕНИ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: Приобретение компетенций согласно таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Профессиональные компетенции, устанавливаемые ООП			
Умеет использовать небесные тела для определения местоположения судна	—	Определение гринвичского, поясного времени. Определение поправки хронометра	Звездное, солнечное время. Системы счета времени.

Объем: 2 академических часа.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Видимое движение небесных светил» – 5 мин.
2. Основы измерения времени – 10 мин.
3. Системы счета времени – 10 мин.
4. Демаркационная линия времени – 10 мин.
5. Поправки измерителей времени – 10 мин.
6. Самостоятельная работа студентов – решение задач по переводу времени, определению поправки хронометра – 40 мин.
7. Подведение итогов занятия – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Пластиковая или смарт-доска.
2. Мультимедиа проектор.
3. Транспортир, циркуль, карандаш.
4. Тематические плакаты.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Основы измерения времени

В основу систем счета времени положены астрономические методы его измерения, использующие в качестве эталонов:

- природный период вращения Земли вокруг своей оси – сутки;
- период обращения Земли вокруг Солнца – год.

Длительность суток, то есть продолжительность одного оборота Земли вокруг своей оси, можно заметить по наблюдениям какой-либо звезды или Солнца, отсюда и наименование суток – звездные или солнечные и наименование времени – звездное или солнечное.

Принимая Землю «условно неподвижной», можно считать, что вращение небесной сферы с востока (E) на запад (W) совершается так же равномерно, как и реальное вращение Земли с запада (W) на восток (E).

В астрономии для измерения времени принимают звездные сутки.

Продолжительность звездного периода вращения Земли определяется по суточному движению точки Овна – точки «весеннего равноденствия (т. « Υ »)), которая занимает на небесной сфере вполне определенное положение и от нее ведется счет прямых восхождений (α) и звездных дополнений (τ^*) светил.

Звездные сутки – интервал времени между двумя последовательными прохождением точки « Υ » через полуденную часть местного меридиана, то есть между двумя последовательными верхними кульминациями точки « Υ ».

Перемещение меридиана светила в ходе видимого суточного движения, начиная с момента кульминации светила на небесном меридиане наблюдателя, будет характеризовать течение времени, а в момент следующей одноименной кульминации – сутки закончатся.

Звездное время (S) – число звездных часов, минут, секунд, прошедших с момента верхней кульминации точки Овна (Υ) до данного физического момента.

Так как дуга экватора от полуденной части местного меридиана до меридиана светила измеряет часовой угол (t) светила, то между измерением часовых углов светил и измерением времени существует зависимость:

$$S = t_w'$$

Промежуток времени, прошедший с момента верхней кульминации т.Овна и выраженный величиной S , численно равен западному (W) часовому углу т.Овна в градусных единицах.

Так, будет $S = 0^h$ при $t_W^\gamma = 0^\circ$

$S = 6^h$ при $t_W^\gamma = 90^\circ$

$S = 12^h$ при $t_W^\gamma = 180^\circ$

$S = 18^h$ при $t_W^\gamma = 270^\circ$

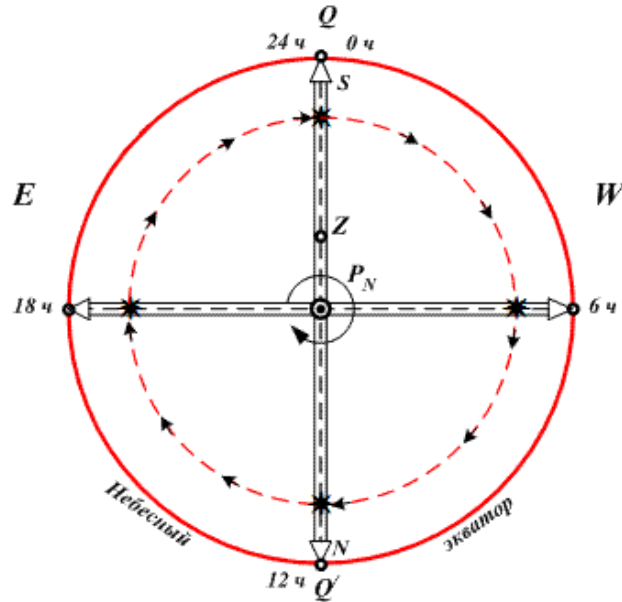


Рисунок 1.1 – Звездное время

Отсюда появляется возможность выражения временных промежутков как часах, так и в градусах. Для перехода от градусов к часам и обратно служат соотношения:

$$24^h = 360^\circ; 1^h = 15^\circ; 1^m = 15'; 1^c = 15'';$$

$$360^\circ = 24^h; 1^\circ = 4^m; 1' = 4^c; 0,1' = 0,4^c$$

Например:

$$S = 125^\circ 18,5' = 8^h 21^m 14^c$$

Звездное местное время (S_M) – интервал времени от момента верхней кульминации точки « γ » на местном меридиане до данного момента в звездных величинах.

$$S_M = t_m^\gamma$$

Каждому географическому меридиану соответствует свое звездное местное время.

Звездное местное время на Гринвичском меридиане называется *гринвичским звездным временем*

$$S_{GP} = t_{GP}^*$$

Звездное время гринвичского меридиана (S_{GP}) и местное звездное время наблюдателя отличаются на величину долготы:

$$S_M = S_{GP} \pm \lambda^E_W$$

В один и тот же момент звездное время S равно W -му часовому углу t_W любого светила плюс его прямое восхождение α .

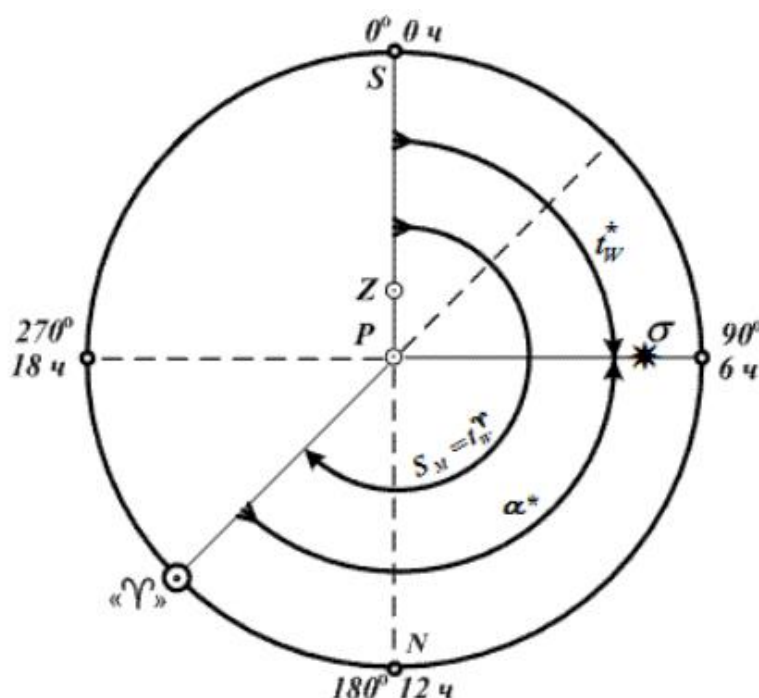


Рисунок 1.2 – Основная формула времени

$$S_M = t_W^* + \alpha^*$$

Это выражение называется *основной формулой времени*.

Оно связывает координаты светил со временем, позволяет переходить от звездного времени к солнечному и решать другие задачи. В мореходной астрономии эту формулу применяют для расчёта часовых углов звезд:

$$t_W^* = S - \alpha^*$$

или

$$t_W^* = S + \tau^*$$

В повседневной жизни удобнее пользоваться солнечным временем.

Средние солнечные сутки – интервал времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего Солнца на одном и том же местном меридиане.

Среднее время (T) – время, измеряемое средними солнечными сутками, или их долями. Среднее время (T) имеет дату и рассчитывается по формуле:

$$T = t_w \pm 12ч$$

За начало счета *среднего солнечного времени* принята полночь.

Средним солнечным временем в данный физический момент называется число средних часов, минут и секунд, протекших от начала средних суток до данного физического момента.

Средние сутки служат основой измерения времени в повседневной жизни.

2.2. Системы счета времени

Гринвичское (всемирное) время T_{gr} (GMT - Greenwich Mean Time) – это промежуток времени от момента нижней кульминации среднего Солнца на гринвичском (нулевом) меридиане до данного момента, выраженный в средних солнечных единицах. Проще говоря, это *время на Гринвичском меридиане*.

Местное время T_m (LMT - Local Mean Time) – это промежуток времени от момента нижней кульминации среднего Солнца на местном меридиане до данного момента, выраженный в средних солнечных единицах. Проще говоря, это *время на меридиане наблюдателя*.

Стандартное время $T_{ст}$ (ST - Standard time) – система счета среднего времени, официально принятой на данной территории. Отличается от всемирного времени на целое или полуцелое число.

Поясное время T_n (Zone Time) – среднее время центрального для данного пояса меридиана, по которому установлены все часы.

Ширина часового пояса равна 15° . Местное время от поясного может отличаться не более, чем на 0,5 часа. Существуют специальные карты часовых поясов.

Сущность поясного времени заключается в том, что у всех наблюдателей, находящихся в одном часовом поясе, часы устанавливаются по местному времени осевого (центрального) меридиана данного пояса.

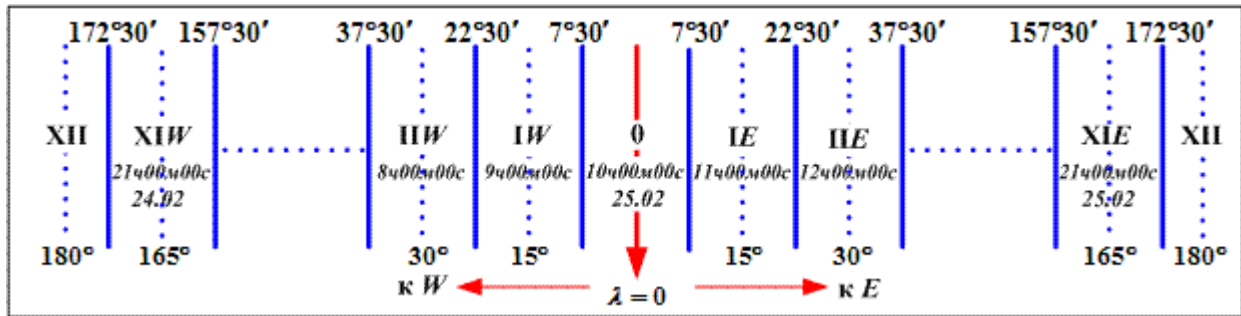


Рисунок 1.3 – Часовые пояса

Чтобы определить номер часового пояса № (ZD - Zone description), необходимо долготу разделить на 15. Если остаток при делении меньше 7,5°, то целое значение частного и будет номером часового пояса. Если остаток при делении больше 7,5°, то к целому значению частного прибавляется 1.

Правило: НА ВОСТОКЕ ВРЕМЕНИ БОЛЬШЕ

Например: $\lambda = 127^{\circ}20' E$; № = 8 E (остаток при делении $7^{\circ}20'$),
 $\lambda = 127^{\circ}40' W$; № = 9 W (остаток при делении $7^{\circ}40'$).

Судовое время T_c (ship mean time, Zone Time) – время пояса, по которому установлены стрелки судовых часов с точностью до 1 минуты.

Связь времен выражается формулами:

MAE	Nautical Almanac	MAE	Nautical Almanac
$T_c = T_{cp} \pm \text{№}^E_w$	$ZT = GMT \pm ZD^E_w$	$T_{cp} = T_c \pm \text{№}^W_E$	$GMT = ZT \pm ZD^W_E$
$T_n = T_{cp} \pm \text{№}^E_w$	$ST = GMT \pm ZD^E_w$	$T_{cp} = T_n \pm \text{№}^W_E$	$GMT = ST \pm ZD^W_E$
$T_m = T_{cp} \pm \lambda^E_w$	$LMT = GMT \pm Long^E_w$	$T_{cp} = T_m \pm \lambda^W_E$	$GMT = LMT \pm Long^W_E$

При переходе из одного часового пояса в другой, стрелки всех часов переводятся, как правило, в ближайшую полночь на 1 час:

«вперед» → при плавании в восточном направлении;

«назад» → при плавании в западном направлении.

При перестановке часов делается запись в судовом (вахтенном) и навигационном журналах.

Хорошей морской практикой установлено при переходе из одного часового пояса в другой стрелки часов переводить:

на один час вперед → в ночное время (при следовании на восток), сокращая тем самым длительность ночных вахт;

на один час назад → после полудня (при следовании на запад), увеличивая тем самым послеобеденный отдых команды. Неизбежное при этом увеличение длительности дневной вахты не столь обременительно, как ночной.

2.3. Демаркационная линия времени

Линия перемены дат называется *демаркационной линией времени*.

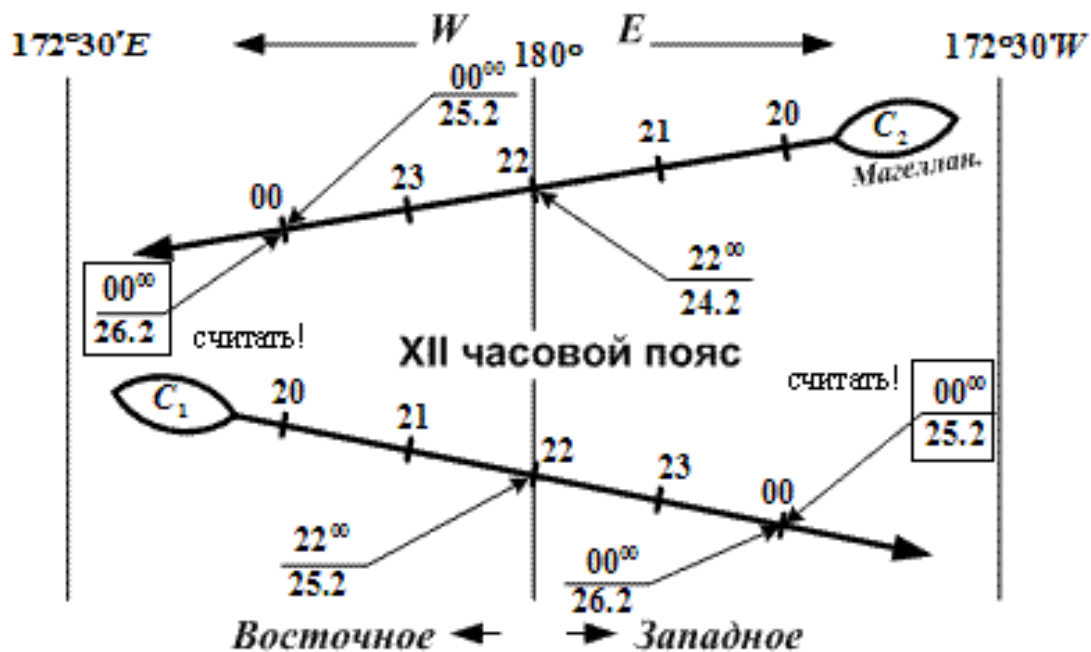


Рисунок 1.4 – Демаркационная линия

Установленная линия смены дат – демаркационная линия → проходит по меридиану 180°, огибая при этом Чукотский полуостров, Алеутские острова и некоторые острова Тихого океана.

Судно C_1 , пересекающее меридиан 180° восточным курсом, переходя в западное полушарие, попадает как бы «во вчерашний» день, оно должно изменить календарную дату на предыдущую (22.00 25.2 считать 22.00 24.2), то есть прожить прошедшие сутки еще раз.

Судно C_2 , следующее западным курсом, переходя в восточное полушарие, попадет как бы «в завтрашний» день, оно должно изменить календарную дату на следующую (22.00 24.2 считать 22.00 25.2), то есть исключить целые сутки.

Дату принято менять не в момент пересечения демаркационной линии, а в ближайшую полночь. При смене даты делается запись в судовом (вахтенном) и навигационном журналах.

Решение задач на перевод времен выполняется «через Гринвич», т.е. при определении заданного времени, необходимо сначала определить гринвичское время $T_{гр}$. Во избежание ошибок, выполнять в стандартных схемах, как это показано в примере.

Пример 1

Дано: 15.05.2002г. $T_M = 19^h 15^m 22^s$, $\lambda = 146^\circ 28,0' W$.

Вычислить: $T_{гр}$, T_c , T_n .

Решение

1. Рассчитывается номер часового пояса

$$N_0 = \lambda / 15 = 146^\circ 28,0' / 15 = 10W.$$

2. Переводится угловое значение долготы во временную

$$\lambda = 146^\circ 28,0' W = 09^h 45^m 52^s.$$

3. Составляется схема решения

T_M	LMT		$19^h 15^m 22^s$	15.05
λ_W	Long	+	$09^h 45^m 52^s$	
$T_{гр}$	GMT		$05^h 01^m 14^s$	16.05
N_0W	ZD	–	10	
T_n	ST		$19^h 01^m 14^s$	15.05
T_c	ZT		$19^h 01^m$	15.05

Необходимо указывать дату, так как при переводе она может измениться.

Ответ: $T_c = 19^h 01^m$ 15.05,
 $T_{гр} = 05^h 01^m 14^s$ 16.05,
 $T_n = 19^h 01^m 14^s$ 15.05.

2.4. Поправки измерителей времени

Поправка измерителя времени – это разность (часы, минуты, секунды) между Всемирным (гринвичским) временем ($T_{ГР}$) и показанием данного измерителя времени (T) в один и тот же момент.

$$U = T_{ГР} - T$$

В качестве измерителей времени могут быть использованы *хронометр* и *палубные часы*, а при их отсутствии и другие высокоточные измерители.

При решении задач мореходной астрономии всемирное (гринвичское) время должно быть известно с погрешностью, не превышающей « $\pm 0,5с$ ».

Для выполнения такого условия необходимо знать поправку хронометра (часов) на любой момент времени.

Поправкой хронометра (часов) называется разность между Всемирным (гринвичским) временем и показанием хронометра (часов) в один и тот же момент, то есть:

$$U_{ХР} = T_{ГР} - T_{ХР} \quad \text{или} \quad U_{ч} = T_{ГР} - T_{ч}$$

По истечении $7 \div 10$ (как правило 10) суток можно определить *суточный ход* измерителя времени, но при двух условиях:

- измеритель времени не останавливался в течение этого периода;
- его поправка определялась ежедневно.

Суточный ход хронометра – это величина изменения поправки хронометра ровно за одни сутки:

$$\omega_{xp} = \frac{U_{xp2} - U_{xp1}}{\Delta T}$$

где U_{xp1} – поправка хронометра в первый день;

U_{xp2} – поправка хронометра через ΔT суток;

ΔT – число суток (целые и десятые) между первым днем и днем определения.

Зная суточный ход измерителя времени и не имея возможности определить его поправку по радиосигналам времени можно вычислить поправку измерителя времени по его суточному ходу на любой момент времени по формуле:

$$U_{xp3} = U_{xp2} + \omega_{xp} \cdot (T_3 - T_2)$$

где U_{XP2} – значение последней поправки измерителя времени, определенной по радиосигналам времени;

ω_{XP} – значение суточного хода хронометра (часов);

$(T_3 - T_2)$ – разность времени (сутки и их доли) между временем, на которое рассчитывается поправка и временем, на которое была определена эта поправка.

Такой прием должен применяться и при каждом определении места астрономическим способом,

Пример 2

Дано:

$$T_{ГР1} = 18^h00^m 29.08 \quad U_{xp1} = -03^m19,0^c$$

$$T_{ГР2} = 22^h00^m 08.09 \quad U_{xp2} = -03^m10,2^c$$

$$T_{ГР3} = 18^h00^m 10.09$$

Рассчитать ω , U_{xp3} на момент $T_{ГР3}$, по суточному ходу

Решение

1. Находим суточный ход хронометра по формуле:

$$\omega_{xp} = \frac{U_{XP2} - U_{XP1}}{\Delta T}$$

$$\omega_{xp} = \frac{(-03^m10,2^c - (-03^m19,0^c))}{22^h00^m(08.09) - 18^h00^m(29.08)} = \frac{+8,8^c}{10,167 \text{ сут}} = +0,87^c$$

2. Находим поправку хронометра U_{xp3} на момент $T_{ГР3}$ по формуле:

$$U_{XP3} = U_{XP2} + \omega \times (T_{ГР3} - T_{ГР2})$$

$$\begin{aligned} U_{XP3} &= -03^m10,2^c + 0,87^c \times (18^h00^m(10.09) - 22^h00^m(08.09)) = \\ &= -03^m10,2^c + 0,87^c \times 1,834 \text{ сут.} = -03^m08,6^c \end{aligned}$$

Ответ: $\omega = +0,86^c$, $U_{XP3} = -03^m08,6^c$

3. ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задачи №№ 136 - 165 решить в трех вариантах. Дата и долгота места являются общими для всех трех вариантов. В варианте А – найти Тгр, в варианте Б – Тм, Тп, Тс, варианте В – Тгр, Тп, Тс.

№	Общие данные		Вар. А	Вар. Б	Вар. В
	Дата	λ	Тс	Тгр	Тм
136	15.05	120°08,0' W	15 ^ч 40 ^м	03 ^ч 16 ^м 10 ^с	22 ^ч 15 ^м 45 ^с
137	10.07	80 15,6 W	22 41	05 31 17	06 59 10
138	15.12	36 17,0 E	06 40	21 18 16	05 40 18
139	30.11	145 30,6 E	19 16	18 56 10	23 10 16
140	11.08	18 34,6 W	23 40	20 56 40	05 36 15
141	27.02	100 25,8 W	19 56	18 30 35	19 05 36
142	05.05	175 17,5 E	13 48	06 40 30	14 18 49
143	05.04	167 45,8 E	12 59	16 10 50	21 17 18
144	14.02	97 51,6 W	02 40	02 46 08	03 19 16
145	21.09	126 31,8 E	08 31	04 15 36	07 17 17
146	01.02	158 31,0 W	21 17	18 31 58	02 58 06
147	31.11	171 13,8 W	21 29	17 13 58	14 08 58
148	01.01	169 10,6 E	15 10	05 40 13	09 10 13
149	30.04	139 37,8 W	20 40	19 01 40	20 17 40
150	31.12	169 59,8 E	06 31	01 21 06	10 12 37
151	17.11	60 06,8 E	02 58	03 58 40	04 00 05
152	21.02	52 46,1 E	03 17	22 10 40	19 15 45
153	16.03	38 17,1 E	06 39	13 17 48	21 02 15
154	26.07	22 39,8 W	22 58	23 05 17	17 49 56
155	30.04	170 30,6 W	19 56	20 40 10	17 00 40
156	01.05	160 05,6 E	13 49	21 00 48	23 40 17
157	26.09	87 35,6 E	21 40	17 31 48	19 59 59
158	16.10	101 00,8 W	12 39	22 17 59	18 40 30
159	30.08	59 40,8 W	22 59	17 10 41	21 49 17
160	21.09	119 59,4 E	19 59	20 58 59	18 40 36
161	01.01	128 17,0 E	04 39	06 37 58	01 37 58
162	08.07	39 10,8 W	22 40	22 17 59	20 46 38
163	18.09	98 17,6 W	20 42	18 30 58	19 39 50
164	15.04	73 13,8 E	05 41	06 01 10	05 05 05
165	30.01	17 26,8 E	02 58	06 10 12	22 17 15

В задачах №№ 166 -195 рассчитать суточный ход хронометра ω и поправку хронометра U_{xp3} на момент T_{rp3} по суточному ходу

№	Т _{rp1}		U _{xp1}	Т _{rp2}		U _{xp2}	Т _{rp3}	
166	21/IV	09 ^ч 00 ^м	+04 ^м 12,0 ^с	25/IV	11 ^ч 00 ^м	+04 ^м 46,6 ^с	26/IV	13 ^ч 00 ^м
167	5/I	11 00	−01 38,5	7/I	07 00	−01 34,8	9/I	13 00
168	26/VII	10 00	−01 22,8	30/VII	08 00	−01 27,0	2/VIII	10 00
169	19/IX	8 00	+00 53,3	22/IX	16 00	+00 46,4	24/IX	22 00
170	17/II	16 00	+02 17,4	18/II	20 00	+02 16,2	20/II	4 00
171	22/XI	8 00	+03 49,2	26/XI	10 00	+03 37,8	29/XI	8 00
172	15/XII	12 00	−04 52,8	19/XII	18 00	−04 38,4	21/XII	14 00
173	2/II	3 00	−00 52,6	8/II	15 00	−00 39,6	11/II	22 00
174	30/VIII	5 00	+10 23,9	4/IX	19 00	+10 12,7	7/IX	21 00
175	22/I	11 00	−00 05,0	30/I	12 00	+00 11,0	4/II	10 00
176	30/III	3 00	+04 06,5	4/IV	3 00	+04 14,0	7/IV	16 00
177	24/IV	6 00	+00 11,5	1/V	14 00	−00 10,5	3/V	6 00
178	29/VIII	18 00	−03 19,0	8/IX	22 00	−03 10,2	10/IX	18 00
179	10/X	23 00	−00 15,0	18/X	19 00	+00 15,0	21/X	2 00
180	1/XI	4 00	−02 10,4	7/XI	15 00	−02 21,5	9/XI	20 00
181	12/XII	20 00	−00 16,0	22/XII	21 00	−00 26,3	24/XII	23 00
182	20/IV	7 00	+04 16,5	23/IV	11 00	+04 20,6	26/IV	15 00
183	4/I	11 00	−01 36,5	6/I	7 00	−01 34,8	10/I	13 00
184	24/VII	8 00	−01 22,8	28/VII	6 00	−01 27,0	29/VII	10 00
185	28/XI	10 00	+05 08,0	5/XII	10 00	+05 20,7	8/XII	18 00
186	17/IX	5 00	+00 54,3	20/IX	13 00	+00 49,4	23/IX	17 00
187	15/II	10 00	+02 17,4	16/II	14 00	+02 16,2	18/II	4 00
188	20/XI	6 00	+03 50,2	24/XI	8 00	+03 38,8	27/XI	13 00
189	1/II	2 00	−00 51,6	7/II	14 00	−00 38,6	10/II	21 00
190	29/III	4 00	+04 07,5	7/IV	4 00	+04 15,0	11/IV	10 00
191	6/X	14 00	+06 20,0	16/X	5 00	+06 18,5	18/X	11 00
192	8/VII	1 00	+00 41,0	18/VII	13 00	+00 47,0	19/VII	21 00
193	2/IV	7 00	−07 39,5	2/IV	9 00	−07 36,5	8/IV	10 00
194	11/V	11 00	+00 56,0	13/V	17 00	+01 00,7	17/V	3 00
195	17/II	8 00	+03 17,6	19/II	10 00	+03 21,2	22/II	4 00

4. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ

1. Провести текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Видимое движение небесных светил».
2. Дать определение понятиям звездное, солнечное время. Разобрать основную формулу времени.
3. Разобрать принцип счета времени. Разобрать системы счета времени. Решение задач по переводу времени.
4. Разобрать решение задач по нахождению поправки хронометра и суточного хода.
4. Выдать задания для самостоятельной работы студентов по решению задач по переводу времени.
5. Выполнить проверку выполнения заданий. Подвести итог по занятию.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Звездное, местное, гринвичское, всемирное, поясное, судовое время.
2. Формулы перевода времени.
3. Среднее время. Уравнение времени.
4. Хранение времени на судне. Хронометр, поправка хронометра. Суточный ход.
5. Линия перемены дат.

6. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Михайлов В.С. Практическая мореходная астрономия. Электронный учебник/ В.С. Михайлов, В.Г. Кудрявцев, В.С. Давыдов. – Киев, 2009. – 293 с.
2. Панасенко А.Н. Практическая мореходная астрономия: Учебное пособие для курсантов морских специальностей – Владивосток, 2011 - 94 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2.

РЕШЕНИЕ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКОГО ТРЕУГОЛЬНИКА ПО ТАБЛИЦАМ ТВА-57 И ФОРМУЛАМ СФЕРИЧЕСКОЙ ТРИГОНОМЕТРИИ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: Приобретение компетенций согласно таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Профессиональные компетенции, устанавливаемые ООП			
Умеет использовать небесные тела для определения местоположения судна	—	Решение параллактического треугольника. Нахождение азимута и высоты светила по формулам сферической тригонометрии.	Параллактический треугольник.

Объем: 2 академических часа.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Системы счета времени. Перевод времени» – 5 мин.
2. Параллактический треугольник, его элементы – 10 мин.
3. Решение параллактического треугольника по формулам сферической тригонометрии – 10 мин.
4. Решение параллактического треугольника по таблицам ТВА-57 – 10 мин.
5. Самостоятельная работа студентов – решение параллактического треугольника по формулам и таблицам – 50 мин.
6. Подведение итогов занятия – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Пластиковая или смарт-доска.
2. Мультимедиа проектор.
3. Калькуляторы.
4. Таблицы для вычисления высот и азимутов светил ТВА-57.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Элементы параллактического треугольника

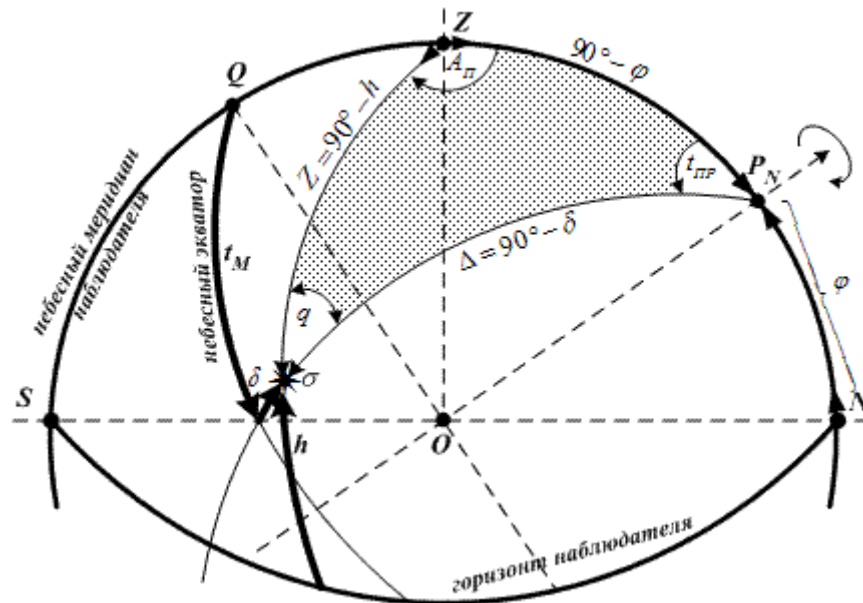


Рисунок 2.1 – Параллактический треугольник светила

Построив для данной широты небесную сферу и проведя вертикал и меридиан светила, получим сферический треугольник, вершинами которого являются повышенный полюс мира P_N , зенит наблюдателя Z и место светила (σ).

Этот треугольник называется *параллактическим треугольником светила*.

Элементами параллактического треугольника являются:

- угол при зените – азимут полукругового счета A ;
- угол при полюсе – местный часовой практический угол t , отсчитываемый от меридиана данного наблюдателя;
- угол при светиле, который называется параллактическим углом (q) и в практике мореходной астрономии применяется редко;
- сторона ZP_N – дополнение широты до 90° , т. е. $90^\circ - \varphi$;
- сторона $P_N\sigma$ – дополнение склонения до 90° , или полярное расстояние $\Delta = 90^\circ - \delta$;
- сторона $Z\sigma$ – дополнение высоты до 90° , или зенитное расстояние $Z = 90^\circ - h$.

Параллактический треугольник связывает небесные координаты – горизонтные (h и A) и экваториальные (δ и t) – с географическими координатами наблюдателя (широта прямо входит в параллактический треугольник).

Решением параллактического треугольника называется определение его неизвестных элементов через заданные, которых должно быть не менее трёх.

Решая параллактический треугольник светила по формулам сферической тригонометрии, в практической астрономии получают или отдельно координаты наблюдателя, или находят его обсервованное место на карте. Из параллактического треугольника светила также вычисляют азимут светила для различных способов определения поправки компаса. Таким образом, все основные задачи мореходной астрономии решают с применением параллактического треугольника светила.

2.2. Решение параллактического треугольника по формулам сферической тригонометрии на калькуляторе.

В сферическом треугольнике косинус стороны равен произведению косинусов двух других сторон плюс произведение синусов этих же сторон и на косинус угла между ними:

$$\cos(90 - h) = \cos(90 - \varphi) \cos(90 - \delta) + \sin(90 - \varphi) \sin(90 - \delta) \cos t$$

Применив формулы приведения, окончательно получим:

$$\sin h = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta \times \cos t$$

В сферическом треугольнике произведение котангенса крайнего угла на синус среднего угла равно произведению котангенса крайней стороны на синус средней стороны и минус произведение косинусов средних элементов.

$$\operatorname{ctg} A \times \sin t = \operatorname{ctg}(90 - \delta) \times \sin(90 - \varphi) - \cos(90 - \varphi) \times \cos t$$

Применив формулы приведения, окончательно получим:

$$\operatorname{ctg} A = \cos \varphi \times \operatorname{tg} \delta \times \operatorname{cosec} t - \sin \varphi \times \operatorname{ctg} t$$

Знаки аргументов в формулах следующие:

Широта φ всегда имеет знак «+»;

Склонение δ имеет знак «+», когда одноимённо с φ ,

когда разноимённо, то $\cos \delta$ «+», остальные функции «-».

Часовой угол t всегда имеет знак «+» если $t < 90^\circ$,

если $t > 90^\circ$, то $\operatorname{cosec} t$ имеет знак «+», остальные функции «-».

Азимут получается в полукруговом счете. Его первая буква одноименна с широтой, а вторая - с практическим часовым углом. Если азимут получился отрицательным, к нему добавляют 180° , а после этого присваивают наименование. Полученный полукруговой азимут необходимо перевести в круговой.

Пример 1.

$\varphi = 53^\circ 45,0' \text{ N}$, $\delta = 11^\circ 10,1' \text{ S}$, $t_m = 10^\circ 20,6' \text{ E}$. Вычислить A и h .

Анализ на знаки:

$\varphi = 53^\circ 45,0' \text{ N} = 53,75 (+)$

$\delta = 11^\circ 10,1' \text{ S} = 11,1683 (-)$

$t_m = 10^\circ 20,6' \text{ E} = 10,3433 (+)$

$$\text{ctg } A = \cos \varphi \times \text{tg } \delta \times \text{cosec } t - \sin \varphi \times \text{ctg } t$$

φ	$53^\circ 45,0' \text{ N}$	$\cos$ 0,59131	$\sin$ 0,80644
δ	$11^\circ 10,1' \text{ S}$	tg -0,19743	
t	$10^\circ 20,6' \text{ E}$	csc 5,56959	ctg 5,47909
$\text{ctg } A$		-0,65021	- 4,41858
A			-5,06879
A	$-11^\circ 09,6' (+180^\circ) = 168^\circ 50,4' = \text{N}168,8^\circ \text{ E}$		
A	$168,8^\circ$		

$$\sin h = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta \times \cos t$$

φ	$53^\circ 45,0' \text{ N}$	$\sin$ 0,80644	$\cos$ 0,59131
δ	$11^\circ 10,1' \text{ S}$	$\sin$ -0,19369	$\cos$ 0,98106
t	$10^\circ 20,6' \text{ E}$		$\cos$ 0,98375
$\sin h$		-0,15620	+ 0,57068
h	$24^\circ 29,2'$		0,41448

При вычислении на калькуляторе:

$$\text{ctg } \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} ; \quad \text{cosec } \alpha = \frac{1}{\sin \alpha} ; \quad \text{arcctg } x = \text{arctg } \frac{1}{x}$$

2.3. Решение параллактического треугольника по ТВА-57.

Таблицы составлены профессором А.П.Ющенко. В основу таблицы положен принцип решения сферического треугольника с переходом к двум прямоугольным треугольникам.

Таблицы составлены для углов от 0 до 180. Для углов от 0 до 90 следует пользоваться градусами и десятыми долями минуты, расположенными сверху и, и минутами левого столбца; для углов от 90 до 180 – градусами и десятыми долями минуты, расположенными снизу, и минутами правого столбца.

Вычисления выполняются на бланке Ш-8б или по заранее составленной схеме:

δ	1	$T(\delta)$	4				
t	2	$+S(t)$	5	$T(t)$	6		
x	8, 10	$T(x)$	7	$-S(x)$	9		
φ	3			$T(p)$	14		
y	11	$y = 90^\circ + x \sim \varphi$		$+S(y)$	12	$T(y)$	13
A	16, 18			$T(A)$	15	$-S(A)$	17
h	20					$T(h)$	19

Пример 2.

$\varphi = 53^\circ 45,0' \text{ N}$, $\delta = 11^\circ 10,1' \text{ S}$, $t_m = 10^\circ 20,6' \text{ E}$. Вычислить A и h .

δ	11°10,1' S	T	56633				
t	10°20,6' E	$+S$	142	T	55951		
x	11°20,8' S	T	56775	$-S$	171		
φ	53°45,0' N			T	55780		
y	155°05,8'			$+S$	848	T	64060
A	11°09,7' SE			T	56628	$-S$	166
h	24°29,2'					T	63894

Полученный азимут необходимо перевести в круговой:

$$A = 11^\circ 09,7' \text{ SE} = 168^\circ 50,3' = 168,8^\circ$$

Порядок вычислений

№ операции	Операция	Правила выполнения
1	Записать в бланк заданные аргументы: склонение светила δ	
2	местный часовой угол t	$t = t_{\text{гр}} \pm \lambda_{\text{w}}^{\text{E}}$
3	широту места φ	
4	По δ выбрать из таблицы $T(\delta)$	Вход сверху и слева
5	По t выбрать из таблицы $S(t)$	При $t < 90^\circ$ вход сверху и слева, а при $t > 90^\circ$ вход снизу и справа
6	По t выбрать из таблицы $T(t)$	То же
7	Образовать сумму $T(\delta) + S(t) = T(x)$	$4 + 5 = 7$
8	По $T(x)$ выбрать из таблицы величину x	Обратным входом. При $t < 90^\circ$ величина $x < 90^\circ$ (отсчитывать его сверху и слева), при $t > 90^\circ$ величина $x > 90^\circ$ (отсчитывать его снизу и справа)
9	По x , или непосредственно по $T(x)$, выбрать из таблицы $S(x)$	При $x < 90^\circ$ вход сверху и слева, при $x > 90^\circ$ вход снизу и справа. Учесть также рекомендацию п. 1.5.3
10	Указать наименование x	Всегда одноименен с δ
11	Вычислить величину y	$y = 90^\circ + x - \varphi$ при φ и x одноименных и $y = 90^\circ + x + \varphi$ при φ и x разноименных
12	По y выбрать из таблицы $S(y)$	При $y < 90^\circ$ вход сверху и слева, а при $y > 90^\circ$ вход снизу и справа. Если $y > 180^\circ$, то выборка делается по $y' = y - 180^\circ$
13	По y выбрать из таблицы $T(y)$	То же
14	Образовать разность $T(t) - S(x) = T(p)$	$6 - 9 = 14$
15	Образовать сумму $T(p) + S(y) = T(A)$	$14 + 12 = 15$
16	По $T(A)$ выбрать из таблицы азимут светила A	Обратным входом, в четвертном счете (отсчитать сверху и слева)
17	По A , или непосредственно по $T(A)$, выбрать из таблицы $S(A)$	Вход сверху и слева. Учесть также рекомендацию п. 1.5.3
18	Указать наименование азимута светила A	Его 1-я буква одноименна с φ только при φ и x одноименных и $x > \varphi$; во всех остальных случаях 1-я буква наименования азимута разноименна с φ ; 2-я буква наименования азимута всегда одноименна с t
19	Образовать разность $T(y) - S(A) = T(h)$	$13 - 17 = 19$
20	По $T(h)$ выбрать из таблицы высоту светила h	Обратным входом; отсчитать сверху и слева. Отрицательной она будет только при $y > 180^\circ$

3. ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

В задачах №№ 196 - 225 необходимо:

- построить небесную сферу по условию задачи и графически приближенно определить h и A светила;
- вычислить h и A по таблицам ТВА;
- вычислить h и A по калькулятору.

№	φ	δ	t
196	29°07,6' N	8°13,4' N	51°12,8' W
197	26 31,6 S	56 47,6 S	60 56,0 W
198	1 23,7 S	2 39,2 S	44 35,5 E
199	43 58,5 N	5 16,3 N	37 14,5 W
200	37 52,5 N	19 58,1 S	48 09,2 W
201	59 58,8 S	56 47,8 S	135 15,2 W
202	68 31,6 S	15 39,1 S	39 21,9 E
203	40 01,6 N	12 03,3 N	38 38,9 W
204	32 00,4 N	15 16,5 S	42 22,8 E
205	51 02,8 N	23 22,6 N	73 43,7 E
206	49 57,0 N	7 47,0 N	52 28,3 W
207	42 17,8 N	5 58,0 S	4 10,1 E
208	33 51,6 S	7 31,5 N	51 00,8 W
209	54 04,5 N	23 22,5 N	59 43,7 W
210	5 11,4 N	15 00,5 S	36 59,8 E
211	54 36,5 N	0 50,3 N	20 09,0 E
212	21 13,7 N	2 20,9 S	38 20,9 W
213	0 03,8 N	38 46,3 N	6 27,0 W
214	31 47,9 N	15 27,1 S	39 13,3 W
215	20 08,8 S	15 06,2 N	22 26,4 W
216	39 49,4 N	19 53,2 S	35 40,6 E
217	22 10,6 N	38 46,0 N	79 21,1 E
218	5 18,9 S	8 17,4 N	54 51,5 E
219	55 58,6 N	19 16,8 N	57 27,3 W
220	14 35,9 S	1 58,4 N	33 24,9 W
221	8 05,6 S	45 12,5 N	4 41,2 E
222	48 33,6 N	15 10,3 S	31 51,2 W
223	22 10,6 N	26 23,5 S	46 22,8 E
224	20 01,7 S	1 45,4 S	39 10,8 W
225	55 58,6 N	61 51,4 N	106 35,0 W

4. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ

1. Провести текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Системы счета времени. Перевод времени»
2. Дать определение параллактического треугольника. Разобрать его элементы.
3. Разобрать принцип решения параллактического треугольника по формулам сферической тригонометрии и таблицам.
4. Выдать задания для самостоятельной работы студентов по решению параллактического треугольника.
6. Выполнить проверку выполнения заданий. Подвести итог по занятию.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы основные элементы сферического треугольника?
2. Что связывают формулы сферической тригонометрии?
3. Сколько всего основных формул сферической тригонометрии?
4. Сформулируйте сферическую теорему косинусов.
5. Сформулируйте сферическую теорему синусов.
6. Таблицы для вычисления высот и азимутов светил ТВА-57.

6. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Михайлов В.С. Практическая мореходная астрономия. Электронный учебник/ В.С. Михайлов, В.Г. Кудрявцев, В.С. Давыдов. – Киев, 2009. – 293 с.
2. Панасенко А.Н. Практическая мореходная астрономия: Учебное пособие для курсантов морских специальностей – Владивосток, 2011. - 94 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3.

ВЫВЕРКА И ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ НАВИГАЦИОННОГО СЕКСТАНА

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: Приобретение компетенций согласно таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Профессиональные компетенции, устанавливаемые ООП			
Умеет использовать небесные тела для определения местоположения судна	—	Подготовка секстана к работе. Проведение настройки и выверки секстана. Определение индекса секстана	Устройство и выверка секстана

Объем: 2 академических часа.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Решение параллактического треугольника» – 5 мин.
2. Устройство секстана, принцип измерения углов – 10 мин.
3. Выверки секстана – 20 мин.
4. Самостоятельная работа студентов – практическая подготовка секстана к работе, проведение выверки – 50 мин.
5. Подведение итогов занятия – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Пластиковая или смарт-доска.
2. Мультимедиа проектор.
3. Калькуляторы.
4. Секстаны.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Устройство секстана и принцип действия

Секстан - угломерный морской инструмент, предназначенный для измерения углов с подвижного основания. В подавляющем большинстве случаев им измеряются вертикальные углы - высоты светил, но им можно измерять и горизонтальные углы, и углы в любой плоскости. Внешний вид секстана представлен на рис 3.1.

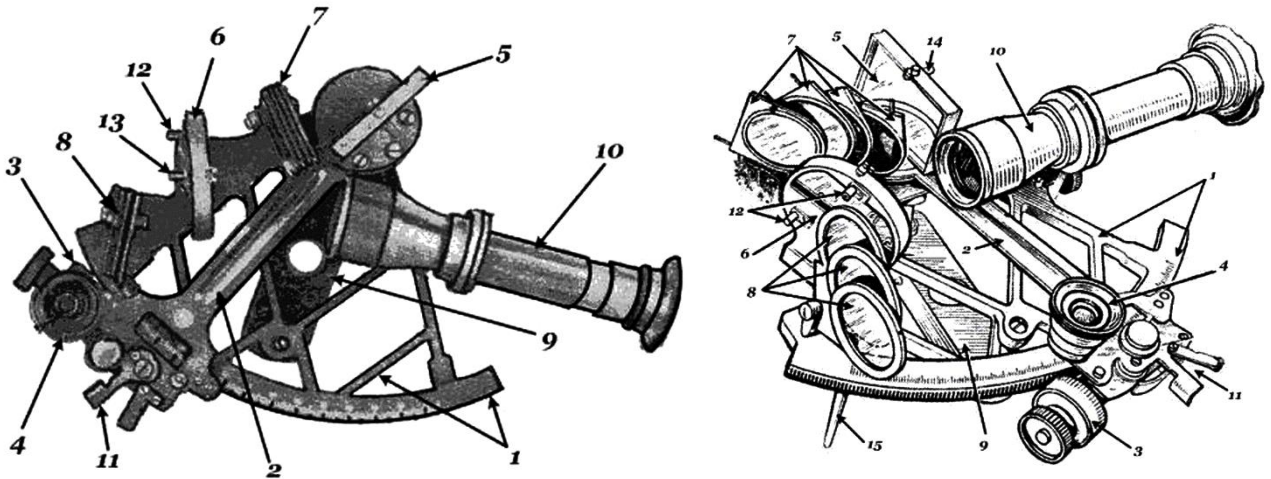


Рисунок 3.1 – Внешний вид секстана

В навигационном секстане различают следующие части:

1 – рама с азимутальным лимбом; 2 – алидада; 3 – отсчетный барабан;
 4 – осветительное устройство; 5 – большое (подвижное) зеркало;
 6 – малое (неподвижное) зеркало; 7 – набор светофильтров большого зеркала;
 8 – набор светофильтров малого зеркала; 9 – рукоятка секстана; 10 – зрительная труба.

В комплектацию навигационного секстана входят:

футляр секстана (укладочный ящик); два диоптра (специальные уголки); регулировочный ключ; флакон с маслом; отвертка; щетка; кусок фланели; технический формуляр.

В основу теории секстана положены два закона отражения светового луча от плоскопараллельных зеркал:

I закон – угол падения светового луча на плоское зеркало равен углу отражения;

II закон – падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным к плоскости плоского зеркала в точке падения луча.

На рис. 3.2 показано светило σ , высоту (h) которого нужно измерить.

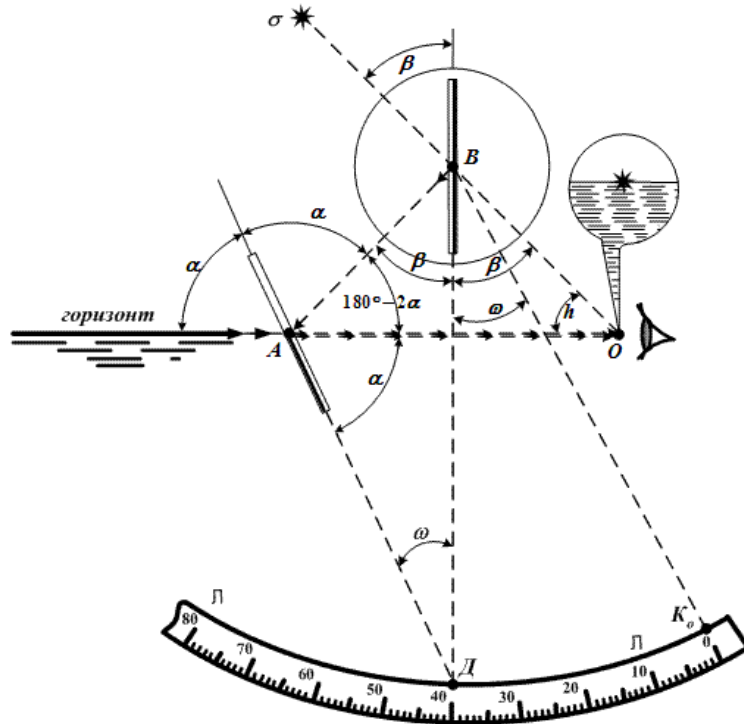


Рисунок 3.2 – Принцип измерения угла секстаном

Принцип измерения угла навигационным секстаном основан на использовании двух плоских зеркал – неподвижного «А» и подвижного «В».

Неподвижное зеркало «А» крепится к раме и своей зеркальной поверхностью установлено в сторону глаза наблюдателя. Нижняя его часть – зеркало, верхняя – прозрачное стекло, через которое видимый горизонт наблюдается как прямоугольный.

Подвижное зеркало «В» закреплено на алидаде ВД, с помощью которой может быть повернуто на такой угол β , что луч света от светила σ , отразившись под таким же углом β , попадает под углом α на неподвижное зеркало «А» и, отразившись от него под таким же углом α – в глаз наблюдателя (т. О).

Таким образом, наблюдатель одновременно видит по одному направлению прямоугольный горизонт и дважды отраженное (от подвижного зеркала «В» и неподвижного зеркала «А») изображение светила (σ).

Практическое измерение угла h может быть осуществлено путем измерения угла между зеркалами ω .

После математических преобразований из треугольников получим:

$$h = 2\omega$$

т.е. измеряемый угол равен двойному углу между плоскостями зеркал секстана при таком их положении, когда оба изображения предметов (прямовидное и дважды отраженное) совмещены в поле зрения трубы.

От нулевого штриха лимба влево нанесены *полуградусные* штрихи, которые приняты за градусные деления.

2.2. Подготовка секстана к работе

- за 20÷30 минут вынести секстан к месту наблюдений;
- утопив зуб стопорного замка футляра, без усилий извлечь секстан из футляра за переплет рамы;
- произвести внешний осмотр секстана, держа его за рукоятку правой рукой;
- взять левой рукой за переплет рамы и поставить секстан ножками на стол (горизонтальную поверхность);
- проверить перпендикулярность большого зеркала к плоскости азимутального лимба (2-я выверка);
- проверить перпендикулярность малого зеркала к плоскости азимутального лимба (3-я выверка);
- определить поправку индекса секстана (i);
- произвести замер углов или высот светил;
- протереть секстан ветошью и без усилий уложить его в футляр (после снятия и укладки в футляр зрительной трубы и установки алидады в среднее положение);
- из технического формуляра выбрать (из специальной таблицы) значения инструментальных поправок секстана (s) для каждой измеренной высоты или угла по значению «ОС» (отсчет секстана).

При измерении углов секстаном его зеркала должны быть перпендикулярны плоскости лимба, а оптическая ось трубы - параллельна плоскости лимба. Несоблюдение этих требований ведёт к погрешностям в отсчётах секстана.

Для устранения погрешностей, производятся три выверки секстана:

- проверка параллельности оптической оси трубы плоскости лимба,
- проверка перпендикулярности большого зеркала плоскости лимба,
- проверка перпендикулярности малого зеркала плоскости лимба.

1. Проверка параллельности оптической оси трубы плоскости лимба

Эта выверка выполняется еще до выхода в море во время приготовления к плаванию.

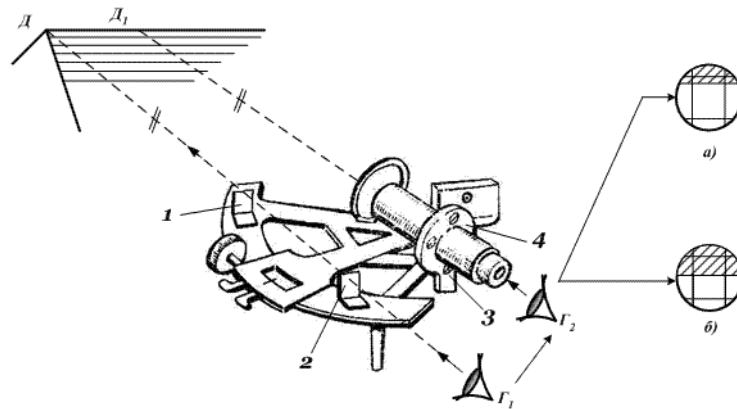


Рисунок 3.3 – Проверка параллельности оптической трубы

Секстан с установленной зрительной трубой ставят на горизонтальное основание. Отстопорив алидаду, устанавливают ее в среднее положение (отсчет по лимбу $\approx 50^\circ \div 70^\circ$). На края лимба ставят два диоптра (1, 2) таким образом, чтобы соединяющая их линия была примерно параллельна оптической оси зрительной трубы.

Найдя удаленный (не ближе 50 м) предмет с ярко выраженной горизонтальной поверхностью (крыша здания, линия горизонта), устанавливают секстан так, чтобы эта горизонтальная поверхность оказалась на продолжении линии, проходящей через верхние срезы диоптров ($\Gamma_1 D$), затем наблюдают предмет через зрительную трубу ($\Gamma_2 D_1$).

Изображение выбранной горизонтальной поверхности должно оказаться в центре зрительной трубы (рис.3.3, б).

Если изображение выбранной горизонтальной поверхности смещено относительно центра зрительной трубы (рис.3.3,а), необходимо с помощью отвертки, вращая верхний и нижний регулировочные винты (4, 3) в кольце стойки зрительной трубы (поджимая один винт и отдавая другой) до тех пор, пока изображение горизонтальной поверхности не окажется в центре зрительной трубы (рис. 3.3,б). В этом случае оптическая ось зрительной трубы будет параллельна плоскости азимутального лимба.

2.Проверка перпендикулярности большого зеркала плоскости азимутального лимба

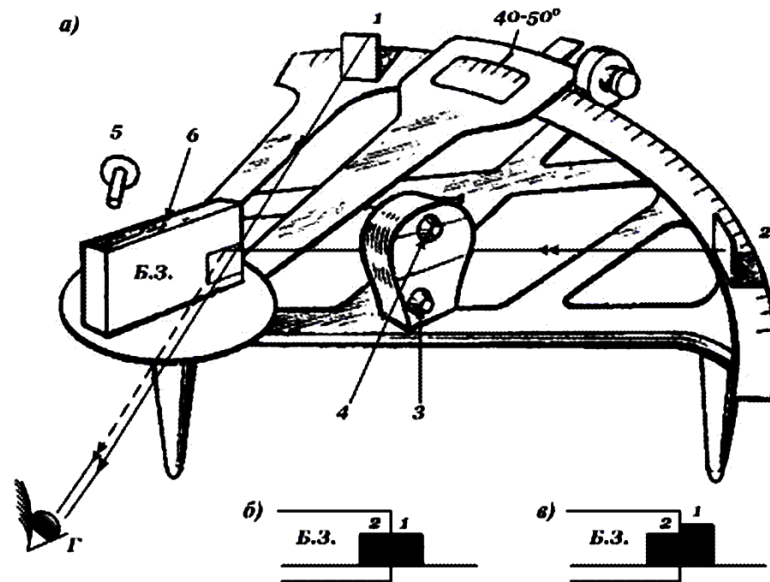


Рисунок 3.4 – Проверка перпендикулярности большого зеркала

Эта выверка выполняется перед каждым наблюдением (рис.3.4). Для ее выполнения необходимо:

- установить секстан на ножки на горизонтальное основание (без зрительной трубы);
- отстопорив алидаду, установить ее на отсчет $\approx 40^\circ \div 50^\circ$;
- на азимутальный лимб секстана у отсчетов $\sim 0^\circ$ и $\sim 120^\circ$ установить диоптры (1, 2);
- посмотреть на секстан со стороны большого зеркала (Б.З.) таким образом, чтобы:

луч зрения проходил через правый срез большого зеркала и был параллелен плоскости рамы;

правый срез большого зеркала «скрывал» левую половину левого (1) диоптра (наблюдается прямовидимо только правая половина левого диоптра);

перемещая правый диоптр (2) по азимутальному лимбу, добиться такого его положения, чтобы на правом срезе большого зеркала наблюдалась и половина отраженного изображения правого диоптра (половина левого диоптра находится все это время в поле зрения). Если наблюдаемые верхние срезы диоптров будут на одном уровне (рис. 3.4б), значит большое зеркало перпендикулярно плоскости азимутального лимба.

Если наблюдаемые верхние срезы диоптров не совпадают (рис. 3.4в), то вращением регулировочного винта большого зеркала 6 (регулировочный ключ 5 вставляется в специальное гнездо с тыльной стороны большого зеркала), совместить края диоптров так, как показано на рис.3.4б.

3. Проверка перпендикулярности малого зеркала плоскости азимутального лимба

Проверка перпендикулярности малого зеркала плоскости азимутального лимба также производится перед каждым наблюдением. Эта последняя (третья) выверка секстана выполняется или по Солнцу или по звезде.

Для выполнения проверки по Солнцу необходимо:

- навести зрительную трубу на резкость, и установить ее на штатное место в специальное гнездо секстана;
- алидаду и угломерный барабан установить точно на отсчет «0°00,0'» (рис.3.5);

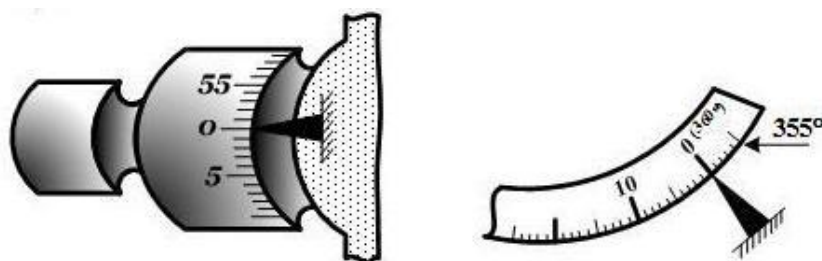


Рисунок 3.5 – Установка отсчета секстана

- подобрать и установить перед большим и за малым зеркалами темные светофильтры;
- навести зрительную трубу на Солнце – в поле зрения наблюдаем (рис.3.6).

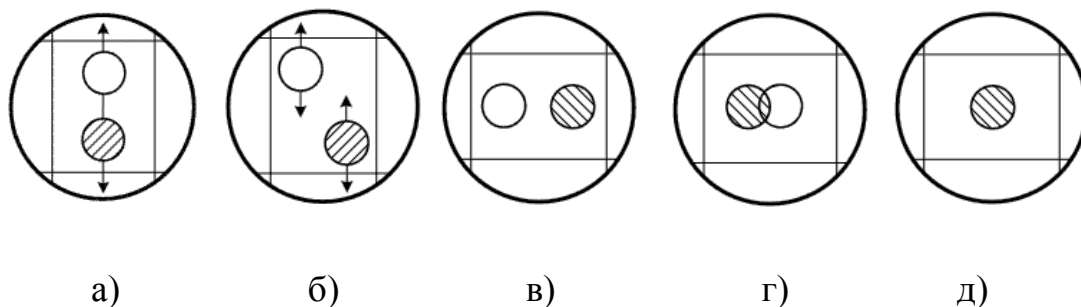


Рисунок 3.6 – Наблюдение светил

В первом случае (рис. 3.6.а), при вращении угломерного барабана одно изображение светила строго проходит через его другое изображение и, в какой-то момент, эти изображения накладываются одно на другое, что и свидетельствует о том, что малое зеркало перпендикулярно плоскости азимутального лимба.

Во втором случае (рис. 3.6.б) малое зеркало не перпендикулярно плоскости азимутального лимба. Для устранения неперпендикулярности необходимо:

- вращая угломерный барабан, установить изображения светила на одной горизонтали (рис. 3.6.в);
- вращая верхний регулировочный винт малого зеркала, добиться точного наложения изображений светила (рис. 3.6.г,д).

Если в процессе выверки не удастся добиться полного совмещения двух изображений светила, необходимо добиться расположения изображений на одной вертикали (рис. 3.6.а).

3. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ

1. Провести текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Решение параллактического треугольника».
2. Разобрать устройство навигационного секстана, принцип измерения углов.
3. Разобрать порядок проведения выверок секстана.
4. Самостоятельная работа студентов – практическая подготовка секстана к работе, проведение выверок.
5. Подвести итог по занятию.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Теория измерения углов секстаном.
2. Устройство навигационного секстана, составные элементы.
3. Выверки секстана.

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Михайлов В.С. Практическая мореходная астрономия. Электронный учебник/ В.С. Михайлов, В.Г. Кудрявцев, В.С. Давыдов. – Киев, 2009. – 293 с.
2. Панасенко А.Н. Практическая мореходная астрономия: Учебное пособие для курсантов морских специальностей – Владивосток, 2011, 94 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И УМЕНЬШЕНИЕ ПОПРАВКИ СЕКСТАНА. ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ СВЕТИЛ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: Приобретение компетенций согласно таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Профессиональные компетенции, устанавливаемые ООП			
Умеет использовать небесные тела для определения местоположения судна	—	Определение индекса секстана. Измерение высот свети.	Поправка секстана, отсчет секстана

Объем: 2 академических часа.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Выверка и подготовка к работе навигационного секстана» – 5 мин.
2. Порядок определения поправки индекса секстана – 10 мин.
3. Порядок измерения высот светил и углов секстаном – 20 мин.
4. Самостоятельная работа студентов – практическая подготовка секстана к работе, проведение выверки – 50 мин.
5. Подведение итогов занятия – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Пластиковая или смарт-доска.
2. Мультимедиа проектор.
3. Калькуляторы.
4. Секстаны.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Определение поправки индекса секстана

Отсчет углов, измеренных секстаном, производится по лимбу и угломерному барабану, причем отсчет равный « $0^{\circ}00,0'$ » соответствует параллельному положению большого и малого зеркал. На заводе-изготовителе нуль шкалы наносят для вполне определенного положения малого зеркала. Однако, под влиянием различных механических воздействий, а также в связи с изменением температуры, малое зеркало может изменить свое положение. Поэтому перед наблюдениями необходимо определять поправку индекса секстана.

Поправка индекса навигационного секстана (i) – это алгебраическая разность между нулем шкалы и отсчетом при совмещении прямовидимого и дважды отраженного изображений одного и того же светила (отдаленного предмета).

Место нуля на лимбе может получиться и слева и справа от нуля шкалы, нанесенного на азимутальный лимб заводским способом.

Поэтому на азимутальном лимбе секстана справа от нуля (360°) нанесены пять не оцифрованных градусных делений, соответствующих отсчетам 359° , 358° , 357° , 356° , 355° .

На практике используют три способа определения поправки индекса секстана:

- по звезде;
- по Солнцу;
- по видимому горизонту.

Определение поправки индекса секстана по звезде

Поправка индекса секстана (i) по звезде определяется, как правило, непосредственно перед наблюдениями звезд в утренние и вечерние навигационные сумерки.

Для определения поправки индекса секстана (i) по звезде необходимо:

- навести зрительную трубу на резкость и установить ее на секстан;
- алидаду и угломерный барабан секстана установить точно на отсчет « $0^{\circ}00,0'$ »;
- навести зрительную трубу на звезду. В поле зрения наблюдаем (рис.4.1);

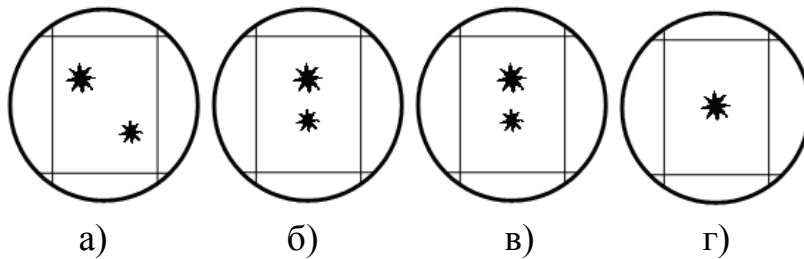


Рисунок 4.1 – Наблюдение звезды

– в первом случае (рис.4.1.а), вращением верхнего регулировочного винта малого зеркала, устранить неперпендикулярность малого зеркала плоскости азимутального лимба;

– в случаях б) или в) (рис. 4.1.), вращая угломерный барабан, добиться точного совмещения (рис.4.1.г), прямовидимого и дважды отраженного изображений звезды и снять отсчет секстана $OC = 359^{\circ}57,8'$ (рис. 4.2.);

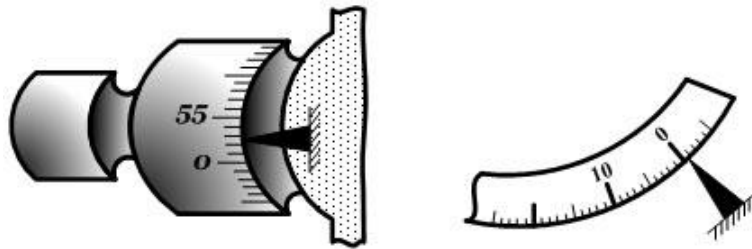


Рисунок 4.2 – Отсчет секстана

– рассчитать поправку индекса секстана по формуле:

$$i = 360^{\circ} - OC_i$$

Для нашего примера: $i = 360^{\circ} - 359^{\circ}57,8' = +2,2'$, т.е. $i = +2,2'$.

Способ определения поправки индекса по звезде достаточно точный.

Определение поправки индекса секстана по Солнцу

Для определения поправки индекса секстана по Солнцу необходимо:

- навести зрительную трубу на резкость и установить ее на секстан;
- алидаду и угломерный барабан секстана установить точно на отсчет « $0^{\circ}00,0'$ »;
- подобрать и установить темные светофильтры перед большим и за малым зеркалами;
- навести зрительную трубу на Солнце. В поле ее зрения наблюдаем (рис. 4.3.);

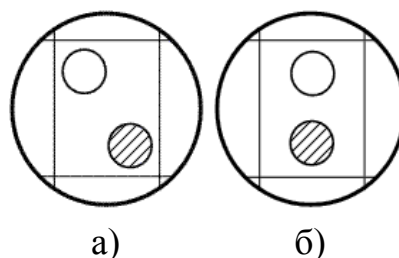


Рисунок 4.3 – Наблюдение за Солнцем

– в первом случае (рис. 4.3.а), вращением верхнего регулировочного винта малого зеркала, устранить неперпендикулярность малого зеркала плоскости азимутального лимба;

– в случае б) (рис. 4.3), вращая угломерный барабан, добиться соприкосновения изображений Солнца и снять первый отсчет секстана $OC_1 = 0^\circ 37,0'$ (рис.4.4);

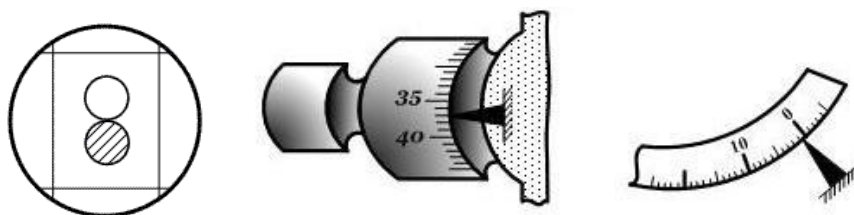


Рисунок 4.4 – Отсчет секстана по Солнцу

– вращая угломерный барабан, добиться смены изображений Солнца и снять второй отсчет секстана $OC_2 = 359^\circ 33,2'$ (рис.4.5);

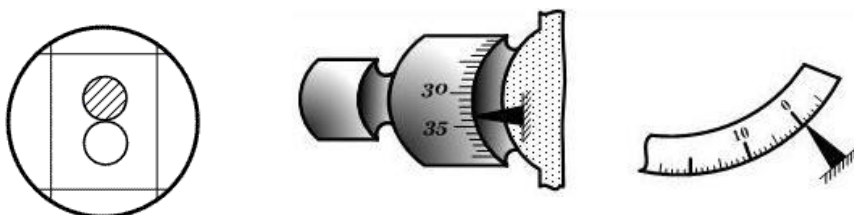


Рисунок 4.5 – Второй отсчет секстана по Солнцу

– рассчитать поправку индекса секстана по формуле

$$i = 360^\circ - \frac{OC_1 + OC_2}{2}$$

Для нашего примера

$$i = 360^\circ - \frac{360^\circ 37,0' + 359^\circ 33,2'}{2} = 360^\circ - \frac{720^\circ 10,2'}{2} = 360^\circ - 360^\circ 05,1' = -5,1'$$

При точном совмещении краев изображений Солнца в обоих случаях, отсчеты секстанов (OC_1 и OC_2) должны отличаться друг от друга на величину, равную значению четырех радиусов Солнца

$$OC_2 - OC_1 = 4R$$

Для контроля точности определения поправки индекса по Солнцу необходимо:

- из МАЕ по дате наблюдений (25.09) выбрать значение радиуса Солнца ($R = 16,0'$) и рассчитать значение « $4R$ » ($64,0'$);
- рассчитать разность между первым и вторым (большим и меньшим) отсчетами секстана: $OC_1 - OC_2 = 360^\circ 37,0' - 359^\circ 33,2' = 63,8'$;
- сравнить величины $4R$ ($64,0'$) и r ($63,8'$).

Если разность $\Delta = (4R - r)$ не превышает значения $\pm 0,5'$, то значения отсчетов секстана (OC_1 и OC_2) соответствуют действительным значениям и поправка индекса секстана определена правильно.

Если разность $\Delta = (4R - r)$ более чем $\pm 0,5'$, то замеры выполнены некачественно – края изображений Солнца не соприкасались, а накладывались одно на другое и поправка индекса секстана не соответствует ее действительному значению.

В этих случаях необходимо повторить определение поправки индекса по Солнцу.

2.2. Измерение высот светил и углов секстаном

Измерение высоты звезды навигационным секстаном производится во время утренних или вечерних навигационных сумерек, когда звезды и видимый горизонт одновременно наблюдаются визуально.

Для измерения высоты звезды навигационным секстаном необходимо:

1. Подготовить секстан к наблюдениям (выполнить его выверки).
2. Установить по азимутальному лимбу и угломерному барабану секстана отсчет $0^\circ 00,0'$.
3. Навести зрительную трубу на избранную звезду. В поле зрения должны быть видны два изображения - прямовидимое и дважды отраженное (в идеальном случае изображения совмещены) (рис.4.6).

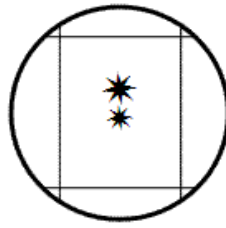


Рисунок 4.6 – Прямовидимое и дважды отраженное изображения звезды

4. Вращая угломерный барабан, добиться точного совмещения, прямовидимого и дважды отраженного изображений звезды и снять отсчет секстана OS_i для вычисления индекса секстана.

5. Не меняя своего местоположения, отсоединить микрометрический винт от зубчатой рейки стопорным устройством и плавно отодвинуть от себя алидаду. Дважды отражённое изображение пойдёт вверх. Чтобы оно не ушло из поля зрения, трубу плавно опускают к горизонту. Прямовидимое изображение уйдёт из поля зрения и останется только дважды отражённое. Продолжая удерживать его в поле зрения, опускать трубу, пока в стекле малого зеркала не покажется горизонт. После этого отпускают рычажки стопорного устройства и дальше светило подводится к горизонту отсчётным барабаном (рис.4.7).

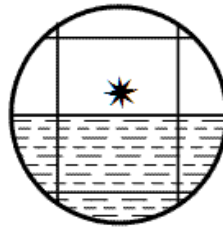


Рисунок 4.7 – Светило подводится к горизонту

6. Вращением угломерного барабана добиться касания дважды отраженного изображения звезды линии видимого горизонта.

7. Покачивая секстан относительно оси зрительной трубы («вправо» – «влево»), убедится, что дважды отраженное изображение звезды касается линии видимого горизонта в единственной точке (рис.4.8.) и дать команду второму наблюдателю с часами "Товсь!" и, в момент касания, – «Ноль!».

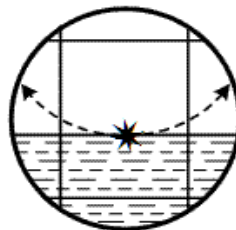


Рисунок 4.8 – Светило на горизонте

8. Снять отсчет секстана (OC_1) с точностью до «0,1'» и передать его значение для записи второму наблюдателю.

9. Повторить еще дважды действия пп.2÷8 (OC_2 и OC_3).

10. Второй наблюдатель, по команде «Ноль!» первого наблюдателя, фиксирует по рабочим часам и записывает точное время измерения каждой высоты (T_1 , T_2 , T_3) с точностью до $\pm 0,5$ с, а также все значения отсчетов секстана (OC_1 , OC_2 , OC_3), переданные ему первым наблюдателем.

11. Рассчитывается:

среднее время замера высоты звезды по формуле

$$T_{cp} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3},$$

средний отсчет секстана по формуле

$$OC_{cp} = \frac{OC_1 + OC_2 + OC_3}{3},$$

значение измеренной высоты светила по формуле

$$h_{изм} = OC_{cp} + (i + s).$$

где – i – поправка индекса секстана, определенная непосредственно до измерения высоты или сразу после наблюдений;

s – инструментальная поправка секстана, выбранная из формуляра по значению « OC_{cp} »;

$(i + s)$ – поправка секстана.

3. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ

1. Провести текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Выверка и подготовка к работе навигационного секстана».
2. Разобрать порядок определения поправки индекса секстана.
3. Разобрать порядок измерения высот светил и углов секстаном.
4. Самостоятельная работа студентов – практическая работа с секстаном, измерение высот светил, определение поправки индекса.
5. Подвести итог по занятию.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Способы определения поправки секстана.
2. Уменьшение поправки секстана.
3. Способы измерения высот светил.
4. Особенность измерения горизонтальных углов.

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Михайлов В.С. Практическая мореходная астрономия. Электронный учебник/ В.С. Михайлов, В.Г. Кудрявцев, В.С. Давыдов. – Киев, 2009. – 293 с.
2. Панасенко А.Н. Практическая мореходная астрономия: Учебное пособие

МОРЕХОДНАЯ АСТРОНОМИЯ

*Методические указания
к практическим занятиям*

Составитель: Потапенко Сергей Александрович

В авторской редакции

Изд. № 295/2020. Объем 2,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»