

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 расчетно-графической работе
по дисциплине
«Математические основы судовождения»
для студентов очной и заочной форм обучения
специальности
26.05.05 «Судовождение»

Севастополь
СевГУ
2026

УДК 656.61.052:519.6(075.8)
ББК 39.471:22.1 я73
И883

Р е ц е н з е н т :

А. Ю. Петрушечкин - доцент кафедры СБС, капитан дальнего плавания

Ответственный за выпуск:

А. Р. Аблаев - канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Судовождение и безопасность судоходства»

Составители: В. В. Захаров, П. А. Бугаёв

И883 Использование математических методов в судовождении :
методические указания к расчетно-графической работе по дисциплине
«Математические основы судовождения» для студентов очной и заочной
форм обучения специальности 26.05.05 «Судовождение» /
Севастопольский государственный университет ; сост.: В. В. Захаров,
П. А. Бугаёв. – Севастополь : СевГУ, 2026. – 50 с. – Текст : электронный.

Целью методических указаний является предоставление студентам необходимой методической помощи при выполнении расчетно-графической работы по дисциплине «Математические основы судовождения».

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по специальности 26.05.05 – «Судовождение».

УДК 656.61.052:519.6(075.8)
ББК 39.471:22.1 я73

Рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры «Судовождение и безопасность судоходства», протокол № 6 от 15 апреля 2026 г.

© Захаров В. В., Бугаёв П. А., сост., 2026
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Расчет азимутов небесных светил	6
2. Расчет трансокеанского перехода судна	16
3. Содержание и оформление	30
4. Оценивание курсового проекта	31
Библиографический список.....	32
Приложение А. Образец титульного листа	33
Приложение Б. Образец листа задания.....	34
Приложение В. Пример выполнения раздела 2	35

ВВЕДЕНИЕ

Расчетно-графическая работа 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 выполнения расчетно-графической работы.

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 расчетно-графической работе с использованием математических методов решаются две актуальные для современного судоводителя задачи.

Первый раздел расчетно-графической работы включает математическое решение задачи определения азимутов светил методами сферической тригонометрии. Суть работы заключается в решении параллактических треугольников и нахождении азимутов наблюдаемых светил с целью последующего определения поправки компаса для разных случаев наблюдений.

Во втором разделе решается задача расчета перехода судна двумя

способами: дуге большого круга (ДБК, ортодромии) и по локсодромии.

Расчет путевых точек перехода по ДБК через равный долготный интервал ведется методами сферической тригонометрии. 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.

Суть работы заключается в построении маршрута перехода на сферической поверхности с использованием угловых координат местоположения точки А ($\varphi_n; \lambda_n$) начала движения в точку прихода В ($\varphi_k; \lambda_k$) и выполнении предварительной прокладки трансокеанского перехода судна на Меркаторской проекции.

Рассчитанные с помощью сферической тригонометрии координаты путевых точек переносятся на плоскость с учетом искажений заданной проекции. При выполнении предварительной прокладки направления между двумя путевыми точками должны соответствовать рассчитанным значениям, а расстояния исказиться пропорционально косинусу средней широты $\varphi_{ср}$.

Построение осуществляется с использованием графического редактора GeoGebra Classic. Правильность расчетов и построений подтверждается при выполнении предварительной прокладки на плоскости путем измерения направления в заданную точку. Измеренное направление, выраженное в градусах должно совпадать с рассчитанным значением.

1. РАСЧЕТ АЗИМУТОВ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

1.1. 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.

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 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.

1.2. Задание на раздел 1

Содержание:

- 1.1 Исходные данные.
- 1.2 Определение азимута светила.
 - 1.2.1 Определение местного часового угла (LHA) и склонения (Declination) светила по альманаху.
 - 1.2.2 Решение параллактического треугольника и нахождение азимута.
- 1.3 Определение азимута по таблицам Norie's Nautical Tables.
- 1.4 Определение азимута с помощью компьютерной программы (с представлением скриншота).

Варианты заданий являются индивидуальными и выдаются преподавателем в начале семестра. Каждому студенту на разбор представлена ситуация наблюдения звезды или планеты с указанием координат и времени места наблюдения. Образец варианта приведен на рисунке 1.1.

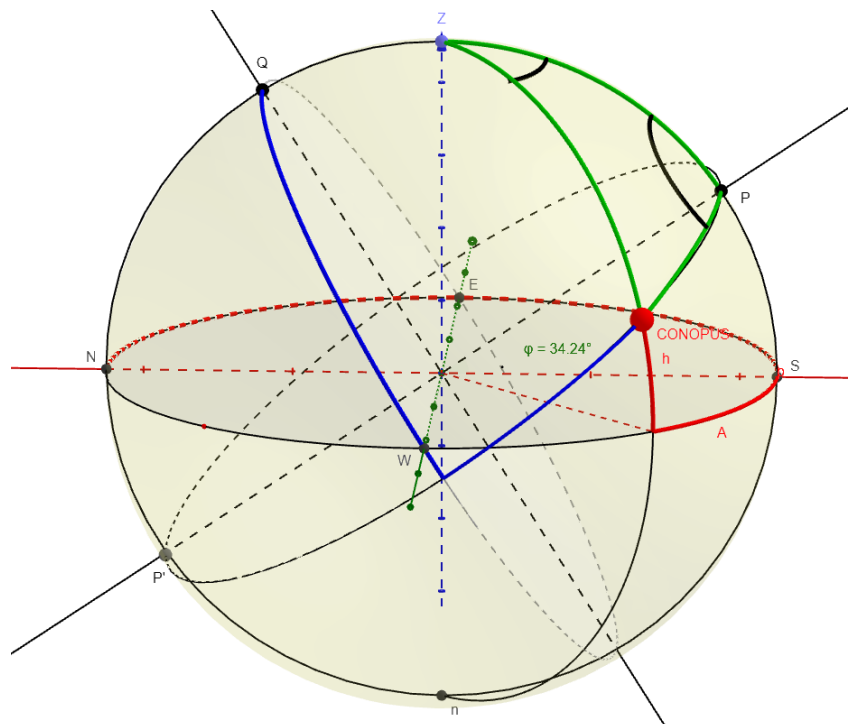


Рисунок 1.1 – Образец варианта задания на 1 раздел РГР

1.3. Последовательность выполнения раздела

Небесная сфера построена в горизонтной системе координат (наблюдатель (O) – в центре, Зенит – вверху, взгляд направлен сверху). Для её построения необходимо:

1. Сориентировать полуденную линию NS так, чтобы светило было на видимой стороне сферы: N справа, если $BRN(A) = 0 \div 180^\circ$; N слева, если $BRN(A) = 180^\circ \div 360^\circ$.

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:

4. P – северный полюс мира (будет вверху в северном полушарии) и P – южный ПМ (будет вверху в Южном). Обозначить дугу NP (или SP).

5. Определить направление взгляда на сферу: со стороны верхнего полюса. Построить линию EW (восток-запад) на плоскости горизонта в соответствии с направлением взгляда.

6. 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.

7. Перпендикулярно оси мира через центр сферы провести экваториальную ось. Далее нарисовать небесный экватор QQ', проходящий через эту ось и точки E и W.

8. 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.

9. 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.

10. 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 отсчитываться противоположно северному полюсу, и наоборот. Дуга PX при этом будет больше 90° .

Для выполнения задания необходимо:

1. На небесной сфере обозначить углы и стороны параллактического треугольника для использования их значений в формуле для определения азимута светила.
2. Используя альманах, найти координаты светила – местный часовой угол (LHA) и склонение (Declination) согласно последовательности, представленной в подразделе 1.4.
3. Решить параллактический треугольник относительно азимута светила по формуле котангенсов. Вывести итоговое значение азимута.
4. Определить азимут по таблицам Нори согласно последовательности, представленной в подразделе 1.5. При использовании таблиц необходимо корректно применить интерполяцию.
5. Проверить расчет, воспользовавшись компьютерной программой.

1.4 Последовательность работы с альманахом при нахождении азимутов 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 1.2.

2. К найденному значению GHA прибавить минутный инкремент (инкременты представлены отдельными таблицами – см. пример на рисунке 1.3.)

(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 $180^\circ - 360^\circ$; заходящее (Setting), если LHA в пределах $0 - 180^\circ$.

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	Achemar	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 1.2 – 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 1.3 – Определение минутного инкремента на 24 минуты и поправки
склонению (d-correction)

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

1. По значению ЛНА и широты найти коэффициент А из таблицы А (см. рисунок 1.4). При необходимости сделать интерполяцию. Знак коэффициента А берется противоположно широте, кроме случаев, когда ЛНА находится в пределах 90°–270°;

2. По значению ЛНА и склонения найти коэффициент В из таблицы В (см. рисунок 1.5). При необходимости сделать интерполяцию. Знак коэффициента В берется такой же, как склонение светила.

3. Вычислить коэффициент С как алгебраическую сумму А и В.

4. По значению коэффициента С и широты зайти в таблицу С (см. рисунок 1.6) Определить четвертной азимут. При необходимости сделать интерполяцию.

5. Определить четверть, в которой лежит найденный азимут. Точка, откуда ведется отсчет, определяется по знаку коэффициента С (отсчет идет от

точки “N”, если С имеет знак «+», и от точки “S”, если С 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°	

Hour Angle is between 90° and 270°

Рисунок 1.4 – Пример нахождения коэффициента А

TABLE B HOUR ANGLE																	
Dec °	60° 300°	61° 299°	62° 298°	63° 297°	64° 296°	65° 295°	66° 294°	67° 293°	68° 292°	69° 291°	70° 290°	71° 289°	72° 288°	73° 287°	74° 286°	75° 285°	Dec °
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	06	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	16	16	9
10	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	18	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	37	37	37	36	36	36	35	35	35	35	35	34	34	34	34	34	18
19	40	39	39	39	38	38	38	37	37	37	37	36	36	36	36	36	19
20	42	42	41	41	41	40	40	40	39	39	39	39	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	59	59	58	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	71	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	100	99	98	98	97	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	90	41
42	104	103	102	101	100	99	99	98	97	96	96	95	95	94	94	93	42
43	108	107	106	105	104	103	102	101	101	100	99	99	98	98	97	97	43
44	111	110	109	108	107	107	106	105	104	103	103	102	102	101	100	100	44
45	115	114	113	112	111	110	110	109	108	107	106	106	105	105	104	104	45
46	120	118	117	116	115	114	113	112	112	111	110	110	109	108	107	107	46
47	124	123	122	120	119	118	117	116	115	114	113	113	112	112	111	111	47
48	128	127	126	125	124	122	122	121	120	119	118	117	117	116	116	115	48
49	133	132	130	129	128	127	126	125	124	123	122	122	120	120	120	119	49
50	138	136	135	134	133	131	131	129	129	128	127	126	125	125	124	123	50
51	143	141	140	139	137	136	135	134	133	132	131	131	130	129	128	128	51
52	148	146	145	144	142	141	140	139	138	137	136	135	135	134	133	133	52
53	153	152	150	149	148	146	145	144	143	142	141	140	140	139	138	137	53
54	159	157	156	155	153	152	151	150	148	147	146	146	145	144	143	142	54
55	165	163	162	160	159	158	156	155	154	153	152	151	150	149	149	148	55
56	171	170	168	166	165	164	162	161	160	159	158	157	156	155	154	154	56
57	178	176	174	173	171	170	169	167	166	165	164	163	162	161	160	160	57
58	185	183	181	180	178	177	175	174	173	171	171	169	168	167	166	166	58
59	192	190	189	187	185	184	182	181	179	178	177	176	175	174	173	172	59
60	200	198	196	194	193	191	189	188	187	186	184	183	182	181	180	179	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°	

Always named the same as Declination

Always named the same as Declination

TABLE C																	
A ± B = 1° 80' 1° 84'		1° 88' 1° 92'		1° 96' 2° 00'		A & B CORRECTION						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 1.6 – Пример нахождения азимута через коэффициент С

1.6 Контрольные вопросы

- 1) Дайте определение следующим терминам: «истинный горизонт», «отвесная линия», «полнос 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) Что такое «местный часовой угол», «склонение», «прямое восхождение»?
- 5) Как получить местный часовой угол светила, зная гринвичский?
- 6) Под каким углом виден полюс мира в горизонтной системе координат?
- 7) Откуда идет отсчет местных часовых углов?
- 8) Назовите вершины параллактического треугольника.
- 9) Как следует ориентировать линию NS при построении небесной сферы для решения конкретной задачи?
- 10) Откуда следует откладывать истинный азимут светила?
- 11) Как проверить правильность построения небесной сферы?

- 12) Можно ли в северном полушарии видеть южные светила и наоборот?
- 13) Назовите вершины и стороны параллактического треугольника (ПТ).
- 14) В чем измеряются элементы ПТ?
- 15) Для чего требуется решение параллактического треугольника?
- 16) Какие элементы ПТ известны при нахождении азимута светила?
- 17) Что такое «четвертной азимут»? Как его перевести в круговой?
- 18) По какой формуле решается ПТ относительно азимута?
- 19) Сформулируйте правило котангенсов.
- 20) Что такое «интерполяция» и «экстраполяция»? В каких случаях необходимо использовать эти методы в навигационной практике?
- 21) Как пользоваться ежедневными таблицами астрономических ежегодников?
- 22) Поясните правила работы с таблицами А, В, С сборника таблиц Norie's.
- 23) Nautical Tables. Какая интерполяция в них используется?
- 24) Что такое «азимут» и как его определить?

2. РАСЧЕТ ТРАНСОКЕАНСКОГО ПЕРЕХОДА СУДНА

2.1 Общая характеристика и цель выполнения раздела

При плавании на большие расстояния (например, через океан) на этапе проработки 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;

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).

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

2.2 Задание на раздел 2

Содержание

- 1.1 Раздел включает проработку следующих вопросов:
- 1.2 Постановка задачи
- 1.3 Расчет плавания по ДБК и Локсодромии.
- 1.4 Вычисление начального ортодромического курса.
- 1.5 Замена ортодромии прямолинейными участками и вычисление координат путевых точек.
- 1.6 Графическое построение маршрута перехода и сферического треугольника.
- 1.7 Расчет прямолинейных участков ДБК
- 1.8 Составление плана перехода
- 1.9 Графическое построение маршрута перехода на меркаторской проекции.
- 1.10 Проверка расчетов в программе Sky Mate Pro 2012

2.3 Методические рекомендации выполнения раздела 2

Основными заданиями в разделе 2 являются графическое построение сферы и положения объектов на сфере с использованием географических координат, т.е. определяющее положение точки на Земной поверхности задаётся с помощью широт и долгот: углами, измеренными от начала координат в заданной системе координат. Такой системой координат будут являться меридианы и параллели, а началом координат является центр сферы.

Первая задача в разделе 2 необходимо определить какое расстояние между двумя объектами является кратчайшим, учитывая то, что таким расстоянием на сфере является дуга большого круга, который в свою очередь лежит в плоскости, проходящей через центр сферы.

Вторая задача в разделе 2 является перенос объектов со сферической поверхности на плоскость, которой является Меркаторская проекция. При этом положение объектов на плоскости будут определяться не углами, а расстояниями, выраженными в экваториальных милях.

Целью этого задания является подтверждение сохранения направлений при переходе от сферической поверхности к плоской, а искажение расстояний будет пропорционально косинусу средней шроты между объектами.

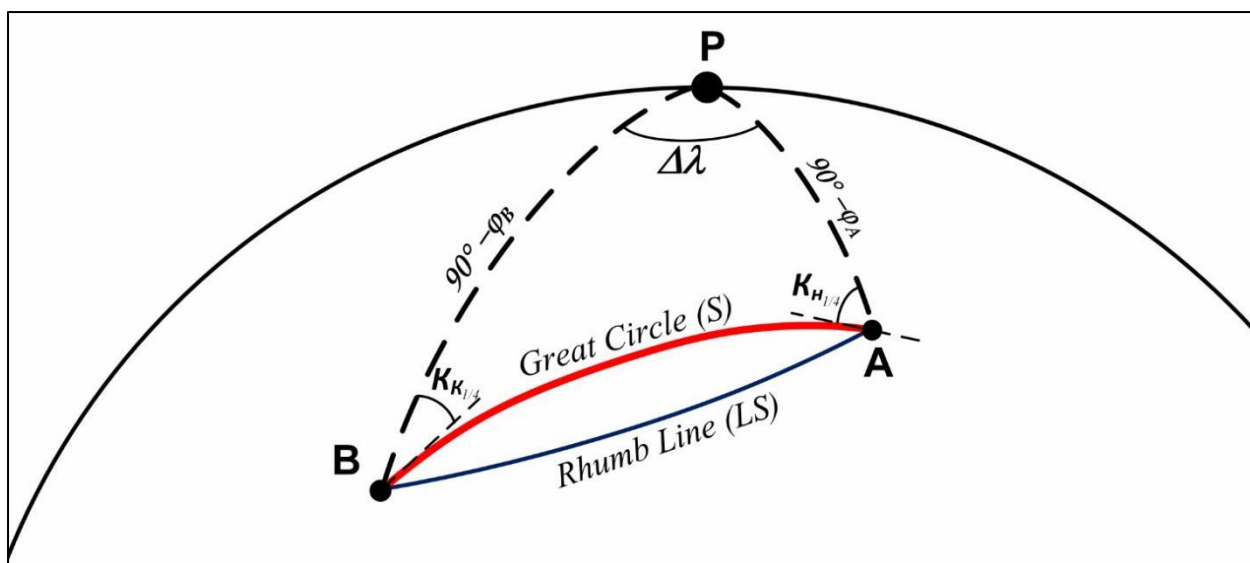


Рисунок 2.1 – Сферический треугольник PAB

Определяем разность широт, разность долгот, разность меридиональных частей и среднюю широту между точками А и В в минутах.

$$\Delta\varphi' = \varphi_B - \varphi_A; \Delta\lambda' = \lambda_B - \lambda_A; \text{РМЧ}' = \text{МЧВ} - \text{МЧА}; \varphi_{\text{ср}} = \frac{\varphi_B + \varphi_A}{2}$$

Находим истинный четвертной локсодромический курс A_4^1 с учетом знаков $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ и переводим его в круговой:

$$A_4^1 = \arctg\left(\frac{\Delta\lambda'}{\text{РМЧ}'}\right)$$

Локсодромический курс Клок в круговом счете выбирается из условий:

- если $A_4^1 > 0$, то $A' = A_4^1$,
- если $A_4^1 < 0$, то $A' = A_4^1 + 180^\circ$,
- если $\Delta\lambda > 0$, то Клок = A' ,
- если $\Delta\lambda < 0$, то Клок = $A' + 180^\circ$

Рассчитываем длину локсодромии на сфере, мили:

$$S'_{\text{лок}} = \frac{\Delta\varphi'}{\cos A_4^1}$$

Длину ортодромии в градусах вычислим по формуле косинусов из сферического треугольника РАВ для северного полушария (рисунок 2.1).

По формуле косинусов:

$$\begin{aligned} \cos D_{\text{орт}} &= \cos PA \cdot \cos PB + \sin PA \cdot \sin PB \cdot \cos \Delta\lambda = \\ &= \cos(90^\circ - \varphi_A) \cdot \cos(90^\circ - \varphi_B) + \sin(90^\circ - \varphi_A) \cdot \sin(90^\circ - \varphi_B) \cdot \cos \Delta\lambda \end{aligned}$$

Длина ортодромии в градусах определится через арккосинус полученного значения.

Длину ортодромии $S_{\text{орт}}$ рассчитаем по формуле, мили:

$$S_{\text{орт}} = 60,0 \cdot D_{\text{орт}}.$$

Сравнение длины локсодромии и ортодромии

$$\Delta\% = \left(\frac{S'_{\text{лок}} - S_{\text{орт}}}{S_{\text{орт}}} \right) \cdot 100\%$$

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

Вычислим четвертной начальный курс по ДБК Аорт, который соответствует $\angle A$ сферического треугольника РАВ (рис. 2.1) по формуле котангенсов:

$$A_{орт} = \arctg \cdot \left(\frac{\sin \Delta \lambda}{(\operatorname{tg} \varphi_B \cdot \cos \varphi_A - \cos \Delta \lambda \cdot \sin \varphi_A)} \right)$$

Ортодромический курс Корт выбирается из условий:

- если $A_{орт} > 0$, то $A' = A_{орт}$,
- если $A_{орт} < 0$, то $A' = A_{орт} + 180^\circ$,
- если $\sin \Delta \lambda > 0$, то $K_{орт} = A'$,
- если $\sin \Delta \lambda < 0$, то $K_{орт} = A' + 180^\circ$

Все рассчитанные значения заполняются в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сводная таблица полученных результатов

φ_A		λ_A		$\varphi_{ср}$		$S_{лок}$	
φ_B		λ_B		$MЧ_n$		$D_{орт}$	
$\Delta \varphi$		$\Delta \lambda$		$MЧ_k$		$S_{орт}$	
$\Delta \varphi'$		$\Delta \lambda'$		$PMЧ'$		$\Delta \%$	
$A_{\frac{1}{4}}$		$K_{лок}$					
$A_{орт}$		$K_{орт}$					

Для выполнения навигационной прокладки на навигационной карте, представим ДБК прямолинейными отрезками, которые будут следовать через $d\lambda = 10^\circ$ или $d\lambda = 5^\circ$ по долготе, в зависимости от протяженности маршрута. Общее количество отрезков не должно быть менее 6. Количество путевых точек:

$$N = \text{ЦЕЛОЕ} \left(\frac{\Delta \lambda}{d\lambda} \right).$$

Назовем путевые точки буквами С, D, E и т.д. Рассмотрим сферический треугольник РАС (рисунок 2.2) с известными элементами:

- сторона $PA = 90 - \varphi_A$; $\angle P = d\lambda = 5^\circ$; $\angle A = A_{орт}$

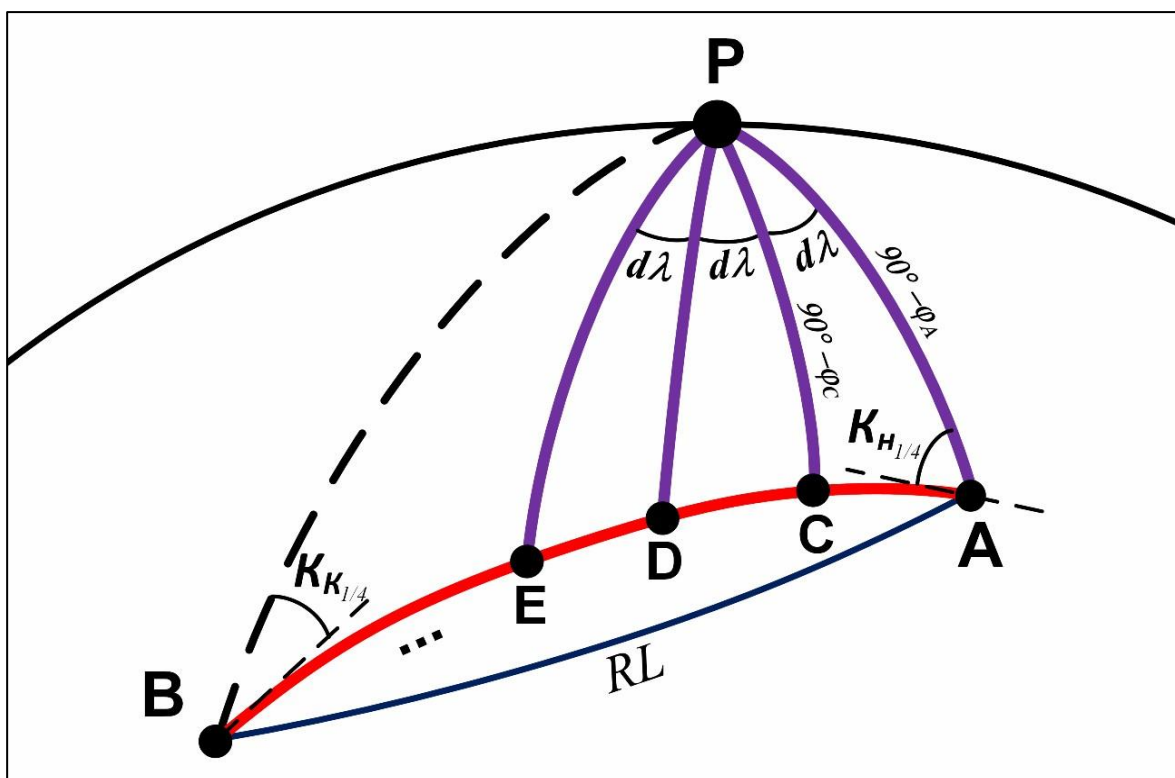


Рисунок 2.2 – Замена ДБК прямолинейными отрезками

По формуле котангенсов определим сторону PC. 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.

$$\cot A_{\text{opt}} \cdot \sin P = \cot PC \cdot \sin PA - \cos P \cdot \cos PA,$$

$$\cot PC = \frac{\cot A \cdot \sin P + \cos P \cdot \cos PA}{\sin PA}.$$

Учитывая, что $\cot PC = \cot (90^\circ - \varphi_C)$ получим:

$$\varphi_{WP_i} = \text{atan} \frac{\cot A_{\text{opt}} \cdot \sin(i \cdot d\lambda) + \cos(i \cdot d\lambda) \cdot \sin \varphi_A}{\cos \varphi_A}.$$

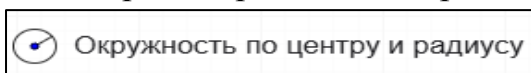
Рассчитанные значения координат путевых точек записываем в таблицу 2 – План перехода.

2.5 Графическое построение маршрута перехода и сферического треугольника на сфере

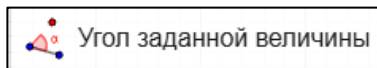
Графическое построение маршрута трансокеанского перехода и сферического треугольника на сфере выполнено в приложении «GeoGebra» и представлено на рисунке 2.3

Последовательность выполнения построения Сферы с помощью редактора GeoGebra:

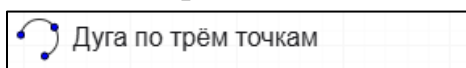
1. При центре координат построить сферу радиусом 90° используя функцию



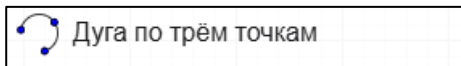
2. Отложить угол при центре сферы равный широте точек отхода и прихода используя функцию



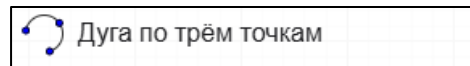
3. Нанести параллели точек отхода и прихода используя функцию



4. Нанести меридианы точек отхода, прихода и промежуточных путевых точек используя функцию



5. Построить плоскость ДБК проходящую через центр сферы используя функцию



и «заливка».

6. Нанести обозначения точек, значение сторон и углов согласно рисунка 2.3.

7. Построить локсодромию для участка плавания между точками А и В.

При построении учитывать, что начало отсчета долгот Гринвический или 180-й меридианы были на видимой стороне сферы.

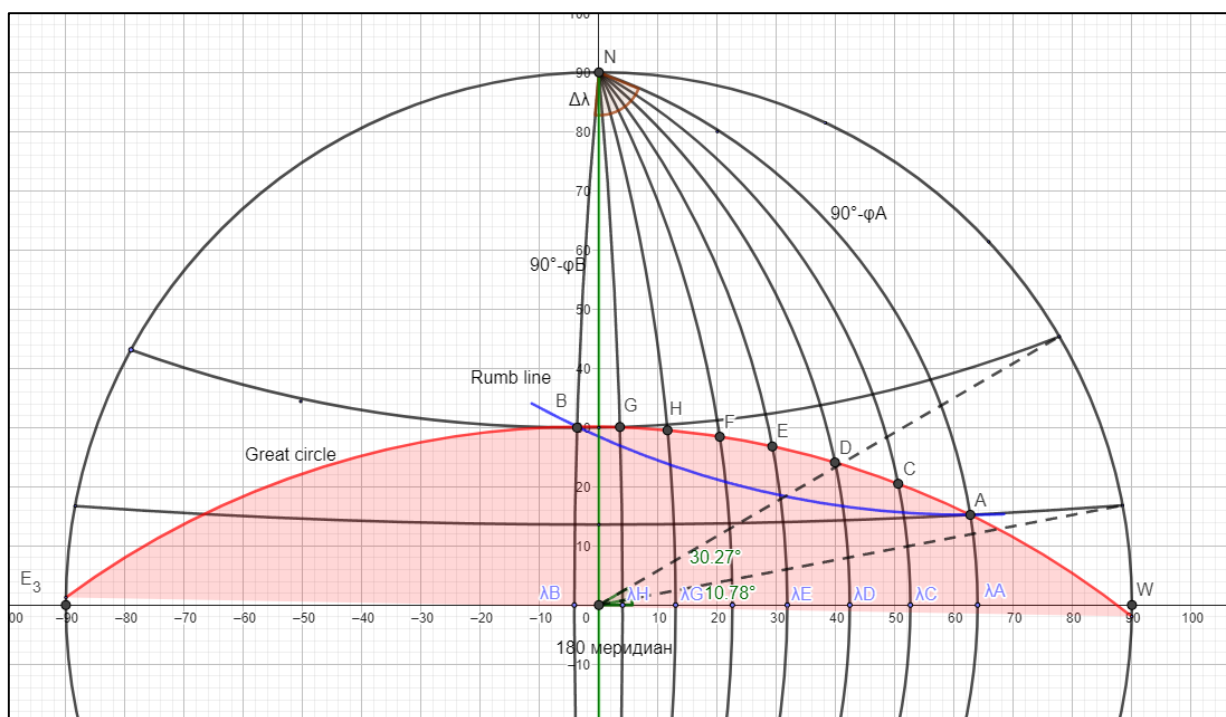


Рисунок 2.3 – Построение маршрута перехода на сфере

2.6 Расчет прямолинейных участков 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 2.4). Искажение масштаба по меридиану будем компенсировать делением разницы широт двух соседних точек на косинус их средней широты.

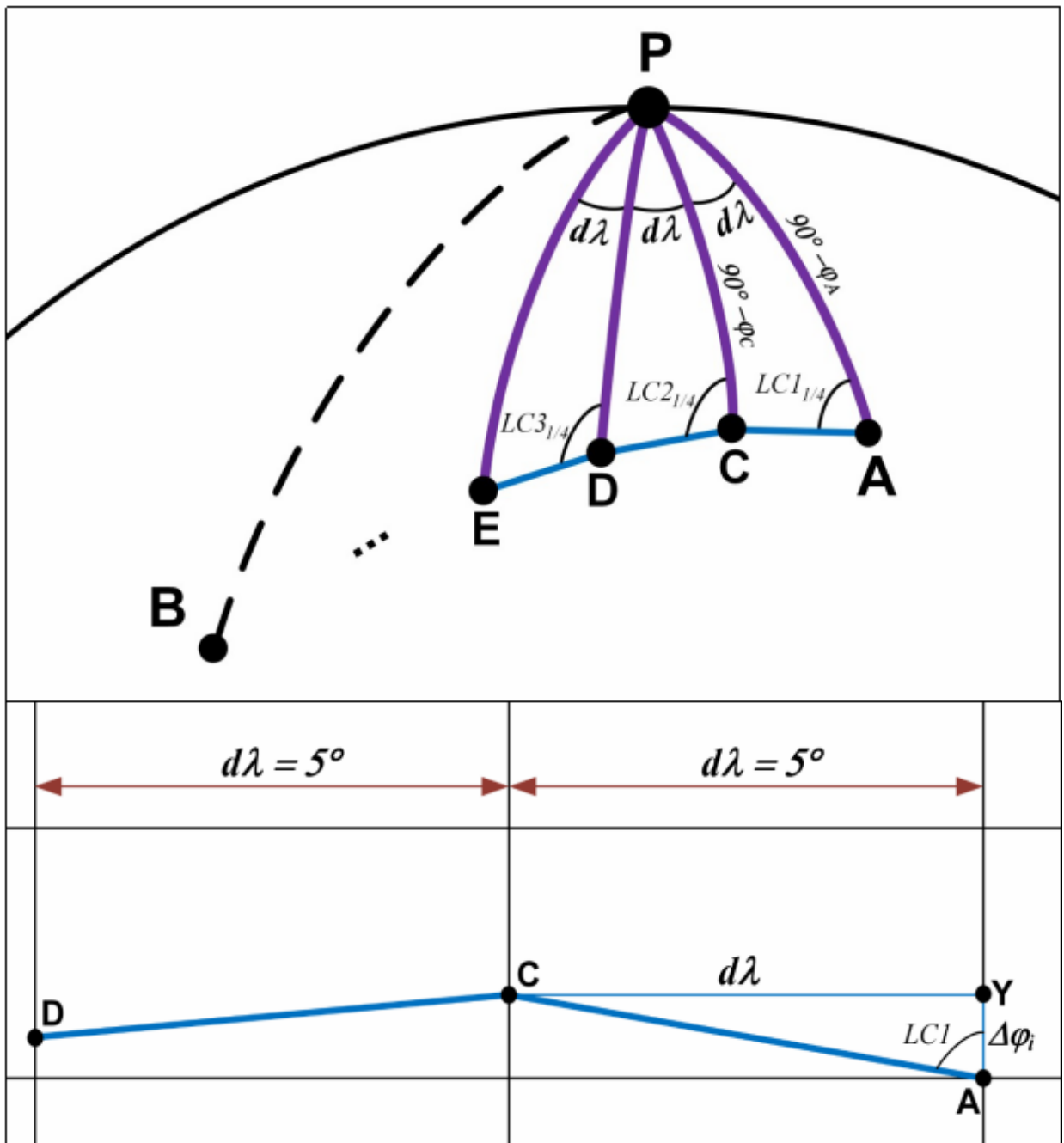


Рисунок 2.4 – Расчет хорды ДБК на меркаторской карте

Из прямоугольного треугольника ACY (прямой угол Y) угол A, соответствующий четвертному локсодромическому курсу LC1, будет равен:

$$LC1_{\frac{1}{4}} = \text{atan} \left(\frac{d\lambda \cdot \cos \varphi_{cp1}}{\Delta \varphi_1} \right)$$

Найдем истинный локсодромический курс, учитывая знаки $\Delta \varphi$ («+», т.е. движение к N) и $\Delta \lambda$ («-» движение к W) при определении четверти: LC1 находится в четвертой четверти и имеет значение NW.

Длину отрезка хорды можно рассчитать по формуле:

$$LS_1 = ABS \left(\frac{\Delta\varphi}{\cos LC1_{\frac{1}{4}}} \right) \cdot 60$$

2.7 Составление плана перехода

Результаты расчета хорд представим в виде плана перехода и сведем в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – План перехода судна (маршрутный лист)

№ п.т.	Широта	Долгота	Курс, °	Расстояние м.м.	Мерид. часть, м.м.	Разность долгот, м.м.
WP0						
WP1						
WP2						
WP3						
WP4						
WP5						
WP6						
WP7						
Общий путь по отрезкам ДБК						
Общая длина чистой ДБК						
Общая длина локсодромии						

В таблице, в колонке разностью долгот является расстояние от Гринвического или 180-го меридианов до путевой точки.

2.8 Графическое построение маршрута перехода на Меркаторской проекции

Графическое построение на меркаторской проекции выполняется путем нанесения путевых точек по координатам из таблицы План маршрута перехода, где по оси X откладывают разность долгот от Гринвического или 180-го меридиана, а по оси Y разность меридиональных частей с учетом знаков.

Полученные точки соединяют отрезками прямых линий. С помощью функции измерения углов в редакторе GeoGebra определяют направления в четвертном и круговом счете. Полученные значения должны совпадать со значением курса и пройденного расстояния между путевыми точками.

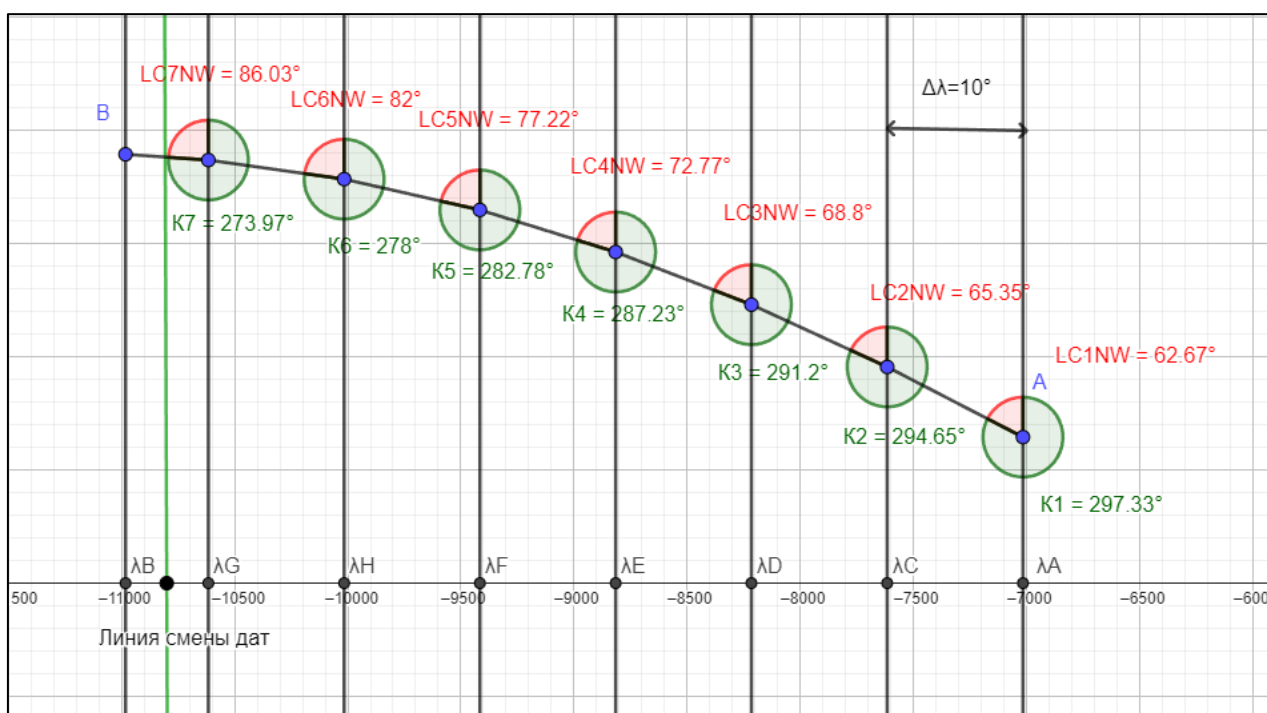
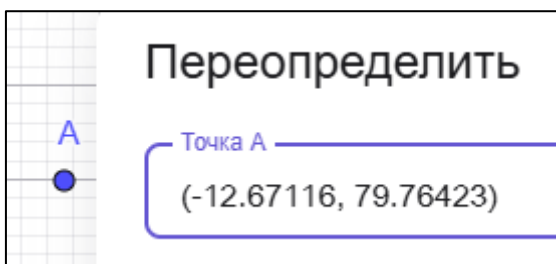


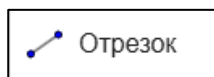
Рисунок 2.5 – Графический план перехода на Меркаторской карте

Последовательность выполнения построения на Меркаторской проекции с помощью редактора GeoGebra:

1. На плоскости нанести все точки маршрута перехода по координатам из таблицы 2. с использованием РМЧ и разности долгот.



2. Точки соединить отрезками



3. Измерить углы в четвертном и круговом счете используя функцию



4. Измеренные углы должны соответствовать рассчитанному курсу из таблицы 2.

Проверим расчеты ДБК и локсодромии с помощью компьютерной программы SkyMate Pro 2012. Скриншот программы приведен на рисунке 2.6.

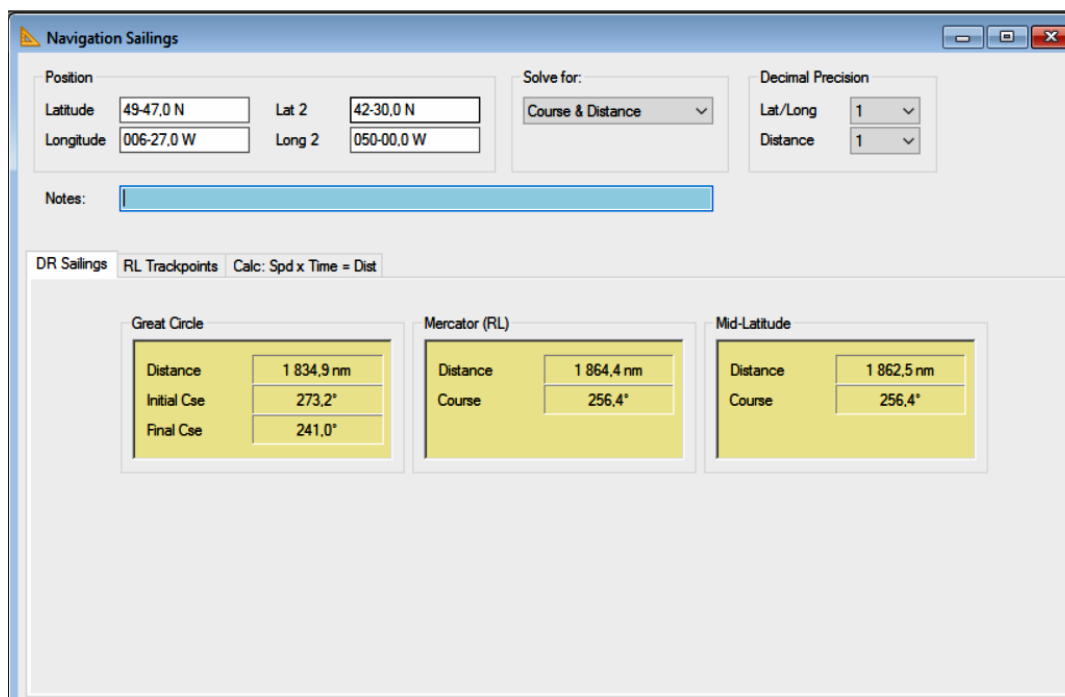


Рисунок 2.6 – Скриншот программы SkyMate Pro 2012

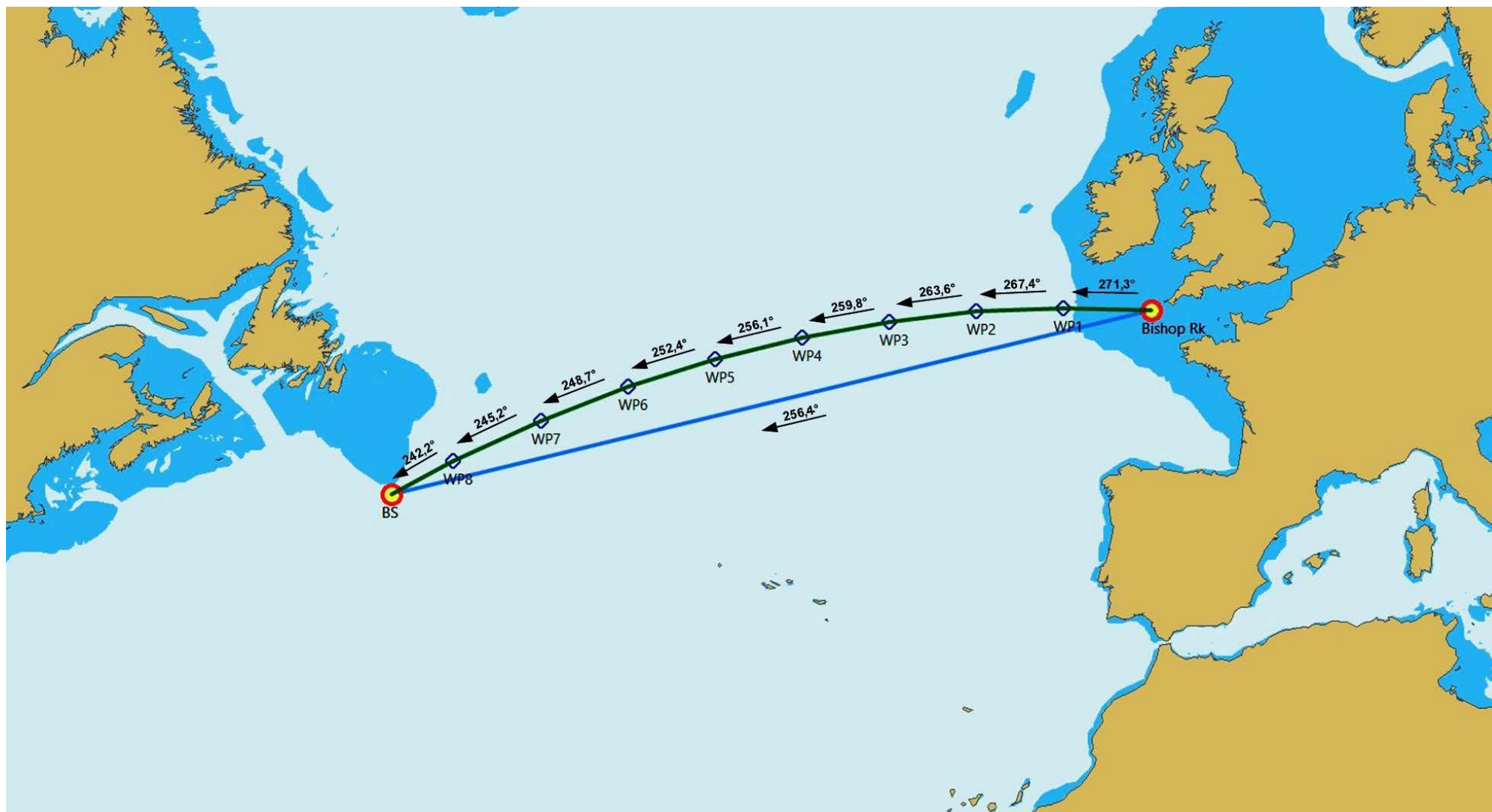


Рисунок 2.7 – Навигационная прокладка перехода по отрезкам ДБК

2.9 Контрольные вопросы к разделу 2

- 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 не удобно 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?

3. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

РГР 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.

4. ОЦЕНИВАНИЕ РАСЧЕТНО - ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Проект оценивается по 100-балльной шкале согласно таблице 4.1. Далее полученный балл переводится в национальную 4-балльную шкалу оценивания (90–100 – «отлично»; 75–89 – «хорошо»; 60–74 – «удовлетворительно»; <60 – «неудовлетворительно»).

Таблица 4.1 – 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. Васьков, А. С. Математические основы судовождения : учебное пособие для вузов / А. С. Васьков, А. А. Мироненко. — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2026. — 170 с. — (Высшее образование). — URL: <https://urait.ru/bcode/588873> (дата обращения: 22.04.2026) — ISBN 978-5-534-21433-8. — Текст : электронный.
2. Admiralty Ocean Passages For The World NP 136. 5th edition. — London : United Kingdom Hydrographic Office, 2004. — 423 p. — Text : direct.
3. NORIE'S NAUTICAL TABLES / by Capt. A. G. Blance. —London : Imray, Laurie,Norie & Wilson Ltd; Revised edition, 2007. — 600 p. — Text : direct.
4. Курочкин, Л. Е. Анализ и обработка навигационных измерений : учебное пособие / Л.Е. Курочкин. — Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2022. — 128 с. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1895674> (дата обращения: 22.04.2026). — Режим доступа: по подписке. - ISBN 978-5-9558-0564-1. - Текст : электронный.
5. Brown's nautical almanac (Навигационный ежегодник Брауна) / Edited by T. Nigel Brown. — Brown, Son and Ferguson, LTD. Nautical Printers (необходимые годы). — Text : direct.
6. The American Practical Navigator. 2002 BICENTENNIAL EDITION / Originally by Nathaniel Bowditch. — NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY, Bethesda, Maryland. — 880 p. — Text : direct.

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)

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

по дисциплине

Математические основы судовождения

(наименование дисциплины)

на тему Использование математических методов в судовождении для
обеспечения морского перехода судна .

Выполнил:

обучающийся

группы С/с–

Д.А. Петров (з/к 152355)

(инициалы, фамилия, номер зачетной книжки)

« » 202 г.

Научный руководитель:

В.В. Захаров

(инициалы, фамилия)

« ____ » _____ 202 г.

Оценка: _____

« ____ » _____ г.

Севастополь
2026

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 _____ Группа С/с- Семестр _____

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

обучающегося Петрова Даниила Александровича

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема: Использование математических методов в судовождении для обеспечения морского перехода судна.

2. Срок сдачи обучающимся законченного РГР _____

3. Исходные/входные данные к РГР:

Вариант задания к разделу 1:

Координаты точек маршрута:

A: _____

B: _____

Вариант задания на раздел 2:

4. Содержание пояснительной записки (перечень вопросов, подлежащих разработке)

Раздел 1. Расчет азимутов небесных светил

Раздел 2. Расчет трансокеанского перехода судна

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

– небесная сфера с обозначенными элементами параллактического

треугольника приопределении азимута;

– графическое построение маршрута перехода по ДБК и локсодромии на сфере;

– графическое построение маршрута перехода на меркаторской проекции.

6. Дата выдачи задания _____

Обучающийся Петров Д.А.

(фамилия, инициалы)

(подпись)

Руководитель курсового проекта Захаров В.В., доцент кафедрой СБС

(фамилия, инициалы, должность)

(подпись)

« » Г.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Пример выполнения раздела 2

1. РАСЧЕТ АЗИМУТОВ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

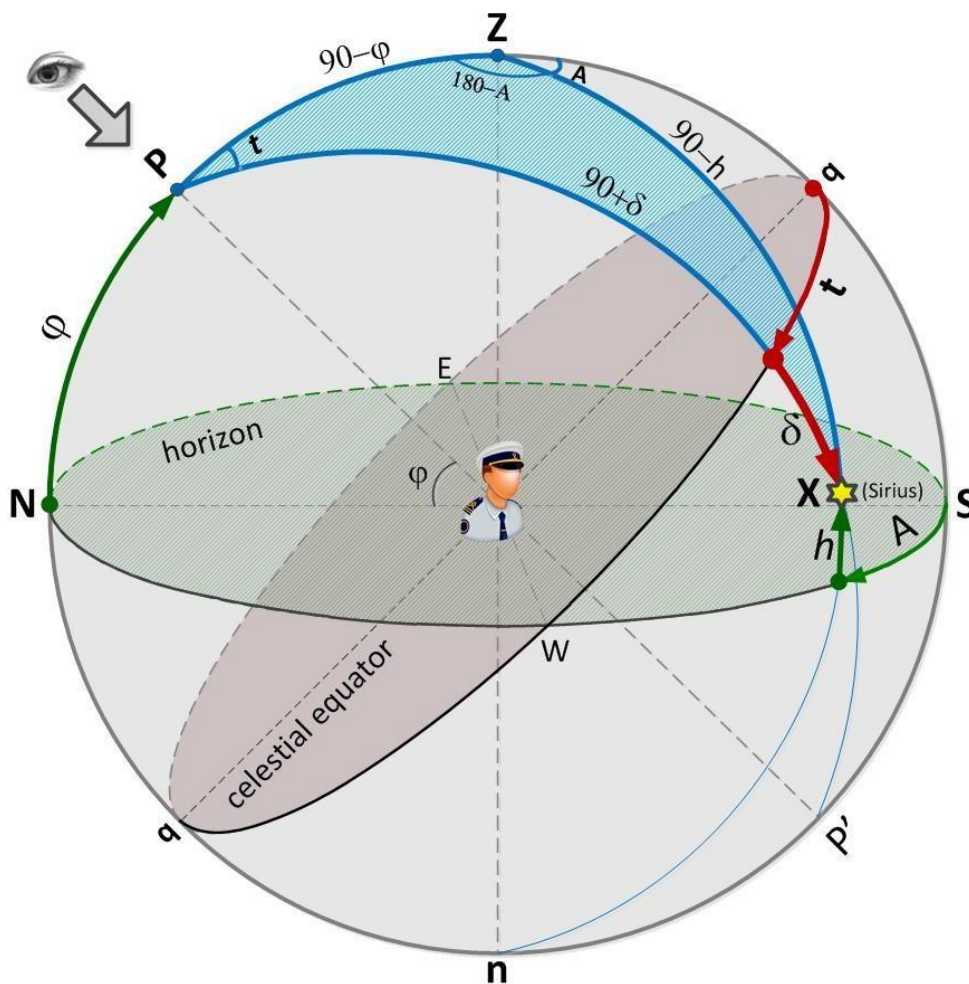
1.1 Постановка задачи

Определить азимут А звезды для определения поправки гирокомпаса:

Дата:

Время:

Координаты $\square = \dots\dots\dots$; $\square = \dots\dots\dots$



Draw the celestial sphere for the task:

P - North celestial pole

A - Azimuth of the body

Z - Zenith

h - Altitude of the body

X - Body's position on celestial sphere δ - Declination of the body

 δ - Declination of the body λ - Latitude

t - Local hour angle (LHA) of the body

1.2 Определение азимута с помощью сферической геометрии

1.2.1 Определение часового угла и склонения Звезды.

SHA_X	=	Dec_X	=
$GHA_Y \dots^h$	=		
Increment $\dots^m \dots^s$	=		
λ (East/West)	=		
LHA_X	=		

Определяем положение светила, является заходящим/восходящим (Setting/Rising)

Body is RISING (LHA lies within 180°–360°)

Актуальная страница альманаха представлена на рисунке 1.1 Данные для входа: дата, время (UT), название светила.

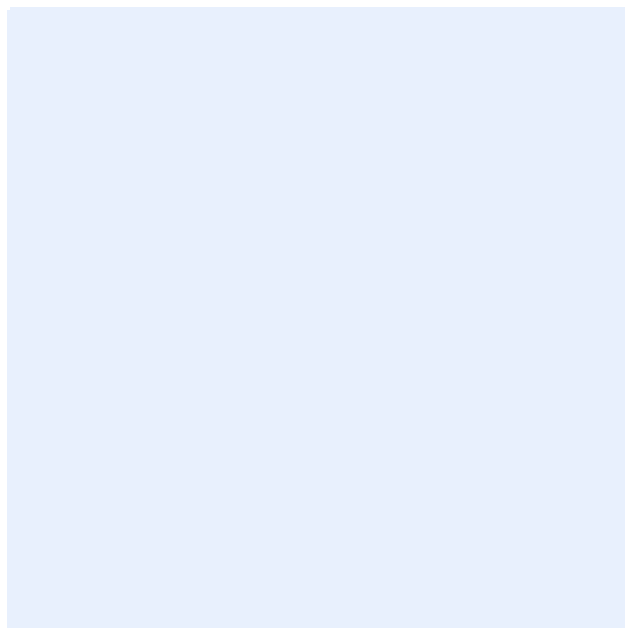


Рисунок 1.1 – Актуальный разворот альманаха

1.2.2 Запишем формулу котангенсов для сферического треугольника PZX:

$$\cot(Z) \cdot \sin P = \cot(PX) \cdot \sin(PZ) - \cos(PZ) \cdot \cos(P).$$

Из уравнения находим значение азимута A.

1.2.3 Для определения азимута зайдём поочередно в навигационные таблицы Norie's Nautical Tables A, B, C. Скриншоты представлены на рисунок 1.2 – 1.4.

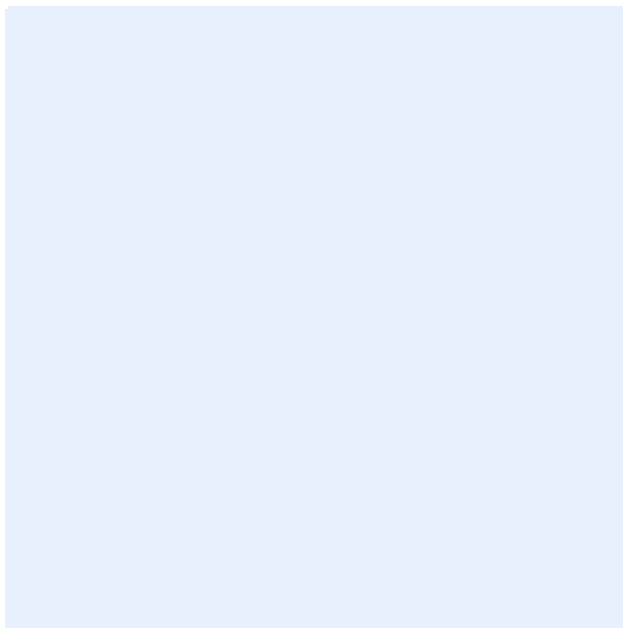


Рисунок 1.2 – Фрагмент таблицы А

Применив интерполяцию, получим значение коэффициента $A =$.

Знак коэффициента A противоположен широте согласно инструкции, приведенной снизу таблицы.

За исключением случая, когда LHA в пределах от 90° до 270° .

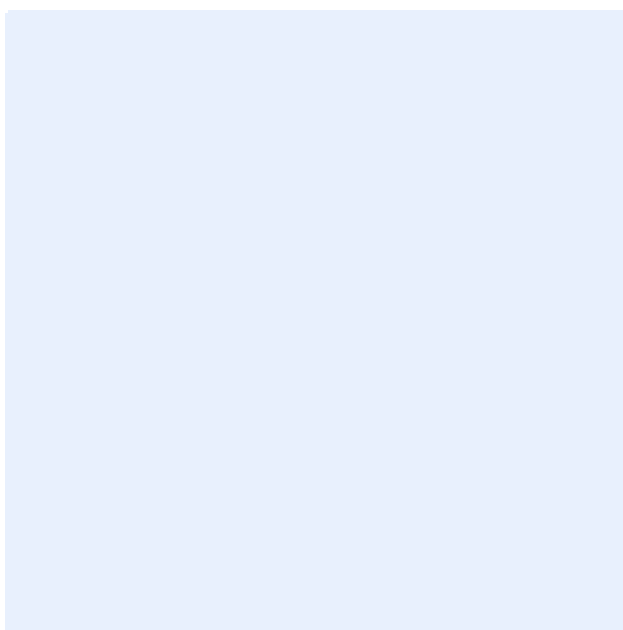


Рисунок 1.3 – Фрагмент таблицы В

Применив интерполяцию, получим значение $B=$

Коэффициент B берется с тем же знаком, что и склонение.

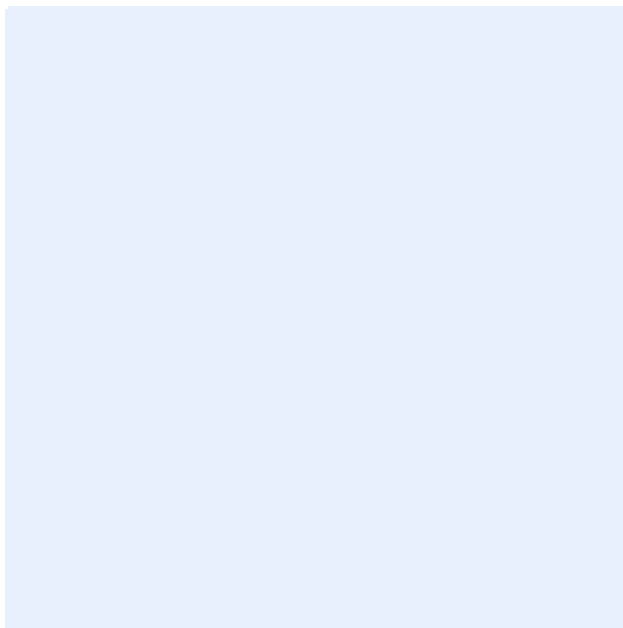


Рисунок 1.4 – Фрагмент таблицы C

Найдем коэффициент C как алгебраическую сумму $C=A + B=$

Из таблицы C по значению коэффициента C и широте φ определим четвертной азимут $A_{1/4}$

Определяем Азимут в круговом счете A .

Если C ("+" means "N", "-" means "S") и LHA ("E"восходящее, "W" если на заходе.)

2. РАСЧЕТ ТРАНСОКЕАНСКОГО ПЕРЕХОДА СУДНА

2.1 Постановка задачи

Выполнить план перехода судна из точки А (+10° 46.0'; -116°56.0') в точку В (+30° 16.2';+176° 56.0'). Рассмотреть возможность перехода судна по локсодромии и ортодромии.

2.2 Расчет плавания по ДБК и локсодромии

2.2.1 Определяем разность широт и разность долгот:

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A = +10^\circ 46.0' - 30^\circ 16.2' = +19^\circ 30.2'$$

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A = +176^\circ 56.0' + 116^\circ 56.0' = 293^\circ 52.0' - 360^\circ = -66^\circ 08'$$

$$\Delta\varphi' = 19^\circ \cdot 60 + 30.2' = 1170.2'$$

$$\Delta\lambda' = -66^\circ \cdot 60 + 08' = -3968'$$

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\varphi_B + \varphi_A}{2} = \frac{+10^\circ 46.0' + 30^\circ 16.2'}{2} = 20^\circ 31.2'$$

2.2.2 Определяем разность меридиональных частей, мили:

$$\text{МЧА} = 645.53'$$

$$\text{МЧВ} = 1895.49'$$

$$\text{РМЧ}' = \text{МЧВ} - \text{МЧА} = 1895.49' - 645.53' = 1249.96'$$

2.2.3 Находим истинный четвертной локсодромический курс с учетом знаков $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ и переводим его в круговой:

$$A_4^1 = \arctg\left(\frac{\Delta\lambda'}{\text{РМЧ}'}\right) = \arctg\left(\frac{-3968'}{1249.96'}\right) = -72.51^\circ$$

Локсодромический курс $K_{\text{лок}}$ выбирается из условий:

- если $A_4^1 > 0$, то $A' = A_4^1$,
- если $A_4^1 < 0$, то $A' = A_4^1 + 180^\circ$,
- если $\Delta\lambda > 0$, то $K_{\text{лок}} = A'$,
- если $\Delta\lambda < 0$, то $K_{\text{лок}} = A' + 180^\circ$.

Для условия $A\frac{1}{4} < 0$ и $\Delta\lambda < 0$ определяем Клок :

$$K_{\text{лок}} = -72.51^\circ + 180^\circ + 180^\circ = 287.4^\circ$$

2.2.4 Рассчитываем длину локсодромии на сфере радиусом $R = 6366707$ м, мили:

$$S'_{\text{лок}} = \frac{\Delta\varphi'}{\cos A_{\text{лок}}} = \frac{1170.2'}{\cos(-72.51^\circ)} = 3893.6'$$

2.2.5 Рассчитаем длину ортодромии $D_{\text{орт}}$ в градусах по формуле косинусов из сферического треугольника NAB (рисунок 1):

$$\cos D_{\text{орт}} = \cos NA \cdot \cos NB + \sin NA \cdot \sin NB \cdot \cos \Delta\lambda = \cos(90^\circ - \varphi A) \cdot \cos(90^\circ - \varphi B) + \sin(90^\circ - \varphi A) \cdot \sin(90^\circ - \varphi B) \cdot \cos \Delta\lambda = 0.437$$

Длина ортодромии в градусах определится через арккосинус полученного значения:

$$D_{\text{орт}} = \arccos(0.437) = 64.06^\circ$$

Длину ортодромии $S_{\text{орт}}$ в милях на Земной сфере радиусом 6378245 м. рассчитаем по формуле:

$$S_{\text{орт}} = 60,108732 \cdot D_{\text{орт}} = 60,0 \cdot 64.06^\circ = 3850.5$$

2.2.6 Сравним длину локсодромии и ортодромии:

$$\Delta\% = \left(\frac{S'_{\text{лок}} - S_{\text{к}}}{S'_{\text{лок}}} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{3893.6' - 3849.9}{3849.9} \right) \cdot 100\% = 1.13\%$$

Следовательно, переход по ортодромии целесообразен так как разница превышает 0.5%.

2.3 Вычисление начального ортодромического курса

2.3.1 Вычислим четвертной начальный курс по ДБК $A_{\text{орт}}$, который соответствует $\angle A$ сферического треугольника NAB (рис. 2.1) по формуле котангенсов:

$$\begin{aligned}
A_{\text{орт}} &= \arctg \cdot \left(\frac{\sin \Delta \lambda}{(\operatorname{tg} \varphi_B \cdot \cos \varphi_A - \cos \Delta \lambda \cdot \sin \varphi_A)} \right) = \\
&= \arctg \cdot \left(\frac{\sin(-66.13^\circ)}{(\operatorname{tg}(30.27^\circ) \cdot \cos(10.77^\circ) - \cos(-66.13^\circ) \cdot \sin(10.77^\circ))} \right) = \\
&= \arctg(-1.83) = -61.44^\circ
\end{aligned}$$

Ортодромический курс Корт выбирается из условий:

- если $A_{\text{орт}} > 0$, то $A' = A_{\text{орт}}$,
- если $A_{\text{орт}} < 0$, то $A' = A_{\text{орт}} + 180^\circ$,
- если $\sin \Delta \lambda > 0$, то $\text{Корт} = A'$,
- если $\sin \Delta \lambda < 0$, то $\text{Корт} = A' + 180^\circ$

Для условия если $A_{\text{орт}} < 0$ определяем A' :

$$A' = A_{\text{орт}} + 180^\circ = -61.44^\circ + 180^\circ = 118.56^\circ$$

Для условия $\Delta \lambda < 0$ определяем Клок:

$$\text{Корт} = 180^\circ + 118.56^\circ = 298.6^\circ$$

Таблица 1 – результаты расчетов

φ_A	$+10^\circ 46.0'$	λ_A	$-116^\circ 56.0'$	$\varphi_{\text{ср}}$	$20^\circ 31.2'$	$S_{\text{лок}}$	$3879.6'$
φ_B	$+30^\circ 16.2'$	λ_B	$+176^\circ 56.0'$	МЧ_H	645.53	$D_{\text{орт}}$	64.06°
$\Delta \varphi$	$+19^\circ 30.2'$	$\Delta \lambda$	$-66^\circ 08'$	МЧ_K	1895.49	$S_{\text{орт}}$	$3850.5'$
$\Delta \varphi'$	$1170.2'$	$\Delta \lambda'$	$-3968'$	$\text{РМЧ}'$	1249.96		
$A_{\text{лок}}$	107.5°	$K_{\text{лок}}$	287.4°				
$A'_{\text{орт}}$	-61.44°	$K_{\text{орт}}$	298.6°				

2.4 Замена ортодромии прямолинейными участками и вычисление координат путевых точек

Для выполнения навигационной прокладки на навигационной карте, представим ДБК прямолинейными отрезками, которые будут следовать через $d\lambda = 10^\circ$ по долготы.

2.4.1 Определим количество путевых точек:

$$N = \text{ЦЕЛОЕ} \left(\frac{\Delta \lambda}{d\lambda} \right) = \text{ЦЕЛОЕ} \left(\frac{66^\circ}{10^\circ} \right) = 6$$

2.4.2 Рассчитаем координаты путевых точек:

Назовем путевые точки С, D, E и т.д. Рассмотрим сферический треугольник NAC (рис. 1) с известными элементами:

– сторона $NA = 90^\circ - \varphi_A$; $\angle N = d\lambda = 10^\circ$; $\angle A = A_{орт}$

По формуле котангенсов определим сторону NC. 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.

$$\cot A \cdot \sin N = \cot NC \cdot \sin NA - \cos N \cdot \cos NA,$$

$$\cot NC = \frac{\cot A \cdot \sin N + \cos N \cdot \cos NA}{\sin NA}.$$

Учитывая, что $\cot NC = \cot (90^\circ - \varphi_C)$ получим:

$$\varphi_{WP_i} = \operatorname{atan} \frac{\cot K_{H\frac{1}{4}} \cdot \sin(i \cdot d\lambda) + \cos(i \cdot d\lambda) \cdot \sin \varphi_A}{\cos \varphi_A}$$

$$\varphi_1 = \operatorname{atan} \left(\frac{((\cot(-61.44^\circ) \cdot \sin 10^\circ + \cos 10^\circ \cdot \sin(10.77^\circ))}{\cos(10.77^\circ)} \right) = +15^\circ 49.8'$$

$$\varphi_2 = \operatorname{atan} \left(\frac{((\cot(-61.44^\circ) \cdot \sin 20^\circ + \cos 20^\circ \cdot \sin(10.77^\circ))}{\cos(10.77^\circ)} \right) = +20^\circ 12.6'$$

$$\varphi_3 = \operatorname{atan} \left(\frac{((\cot(-61.44^\circ) \cdot \sin 30^\circ + \cos 30^\circ \cdot \sin(10.77^\circ))}{\cos(10.77^\circ)} \right) = +23^\circ 49.8'$$

$$\varphi_4 = \operatorname{atan} \left(\frac{((\cot(-61.44^\circ) \cdot \sin 40^\circ + \cos 40^\circ \cdot \sin(10.77^\circ))}{\cos(10.77^\circ)} \right) = +26^\circ 39.0'$$

$$\varphi_5 = \operatorname{atan} \left(\frac{((\cot(-61.44^\circ) \cdot \sin 50^\circ + \cos 50^\circ \cdot \sin(10.77^\circ))}{\cos(10.77^\circ)} \right) = +28^\circ 40.2'$$

$$\varphi_6 = \operatorname{atan} \left(\frac{((\cot(-61.44^\circ) \cdot \sin 60^\circ + \cos 60^\circ \cdot \sin(10.77^\circ))}{\cos(10.77^\circ)} \right) = +29^\circ 54.08'$$

Находим долготы точек:

$$\lambda_1 = \lambda_0 + d\lambda = -116^\circ 56.0' - 10^\circ = -126^\circ 56.0'$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + d\lambda = -126^\circ 56.0' - 10^\circ = -136^\circ 56.0'$$

$$\lambda_3 = \lambda_2 + d\lambda = -136^\circ 56.0' - 10^\circ = -146^\circ 56.0'$$

$$\lambda_4 = \lambda_3 + d\lambda = -146^\circ 56.0' - 10^\circ = -156^\circ 56.0'$$

$$\lambda_5 = \lambda_4 + d\lambda = -156^\circ 56.0' - 10^\circ = -166^\circ 56.0'$$

$$\lambda_6 = \lambda_5 + d\lambda = -166^\circ 56.0' - 10^\circ = -176^\circ 56.0'$$

$$\lambda_7 = \lambda_6 + d\lambda = -176^\circ 56.0' - 6^\circ 08' = +176^\circ 56.0'$$

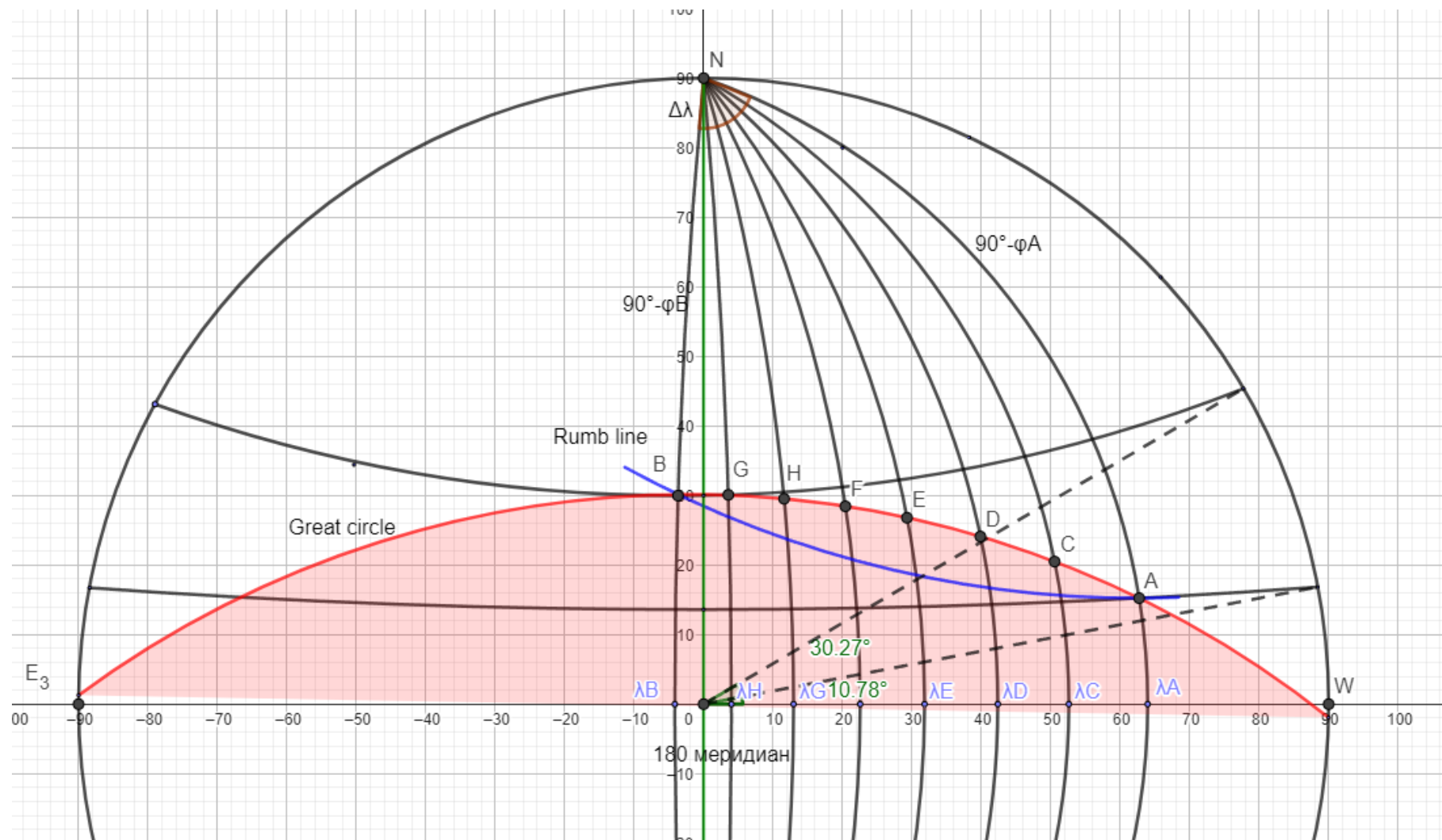


Рисунок 2.1 – Графическое построение маршрута перехода по ДБК и локсодромии на сфере

2.5 Расчет прямолинейных участков 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 2.2). Искажение масштаба по меридиану будем компенсировать делением разницы широт двух соседних точек на косинус их средней широты.

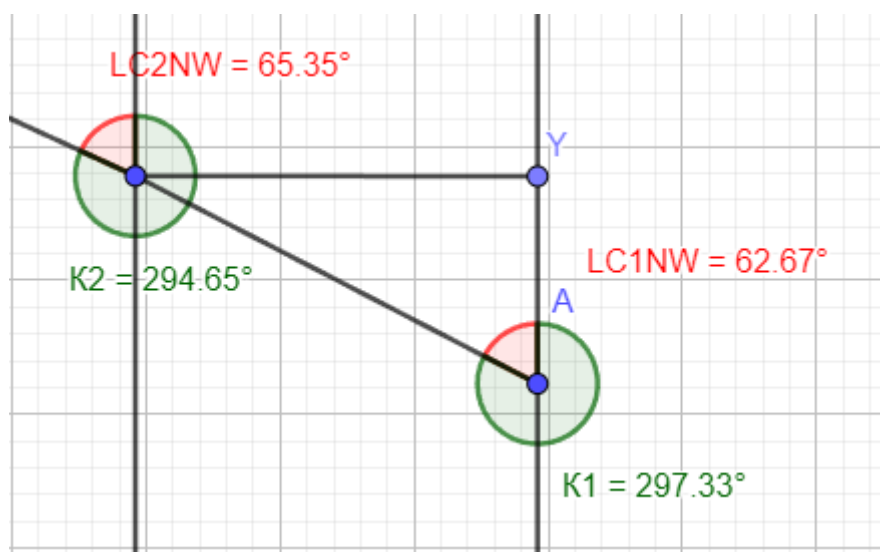


Рисунок 2.2 – Расчет хорды ДБК на меркаторской карте

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

$$LC1_{\frac{1}{4}} = \text{atan} \left(\frac{d\lambda \cdot \cos \varphi_{cp1}}{\Delta \varphi_1} \right) = \text{atan} \left(\frac{-10^\circ \cdot \cos \left(\frac{10.77^\circ + 15.83^\circ}{2} \right)}{15.83^\circ - 10.77^\circ} \right) = -62.53^\circ.$$

LC1 находится в третьей четверти и имеет значение NW.

$$LC2_{\frac{1}{4}} = \text{atan} \left(\frac{d\lambda \cdot \cos \varphi_{cp2}}{\Delta \varphi_2} \right) = \text{atan} \left(\frac{-10^\circ \cdot \cos \left(\frac{15.83^\circ + 20.21^\circ}{2} \right)}{20.21^\circ - 15.83^\circ} \right) = -65.24^\circ.$$

LC2 находится в первой четверти и имеет значение NW.

$$LC3_{\frac{1}{4}} = \text{atan} \left(\frac{d\lambda \cdot \cos \varphi_{cp3}}{\Delta \varphi_3} \right) = \text{atan} \left(\frac{-10^\circ \cdot \cos \left(\frac{20.21^\circ + 23.83^\circ}{2} \right)}{23.83^\circ - 20.21^\circ} \right) = -68.68^\circ.$$

LC3 находится в третьей четверти и имеет значение NW.

$$LC4_{\frac{1}{4}} = \text{atan} \left(\frac{d\lambda \cdot \cos \varphi_{cp4}}{\Delta \varphi_4} \right) = \text{atan} \left(\frac{-10^\circ \cdot \cos \left(\frac{23.83^\circ + 26.65^\circ}{2} \right)}{26.65^\circ - 23.83^\circ} \right) = -72.71^\circ.$$

LC4 находится в третьей четверти и имеет значение NW

$$LC5_{\frac{1}{4}} = \text{atan} \left(\frac{d\lambda \cdot \cos \varphi_{cp5}}{\Delta \varphi_5} \right) = \text{atan} \left(\frac{-10^\circ \cdot \cos \left(\frac{26.65^\circ + 28.67^\circ}{2} \right)}{28.67^\circ - 26.65^\circ} \right) = -77.18^\circ.$$

LC5 находится в третьей четверти и имеет значение NW

$$LC6_{\frac{1}{4}} = \text{atan} \left(\frac{d\lambda \cdot \cos \varphi_{cp6}}{\Delta \varphi_6} \right) = \text{atan} \left(\frac{-10^\circ \cdot \cos \left(\frac{28.67^\circ + 29.90^\circ}{2} \right)}{29.90^\circ - 28.67^\circ} \right) = -81.97^\circ.$$

LC6 находится в третьей четверти и имеет значение NW

$$LC7_{\frac{1}{4}} = \text{atan} \left(\frac{d\lambda \cdot \cos \varphi_{cp7}}{\Delta \varphi_7} \right) = \text{atan} \left(\frac{-6.1^\circ \cdot \cos \left(\frac{29.90^\circ + 30.27^\circ}{2} \right)}{30.27^\circ - 29.90^\circ} \right) = 87.5^\circ.$$

LC7 находится в третьей четверти и имеет значение NW

Длину отрезка хорды можно рассчитать по формуле:

$$LS_1 = \text{ABS} \left(\frac{\Delta \varphi}{\cos LC1_{\frac{1}{4}}} \right) \cdot 60 = \text{ABS} \left(\frac{15.83^\circ - 10.77^\circ}{\cos 62.53^\circ} \right) \cdot 60 = 658.16 \text{ м.мили.}$$

$$LS_2 = \text{ABS} \left(\frac{\Delta \varphi}{\cos LC1_{\frac{1}{4}}} \right) \cdot 60 = \text{ABS} \left(\frac{20.21^\circ - 15.83^\circ}{\cos 65.24^\circ} \right) \cdot 60 = 625.36 \text{ м.мили.}$$

$$LS_3 = \text{ABS} \left(\frac{\Delta \varphi}{\cos LC1_{\frac{1}{4}}} \right) \cdot 60 = \text{ABS} \left(\frac{23.83^\circ - 20.21^\circ}{\cos 68.68^\circ} \right) \cdot 60 = 597.11 \text{ м.мили.}$$

$$LS_4 = \text{ABS} \left(\frac{\Delta \varphi}{\cos LC1_{\frac{1}{4}}} \right) \cdot 60 = \text{ABS} \left(\frac{26.65^\circ - 23.83^\circ}{\cos 72.71^\circ} \right) \cdot 60 = 568.43 \text{ м.мили.}$$

$$LS_5 = \text{ABS} \left(\frac{\Delta \varphi}{\cos LC1_{\frac{1}{4}}} \right) \cdot 60 = \text{ABS} \left(\frac{28.67^\circ - 26.65^\circ}{\cos 77.18^\circ} \right) \cdot 60 = 545.04 \text{ м.мили.}$$

$$LS_6 = \text{ABS} \left(\frac{\Delta \varphi}{\cos LC1_{\frac{1}{4}}} \right) \cdot 60 = \text{ABS} \left(\frac{29.90^\circ - 28.67^\circ}{\cos 81.97^\circ} \right) \cdot 60 = 528.53 \text{ м.мили.}$$

$$LS_7 = \text{ABS} \left(\frac{\Delta \varphi}{\cos LC1_{\frac{1}{4}}} \right) \cdot 60 = \text{ABS} \left(\frac{30.27^\circ - 29.90^\circ}{\cos 87.5^\circ} \right) \cdot 60 = 322.66 \text{ м.мили.}$$

2.6 Составление плана перехода

Результаты расчета хорд представим в виде плана перехода судна и сведем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – План перехода судна (маршрутный лист)

№ п.т.	Широта	Долгота	Курс, °	Расстоя- ние м.м.	Мерид. часть, м.м.	Разность долгот, м.м.
WP0	+10° 46.0'	–116°56.0'	297,47	658,16	+645,53	–7016
WP1	+15°49.8'	–126°56.0'	294,76	628,36	+955.63	–7616
WP2	+20°12.6'	–136°56.0'	291,32	597,11	+1230.92	–8216
WP3	+23°49.8'	–146°56.0'	287,29	568,43	+1463.59	–8816
WP4	+26°39.0'	–156°56.0'	282,82	545,04	+1649.65	–9416
WP5	+28°40.2'	–166°56.0'	278,03	528,53	+1785.78	–10016
WP6	+29°54.08'	–176°56.0'	273,94	322,66	+1870.06	–10616
WP7	+30° 16.2'	+176° 56.0'			+1895.49	+10616
Общий путь по отрезкам ДБК				3848.28		
Общая длина чистой ДБК				3850.5		
Общая длина локсодромии				3893.6		

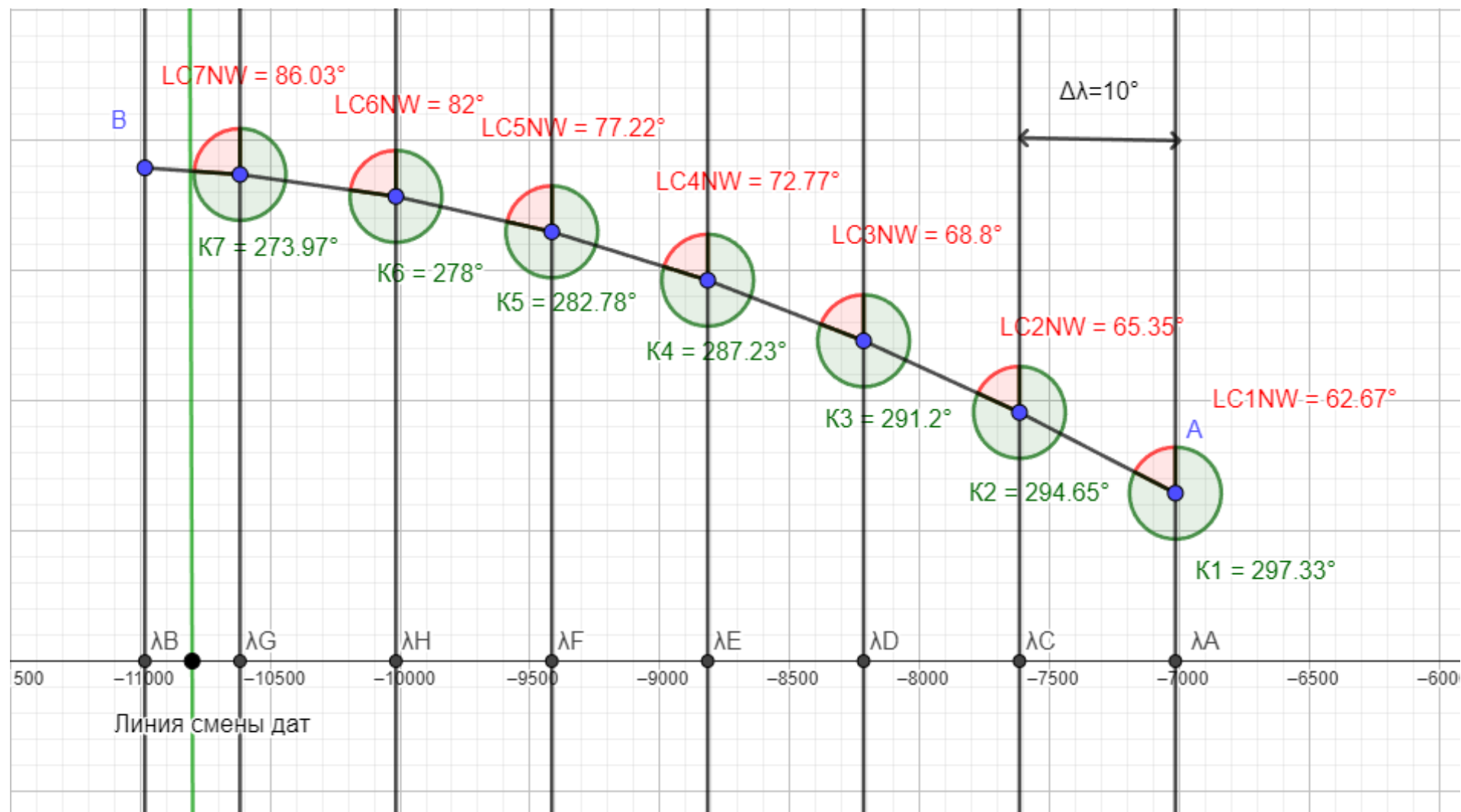


Рисунок 2.3 – Графический план перехода на Меркаторской карте

2.7 Проверка расчетов в компьютерных программах

Проверим расчеты ДБК и локсодромии с помощью вышеупомянутых компьютерных программ. Расчеты программ представлены на рисунке 4 и рисунке 5.

The screenshot shows the 'Navigation Sailings' software window. It contains input fields for two positions, a 'Solve for' dropdown set to 'Course & Distance', and 'Decimal Precision' settings. Below these are tabs for 'DR Sailings', 'GC Trackpoints', and 'Calc: Spd x Time = Dist'. The main area displays three calculation methods with their respective results:

Method	Distance (nm)	Course (°)
Great Circle	3 843,5	Initial Cse: 298,6° Final Cse: 272,5°
Mercator (RL)	3 894,7	287,5°
Mid-Latitude	3 896,1	287,5°

Рисунок 4 – Скриншот программы «Sky Mate Pro 2012»

Сравнив значения полученные с помощью программы делаем вывод, что расчеты верны.

Воспользуемся программой «Nautical Calculation» для того, чтобы сверить полученные значения.

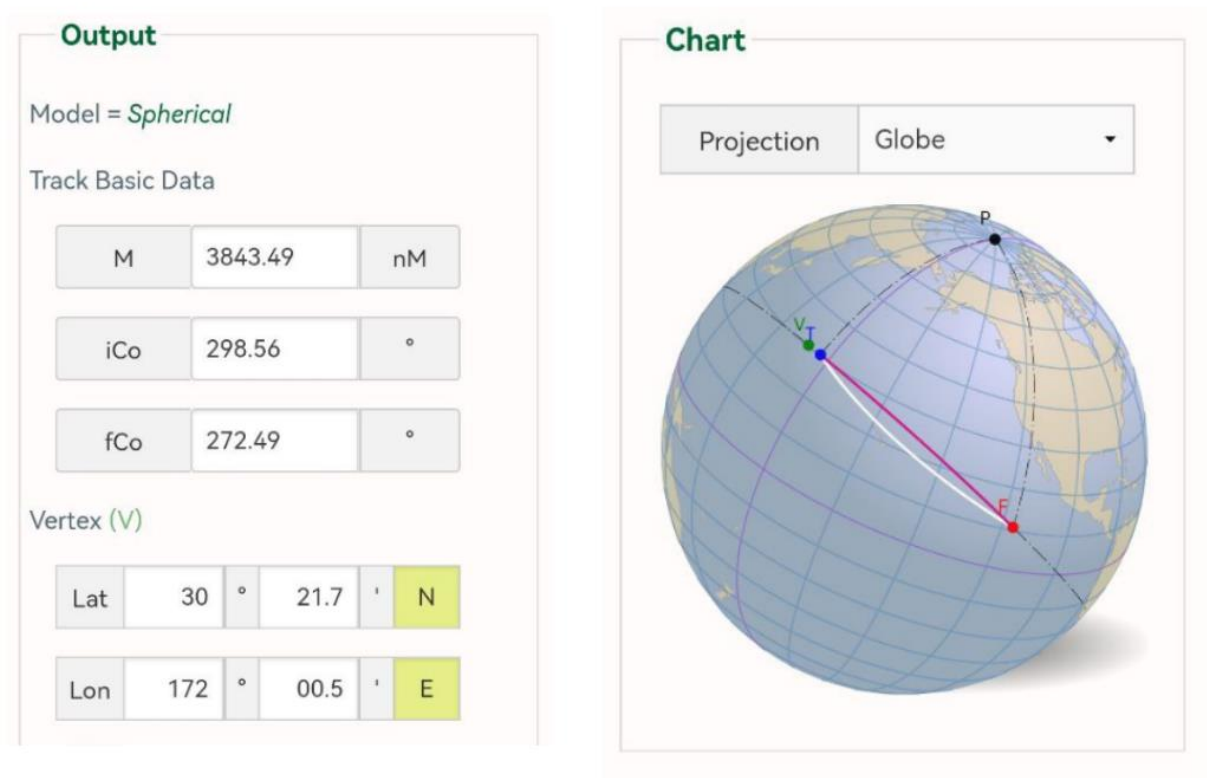


Рисунок 5 – Скриншот программы Nautical Calculation

Полученные значения в программе сходятся с рассчитанными ранее.
 Делаем вывод, что переход по ортодромии выгоден и целесообразен.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СУДОВОЖДЕНИИ

*Методические указания
к расчетно-графической работе*

Составители: **Захаров** Валерий Вадимович,
Бугаёв Павел Александрович

В авторской редакции

Изд. № 39/2026. Объем 3,25 п. л. Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 3,185.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»