

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Судовождение и безопасность судоходства»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СУДОВОЖДЕНИИ

Методические указания
к курсовому проектированию по дисциплине
«Математические основы судовождения»

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 656.61.052
ББК 39.471
И88

Р е ц е н з е н т:

Е.В. Гембатый – капитан судоходной компании “Briese Schiffahrts GmbH & Co.”

Ответственный за выпуск:

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

Составители: С.А. Подпорин, Г.А. Закурдаев, П.Г. Иваницкий,
Л.В. Аркин

И88 Использование математических методов в судовождении:
методические указания к курсовому проектированию по дисциплине
«Математические основы судовождения» / Сост. С.А. Подпорин,
Г.А. Закурдаев, П.Г. Иваницкий, Л.В. Аркин ; Министерство науки и
высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет,
Морской институт, кафедра «Судовождение и безопасность судоходства».
– Севастополь: СевГУ, 2020. – 39 с. – Текст : электронный.

Целью методических указаний является предоставление студентам необходимой методической помощи при выполнении курсового проектирования по дисциплине «Математические основы судовождения».

УДК 656.61.052
ББК 39.471

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры «Судовождение и безопасность судоходства» Морского института ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в качестве методических указаний, протокол № 12 от 28 ноября 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Расчет трансокеанского перехода судна	6
2. Расчет азимутов небесных светил	18
3. Содержание и оформление курсового проекта	28
4. Оценивание курсового проекта	28
Библиографический список	28
Приложение А. Образец титульного листа	29
Приложение Б. Образец листа задания	30
Приложение В. Пример выполнения раздела 2	32

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект на тему «Использование математических методов в судовождении» представляет собой комплексную самостоятельную работу по дисциплине МОС, цель которой – оценить уровень сформированности предусмотренных учебной программой компетенций (таблица 1).

Таблица 1 – Компетенции, достигаемые в результате выполнения курсового проекта

Категория компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональная компетенция	ПК-1. Способен планировать и осуществлять переход, определять местоположение судна	ПК-1.1. Умеет использовать небесные тела для определения местоположения судна; ПК-1.4. Знает и умеет пользоваться навигационными картами и пособиями

В курсовом проекте с использованием математических методов решаются две актуальные для современного судоводителя задачи.

В первом разделе решается задача расчета перехода судна двумя способами: по дуге большого круга (ДБК, ортодромии) и по локсодромии. Суть работы заключается в построении плана и проведении предварительной прокладки транс-океанского перехода судна. Расчет путевых точек перехода по ДБК через равный долготный интервал ведется методами сферической тригонометрии. Маршрут выбирается согласно индивидуальному варианту из навигационного пособия NP136 Admiralty Ocean Passages For The World. Также выполняется расчет локсодромии на этом маршруте методом меридиональных частей. По результатам расчета маршрута студент делает вывод о целесообразности выбора в качестве основного – маршрута по ДБК. Если разница между переходом по ДБК и локсодромией незначительна (меньше 0,5%), то в выводах к разделу студент делает выбор в пользу локсодромии. Расчет рекомендуется выполнять в вычислительной среде, например – Microsoft Excel или аналогичной. Построение осуществляется на навигационной карте в равноугольной меркаторской проекции с использованием электронной картографической системы OpenCPN или аналогичной. Объем раздела – 10–15 стр.

Второй раздел курсового проекта включает математическое решение задачи определения азимутов светил методами сферической астрономии. Суть работы заключается в решении параллактических треугольников и нахождении азимутов наблюдаемых светил с целью точного определения поправки компаса для разных случаев наблюдений. Далее найденная поправка сравнивается с поправкой, найденной традиционным способом (используются навигационные таблицы и астрономический ежегодник) и с помощью какой-либо компьютерной программы (SkyMate, Stellarium и др.). Делается вывод о точности нахождения поправки раз-

личными способами. Расчет рекомендуется выполнять на английском языке, используя стандартный морской профессиональный язык. Объем раздела – 10–12 стр.

1. РАСЧЕТ ТРАНСОКЕАНСКОГО ПЕРЕХОДА СУДНА

1.1. Цель выполнения раздела

Цель раздела – рассмотреть практическое применение методов сферической тригонометрии при решении задачи расчета трансокеанского перехода судна.

1.2. Общие сведения о выборе пути перехода

При плавании на большие расстояния (например, через океан) на этапе обработки рейса решается задача выбора пути, который должен быть наиболее выгодным экономически. Таковым при прочих равных условиях является путь, кратчайший по расстоянию, т.е. меньший отрезок дуги большого круга (ортодромии, great circle – GC). Планирование перехода часто начинается именно с расчета пути по ДБК и анализа плавания этим путем.

Однако кратчайший путь по расстоянию не всегда будет кратчайшим по времени. Это объясняется возможным наличием на пути следования районов с неблагоприятными метеоусловиями или ледовой обстановкой, препятствий, мелководья, других факторов, приводящих к потерям ходовой скорости.

На практике при выборе пути перехода, как правило, выбирается один из следующих вариантов:

- плавание прямым курсом (по локсодромии – rhumb line – RL) – на небольших переходах;
- плавание по дуге большого круга, являющейся линией кратчайшего пути – при длительных переходах;
- составное плавание, включающее в себя плавание по ДБК и плавание по локсодромии;
- стандартный климатический путь с учетом установившейся или прогнозируемой погоды;
- оптимальный путь, выбираемый и оперативно корректируемый с учетом гидрометеорологических факторов: преобладающие ветры, пути прохождения циклонов, волновой режим, границы распространения льдов, действующие течения. При этом используются прогнозные данные отдельно или в сочетании с бортовыми системами планирования и выбора оптимального маршрута;
- оптимальный путь, основанный на рекомендациях специализированного берегового гидрометцентра, на услуги которого оформлена подписка.

Наиболее простым с навигационной точки зрения является плавание по локсодромии. Однако путь по локсодромии всегда длиннее (или в частном случае равен) пути по ДБК, в связи с чем последний используют при длительных переходах и плавании в высоких широтах, когда разность между ортодромическим и локсодромическим расстояниями значительна (более 0,5% длины ДБК).

Переход по локсодромии при прочих равных условиях обычно выбирают при:

- плавании в низких широтах (до 20°) из-за малой разницы между ортодромией и локсодромией;

- плавании меридиональными (или близкими к таковым) курсами (меридиан сам по себе является большим кругом).

1.3 Содержание раздела 1 курсового проекта

Раздел включает проработку следующих вопросов:

- 1.1 Постановка задачи
- 1.2 Краткое описание района плавания
- 1.3 Расчет локсодромии методом меридиональных частей
- 1.4 Расчет длины ортодромии
- 1.5 Сравнение длины локсодромии и ортодромии
- 1.6 Вычисление начального ортодромического курса
- 1.7 Вычисление конечного ортодромического курса
- 1.8 Разбиение ортодромии на отрезки
- 1.9 Расчет координат путевых точек
- 1.10 Расчет хорд ДБК
- 1.11 Составление плана перехода
- 1.12 Проверка расчетов в программе SkyMate Pro 2012
- 1.13 Прокладка маршрута в программе OpenCPN

1.4 Методические рекомендации и пример выполнения раздела 1

На конкретном примере рассматривается решение и даются необходимые пояснения по выполнению раздела 1 курсового проекта.

I. Постановка задачи

Выполнить план перехода судна из точки А (маяк Bishop Rock) в точку В (точка BS) в соответствии с маршрутом № 2.69.5с, взятым из навигационного пособия NP136 Admiralty Ocean Passages For The World (5th edition). Рассмотреть возможность перехода по локсодромии и ортодромии.

Координаты точек маршрута:

А (Bishop Rock) – 49°47'N; 6°27'W;

В (точка BS) – 42°30'N; 50°00'W.

II. Краткое описание района плавания

Для изучения района предстоящего перехода следует воспользоваться следующими лоциями из коллекции пособий Британского адмиралтейства. *Далее кратко приводится описание района плавания, где особое внимание уделяется сезону, господствующим ветрам, течениям, ледовой обстановке, которые должны позволять выполнение перехода по ортодромии в описываемом сезоне.*

III. Расчет локсодромии методом меридиональных частей

Из таблиц Norie's Nautical Tables возьмем меридиональные части для широт точек отхода (т. А – Bishop Rock) и прихода (т. В – точка BS). Рассчитаем разницу широт, долгот и меридиональных частей:

$\varphi_A = 49^\circ 47' N$	$M.P._A = 3436,4'$	$\lambda_A = 6^\circ 27' W$
$\varphi_B = 42^\circ 30' N$	$M.P._B = 2806,4'$	$\lambda_B = 50^\circ 00' W$
$\Delta\varphi = 7^\circ 17' (S)$	$D.M.P. = 630'$	$\Delta\lambda = 43^\circ 33' (W)$
$\Delta\varphi' = 437' (S)$		$\Delta\lambda' = 2613' (W)$

Найдем четвертной локсодромический курс:

$$LC_{\frac{1}{4}} = \text{atan} \left(\frac{\Delta\lambda'}{D.M.P.} \right) = \text{atan} \left(\frac{2613}{630} \right) = 76,44^\circ$$

Найдем истинный локсодромический курс, учитывая знаки $\Delta\varphi$ (S) и $\Delta\lambda$ (W) при определении четверти:

$$LC = S76,4^\circ W = 256,4^\circ.$$

Рассчитаем длину локсодромии

$$LS = \frac{\Delta\varphi'}{\cos LC} = \frac{437}{\cos 76,44} = 1864,5 \text{ м. м.}$$

IV. Расчет длины ортодромии

Длину ортодромии вычислим по формуле косинусов из сферического треугольника PAB (рисунок 1.1). Рекомендуется использовать автоматизированные расчеты в программе Microsoft Excel.

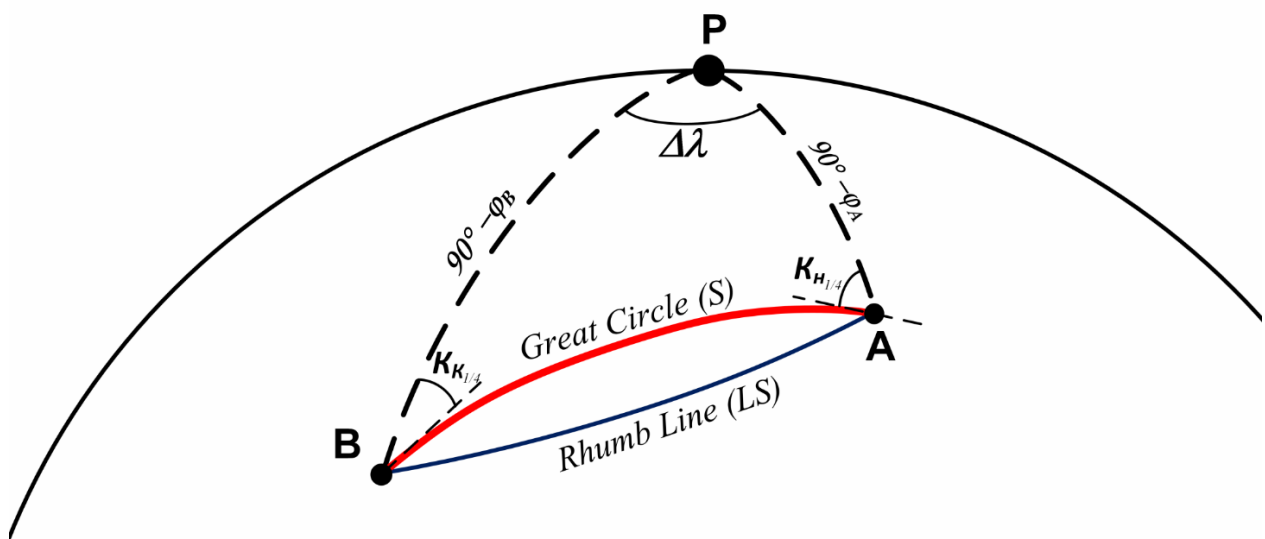


Рисунок 1.1 – Сферический треугольник PAB

$$\cos S = \sin \varphi_A \cdot \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cdot \cos \varphi_B \cdot \cos \Delta\lambda = \\ = \sin 49^\circ 47' \cdot \sin 42^\circ 30' + \cos 49^\circ 47' \cdot \cos 42^\circ 30' \cdot \cos 43^\circ 33' = 0,86.$$

Длина ортодромии определится через арккосинус:

$$S = \arccos 0,86 = 30,68^\circ = 30,68 \cdot 60 = 1834,9 \text{ м. м.}$$

V. Сравнение длины локсодромии и ортодромии

$$\Delta = LS - S = 1864,5 - 1834,9 = 29,6 \text{ м. м.}$$

$$\Delta\% = \frac{LS - S}{LS} \cdot 100\% = \frac{29,6}{1864,5} \cdot 100\% = 1,59\%.$$

Вывод: Поскольку разница между переходом по локсодромии и переходом по ортодромии превышает 0,5%, переход по ортодромии при прочих равных условиях будет целесообразным!

VI. Вычисление начального ортодромического курса

Вычислим четвертной начальный курс по ДБК, который соответствует углу А сферического треугольника PAB (см. рисунок 1.1), используя формулу косинусов:

$$\cos PB = \cos PA \cdot \cos S + \sin PA \cdot \sin S \cdot \cos K_{H1/4}.$$

Откуда

$$\cos K_{H1/4} = \frac{\cos PB - \cos PA \cdot \cos S}{\sin PA \cdot \sin S} = \frac{\sin \varphi_B - \sin \varphi_A \cdot \cos S}{\cos \varphi_A \cdot \sin S}.$$

$$\cos K_{H1/4} = \frac{\sin 42^\circ 30' - \sin 49^\circ 47' \cdot 0,86}{\cos 49^\circ 47' \cdot \sin 30,68^\circ} = 0,056.$$

$$K_{H1/4} = \arccos 0,056 = 86,8^\circ.$$

Если косинус угла получился отрицательным, то угол $K_{H1/4}$ будет тупым (больше 90°). Он будет определяться как $180^\circ -$ полученное значение арккосинуса.

Переведем четвертной курс в истинный по следующим правилам:

- курс всегда отсчитывается от N в северной широте и от S в южной широте;
- курс отсчитывается к E при движении в восточном направлении и к W – при движении в западном направлении.

$$K_H = N86,8W = 273,2^\circ.$$

VII. Вычисление конечного ортодромического курса

Аналогично начальному курсу вычислим четвертной конечный курс по ДБК, который соответствует углу В сферического треугольника PAB (см. рисунок 1.1).

$$\cos K_{K1/4} = \frac{\sin \varphi_A - \sin \varphi_B \cdot \cos S}{\cos \varphi_B \cdot \sin S} = \frac{\sin 49^\circ 47' - \sin 42^\circ 30' \cdot 0,86}{\cos 42^\circ 30' \cdot \sin 30,68^\circ} = 0,485.$$

$$K_{K1/4} = \arccos 0,485 = 61^\circ.$$

Переведем четвертной курс в истинный по следующим правилам:

- курс всегда отсчитывается от S в северной широте и от N в южной широте;
- курс отсчитывается к E при движении в восточном направлении и к W – при движении в западном направлении.

$$K_K = S61W = 241^\circ.$$

VIII. Разбиение ортодромии на отрезки

При переходе по ортодромии курс будет постоянно меняться в пределах $\Delta K = K_H - K_K = 32,2^\circ$, что неудобно при выполнении навигационной прокладки на навигационной карте.

Представим ДБК прямолинейными отрезками на карте (участками локсодромии – хордами), которые будут следовать через каждые $d\lambda = 5^\circ$ по долготе.

Долготный интервал выбирается с тем расчетом, чтобы количество путевых точек было от 6 до 10 (рекомендуется либо 5° либо 10°).

Количество путевых точек N определим как

$$N = \text{ЦЕЛОЕ} \left(\frac{\Delta\lambda}{d\lambda} \right) = \text{ЦЕЛОЕ} \left(\frac{43,55^\circ}{5} \right) = 8.$$

IX. Расчет координат путевых точек

Назовем путевые точки буквами С, D, E и т.д. Рассмотрим сферический треугольник PAC (рисунок 1.2) с известными элементами: сторона $PA = 90 - \varphi_A$; $\angle P = d\lambda = 5^\circ$; $\angle A = K_{H1/4} = 86,8^\circ$.

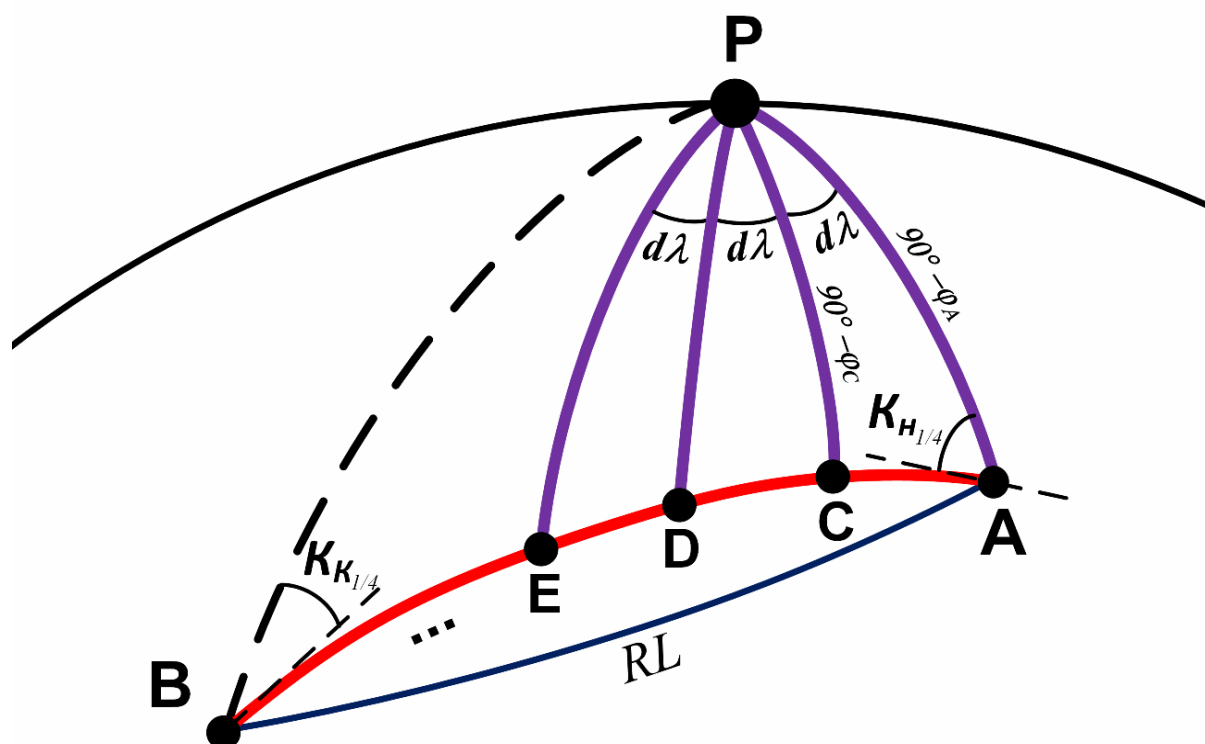


Рисунок 1.2 – Расчет путевых точек на ортодромии

По формуле котангенсов определим сторону РС. Формула котангенсов формулируется следующим образом:

В сферическом треугольнике при четырех рядом лежащих элементах котангенс внешнего угла, умноженный на синус внутреннего угла, равен котангенсу внешней стороны, умноженному на синус внутренней стороны, минус произведение косинусов внутренних элементов.

$$\cot A \cdot \sin P = \cot PC \cdot \sin PA - \cos P \cdot \cos PA,$$

$$\cot PC = \frac{\cot A \cdot \sin P + \cos P \cdot \cos PA}{\sin PA} = \frac{\cot K_{H1/4} \cdot \sin d\lambda + \cos d\lambda \cdot \sin \varphi_A}{\cos \varphi_A}.$$

Учитывая, что $\cot PC = \cot(90 - \varphi_C) = \tan \varphi_C$, получим

$$\begin{aligned} \varphi_C &= \operatorname{atan} \frac{\cot K_{H1/4} \cdot \sin d\lambda + \cos d\lambda \cdot \sin \varphi_A}{\cos \varphi_A} = \\ &= \operatorname{atan} \frac{\cot 86,8 \cdot \sin 5 + \cos 5 \cdot \sin 49^\circ 47'}{\cos 49^\circ 47'} = 49,85^\circ = 49^\circ 51' \text{ N.} \end{aligned}$$

Находим долготу точки С:

$$\lambda_C = \lambda_A + d\lambda = 6^\circ 27' \text{ W} + 5^\circ \text{ W} = 11^\circ 27' \text{ W}.$$

Таким образом, первая путевая точка WP1 будет иметь координаты **49°51'N; 11°27'W**.

Аналогично найдем координаты других путевых точек WP2–WP8:

$$\varphi_{WP_i} = \text{atan} \frac{\cot K_{H1/4} \cdot \sin(i \cdot d\lambda) + \cos(i \cdot d\lambda) \cdot \sin \varphi_A}{\cos \varphi_A};$$

$$\lambda_{WP_i} = \lambda_A + (i \cdot d\lambda),$$

где i – номер путевой точки.

Результаты вычислений сведем в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Координаты путевых точек

Номер п.т.	Широта	Долгота
WP1	49°51'N	11°27'W
WP2	49°43'N	16°27'W
WP3	49°21'N	21°27'W
WP4	48°46'N	26°27'W
WP5	47°56'N	31°27'W
WP6	46°52'N	36°27'W
WP7	45°31'N	41°27'W
WP8	43°52'N	46°27'W

Х. Расчет хорд ДБК

Количество хорд будет равно $N + 1 = 9$. Последняя хорда будет неполная (рисунок 1.3).

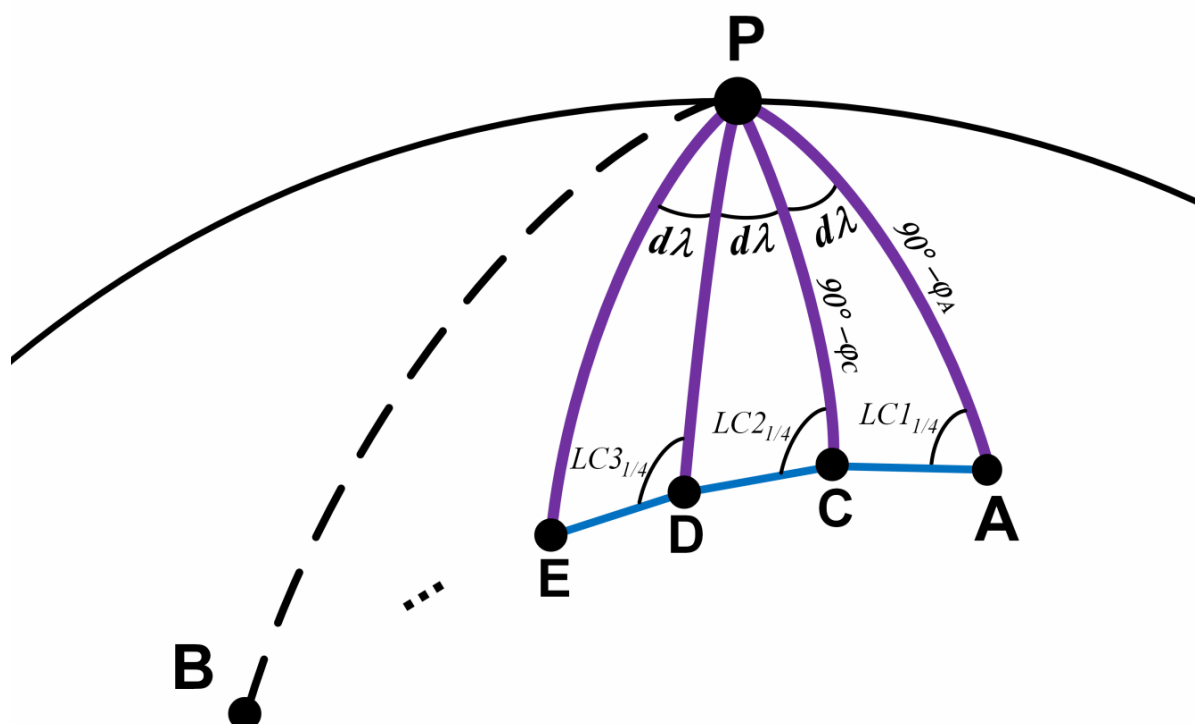


Рисунок 1.3 – Хорды ДБК

Рассчитаем локсодромические курсы, которыми судно будет следовать на прямолинейных участках ДБК. Непосредственно из сферического треугольника это сделать нельзя, поэтому расчет будем вести на меркаторской карте (рисунок 1.4). Искажение масштаба по меридиану будем компенсировать делением разницы широт двух соседних точек на косинус их средней широты.

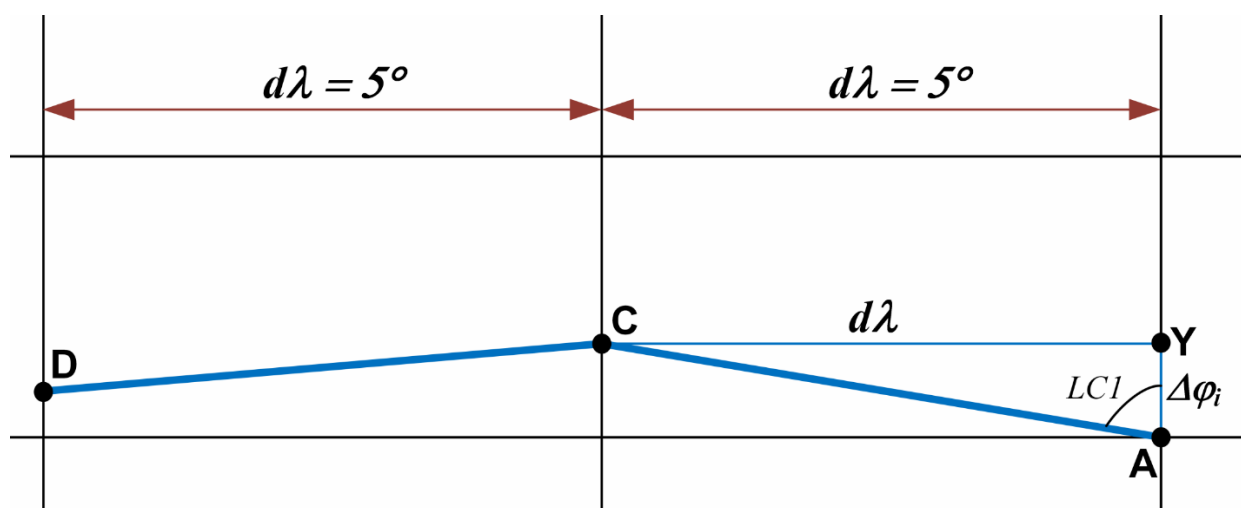


Рисунок 1.4 – Расчет хорды ДБК на меркаторской карте

Из прямоугольного треугольника АСУ (прямой угол У) угол А, соответствующий четвертному локсодромическому курсу $LC1$, будет равен:

$$LC1_{1/4} = \text{atan} \frac{d\lambda \cdot \cos \varphi_{cp1}}{\Delta \varphi_1} = \text{atan} \frac{5^\circ \cdot \cos(\frac{49^\circ 51' + 49^\circ 47'}{2})}{49^\circ 51' - 49^\circ 47'} = 88,7^\circ.$$

Найдем истинный локсодромический курс, учитывая знаки $\Delta \varphi$ («+», т.е. движение к N) и $\Delta \lambda$ (движение к W) при определении четверти:

$$LC1 = N88,7^\circ W = 271,3^\circ.$$

Рассчитаем длину хорды аналогично п. 1.3

$$LS_1 = ABS \left(\frac{\Delta \varphi_1}{\cos LC1_{1/4}} \right) \cdot 60 = ABS \left(\frac{49^\circ 51' - 49^\circ 47'}{\cos 88,7^\circ} \right) \cdot 60 = 193,6 \text{ м. м.}$$

Курсы и длины следующих хорд ведутся аналогично по формулам:

$$LCi_{1/4} = \text{atan} \frac{d\lambda \cdot \cos(\frac{\varphi_i + \varphi_{i-1}}{2})}{\varphi_i - \varphi_{i-1}};$$

$$LS_i = ABS \left(\frac{\varphi_i - \varphi_{i-1}}{\cos LCi_{1/4}} \right) \cdot 60.$$

XI. Составление плана перехода

Результаты расчета хорд представим в виде плана перехода и сведем в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – План перехода (маршрутный лист)

Номер п.т.	Широта	Долгота	Курс до след. точки, °	Расстояние до след. точки, м.м.
WP0 (Bishop Rock)	49°47'N	6°27'W	271,3	193,6
WP1	49°51'N	11°27'W	267,4	193,9
WP2	49°43'N	16°27'W	263,6	195,9
WP3	49°21'N	21°27'W	259,8	199,7
WP4	48°46'N	26°27'W	256,1	205,4
WP5	47°56'N	31°27'W	252,4	213,1
WP6	46°52'N	36°27'W	248,7	222,9
WP7	45°31'N	41°27'W	245,2	235,0
WP8	43°52'N	46°27'W	242,2	175,6
WP9 (BS-position)	42°30'N	50°00'W	—	—
Общий путь по отрезкам ДБК				1835,2 м.м.
Общая длина чистой ДБК				1834,9 м.м.
Общая длина локсодромии				1864,5 м.м.

XII. Проверка расчетов в программе SkyMate Pro 2012

Проверим расчеты ДБК и локсодромии с помощью компьютерной программы SkyMate Pro 2012. Скриншот программы приведен на рисунке 1.5.

Navigation Sailings

Position
 Latitude: 49-47,0 N Lat 2: 42-30,0 N
 Longitude: 006-27,0 W Long 2: 050-00,0 W

Solve for: Course & Distance

Decimal Precision
 Lat/Long: 1
 Distance: 1

Notes:

DR Sailings RL Trackpoints Calc: Spd x Time = Dist

Great Circle		Mercator (RL)		Mid-Latitude	
Distance	1 834,9 nm	Distance	1 864,4 nm	Distance	1 862,5 nm
Initial Cse	273,2°	Course	256,4°	Course	256,4°
Final Cse	241,0°				

Рисунок 1.5 – Скриншот программы SkyMate Pro 2012

Скриншот показывает, что расчеты выполнены правильно.

XIII. Прокладка маршрута в программе OpenCPN

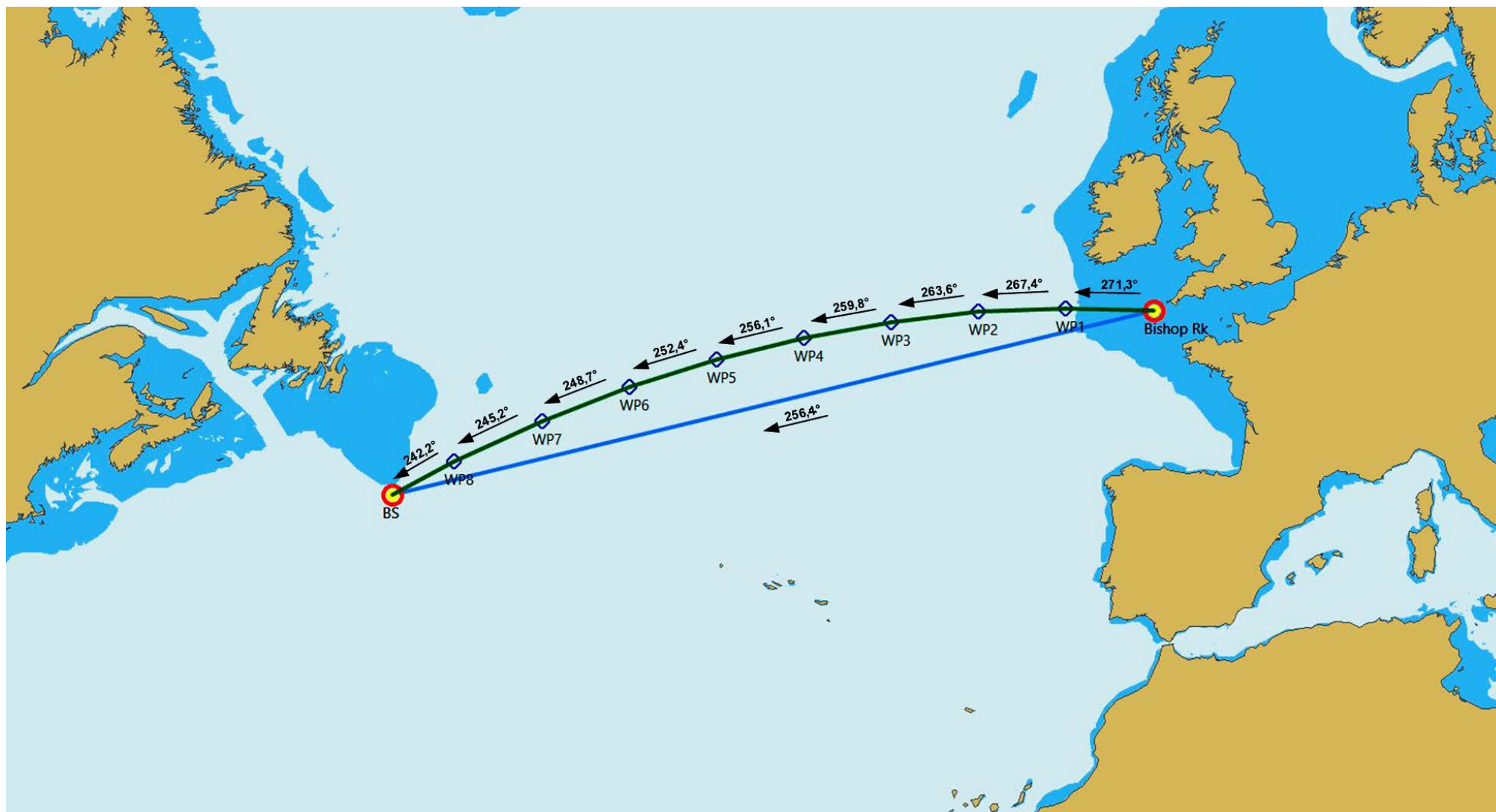


Рисунок 1.6 – Навигационная прокладка перехода по отрезкам ДБК по маршруту № 2.69.5с
(маяк Bishop Rock – точка BS)

1.5 Контрольные вопросы к разделу 1

- 1) Дайте определение и перевод на английский язык следующих навигационных терминов: «локсодромия», «ортодромия», «путевой угол», «курс по ортодромии», «курс по локсодромии», «путевая точка», «хорда», «меридиональная часть», «вертекс».
- 2) Какими навигационными пособиями следует воспользоваться при планировании трансокеанского перехода судна?
- 3) В чем преимущества трансокеанского перехода по локсодромии; ортодромии?
- 4) В каких случаях ортодромия совпадает с локсодромией?
- 5) Какими способами может выполняться расчет перехода по ДБК?
- 6) Назовите свойства равноугольной меркаторской проекции.
- 7) В каких регионах Земли использование карт в меркаторской проекции неудобно и нецелесообразно?
- 8) Как выглядит ортодромия на меркаторской карте?
- 9) Какая формула используется для расчета длины ДБК?
- 10) Назовите основные элементы ДБК.
- 11) Как рассчитать широту путевой точки?
- 12) Как рассчитать долготу путевой точки?
- 13) Как рассчитать курс по локсодромии?
- 14) Как рассчитать длину локсодромии?
- 15) Что такое «меридиональная часть»? Каков ее физический смысл?
- 16) В каких случаях переход по локсодромии является предпочтительным?
- 17) В каких случаях предпочтительным является переход по ДБК?
- 18) Как выбирается долготный интервал при планировании перехода по отрезкам ДБК?
- 19) Зачем требуется знать местоположение точки вертекса при плавании по ДБК?
- 20) Что такое «составное плавание»?

2. РАСЧЕТ АЗИМУТОВ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

2.1. Общая характеристика и цель выполнения раздела

Согласно требованиям Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС), все морские суда оснащаются приборами курсоуказания – гироскопическими и магнитными компасами. От корректной работы судовых компасов зависит безопасность и эффективность перехода судна. Кроме того, на информацию от судовых компасов завязаны иные ключевые навигационные приборы судна: авторулевой; контроллеры системы динамического позиционирования; радар с системой автоматической радиолокационной прокладки; автоматическая идентификационная система АИС; регистратор данных рейса; репитеры для пеленгования; коннинг дисплей и др.

Точность бортовых курсоуказателей должна регулярно контролироваться путем периодического определения их поправок. В соответствии с требованиями Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ), рекомендациями по организации штурманской службы (РШС-89, Bridge Procedures Guide и аналогичными), а также положениями Систем управления безопасностью (Safety Management System) судоходных компаний, поправки курсоуказателей должны определяться, по меньшей мере, один раз за вахту с занесением в специальный журнал поправок.

В открытом море, как известно, основным способом определения поправки компаса является астрономический, смысл которого заключается в том, чтобы сравнить компасный пеленг, взятый на известное небесное светило, с его истинным пеленгом. Последний в астрономии называется азимутом. Таким образом, задача определения поправки компаса сводится к задаче нахождения азимута небесного светила.

В рамках дисциплины «Математические основы судовождения» рассматриваются методы сферической тригонометрии применительно к решению задач на небесной сфере. Целью выполнения раздела является получение навыков по нахождению азимутов небесных светил тремя способами:

- 1) математически (методами сферической тригонометрии на небесной сфере);
- 2) традиционным способом (с использованием навигационных таблиц);
- 3) с помощью компьютерных программ.

Последние два способа являются частично или полностью автоматизированным вариантом первого.

В результате выполнения настоящего раздела достигается комплексное понимание процесса решения задачи нахождения азимута, осваивается математическая основа построения навигационных таблиц, уясняются алгоритмы автоматизированного расчета поправки компаса.

Моряки, работающие на морских судах торгового флота, в качестве основного средства профессионального общения используют английский язык. В этой связи, рекомендуется выполнять настоящий раздел на английском языке в соответствии с представленным в Приложении Б примером. Дополнительным

результатом выполнения раздела станет овладение основной терминологией по данной теме на английском языке.

2.2. Задание на раздел 2

Варианты заданий являются индивидуальными и выдаются преподавателем в начале семестра. Каждому студенту на разбор представлено три ситуации:

1. наблюдение звезды (observation of a star);
2. наблюдение планеты или Луны или Солнца (observation of planet/Moon/Sun);
3. определение амплитуды/азимута Солнца на восходе или заходе (observation of sun at sunrise/sunset).

Образец варианта приведен на рисунке 2.1.

1	Celestial Body	Capella				Moon				Sun @ sunrise			
	Location	Approach to Sevastopol				Appr. to Rio de Janeiro				Central Atlantic			
	Position (ϕ/λ)	N	44°:30'	E	33°:10'	S	23°:15'	W	42°:59'	N	40°:10'	W	30°:20'
	Date/UT	Sep 10, 2011		20:00:00		Nov 28, 2011		23:56:00		Mar 06, 2011			
	BRN/Mag. declination	36°		6.0°E		276°		22.2°W		107°		11°W	
Name					Date				Signature				

Рисунок 2.1 – Образец варианта задания на 2 раздел КП

2.3. Последовательность выполнения раздела

1. Корректно сформулировать задачу (problem to be solved) для наблюдения № 1 и записать исходные данные (given data).
2. Используя альманах (Nautical almanac), найти координаты светила (Celestial body) – местный часовой угол (LHA) и склонение (Declination) согласно последовательности, представленной в подразделе 2.4.
3. Построить небесную сферу (Celestial sphere) согласно последовательности, представленной в подразделе 2.5, на листе формата A3.
4. Решить параллактический треугольник (Celestial triangle) относительно азимута светила по формуле котангенсов (cotangent rule). Вывести итоговое значение азимута.
5. Определить азимут по таблицам Норри (Norie's nautical tables) или SRT (Sight Reduction Tables) согласно последовательности, представленной в подразделах 2.6 и 2.7. При использовании таблиц необходимо корректно применить интерполяцию.
6. Проверить расчет, воспользовавшись компьютерной программой (SkyMate, Stellarium или аналогичной).
7. Рассчитать общую поправку компаса (compass error) и девиацию магнитного компаса (deviation) по значению азимута, найденному в п.4.

8. Повторить вышеуказанные действия для ситуации № 2.
9. Корректно сформулировать задачу (problem to be solved) для наблюдения № 3 и записать исходные данные (given data).
10. Используя альманах, найти среднее солнечное время (LMT) захода (восхода) Солнца. На это время взять склонение Солнца.
11. По формуле рассчитать значение амплитуды Солнца.
12. Рассчитать азимут Солнца.
13. Рассчитать поправку компаса и девиацию.

2.4 Последовательность работы с альманахом при нахождении ази- мутов небесных светил

1. По дате и времени наблюдений найти астрономические координаты светила (Гринвичский часовой угол – GHA и склонение – Declination). Пример разворота ежедневных таблиц альманаха представлен на рисунке 2.2.
2. К найденному значению GHA прибавить минутный инкремент (инкременты представлены отдельными таблицами – см. пример на рисунке 2.3.).
(Для звезды сначала найти звездное дополнение (SHA), потом Гринвичский часовой угол точки Овна с минутным инкрементом. Их сумма даст Гринвичский часовой угол звезды)
3. Находим местный часовой угол (LHA), прибавляя или отнимая долготу. Восточная долгота прибавляется, западная отнимается.
4. Сделать вывод о движении светила: восходящее (Rising), если LHA в пределах 180° – 360° ; заходящее (Setting), если LHA в пределах 0° – 180° .

2011 September 28											
GMT	ARIES	VENUS	-3.9	MARS	+1.3	JUPITER	-2.8	SATURN	+0.8	STARS	
	GHA	GHA	Dec	GHA	Dec	GHA	Dec	GHA	Dec	Name	SHA
28 00	6° 25'.7	171° 16'.4	5° 21'.0 S	238° 22'.9	19° 57'.6 N	329° 19'.0	13° 06'.9 N	168° 43'.7	5° 04'.3 S	Acamar	315° 18'.9
01	21° 28'.1	186° 16'.0	22'.3	253° 23'.8	57'.3	344° 21'.6	06'.9	183° 45'.9	04'.5	Achamar	335° 27'.0
02	36° 30'.6	201° 15'.6	23'.6	268° 24'.7	56'.9	359° 24'.3	06'.8	198° 48'.1	04'.6	Acrux	173° 11'.5
03	51° 33'.1	216° 15'.2	24'.8	283° 25'.6	56'.6	14° 27'.0	06'.7	213° 50'.2	04'.7	Adhara	255° 13'.5
04	66° 35'.5	231° 14'.8	26'.1	298° 26'.5	56'.3	29° 29'.7	06'.6	228° 52'.4	04'.8	Aldebaran	290° 50'.6
05	81° 38'.0	246° 14'.4	27'.3	313° 27'.4	55'.9	44° 32'.4	06'.5	243° 54'.6	04'.9		
06	96° 40'.5	261° 14'.0	28'.6	328° 28'.3	55'.6	59° 35'.1	06'.5	258° 56'.8	05'.0	Alioth	166° 22'.2
07	111° 42'.9	276° 13'.6	29'.8	343° 29'.2	55'.3	74° 37'.7	06'.4	273° 59'.0	05'.1	Alkaid	153° 00'.2
08	126° 45'.4	291° 13'.2	31'.1	358° 30'.1	54'.9	89° 40'.4	06'.3	289° 01'.2	05'.3	Alnair	27° 44'.8
09	141° 47'.8	306° 12'.8	32'.4	13° 31'.1	54'.6	104° 43'.1	06'.2	304° 03'.4	05'.4	Alnilam	275° 47'.5
10	156° 50'.3	321° 12'.4	33'.6	28° 32'.0	54'.3	119° 45'.8	06'.2	319° 05'.5	05'.5	Alphard	217° 57'.5
11	171° 52'.8	336° 12'.0	34'.9	43° 32'.9	53'.9	134° 48'.5	06'.1	334° 07'.7	05'.6		
12	186° 55'.2	351° 11'.7	5° 36'.1 S	58° 33'.8	19° 53'.6 N	149° 51'.2	13° 06'.0 N	349° 09'.9	5° 05'.7 S	Alphecca	126° 12'.3
13	201° 57'.7	6° 11'.3	37'.4	73° 34'.7	53'.3	164° 53'.9	05'.9	4° 12'.1	05'.8	Alpheratz	357° 44'.4
14	217° 00'.2	21° 10'.9	38'.6	88° 35'.6	52'.9	179° 56'.5	05'.8	19° 14'.3	06'.0	Altair	62° 09'.3
15	232° 02'.6	36° 10'.5	39'.9	103° 36'.5	52'.6	194° 59'.2	05'.8	34° 16'.5	06'.1	Ankaa	353° 16'.4
16	247° 05'.1	51° 10'.1	41'.1	118° 37'.4	52'.3	210° 01'.9	05'.7	49° 18'.7	06'.2	Antares	112° 27'.9
17	262° 07'.6	66° 09'.7	42'.4	133° 38'.4	51'.9	225° 04'.6	05'.6	64° 20'.8	06'.3		
18	277° 10'.0	81° 09'.3	43'.6	148° 39'.3	51'.6	240° 07'.3	05'.5	79° 23'.0	06'.4	Arcturus	145° 57'.1
19	292° 12'.5	96° 08'.9	44'.9	163° 40'.2	51'.3	255° 10'.0	05'.5	94° 25'.2	06'.5	Atria	107° 31'.1
20	307° 15'.0	111° 08'.5	46'.1	178° 41'.1	50'.9	270° 12'.7	05'.4	109° 27'.4	06'.6	Avior	234° 18'.9
21	322° 17'.4	126° 08'.1	47'.4	193° 42'.0	50'.6	285° 15'.4	05'.3	124° 29'.6	06'.8	Bellatrix	278° 33'.2

Рисунок 2.2 – Разворот ежедневных таблиц альманаха с выделенными координатами планеты Марс на 19-00 (время наблюдения 19-24)

24^m**INCREMENTS AND CORRECTIONS**

S	Sun Planets	Aries	Moon	v or d Corr'n	v or d Corr'n	v or d Corr'n	S	Sun Planets	Aries	
00	6° 00'.0	6° 01'.0	5° 43'.6	0.0 0.0	6.0 2.5	12.0 4.9	00	6° 15'.0	6° 16'.0	5'
01	6° 00'.2	6° 01'.3	5° 43'.8	0.1 0.0	6.1 2.5	12.1 4.9	01	6° 15'.3	6° 16'.3	5'
02	6° 00'.5	6° 01'.5	5° 44'.1	0.2 0.1	6.2 2.5	12.2 5.0	02	6° 15'.5	6° 16'.5	5'
03	6° 00'.7	6° 01'.8	5° 44'.3	0.3 0.1	6.3 2.6	12.3 5.0	03	6° 15'.8	6° 16'.8	5'
04	6° 01'.0	6° 02'.0	5° 44'.6	0.4 0.2	6.4 2.6	12.4 5.1	04	6° 16'.0	6° 17'.0	5'
05	6° 01'.3	6° 02'.3	5° 44'.8	0.5 0.2	6.5 2.7	12.5 5.1	05	6° 16'.3	6° 17'.3	5'
06	6° 01'.5	6° 02'.5	5° 45'.0	0.6 0.2	6.6 2.7	12.6 5.1	06	6° 16'.5	6° 17'.5	5'
07	6° 01'.8	6° 02'.8	5° 45'.3	0.7 0.3	6.7 2.7	12.7 5.2	07	6° 16'.7	6° 17'.8	5'
08	6° 02'.0	6° 03'.0	5° 45'.5	0.8 0.3	6.8 2.8	12.8 5.2	08	6° 17'.0	6° 18'.0	5'
09	6° 02'.3	6° 03'.3	5° 45'.7	0.9 0.4	6.9 2.8	12.9 5.3	09	6° 17'.2	6° 18'.3	6'
10	6° 02'.5	6° 03'.5	5° 46'.0	1.0 0.4	7.0 2.9	13.0 5.3	10	6° 17'.5	6° 18'.5	6'
11	6° 02'.7	6° 03'.8	5° 46'.2	1.1 0.4	7.1 2.9	13.1 5.3	11	6° 17'.7	6° 18'.8	6'
12	6° 03'.0	6° 04'.0	5° 46'.5	1.2 0.5	7.2 2.9	13.2 5.4	12	6° 18'.0	6° 19'.0	6'
13	6° 03'.2	6° 04'.3	5° 46'.7	1.3 0.5	7.3 3.0	13.3 5.4	13	6° 18'.3	6° 19'.3	6'
14	6° 03'.5	6° 04'.5	5° 46'.9	1.4 0.6	7.4 3.0	13.4 5.5	14	6° 18'.5	6° 19'.6	6'

Рисунок 2.3 – Определение минутного инкремента на 24 минуты и поправки к склонению (d-correction)

2.5. Последовательность построения небесной сферы

Строить небесную сферу следует в горизонтной системе координат (наблюдатель (O) – в центре, Зенит – вверх, взгляд направлен сверху). Построение должно быть в верхней полусфере (над горизонтом)!

1. Сориентировать полуденную линию NS так, чтобы светило было на видимой стороне сферы: N справа, если $BRN (Az) = 0 \div 180^\circ$; N слева, если $BRN (Az) = 180^\circ \div 360^\circ$.
2. Под углом широты к горизонту провести ось мира, проходящую через центр небесной сферы. Если наблюдатель в северном полушарии – то северный полюс будет в направлении N; если в южном полушарии – то в направлении S.
3. Точки пересечения оси мира со сферой обозначить: P – северный полюс мира (будет вверху в северном полушарии) и P' – южный ПМ (будет вверху в Южном). Обозначить дугу NP (или SP') = φ .
4. Определить направление взгляда на сферу: со стороны верхнего полюса. Построить линию EW (восток-запад) на плоскости горизонта в соответствии с направлением взгляда.
5. По значению взятого пеленга отложить примерный азимут светила по дуге горизонта от точки Севера (N) в сторону востока (E). Провести вертикал светила через Зенит (Z), Надир (n) и точку конца дуги азимута. На этой линии в верхней полусфере будет находиться светило.

6. Перпендикулярно оси мира через центр сферы провести экваториальную ось. Далее нарисовать небесный экватор $q\bar{q}$, проходящий через эту ось и точки E и W .
7. От верхней точки небесного экватора отложить к точке W местный часовой угол $LHA=t$: по часовой стрелке – если смотреть со стороны северного полюса, против нее – со стороны южного.
8. Через точки P , P' и конец дуги $LHA=t$ провести большой круг (меридиан светила). Точку пересечения меридиана светила с вертикалом обозначить X . Это и будет примерное положение светила на небесной сфере.
9. Обозначить дуги: склонение δ , полярное расстояние PX , зенитное расстояние ZX , высота h , дуга PZ . Выделить полученный треугольник PZX . Обозначить углы при вершинах P ($=t$ или его дополнение до 180 или 360) и Z ($=A$ или, в зависимости от условий задачи, его дополнение до 180 или 360).

Если в северном полушарии наблюдается светило южного полушария, то склонение будет отчитываться противоположно северному полюсу, и наоборот. Дуга PX при этом будет больше 90° .

Высота над горизонтом в итоге должна быть положительной и находиться в пределах ($5-35^\circ$). Можно проверять себя по программам SkyMate и/или Stellarium.

Далее по формуле котангенсов следует решить сферический треугольник относительно A и выразить A в круговом счете (при необходимости).

2.6. Определение азимута небесного светила с использованием навигационных таблиц Norie's nautical tables

1. По значению LHA и широты найти коэффициент A из таблицы A (см. рисунок 2.4). При необходимости сделать интерполяцию. Знак коэффициента A берется противоположно широте, кроме случаев, когда LHA находится в пределах $90^\circ-270^\circ$;
2. По значению LHA и склонения найти коэффициент B из таблицы B (см. рисунок 2.5). При необходимости сделать интерполяцию. Знак коэффициента B берется такой же, как склонение светила.
3. Вычислить коэффициент C как алгебраическую сумму A и B .
4. По значению коэффициента C и широты зайти в таблицу C (см. рисунок 2.6). Определить четвертной азимут. При необходимости сделать интерполяцию.
5. Определить четверть, в которой лежит найденный азимут. Точка, откуда ведется отсчет, определяется по знаку коэффициента C (отсчет идет от точки "N", если C имеет знак «+», и от точки "S", если C имеет знак «-»); направление отсчета определяется по характеру движения светила: если оно восходит, то к "E", если заходит, то к "W").
6. Определить круговой (истинный) азимут светила.

TABLE A HOUR ANGLE																	
Lat. °	60°	61°	62°	63°	64°	65°	66°	67°	68°	69°	70°	71°	72°	73°	74°	75°	Lat. °
	300°	299°	298°	297°	296°	295°	294°	293°	292°	291°	290°	289°	288°	287°	286°	285°	
60	1.00	.96	.92	.88	.85	.81	.77	.74	.70	.67	.63	.60	.56	.53	.50	.46	60
61	1.04	1.00	.96	.92	.88	.84	.80	.77	.73	.69	.66	.62	.59	.55	.52	.48	61
62	1.09	1.04	1.00	.96	.92	.88	.84	.80	.76	.72	.68	.65	.61	.58	.54	.50	62
63	1.13	1.09	1.04	1.00	.96	.92	.87	.83	.79	.75	.71	.68	.64	.60	.56	.53	63
64	1.18	1.14	1.09	1.05	1.00	.96	.91	.87	.83	.79	.75	.71	.67	.63	.59	.55	64
65	1.24	1.19	1.14	1.09	1.05	1.00	.96	.91	.87	.82	.78	.74	.70	.66	.62	.57	65
66	1.30	1.25	1.19	1.14	1.10	1.05	1.00	.95	.91	.86	.82	.77	.73	.69	.64	.60	66
67	1.36	1.31	1.25	1.20	1.15	1.10	1.05	1.00	.95	.90	.86	.81	.77	.72	.68	.63	67
68	1.43	1.37	1.32	1.26	1.21	1.15	1.09	1.05	1.00	.95	.90	.85	.80	.76	.71	.66	68
69	1.50	1.44	1.39	1.33	1.27	1.22	1.16	1.11	1.05	1.00	.95	.90	.85	.80	.75	.70	69
70	1.59	1.52	1.46	1.40	1.34	1.28	1.22	1.17	1.11	1.05	1.00	.95	.89	.84	.79	.74	70
71	1.68	1.61	1.54	1.48	1.42	1.35	1.29	1.23	1.17	1.11	1.06	1.00	.94	.89	.83	.78	71
72	1.78	1.71	1.64	1.57	1.50	1.44	1.37	1.31	1.24	1.18	1.12	1.06	1.00	.94	.88	.82	72
73	1.89	1.81	1.74	1.67	1.60	1.53	1.46	1.39	1.32	1.26	1.19	1.13	1.06	1.00	.94	.88	73
74	2.01	1.93	1.85	1.78	1.70	1.63	1.55	1.48	1.41	1.34	1.27	1.20	1.13	1.07	1.00	.93	74
75	2.16	2.07	1.98	1.90	1.82	1.74	1.66	1.58	1.51	1.43	1.36	1.29	1.21	1.14	1.07	1.00	75
76	2.32	2.22	2.13	2.04	1.96	1.87	1.79	1.70	1.62	1.54	1.46	1.38	1.30	1.23	1.15	1.07	76
77	2.50	2.40	2.30	2.21	2.11	2.02	1.93	1.84	1.75	1.66	1.58	1.49	1.41	1.32	1.24	1.16	77
78	2.72	2.61	2.50	2.40	2.29	2.19	2.09	2.00	1.90	1.81	1.71	1.62	1.53	1.44	1.35	1.26	78
79	2.97	2.85	2.74	2.62	2.51	2.40	2.29	2.18	2.08	1.97	1.87	1.77	1.67	1.57	1.48	1.37	79
80	3.27	3.14	3.02	2.89	2.77	2.64	2.53	2.41	2.29	2.18	2.06	1.95	1.84	1.73	1.63	1.52	80
81	3.65	3.50	3.36	3.22	3.08	2.94	2.81	2.68	2.55	2.42	2.30	2.17	2.05	1.93	1.81	1.69	81
82	4.11	3.94	3.78	3.63	3.47	3.32	3.17	3.02	2.87	2.73	2.59	2.45	2.31	2.18	2.04	1.91	82
83	4.70	4.51	4.33	4.15	3.97	3.80	3.63	3.46	3.29	3.13	2.96	2.80	2.65	2.49	2.34	2.18	83
Lat	120°	119°	118°	117°	116°	115°	114°	113°	112°	111°	110°	109°	108°	107°	106°	105°	Lat
	240°	241°	242°	243°	244°	245°	246°	247°	248°	249°	250°	251°	252°	253°	254°	255°	

Named opposite to Latitude, except when Hour Angle is between 90° and 270°

Рисунок 2.4 – Пример нахождения коэффициента А

TABLE B HOUR ANGLE																	
Dec °	60°	61°	62°	63°	64°	65°	66°	67°	68°	69°	70°	71°	72°	73°	74°	75°	Dec °
	300°	299°	298°	297°	296°	295°	294°	293°	292°	291°	290°	289°	288°	287°	286°	285°	
0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0
1	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	1
2	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	2
3	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	05	3
4	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	07	07	07	07	07	07	4
5	10	10	10	10	10	10	10	10	09	09	09	09	09	09	09	09	5
6	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	6
7	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	7
8	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	8
9	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	9
10	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18	18	10
11	22	22	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	20	11
12	25	24	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	12
13	27	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25	24	24	24	24	24	13
14	29	29	28	28	28	28	27	27	27	27	27	26	26	26	26	26	14
15	31	31	30	30	30	30	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	15
16	33	33	32	32	32	32	31	31	31	31	31	30	30	30	30	30	16
17	35	35	35	34	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32	32	32	17
18	38	37	37	36	36	36	35	35	35	35	35	34	34	34	34	34	18
19	40	39	39	38	38	38	37	37	37	37	36	36	36	36	36	36	19
20	42	42	41	41	41	40	40	40	39	39	39	38	38	38	38	38	20
21	44	44	43	43	43	42	42	42	41	41	41	41	40	40	40	40	21
22	47	46	46	45	45	45	44	44	44	43	43	43	43	42	42	42	22
23	49	49	48	48	47	47	46	46	46	46	45	45	45	44	44	44	23
24	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	47	47	47	47	46	46	24
25	54	53	53	52	52	52	51	51	50	50	49	49	49	49	49	48	25
26	56	56	55	55	54	54	53	53	53	52	52	52	51	51	51	50	26
27	59	58	58	57	57	56	56	55	55	55	54	54	54	53	53	53	27
28	61	61	60	60	60	59	59	58	57	57	57	56	56	56	55	55	28
29	64	63	63	62	62	61	61	60	60	59	59	59	58	58	58	57	29
30	67	66	65	65	64	64	63	63	62	62	62	61	61	60	60	60	30
31	69	69	68	67	67	66	66	65	65	64	64	64	63	63	63	62	31
32	72	71	71	70	70	69	68	68	67	67	67	66	66	65	65	65	32
33	75	74	74	73	72	72	71	71	70	70	69	69	68	68	68	67	33
34	78	77	76	76	75	75	74	73	73	72	72	71	71	70	70	70	34
35	81	80	79	79	78	77	77	76	76	75	74	74	74	73	73	72	35
36	84	83	82	82	81	80	80	79	78	78	77	77	76	76	76	75	36
37	87	86	85	85	84	83	82	82	81	81	80	80	79	79	78	78	37
38	90	89	88	88	87	86	86	85	84	84	83	83	82	82	81	81	38
39	94	93	92	91	90	89	89	88	87	87	86	86	85	85	84	84	39
40	97	96	95	94	93	93	92	91	91	90	89	89	88	88	87	87	40
41	1 00	99	98	98	97	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	90	41
42	1 04	1 03	1 02	1 01	1 00	99	99	98	97	96	96	95	95	94	94	93	42
43	1 08	1 07	1 06	1 05	1 04	1 03	1 02	1 01	1 01	1 00	99	99	98	98	97	97	43
44	1 11	1 10	1 09	1 08	1 07	1 07	1 06	1 05	1 04	1 03	1 03	1 02	1 02	1 01	1 00	1 00	44
45	1 15	1 14	1 13	1 12	1 11	1 10	1 10	1 09	1 08	1 07	1 06	1 06	1 05	1 05	1 04	1 04	45
46	1 20	1 18	1 17	1 16	1 15	1 14	1 13	1 12	1 12	1 11	1 10	1 10	1 09	1 08	1 08	1 07	46
47	1 24	1 23	1 22	1 20	1 19	1 18	1 17	1 16	1 16	1 15	1 14	1 13	1 13	1 12	1 12	1 11	47
48	1 28	1 27	1 26	1 25	1 24	1 22	1 22	1 21	1 20	1 19	1 18	1 17	1 17	1 16	1 16	1 15	48
49	1 33	1 32	1 30	1 29	1 28	1 27	1 26	1 25	1 24	1 23	1 22	1 22	1 20	1 20	1 20	1 19	49
50	1 38	1 36	1 35	1 34	1 33	1 31	1 31	1 29	1 29	1 28	1 27	1 26	1 25	1 25	1 24	1 23	50
51	1 43	1 41	1 40	1 39	1 37	1 36	1 35	1 34	1 33	1 32	1 31	1 31	1 30	1 29	1 28	1 28	51
52	1 48	1 46	1 45	1 44	1 42	1 41	1 40	1 39	1 38	1 37	1 36	1 35	1 35	1 34	1 33	1 33	52
53	1 53	1 52	1 50	1 49	1 48	1 46	1 45	1 44	1 43	1 42	1 41	1 40	1 40	1 39	1 38	1 37	53
54	1 59	1 57	1 56	1 55	1 53	1 52	1 51	1 50	1 48	1 47	1 46	1 46	1 45	1 44	1 43	1 42	54
55	1 65	1 63	1 62	1 60	1 59	1 58	1 56	1 55	1 54	1 53	1 52	1 51	1 50	1 49	1 49	1 48	55
56	1 71	1 70	1 68	1 66	1 65	1 64	1 62	1 61	1 60	1 59	1 58	1 57	1 56	1 55	1 54	1 54	56
57	1 78	1 76	1 74	1 73	1 71	1 70	1 69	1 67	1 66	1 65	1 64	1 63	1 62	1 61	1 60	1 60	57
58	1 85	1 83	1 81	1 80	1 78	1 77	1 75	1 74	1 73	1 71	1 71	1 69	1 68	1 67	1 66	1 66	58
59	1 92	1 90	1 89	1 87	1 85	1 84	1 82	1 81	1 79	1 78	1 77	1 76	1 75	1 74	1 73	1 72	59
60	2 00	1 98	1 96	1 94	1 93	1 91	1 89	1 88	1 87	1 86	1 84	1 83	1 82	1 81	1 80	1 79	60
Dec °	120°	119°	118°	117°	116°	115°	114°	113°	112°	111°	110°	109°	108°	107°	106°	105°	Dec °
	240°	241°	242°	243°	244°	245°	246°	247°	248°	249°	250°	251°	252°	253°	254°	255°	

Рисунок 2.5 – Пример нахождения коэффициента В

TABLE C																	
A ± B = 1-80' 1-84'		1-88' 1-92'		1-96' 2-00'		A & B CORRECTION						2-24'		2-28' 2-32'		2-36' 2-40' = A ± B	
Lat.							AZIMUTHS										Lat.
68	56-0	55-4	54-8	54-3	53-7	53-2	52-6	52-1	51-5	51-0	50-5	50-0	49-5	49-0	48-5	48-0	68
69	57-2	56-6	56-0	55-5	54-9	54-4	53-8	53-3	52-8	52-2	51-8	51-3	50-8	50-3	49-8	49-3	69
70	58-4	57-8	57-2	56-7	56-2	55-6	55-1	54-6	54-0	53-5	53-0	52-6	52-1	51-6	51-1	50-5	70
71	59-6	59-1	58-5	58-0	57-5	56-9	56-4	55-9	55-4	54-9	54-4	53-9	53-4	52-9	52-5	52-0	71
72	60-9	60-4	59-8	59-3	58-8	58-3	57-8	57-3	56-8	56-3	55-8	55-3	54-8	54-4	53-9	53-4	72
73	62-2	61-7	61-2	60-7	60-2	59-7	59-2	58-7	58-2	57-7	57-3	56-8	56-3	55-9	55-4	54-9	73
74	63-6	63-1	62-6	62-1	61-6	61-1	60-6	60-2	59-7	59-2	58-8	58-3	57-9	57-4	56-9	56-5	74
75	65-0	64-5	64-0	63-6	63-1	62-6	62-2	61-7	61-2	60-8	60-3	59-9	59-5	59-0	58-6	58-1	75
76	66-5	66-0	65-6	65-1	64-6	64-2	63-7	63-3	62-8	62-4	62-0	61-6	61-1	60-7	60-3	59-8	76
77	68-0	67-5	67-1	66-6	66-2	65-8	65-4	64-9	64-5	64-1	63-7	63-2	62-8	62-5	62-0	61-6	77
78	69-5	69-1	68-7	68-2	67-8	67-4	67-0	66-6	66-2	65-8	65-4	65-0	64-6	64-3	63-9	63-5	78
79	71-0	70-7	70-3	69-9	69-5	69-1	68-7	68-4	68-0	67-6	67-2	66-9	66-5	66-1	65-8	65-4	79
80	72-6	72-3	71-9	71-6	71-2	70-8	70-5	70-1	69-8	69-4	69-1	68-8	68-4	68-1	67-7	67-4	80

Рисунок 2.6 – Пример нахождения азимута через коэффициент С

2.7. Определение азимута небесного светила с использованием навигационных таблиц Sight Reduction Tables

1. По широте места подобрать соответствующий том таблиц SRT.
2. Открыть разворот главных таблиц, соответствующий значению LHA (целой части).
3. Определить азимут по значениям широты (latitude) и склонения (dec), используя при необходимости табличную интерполяцию по трем значениям (описание методики и пример представлены в разделе D.5 Other applications – Compass error официального издания таблиц SRT).
4. Определить круговой (истинный) азимут светила по правилам, представленным над/под соответствующим разворотом таблицы.

2.8. Содержание раздела

Содержание раздела 2 рекомендуется такое:

- 2.1 Исходные данные в виде таблицы варианта (0,5 страницы).
- 2.2 Определение поправки компаса по азимуту звезды (3–5 страниц):
 - 2.2.1 исходные данные (given data);
 - 2.2.2 определение LHA и Dec по альманаху;
 - 2.2.3 построение небесной сферы;
 - 2.2.4 решение параллактического треугольника и нахождение азимута;
 - 2.2.5 определение азимута по таблицам Norie's Nautical Tables или SRT;
 - 2.2.6 определение азимута с помощью компьютерной программы (с представлением скриншота).
- 2.3 Определение поправки компаса по азимуту планеты/луны/солнца (3–5 страниц. Содержание аналогично разделу 2.2. Если в п. 2.2.5 использовались таблицы Norie's Nautical Tables, то в п. 2.3.5 следует брать SRT).

- 2.4 Определение поправки компаса по азимуту солнца на восходе/заходе (2–3 страницы):
- 2.4.1 исходные данные (given data);
- 2.4.2 определение времени восхода/захода и склонения солнца по альманаху;
- 2.4.3 определение амплитуды или четвертного азимута по формуле;
- 2.4.5 определение поправки компаса;
- 2.4.6 построение небесной сферы;
- 2.4.7 проверка решения по таблицам Norie's Nautical Tables или Bowditch useful tables
- 2.5 Выводы по разделу (не более 0,5 страницы).

Расчеты по разделу 2 рекомендуется выполнять в программе Microsoft Excel или аналогичной. Построение небесной сферы рекомендуется выполнять в программе Microsoft Visio или аналогичной.

Раздел следует выполнять на английском языке. В выводах следует сделать краткое заключение по результатам определения поправок разными способами, отметить, совпадают ли результаты (если нет – то почему). Во время защиты курсового проекта необходимо быть готовым обосновать каждый этап расчета и ответить на контрольные вопросы, представленные ниже.

2.9. Контрольные вопросы

- 1) Дайте определение следующим терминам: «истинный горизонт», «отвесная линия», «полюс мира», «ось мира», «небесный экватор», «небесный меридиан», «суточная параллель».
- 2) Назовите координаты светила в экваториальной системе координат?
- 3) Назовите основные координаты светила в горизонтной системе координат?
- 4) В чем разница между первой и второй экваториальными СК?
- 5) Что такое «местный часовой угол», «склонение», «прямое восхождение»?
- 6) Как получить местный часовой угол светила, зная гринвичский?
- 7) Что такое «точка Овна»? Почему она важна в мореходной астрономии?
- 8) Что такое SHA? Как найти GHA светила, зная его SHA?
- 9) Под каким углом виден полюс мира в горизонтной системе координат?
- 10) Откуда идет отсчет местных часовых углов?
- 11) Назовите вершины параллактического треугольника.
- 12) Как следует ориентировать линию NS при построении небесной сферы для решения конкретной задачи?
- 13) Откуда следует откладывать истинный азимут светила?
- 14) Как проверить правильность построения небесной сферы?
- 15) Можно ли в северном полушарии видеть южные светила и наоборот?
- 16) Сформулируйте условия захода и восхода светил.
- 17) Какие светила в данной широте будут незаходящими?
- 18) Назовите вершины и стороны параллактического треугольника (ПТ).
- 19) В чем измеряются элементы ПТ?

- 20) Для чего требуется решение параллактического треугольника?
- 21) Какие элементы ПТ известны при нахождении азимута светила?
- 22) Что такое «четвертной азимут»? Как его перевести в круговой?
- 23) По какой формуле решается ПТ относительно азимута?
- 24) Сформулируйте правило котангенсов.
- 25) Как решается ПТ, если его элементы больше 90° ?
- 26) Требуется ли измерение высоты светила при нахождении его азимута?
- 27) Что такое «интерполяция» и «экстраполяция»? В каких случаях необходимо использовать эти методы в навигационной практике?
- 28) Поясните суть двухмерной интерполяции. Как она выполняется? Приведите примеры двухмерной интерполяции.
- 29) Поясните суть трехмерной интерполяции. Как она выполняется? Приведите примеры трехмерной интерполяции.
- 30) Как пользоваться ежедневными таблицами астрономических ежегодников?
- 31) Поясните правила работы с таблицами А, В, С сборника таблиц Norie's Nautical Tables. Какая интерполяция в них используется?
- 32) Поясните правила работы с основными таблицами Sight Reduction Tables. Какая интерполяция в них используется?
- 33) Назовите преимущества и недостатки применения интерполяции при работе с мореходными таблицами.
- 34) Чему равна поправка компаса при ее определении по небесному светилу?
- 35) Как определить, светило заходит или восходит в данный момент времени?
- 36) Какие специализированные программы могут заменить расчеты по навигационным таблицам?
- 37) Что такое «азимут» и как его определить?
- 38) Что такое «амплитуда» и как ее определить?
- 39) Как определить истинный азимут светила, зная амплитуду?
- 40) Какая формула используется при нахождении азимута и/или амплитуды солнца на заходе или восходе?
- 41) В чем преимущество определения поправки на восходе/заходе?
- 42) Назовите последовательность действий по нахождению азимута и/или амплитуды солнца на восходе/заходе?
- 43) Какие навигационные таблицы могут быть использованы для нахождения азимута и/или амплитуды солнца на восходе/заходе?
- 44) Как определить четверть, в которой находится амплитуда/азимут солнца на восходе или заходе?
- 45) Что такое «истинный восход/заход»? Когда он имеет место?
- 46) Что такое «видимый восход/заход»? Когда он имеет место?
- 47) Как использовать Bowditch Useful Tables при определении азимута/амплитуды солнца?
- 48) Как часто следует определять поправку компаса во время вахты?

4. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

КП оформляется на листах формата А4 (графический материал представляется на листах формата А3 или больших). Первый лист – титульный, далее следует лист содержания, основная часть (разделы 1, 2), список использованной литературы. К защите пояснительная записка КП представляется в сброшюрованном виде.

5. ОЦЕНИВАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Проект оценивается по 100-балльной шкале согласно таблице 5.1. Далее полученный балл переводится в национальную 4-балльную шкалу оценивания (90-100 – «отлично»; 75-89 – «хорошо»; 60-74 – «удовлетворительно»; <60 – «неудовлетворительно»).

Таблица 5.1 – Шкала оценивания курсового проекта

№ п/п	Предмет оценивания	Максимальный балл
1	Содержательная часть работы	50
2	Оформление и качество графического материала	20
3	Защита работы	30
	Проходной/максимальный балл	60/100

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Admiralty Ocean Passages For The World NP 136. 5th edition. — London: United Kingdom Hydrographic Office, 2004. — 423 p.
2. NORIE'S NAUTICAL TABLES by Capt. A. G. Blance. –London: Imray, Laurie, Norie & Wilson Ltd; Revised edition, 2007. – 600 p.
3. Анализ и обработка навигационных измерений: учеб. пособие / Л.Е. Курочкин. — Москва : Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2019. — 128 с. - Текст : электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/1017996>
4. Brown's nautical almanac (Навигационный ежегодник Брауна)/ Edited by T. Nigel Brown. – Brown, Son and Ferguson, LTD. Nautical Printers (необходимые годы).
5. The American Practical Navigator. 2002 BICENTENNIAL EDITION/ Originally by Nathaniel Bowditch. – NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY, Bethesda, Maryland. – 880 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Образец титульного листа

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Морской институт

(наименование института полностью)

Кафедра «Судовождение и безопасность судоходства»

(наименование кафедры полностью)

26.05.05 Судовождение

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Судовождение на морских путях

(наименование профиля/специализации)

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине

Математические основы судовождения

(наименование дисциплины)

на тему Использование математических методов в судовождении

при обеспечении морского перехода по маршруту de Cabo Verde– Delaware Bay

Выполнил: обучающийся

группы С/с–16-2-о

Д.А. Петров (з/к 152355)

(инициалы, фамилия, номер зачетной книжки)

«23» декабря 2020 г.

Научный руководитель:

С.А. Подпорин

(инициалы, фамилия)

«___» _____ 2020 г.

Оценка: _____

«___» _____ 2020 г.

Севастополь
2019

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Образец листа задания

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Морской институт

(наименование института полностью)

Кафедра «Судовождение и безопасность судоходства»

(наименование кафедры полностью)

26.05.05 Судовождение

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Судовождение на морских путях

(наименование профиля/специализации)

Курс 5 Группа С/с-16-2-о Семестр 9

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

обучающегося Петрова Даниила Александровича
 (фамилия, имя, отчество)

- Тема проекта Использование математических методов в судовождении при обеспечении морского перехода по маршруту de Cabo Verde– Delaware Bay
- Срок сдачи обучающимся законченного проекта 23 декабря 2020
- Исходные/входные данные к проекту

Вариант задания к разделу 1:

Координаты точек маршрута:

A (de Cabo Verde) – 17°00'N; 24°27'W;

B (Delaware Bay) – 38°48'N; 75°02'W.

Вариант задания на раздел 2:

Celestial Body	Antares				Moon				Sun @ sunset			
Location	Appr. to New Orleans				Approach to Adelaide				Approach to Constanta			
Position (φ/λ)	N	29°:43'	W	88°:45'	S	35°:03'	E	138°:09'	N	44°:10'	E	29°:00'
Date/UT	May 02, 2019		5:19:00		Apr 15, 2019		16:20:00		Apr 15, 2019			
BRN/Mag. declination	147°		1.0°W		285°		8°E		279°		5.2°E	

- Содержание пояснительной записки (перечень вопросов, подлежащих разработке)

Раздел 1. Расчет трансокеанского перехода судна

Раздел 2. Расчет азимутов небесных светил

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)
- *Графическая прокладка маршрута перехода по ДБК и локсодромии;*
 - *небесная сфера с обозначенными элементами параллактического треугольника при определении азимута звезды;*
 - *небесная сфера с обозначенными элементами параллактического треугольника при определении азимута луны;*
 - *небесная сфера при определении азимута солнца на заходе.*

6. Дата выдачи задания 16 сентября 2020 года

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов выполнения курсового проекта	Срок выполнения этапов курсового проекта	Примечания
1	Расчет перехода судна по локсодромии и ДБК	20.10.2020	
2	Расчет перехода судна по хордам ДБК	30.10.2020	
3	Определение поправки компаса по звезде	10.11.2020	
4	Определение поправки компаса по луне	20.11.2020	
5	Определение поправки компаса по заходу солнца	30.11.2020	
6	Оформление графической части	05.12.2020	
7	Защита работы	23.12.2020	

Обучающийся _____ Петров Д.А.
(фамилия, инициалы)

(подпись)

Руководитель курсового проекта Подпорин С.А., зав. кафедрой СБС
(фамилия, инициалы, должность)

(подпись)

«16» сентября 2020 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Пример выполнения раздела 2

TASK 0 (example)

Celestial Body	Sirius		Venus		Sun @ sunset	
Location	Approach to Sevastopol		Approach to Mollendo		The Sea of Marmara	
Position (ϕ/λ)	N 44°:30'	E 33°:10'	S 17°:32'	W 72°:50'	N 40°:40'	E 28°:20'
Date/UT	Mar 1, 1999	19:30:00	Feb 08, 2011	8:58:00	June 13, 2011	
BRN/Variation	204.5°	4.5°E	109.5°	2.5°W	299°	4.6°E

I. Compass error by observation of a star

Problem to be solved

On March 1, 1999 at 19:30 UT in the Black Sea near Sevastopol the star Sirius was observed to have bearing 204.5°. Ship's position as determined by GPS was N44°30'; E33°10'. Find the compass error and deviation. Magnetic variation is 4.5°E.

SOLUTION

Step 1. GIVEN DATA

Sirius (star)	ϕ	44°:30' N	Day:	01 March, 1999	Var:	4,5
	λ	33°:10' E	UT:	19:30:00	BRN:	204,5

Step 2

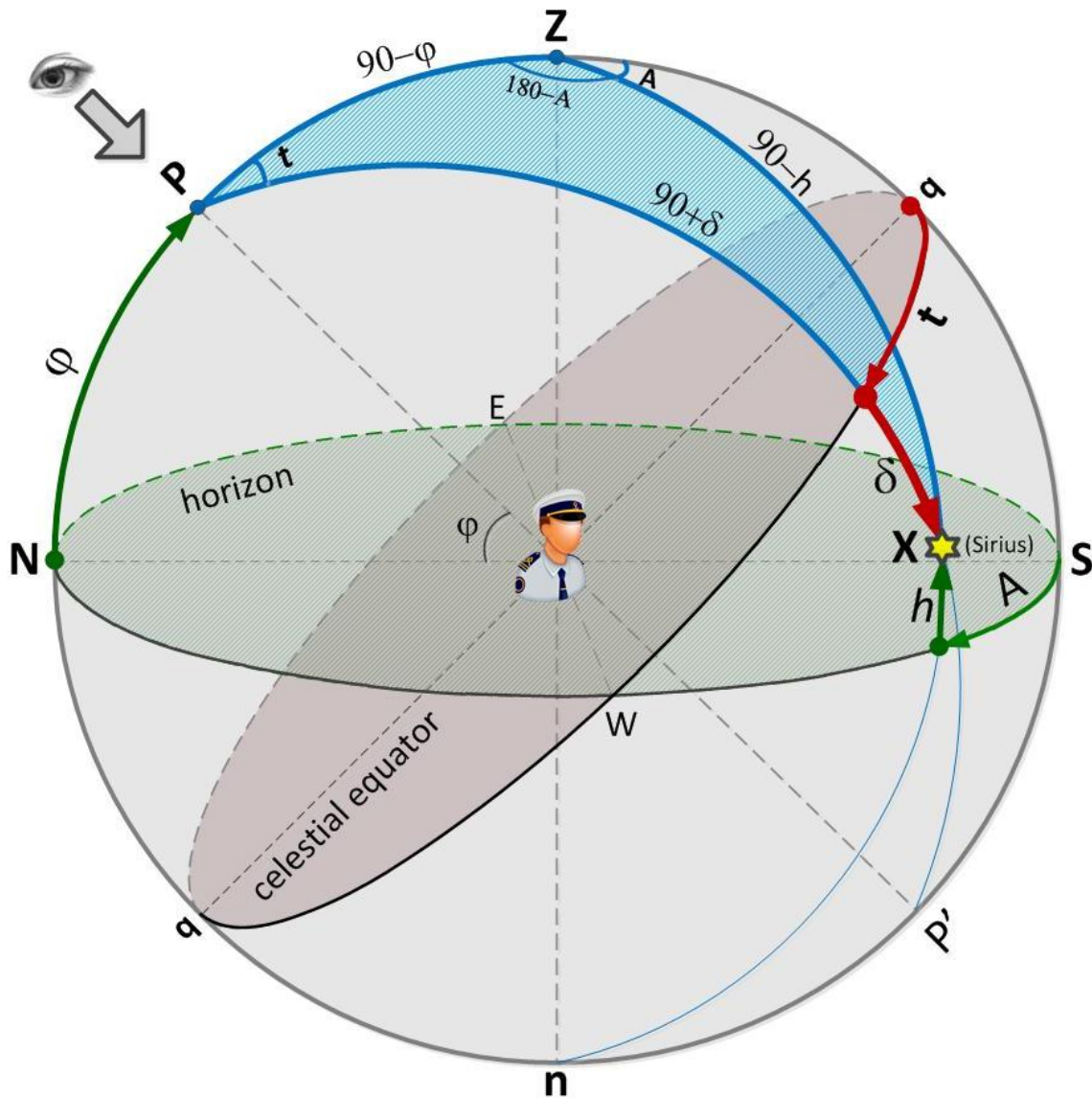
Using the nautical almanac for the year 1999 and correct time and date, find the Local Hour Angle (LHA) and Declination (Dec) of the star Sirius as follows:

GHA_Υ	at 19:00	=	84°:08'	Dec_{sirius}	=	16°:43' S	(-)
increment	for 30m00s	=	7°:31'				
GHA_Υ		=	91°:39'				
SHA_{sirius}		=	258°:43'				
GHA_{sirius}		=	350°:22'				
λ (East)		=	33°:10'				
LHA_{sirius}		=	383°:32'				
subtract 360 if > 360°		LHA_{sirius}	=	23°:32'			

Body is **SETTING** (LHA lies within 0-180 °)

Step 3

Draw the celestial sphere for the task:



P - North celestial pole

Z - Zenith

X - Body's position on celestial sphere

φ - Latitude

A - Azimuth of the body

h - Altitude of the body

δ - Declination of the body

t - Local hour angle (LHA) of the body

Step 4

Solve the celestial triangle PZX to find Azimuth of the Celestial Body using cotangent formula

$$\cot(180 - A) * \sin t = \cot(90 + \delta) * \sin(90 - \varphi) - \cos(90 - \varphi) * \cos t$$

$$\cot(180 - A) = \frac{\cot(90 + \delta) * \sin(90 - \varphi) - \cos(90 - \varphi) * \cos t}{\sin t}$$

$$\cot(180 - A) = \frac{-\tan \delta * \cos \varphi - \sin \varphi * \cos t}{\sin t}$$

$$\begin{aligned} \tan \delta &= 0,300 \\ \sin t &= 0,399 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= 0,713 \\ \cos t &= 0,917 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= 0,701 \\ \cot(180^\circ - A) &= -2,146 \end{aligned}$$

$$180^\circ - A = -25,0$$

$$\boxed{A = 205,0}$$

Step 5

Use Norie's ABC tables to find Azimuth of the Celestial Body

Use Latitude and LHA to find A-value from A-table:

$$A = -2,23 \quad (\text{named opposite to Latitude unless LHA is within } 90^\circ \text{ to } 270^\circ)$$

Use Declination and LHA to find B-value from B-table:

$$B = -0,73 \quad (\text{named the same as Declination})$$

Find C as algebraic sum of A and B:

$$C = -2,96$$

Enter C-table with C-value to find Azimuth

$$Az = S25,2^\circ W \text{ in quadrantal notation}$$

$$Az = 205,2^\circ \text{ in circular notation}$$

Quadrant is named as C ("+" means "N", "-" means "S") and LHA ("E" if the body is rising, "W" if the body is setting).

Step 6

Use SkyMate Pro software to check yourself:

The screenshot shows the SkyMate Pro software interface. At the top, there's a menu bar (File, Almanac, Navigation, Tools, Windows, Help) and a toolbar with various icons. Below the toolbar, there are input fields for Latitude (00-00.0 N), Longitude (000-00.0 E), Course (000.0), Speed (0.0), Date/Time (aer 07 2013 23:05:00), and other parameters. A red box highlights the 'Map 01 1999 19:30:00' field. Another red box highlights the 'Latitude 44-30.0 N' and 'Longitude 033-10.0 E' fields. A third red box highlights the 'Body' dropdown menu, which is set to 'Sirius'. Below these fields, there are tabs for 'Almanac', 'Transit', and 'Compass Error'. The 'Compass Error' tab is selected, showing a 'Bearing Check' section with 'Observed Bearing' (204.5 pgc), 'True Bearing' (205.0 T), and 'Gyro Error' (0.5 E pgc). The 'True Bearing' value is circled in red. To the right, there's a 'Vessel Heading' section with 'Gyro Heading' (100.0 pgc) and 'True Heading' (100.5 T). Below these, there's a 'Standard Compass' section with 'Magnetic Heading' (100.0 psc), 'Variation' (4.5 E), 'Compass Error' (0.5 E), and 'Deviation' (4.0 W). An 'Options' section on the right has checkboxes for 'Manual compass error check' (checked) and 'Use Magnetic compass only' (unchecked). A 'Calc Compass Error' button is at the bottom right.

Step 7

Find compass error Δ and deviation of the magnetic compass δ_{mc} :

$$\Delta = Az - BRN = 0,5 = 0,5^\circ E$$

$$\delta_{mc} = \Delta - Var = -4,0 = 4^\circ W$$

II. Compass error by observation of a planet

Problem to be solved

On February 8, 2011 at 08:58 UT in the Pacific ocean near the coast of Peru (Mollendo) planet Venus was observed to have bearing 110° . Ship's position as determined by GPS was $S17^\circ32'$; $W72^\circ50'$. Find the compass error and deviation of the magnetic compass. Magnetic variation for the year 2011 is $2.5^\circ W$.

SOLUTION

Step 1. GIVEN DATA

Venus (planet)	ϕ	$17^\circ:32' \text{ S}$	Day:	08 February, 2011	Var:	-2,5
	λ	$72^\circ:50' \text{ W}$	UT:	8:58:00	BRN:	110

Step 2

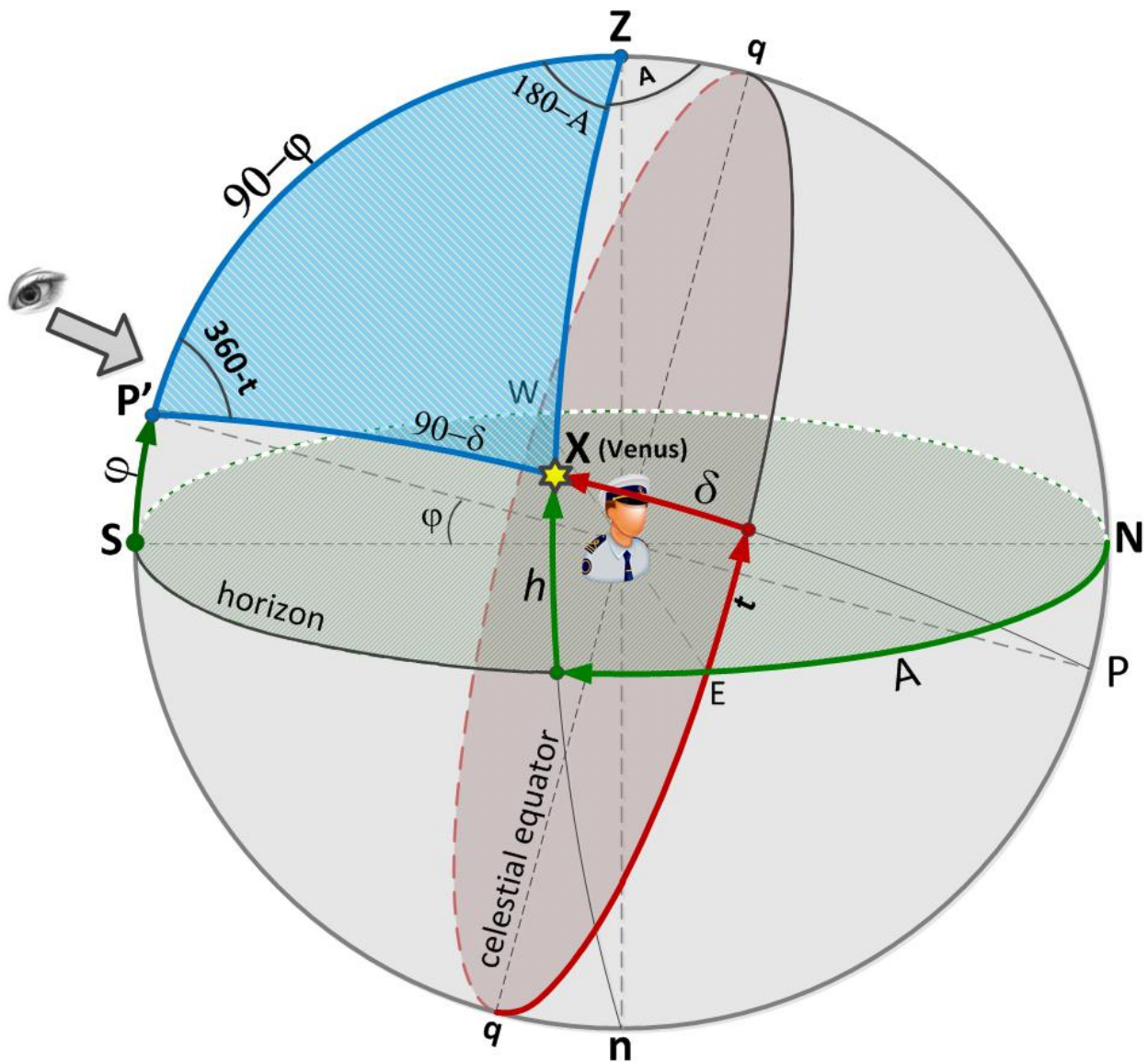
Using a nautical almanac for the year 2011 and correct time and date, find the Local Hour Angle (LHA) and Declination (Dec) of the planet as follows:

$v = 0.6$				$d = 0.1$			
GHA_{venus}	<i>at</i>	8:00	=	343°:06'	Dec_{venus}	=	21°:07' S
increment	<i>for</i>	58m00s	=	14°:30'	d-cor	=	0°:00'
v-cor			=	0°:01'	Dec_{venus}	=	21°:07' S (-)
GHA_{venus}			=	357°:37'			
λ (West)			=	72°:50'			
LHA_{venus}			=	284°:47'			
<i>subtract 360 if > 360°</i>			LHA_{venus}	=	284°:47'		

Body is **RISING** (LHA lies within 180-360 °)

Step 3

Draw the celestial sphere for the task:



P - North celestial pole

Z - Zenith

X - Body's position on celestial sphere

φ - Latitude

A - Azimuth of the body

h - Altitude of the body

δ - Declination of the body

t - Local hour angle (LHA) of the body

Step 4

Solve the celestial triangle PZX to find Azimuth of the Celestial Body using cotangent formula

$$\cot(180 - A) * \sin(360 - t) = \cot(90 - \delta) * \sin(90 - \varphi) - \cos(90 - \varphi) * \cos(360 - t)$$

$$\cot(180 - A) = \frac{\cot(90 - \delta) * \sin(90 - \varphi) - \cos(90 - \varphi) * \cos(360 - t)}{\sin(360 - t)}$$

$$\cot(180 - A) = - \frac{\tan \delta * \cos \varphi - \sin \varphi * \cos t}{\sin t}$$

$$\tan \delta = 0,386$$

$$\sin t = -0,967$$

$$\cos \varphi = 0,954$$

$$\cos t = 0,255$$

$$\sin \varphi = 0,301$$

$$\cot(180^\circ - A) = 0,301$$

$$180^\circ - A = 73,2$$

$$\boxed{A = 106,8}$$

Step 5

Use Norie's ABC tables to find Azimuth of the Celestial Body

Use Latitude and LHA to find A-value from A-table:

$$A = 0,08 \quad (\text{named opposite to Latitude unless LHA is within } 90^\circ \text{ to } 270^\circ)$$

Use Declination and LHA to find B-value from B-table:

$$B = -0,4 \quad (\text{named the same as Declination})$$

Find C as algebraic sum of A and B:

$$C = -0,32$$

Enter C-table with C-value to find Azimuth

$$Az = S73^\circ E \quad \text{in quadrantal notation}$$

$$Az = 107^\circ \quad \text{in circular notation}$$

Quadrant is named as C ("+" means "N", "-" means "S") and LHA ("E" if the body is rising, "W" if the body is setting).

Step 6

Use SkyMate Pro software to check yourself:

SkyMate Pro: Navigator's Almanac

File Almanac Navigation Tools Windows Help

Lat 00-00,0 N Long 000-00,0 E Cse 000,0 Spd 0,0 Date/Time: abr 13 2013 11:41:00 LT 00 E

Body: [Venus]

Time Display: Feb 08 2011 08:58:00 UT ZD 00 E

Position: Latitude 17-32,0 S Longitude 072-50,0 W

Celestial Menu: Category Sun/Moon/Planets Body Venus

Almanac Transit Compass Error

Bearing Check: Observed Bearing 109,0 psc True Bearing 106,0 T Compass Error 3,0 W psc

Vessel Heading: Magnetic Heading 000,0 psc True Heading 357,0 T

Standard Compass: Variation 2,0 W Compass Error 3,0 W Deviation 1,0 W

Options: ☒ Manual compass error check ☒ Use Magnetic compass only

Calc Compass Error

Step 7

Find compass error Δ and deviation of the magnetic compass δ_{mc} :

$$\Delta = Az - BRN = -3,2 = 3,2^\circ W$$

$$\delta_{mc} = \Delta - Var = -0,7 = 0,7^\circ W$$

III. Compass error by observation of sun at sunset

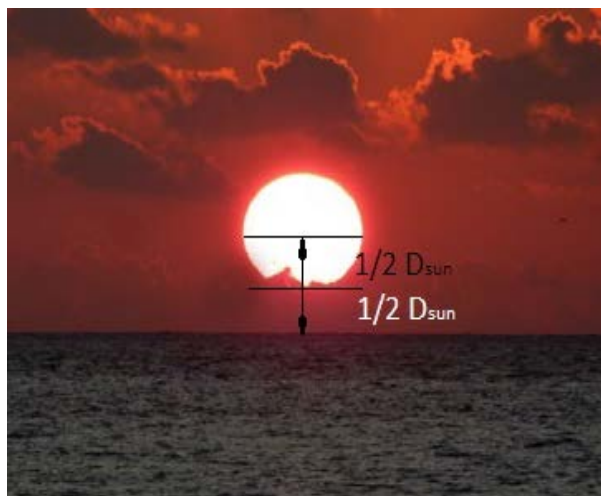
Problem to be solved

On June 13, 2011 in the Sea of Marmara sunset was observed at 299° . The position obtained by GPS was $N40^\circ40'$; $E28^\circ20'$. Find the compass error and deviation of the magnetic compass. Magnetic variation is

SOLUTION

Step 1. GIVEN DATA

Sun at sunset φ 40°:40' N
 λ 28°:20' E
 Day: 13 June, 2011
 BRN: 299,0
 Var: 4,6



Observation of Sun at sunset

Step 2

Use a nautical almanac for the year 2011 and correct date to find the Local Mean Time (LMT) of sunset and its UT:

LMT_{sunset}	=	19:32
λ (east)	=	28:20:00 E
λ in hour notation	=	1:53:20 E
UT_{sunset}	=	17:38:40

Step 3

Use the nautical almanac for the correct date and UT to find the declination of Sun:

$$\text{Dec}_{\text{sun}} = 23^{\circ}:13' \text{ N}$$

Step 4

Use the trigonometric formula to find the Amplitude of Sun and its Azimuth:

$$\sin Amp = \frac{\sin DEC}{\cos LAT}$$

sinDEC = 0,394 cosLAT = 0,759 sinAmp = 0,520
Amp = 31,31

Amp = W31.3°N in quadrantal notation

$Az = 270^\circ + Amp = \boxed{301,3}$ in circular notation

Quadrant is named "E" if Sun is rising ("W" if setting) and "N"/"S" the same as declination.

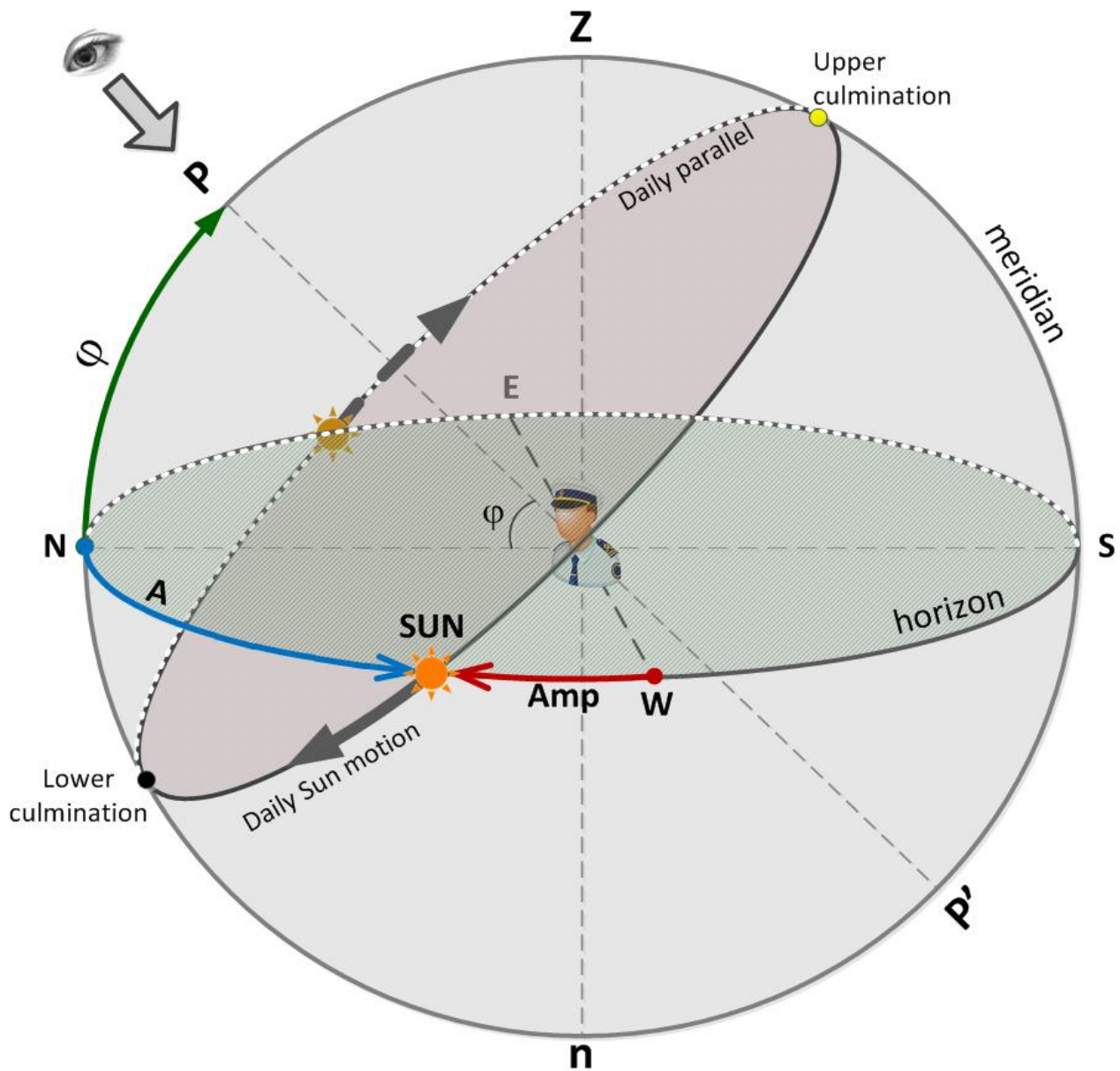
Step 5

Find compass error Δ and deviation of the magnetic compass δ_{mc} :

$$\begin{array}{lcl} \Delta = Az - BRN & = & 2,3 = \mathbf{2,3^{\circ} E} \\ \delta_{mc} = \Delta - Var & = & -2,3 = \mathbf{2.3^{\circ} W} \end{array}$$

Step 6

Draw the celestial sphere for the amplitude task:



P - North celestial pole

P' - South celestial pole

Z - Zenith

A - Azimuth of Sun at sunset

Amp - Amplitude of Sun at sunset

ϕ - Latitude

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СУДОВОЖДЕНИИ

*Методические указания
к курсовому проектированию*

Составители: **Подпорин** Сергей Анатольевич, **Закурдаев** Геннадий Алексеевич,
Иваницкий Павел Григорьевич, **Аркин** Леонид Владимирович

В авторской редакции

Изд. № 99/2020. Объем 2,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»