

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет»

(ФГБОУ ВО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»)

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
СУДОВОЖДЕНИЯ**

Методические указания и сборник
заданий по выполнению лабораторных
работ и организации самостоятельной работы
курсантов и студентов
специальности 26.05.05 «Судовождение»
всех форм обучения

Владивосток
2020 г.

УДК
ББК 39.471я73
К21

Авторы: В.В. Карасев канд. техн. наук;
Н.Г. Манич

Рецензент – И.С. Карпушин, доцент, канд. техн. наук, зав. кафедрой
«Судовождение» Дальрыбвтуза

© Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный
университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Практические работы по дисциплине «Математические основы судовождения» выполняются студентами и курсантами специальности 26.05.05 «Судовождение» с целью иллюстрации математических приёмов обоснования навигационных задач и методов их выполнения на основе общеинженерной математической подготовки.

Методические указания ко всем практическим работам имеют подробное описание решения примеров. На выполнение каждой практической работы отводится два часа аудиторных занятий, а также к ним требуется основательная внеаудиторная подготовка по рекомендуемой литературе и конспекту лекций.

Отчёт по каждой практической работе оформляется в единой тетрадке (около 40 листов) и сдается преподавателю на проверку.

При выполнении практических заданий некоторые вычисления рекомендуется производить с использованием:

- Мореходных таблиц (МТ-2000 или МТ-75);
- микрокалькулятора с тригонометрическими функциями;
- персонального компьютера.

Изучение данной дисциплины проводится с учетом требований следующих документов:

1.Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (МК ПДНВ) с поправками;

2.ФГОС ВО для направления подготовки специалиста по направлению подготовки 26.05.05 «Судовождение».

Процесс изучения дисциплины «Математические основы судовождения» направлен на формирование элементов следующих **профессиональных компетенций в соответствии с кодексом ПДНВ (разделы А-II/2):**

- Планирование рейса и судовождение в любых условиях с применением подходящих методов прокладки океанских путей.

Важно и необходимо достижение правильного результата.

Только при решении всех практических заданий курсант или студент допускается к предусмотренному учебным планом экзамену.

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Организация самостоятельной работы курсантов и студентов специальности 26.05.05 «Судовождение» всех форм обучения по дисциплине «Математические основы судовождения» предусматривает основательную внеаудиторную подготовку по рекомендуемой литературе, конспекту лекций и методическим указаниям по выполнению практических работ. При выполнении практических заданий вычисления рекомендуется производить с использованием Мореходных таблиц МТ-2000 (МТ-75), микрокалькулятора с тригонометрическими функциями, персонального компьютера. В процессе изучения дисциплины «Математические основы судовождения» курсанты и студенты должны досконально разобраться в инструкции по использованию инженерных калькуляторов, уметь правильно вводить данные и решать математические задачи при плавании судна по локсодромии, ортодромии и плавании кратчайшим расстоянием по геодезической линии, рассчитывать рамки и картографические сетки морской навигационной карты, обрабатывать результаты равноточных наблюдений компасного пеленга с расчетом средней квадратической погрешности измерения, определять место судна по двум навигационным параметрам косвенным аналитическим методом с оценкой его точности.

Самостоятельная работа также предусматривает изучение основной и дополнительной рекомендованной литературы, составление отчета по заданному варианту задачи каждой темы.

Тема 1. РЕШЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ТРЕУГОЛЬНИКОВ

Задачей сферической тригонометрии является установление зависимостей между сторонами и углами сферического треугольника. Элементами сферического треугольника являются:

- три сферических угла: A, B, C ;
- три сферические стороны: a, b, c .

Стороны сферического треугольника (a, b, c) располагаются напротив сферических углов (A, B, C).

Сферический треугольник считается заданным, если известны какие-либо три его элемента. Под решением сферического треугольника подразумевается отыскание трёх других его неизвестных элементов. В большинстве случаев решение выполняется по основным формулам из пяти основных теорем сферической тригонометрии:

1. Формула косинуса стороны

В сферическом треугольнике косинус стороны равен произведению косинусов двух других сторон плюс произведение синусов этих же сторон на косинус угла между ними (рис. 1).

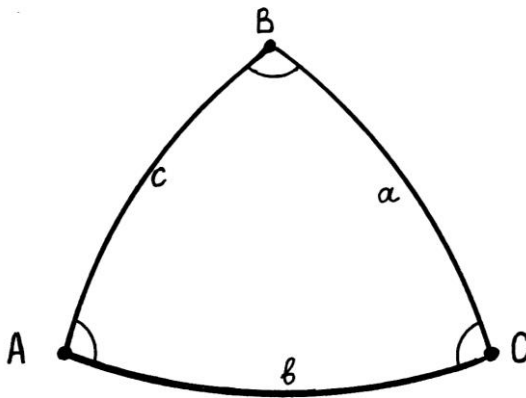


Рис. 1

$$\begin{aligned}\cos a &= \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A; \\ \cos b &= \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B; \\ \cos c &= \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C.\end{aligned}\tag{1}$$

Формулы (1) позволяют по трём известным сторонам (a, b, c) определять углы сферического треугольника (A, B, C). Эти формулы являются главными из основных формул, так как из них выводятся все остальные.

2. Формула косинуса угла

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

$$\begin{aligned}\cos A &= -\cos B \cdot \cos C + \sin B \cdot \sin C \cdot \cos a; \\ \cos B &= -\cos A \cdot \cos C + \sin A \cdot \sin C \cdot \cos b; \\ \cos C &= -\cos A \cdot \cos B + \sin A \cdot \sin B \cdot \cos c.\end{aligned}\tag{2}$$

Формулы (2) позволяют по трем известным углам определять стороны сферического треугольника.

3. Формула котангенсов

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

Эта формула связывает четыре элемента сферического треугольника, расположенных подряд:

$$\begin{aligned}\operatorname{ctg} A \cdot \sin B &= \operatorname{ctg} a \cdot \sin c - \cos c \cdot \cos B; \\ \operatorname{ctg} A \cdot \sin C &= \operatorname{ctg} a \cdot \sin b - \cos b \cdot \cos C; \\ \operatorname{ctg} B \cdot \sin A &= \operatorname{ctg} b \cdot \sin c - \cos c \cdot \cos A; \\ \operatorname{ctg} B \cdot \sin C &= \operatorname{ctg} b \cdot \sin a - \cos a \cdot \cos C; \\ \operatorname{ctg} C \cdot \sin A &= \operatorname{ctg} c \cdot \sin b - \cos b \cdot \cos A; \\ \operatorname{ctg} C \cdot \sin B &= \operatorname{ctg} c \cdot \sin a - \cos a \cdot \cos B.\end{aligned}\tag{3}$$

Формулы (3) позволяют по известным двум сторонам и углу между ними или двум углам и стороне между ними определять соответственно два угла и сторону между ними или две стороны и угол между ними.

4. Формула пяти элементов

В сферическом треугольнике произведение синуса стороны на косинус прилежащего угла равно произведению синуса стороны,

замыкающей этот угол, на косинус третьей стороны минус произведение их, наоборот, на косинус угла между ними:

$$\begin{aligned}
 \sin a \cdot \cos B &= \sin c \cdot \cos b - \cos c \cdot \sin b \cdot \cos A; \\
 \sin a \cdot \cos C &= \sin b \cdot \cos c - \cos b \cdot \sin c \cdot \cos A; \\
 \sin b \cdot \cos A &= \sin c \cdot \cos a - \cos c \cdot \sin a \cdot \cos B; \\
 \sin b \cdot \cos C &= \sin a \cdot \cos c - \cos a \cdot \sin c \cdot \cos B; \\
 \sin c \cdot \cos A &= \sin b \cdot \cos a - \cos b \cdot \sin a \cdot \cos C; \\
 \sin c \cdot \cos B &= \sin a \cdot \cos b - \cos a \cdot \sin b \cdot \cos C
 \end{aligned} \tag{4}$$

или

$$\begin{aligned}
 \sin A \cdot \cos b &= \sin C \cdot \cos B + \cos C \cdot \sin B \cdot \cos a; \\
 \sin A \cdot \cos c &= \sin B \cdot \cos C + \cos B \cdot \sin C \cdot \cos a; \\
 \sin B \cdot \cos a &= \sin C \cdot \cos A + \cos C \cdot \sin A \cdot \cos b; \\
 \sin B \cdot \cos c &= \sin A \cdot \cos C + \cos A \cdot \sin C \cdot \cos b; \\
 \sin C \cdot \cos a &= \sin B \cdot \cos A + \cos B \cdot \sin A \cdot \cos c; \\
 \sin C \cdot \cos b &= \sin A \cdot \cos B + \cos A \cdot \sin B \cdot \cos c.
 \end{aligned} \tag{5}$$

5. Формула синусов

В сферическом треугольнике синусы сторон пропорциональны синусам противолежащих им углов:

$$\begin{aligned}
 \frac{\sin a}{\sin A} &= \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} ; \text{ или} \\
 \frac{\sin a}{\sin b} &= \frac{\sin A}{\sin B} ; \quad \frac{\sin a}{\sin c} = \frac{\sin A}{\sin C} ; \quad \frac{\sin b}{\sin c} = \frac{\sin B}{\sin C} .
 \end{aligned} \tag{6}$$

Формулы (6) используются в основном как контрольные при решении сферического треугольника.

Решить сферический треугольник — значит найти численные значения всех его элементов по трем заданным.

Решение основных задач судовождения сводятся к четырем типам.

1 тип. Даны три стороны: a, b, c .

Необходимо определить три угла: A, B, C .

Задача решается по теореме косинуса сторон.

После преобразования имеем следующие рабочие формулы для вычисления углов сферического треугольника:

$$1) \cos A = \frac{\cos a}{\sin b \cdot \sin c} - \frac{1}{\operatorname{tg} b \cdot \operatorname{tg} c}; \quad (7)$$

$$2) \cos B = \frac{\cos b}{\sin a \cdot \sin c} - \frac{1}{\operatorname{tg} a \cdot \operatorname{tg} c}; \quad (8)$$

$$3) \cos C = \frac{\cos c}{\sin a \cdot \sin b} - \frac{1}{\operatorname{tg} a \cdot \operatorname{tg} b}. \quad (9)$$

2 mun. Даны три угла: A, B, C.

Необходимо определить три стороны: a, b, c.

После преобразования имеем следующие рабочие формулы для вычисления сторон сферического треугольника:

$$1) \cos a = \frac{\cos A}{\sin B \cdot \sin C} + \frac{1}{\operatorname{tg} B \cdot \operatorname{tg} C}; \quad (10)$$

$$2) \cos b = \frac{\cos B}{\sin A \cdot \sin C} + \frac{1}{\operatorname{tg} A \cdot \operatorname{tg} C}; \quad (11)$$

$$3) \cos c = \frac{\cos C}{\sin A \cdot \sin B} + \frac{1}{\operatorname{tg} A \cdot \operatorname{tg} B}. \quad (12)$$

3 mun. Даны две стороны (a, c) и угол между ними (B).

Необходимо определить два угла (A, C) и сторону между ними (b).

Значения углов вычисляются по теореме котангенсов. Значение стороны вычисляется по теореме косинуса стороны.

После преобразования имеем следующие рабочие формулы для вычислений:

$$1) \operatorname{ctg} A = \frac{\sin c}{\operatorname{tg} a \cdot \sin B} - \frac{\cos c}{\operatorname{tg} B}; \quad (13)$$

$$2) \operatorname{ctg} C = \frac{\sin a}{\operatorname{tg} c \cdot \sin B} - \frac{\cos a}{\operatorname{tg} B}; \quad (14)$$

$$3) \cos b = \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B. \quad (15)$$

4 тун. Даны два угла (А, С) и сторона между ними (в).

Необходимо определить две стороны (а, с) и угол между ними (В).

Значения сторон вычисляются по теореме котангенсов. Значение угла вычисляется по теореме косинуса угла.

После преобразования имеем следующие рабочие формулы для вычислений:

$$1) \operatorname{ctg} a = \frac{\sin C}{\operatorname{tg} A \cdot \sin b} + \frac{\cos C}{\operatorname{tg} b} ; \quad (16)$$

$$2) \operatorname{ctg} c = \frac{\sin A}{\operatorname{tg} C \cdot \sin b} + \frac{\cos A}{\operatorname{tg} b} ; \quad (17)$$

$$3) \cos B = -\cos A \cdot \cos C + \sin A \cdot \sin C \cdot \cos b . \quad (18)$$

Внимание! Значение углов и сторон сферического треугольника всегда должны быть положительными. Если же значение угла или стороны все же получились отрицательными, то к этому значению необходимо прибавить **180°**.

Пример.

Дано: $a = 91^{\circ}43,8'$;

$c = 98^{\circ}56,3'$;

$B = 11^{\circ}13,6'$.

Определить: А, С, b.

Значения величин сторон и угла необходимо перевести в градусные единицы измерения:

$$a = 91,73^{\circ}; \quad c = 98,938^{\circ}; \quad B = 11,227^{\circ}.$$

Значения углов А и С определяем по теореме котангенсов. Значение стороны b определяем по теореме косинуса стороны.

Решение:

$$\begin{aligned} 1) \operatorname{ctg} A &= \frac{\sin c}{\operatorname{tg} a \cdot \sin B} - \frac{\cos c}{\operatorname{tg} B} = \frac{0,987857}{(-33,108882) \cdot 0,194697} - \frac{(-0,155366)}{0,198495} = \\ &= (-0,153246) - (-0,78272) = 0,629474; \end{aligned}$$

$$\operatorname{ctg} A = 0,629474; \operatorname{tg} A = \frac{1}{\operatorname{ctg} A} = \frac{1}{0,629474} = 1,588628;$$

$$A = \operatorname{arctg} 1,588628 = 57,811^0 = \underline{\underline{57^0 48,6'}};$$

$$\begin{aligned} 2) \operatorname{ctg} C &= \frac{\sin a}{\operatorname{tg} c \cdot \sin B} - \frac{\cos a}{\operatorname{tg} B} = \frac{0,999544}{(-6,358274) \cdot 0,194697} - \frac{(-0,03019)}{0,198495} = \\ &= (-0,807427) - (-0,152095) = (-0,655332); \end{aligned}$$

$$\operatorname{ctg} C = (-0,655332); \operatorname{tg} C = \frac{1}{\operatorname{ctg} C} = \frac{1}{(-0,655332)} = (-1,525944);$$

$$C = \operatorname{arctg}(-1,525944) = -56,762^0 = -56^0 45,7';$$

$$C = (-56^0 45,7') + 180^0 = \underline{\underline{123^0 14,3'}};$$

$$\begin{aligned} 3) \cos b &= \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B = \\ &= (-0,03019) \cdot (-0,155366) + 0,999544 \cdot 0,987857 \cdot 0,980864 = \\ &= 0,00469 + 0,968512 = 0,973202; \end{aligned}$$

$$b = \arccos 0,973202 = 13,294^0 = \underline{\underline{13^0 17,6'}}.$$

Решение задач сферического треугольника возможно с помощью табл. **6-а МТ-75**. Если значение угла или стороны будет $>90^0$, то для входа в табл. **6-а** нужно определить условие: $\mathbf{A = 180^0}$ – (значение $> 90^0$).

Например: $A = 92^0$; в табл. 6-а будет $A = 180^0 - 92^0 = \underline{88^0}$.

Тема 2. ПРЯМАЯ НАВИГАЦИОННАЯ ЗАДАЧА (ПЛАВАНИЕ СУДНА ПО ЛОКСОДРОМИИ)

Прямая навигационная задача находит применение при расчетах, связанных с аналитическим счислением координат судна.

Локсодромией называется кривая линия на поверхности Земли, проходящая через две заданные точки и пересекающая все меридианы под одним и тем же углом $A_{ЛОК}$ – азимут локсодромический (или $K_{ЛОК}$ – курс локсодромический).

На карте меркаторской проекции локсодромия представляет собой прямую линию, а на земном сфероиде локсодромия спиралеобразно стремится к полюсу, никогда его не достигая.

Если известны географические координаты начального пункта отхода φ_H , λ_H , плавание по локсодромии $S_{ЛОК}$ и локсодромический курс $K_{ЛОК}$, то задача по определению координат конечного пункта прихода φ_K , λ_K называется **прямой навигационной задачей**.

Формулы для решения прямой навигационной задачи имеют вид:

$$1) \varphi'_K = \varphi_H + S_{ЛОК} \cdot \cos K_{ЛОК}; \quad (19)$$

$$2) \varphi_{cp.} = \frac{\varphi_H + \varphi'_K}{2}; \quad (20)$$

$$3) \Delta\varphi = \varphi'_K - \varphi_H, \quad (21)$$

где φ'_K – широта конечного пункта прихода судна при плавании по локсодромии без учета сфероидичности Земли ($f = 0$); $\Delta\varphi$ – разность широт конечного и начального пунктов локсодромии, град; $\varphi_{cp.}$ – средняя широта начального и конечного пунктов локсодромии, град;

$$4) f = 0,00669342 \left(1 - 1,5 \sin^2 \varphi_{cp.}\right) - 0,00180896; \quad (22)$$

$$5) g = 0,00001269 \cdot \Delta\varphi^2 \left(1 + 2 \operatorname{tg}^2 \varphi_{cp.}\right) - 0,0033908 \cdot \sin^2 \varphi_{cp.} - 0,00180896, \quad (23)$$

где f и g – коэффициенты для учета сфероидичности Земли соответственно по широте и долготе.

Значения f и g можно выбрать из табл. 2.19б МТ-2000 (или из табл. 25-б МТ-75). В этих таблицах значения f и g увеличены в 100 раз; для расчетов использовать значения, выбранные из таблиц, уменьшенные в 100 раз;

$$6) \varphi_K = \varphi_H + S_{ЛОК} (1 + f) \cdot \cos K_{ЛОК}; \quad (24)$$

$$7) \lambda_K = \lambda_H + S_{ЛОК} (1 + g) \cdot \frac{\sin K_{ЛОК}}{\cos \varphi_{ср.}}. \quad (25)$$

Прямая навигационная задача может быть решена с помощью таблиц МТ-2000 (или МТ-75):

$$1) \Delta\varphi' = S_{ЛОК} \cdot \cos K_{ЛОК} \quad (\text{т. 2.19а МТ-2000 или т. 24 МТ-75}); \quad (26)$$

$$2) W'(ОТШ) = S_{ЛОК} \cdot \sin K_{ЛОК} \quad (\text{т. 2.19а МТ-2000 или т. 24 МТ-75}); \quad (27)$$

$$3) \varphi_{ср.}^0 = \varphi_H + \frac{\Delta\varphi}{2}; \quad (28)$$

$$4) \Delta\lambda' = \frac{W'}{\cos \varphi_{ср.}^0} \quad (\text{т. 2.20 МТ-2000 или т. 25-а МТ-75}); \quad (29)$$

$$5) \varphi_K = \varphi_H + \Delta\varphi + \Delta\varphi' \cdot f \quad (\text{град, мин}); \quad (30)$$

$$6) \lambda_K = \lambda_H + \Delta\lambda + \Delta\lambda' \cdot g \quad (\text{град, мин}). \quad (31)$$

При решении навигационных задач наименования широт, долгот, разности широт и разности долгот необходимо заменить на знаки «+» или «-» по следующему правилу:

- «плюс» (+) приписывается $\varphi_N, \Delta\varphi_{KN}, \lambda_E, \Delta\lambda_{KE}$;
- «минус» (-) приписывается $\varphi_S, \Delta\varphi_{KS}, \lambda_W, \Delta\lambda_{KW}$.

Пример.

Дано: $\varphi_H = 54^{\circ}19,0'N$, $\lambda_H = 168^{\circ}43,0'W$;

$K_{ЛОК} = 163^{\circ}$; $S_{ЛОК} = 3705$ миль.

Определить: $\varphi_K = ?$, $\lambda_K = ?$

Решение:

$$1) \varphi'_K = \varphi_H + S_{\text{ЛОК}} \cdot \cos K_{\text{ЛОК}} = (+54^0 19, 0') + 3705' \cdot \cos 163^0 = (+54^0 19, 0') + 3705' \cdot (-0,956305) = (+54^0 19, 0') + (-59^0 03, 1') = (-4^0 44, 1');$$

$$2) \varphi_{cp.} = \frac{\varphi_H + \varphi'_K}{2} = \frac{(+54^0 19, 0') + (-4^0 44, 1')}{2} = 24,790833^0;$$

$$3) \Delta\varphi = \varphi'_K - \varphi_H = (-4^0 44, 1') - (+54^0 2+, 0') = (-59^0 03, 1') = (-59,051667^0);$$

$$4) f = 0,00669342(1-1,5 \cdot 0,175818) - 0,00180896 = 0,003119224;$$

$$5) g = 0,00001269 \cdot (-59,051667)^2 \cdot (1 + 0,426649) - 0,000596164 - 0,00180896 = 0,060725936 ;$$

$$6) \varphi_K = \varphi_H + S_{\text{ЛОК}} (1 + f) \cdot \cos K_{\text{ЛОК}} = (+54^0 19, 0') + 3705(1 + 0,003119224) \cdot (-0,956305) = (+54^0 19, 0') + (-59^0 14, 2') = (-4^0 55, 2') = \underline{\underline{4^0 55, 2'S}};$$

$$7) \lambda_K = \lambda_H + S_{\text{ЛОК}} (1 + g) \cdot \frac{\sin K_{\text{ЛОК}}}{\cos \varphi_{cp.}} = (-168^0 43, 0') + 3705 \cdot 1,060725936 \cdot 0,292372 \cdot 1,101510 = (-168^0 43, 0') + (+21^0 05, 7') = (-147^0 37, 3') = \underline{\underline{147^0 37, 3'W}}.$$

Порядок решения этой же задачи с помощью Мореходных таблиц:

$$1) \Delta\varphi' = -3543, 1' = -59,0517^0;$$

$$2) W' = 1083, 2';$$

$$3) \varphi_{cp.} = (+54^0 19, 0') + \frac{(-59,0517^0)}{2} = +24,79^0;$$

$$4) \Delta\lambda = \frac{1083, 2'}{0,907851} = 1193,19' = +19^0 53, 2';$$

$$5) \varphi_K = (+54^0 19, 0') + (-59^0 03, 1') + (-11, 3') = (-4^0 55, 2') = \underline{\underline{4^0 55, 2'S}};$$

$$6) \lambda_K = (-168^0 43, 0') + (+19^0 53, 2') + (+1^0 12, 5') = -147^0 37, 3' = \underline{\underline{147^0 37, 3'W}}.$$

Тема 3. ОБРАТНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ ЗАДАЧА (РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОКСОДРОМИИ)

Обратная навигационная задача находит применение при расчетах, связанных с плаванием по локсодромии и счислением координат судна.

Если известны географические координаты начального пункта отхода φ_H , λ_H и конечного пункта прихода φ_K , λ_K на земном эллипсоиде, то задача определения длины и азимута (курса) локсодромии между этими пунктами носит название **обратной навигационной задачи**.

Формулы для решения обратной навигационной задачи имеют вид:

$$1) \Delta\varphi' = \varphi_K - \varphi_H; \quad (32)$$

$$2) \Delta\lambda' = \lambda_K - \lambda_H; \quad (33)$$

$$3) PM\varphi' = M\varphi'_K - M\varphi'_H; \quad (34)$$

$$4) A = \arctg \frac{\Delta\lambda'}{PM\varphi'}; \quad (35)$$

$$5) S'_{ЛОК} = \frac{\Delta\varphi'}{\cos K_{ЛОК}}; \quad (36)$$

$$6) \varphi_{ср.} = \frac{\varphi_H + \varphi_K}{2}; \quad (37)$$

$$7) f = 0,00669342(1 - 1,5\sin^2 \varphi_{ср.}) - 0,00180896; \quad (38)$$

$$8) S_{ЛОК} = \frac{S'_{ЛОК}}{1 + f}, \quad (39)$$

где φ_H и φ_K – широты начальной и конечной пунктов; λ_H и λ_K – долготы начальной и конечной пунктов; $M\varphi'_H$ и $M\varphi'_K$ – меридиональные части параллелей φ_H и φ_K ; $S'_{ЛОК}$ – длина локсодромии на земном шаре радиусом 6 366 707 м, мили; $S_{ЛОК}$ – длина локсодромии на референц-эллипсоиде Красовского, мили; f – коэффициент для учета сфероидичности Земли.

Для получения локсодромического курса $K_{ЛОК}$ необходимо произвести анализ формулы (35):

$$\left. \begin{aligned} \text{если } A > 0, \text{ то } A' &= A; \\ \text{если } A < 0, \text{ то } A' &= A + 180^0; \\ \text{если } \Delta\lambda > 0, \text{ то } K_{ЛОК} &= A'; \\ \text{если } \Delta\lambda < 0, \text{ то } K_{ЛОК} &= A' + 180^0. \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

Меридиональные части $MЧ'_H$ и $MЧ'_K$ выбирают из Мореходных таблиц (табл. 2.28а в МТ-2000 или табл. 26 в МТ-75).

При решении навигационных задач необходимо воспользоваться правилами знаков, описанными в теме 2.

Пример.

$$\text{Дано: } \varphi_H = 54^0 19,2' N; \quad \varphi_K = 6^0 13,6' S;$$

$$\lambda_H = 168^0 43,3' W; \quad \lambda_K = 154^0 11,8' W.$$

Определить: $K_{ЛОК} = ?$, $S_{ЛОК} = ?$

Решение:

$$1) \Delta\varphi = (-6^0 13,6') - (+54^0 19,2') = (-60^0 32,8') = -3632,8';$$

$$2) \Delta\lambda = (-154^0 11,8') - (-168^0 43,3') = (+14^0 31,5') = +871,5';$$

$$3) РМЧ = (-371,8') - (+3878,6') = -4250,4';$$

$$4) A = \arctg \frac{871,5'}{(-4250,4')} = -11,587^0 \approx -11,6^0;$$

$$A' = A + 180^0 = (-11,6^0) + 180^0 = 168,4^0;$$

$$\Delta\lambda > 0; K_{ЛОК} = A' = \underline{\underline{168,4^0}};$$

$$5) S'_{ЛОК} = \frac{(-3632,8')}{(-0,979575)} = 3708,5 \text{ мили};$$

$$6) \varphi_{ср.} = \frac{(+54^0 19,2') + (-6^0 13,6')}{2} = \frac{48^0 05,6'}{2} = 24,047^0;$$

$$7) f = 0,00669342(1 - 1,5 \cdot 0,166040) - 0,00180896 = 0,003217;$$

$$8) S_{ЛОК} = \frac{3708,5'}{1 + 0,003217} = \underline{\underline{3696,6}} \text{ мили}.$$

Тема 4. ПРЯМАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Прямая геодезическая задача находит применение при расчетах, связанных с плаванием по ортодромии и определением места судна по пеленгу и дистанции.

Если известны географические координаты начального пункта φ_H , λ_H , длина S_Γ и азимут A_Γ геодезической линии на земном эллипсоиде, то задача определения географических координат конечного пункта этой линии носит название **прямой геодезической задачи**.

Формулы для решения прямой геодезической задачи имеют вид:

$$1) D_\Gamma = \frac{S_\Gamma}{60,108732}; \quad (41)$$

$$2) \varphi'_K = \arcsin(\sin \varphi_H \cdot \cos D_\Gamma + \cos \varphi_H \cdot \sin D_\Gamma \cdot \cos A_\Gamma); \quad (42)$$

$$3) S_{OPT} = S_\Gamma - 0,05037 \cdot D_\Gamma (\sin \varphi_H + \sin \varphi'_K)^2 + \\ + \frac{1322,995}{D_\Gamma} \cdot (\sin \varphi_H - \sin \varphi'_K)^2; \quad (43)$$

$$4) D_{OPT} = \frac{S_{OPT}}{60,108732}; \quad (44)$$

$$5) A_{OPT} = A_\Gamma - 0,0960333 \left[(1 + 0,0174533 \cdot D_{OPT} \cdot \operatorname{ctg} D_{OPT}) \times \right. \\ \left. \times \cos^2 \varphi_H \cdot \sin 2A_\Gamma - 0,0174533 \cdot D_{OPT} \cdot \sin 2\varphi_H \cdot \sin A_\Gamma \right]; \quad (45)$$

$$6) \varphi_K = \arcsin(\sin \varphi_H \cdot \cos D_{OPT} + \cos \varphi_H \cdot \sin D_{OPT} \cdot \cos A_{OPT}); \quad (46)$$

$$7) \lambda_K - \lambda_H = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin A_{OPT}}{\cos \varphi_H \cdot \operatorname{ctg} D_{OPT} - \sin \varphi_H \cdot \cos A_{OPT}} \right); \quad (47)$$

$$8) \lambda_K = \lambda_H + \Delta\lambda. \quad (48)$$

По формуле (47) необходимо произвести анализ:

если $(\lambda_K - \lambda_H) > 0$, то $PД = (\lambda_K - \lambda_H)$;

если $(\lambda_K - \lambda_H) < 0$, то $PД = (\lambda_K - \lambda_H) + 180^\circ$;

если $\sin A_{OPT} > 0$, то $\Delta\lambda = PД$;

если $\sin A_{OPT} < 0$, то $\Delta\lambda = PД + 180^\circ$.

В этих формулах:

S_G – длина геодезической линии, мили;

D_G – длина геодезической линии, град;

φ'_K – широта конечного пункта на земном эллипсоиде радиусом 6 378 245 м, град;

S_{OPT} – длина ортодромии, мили;

D_{OPT} – длина ортодромии, град;

A_{OPT} – азимут ортодромии, град;

φ_K и λ_K – координаты конечного пункта на референц-эллипсоиде Красовского;

60,108732 – коэффициент перехода от линейной в градусную меру для земного эллипсоида радиусом 6 378 245 м.

Пример.

Дано: $\varphi_H = 54^0 19,0' N$; $\lambda_H = 168^0 43,0' W$; $A_G = 163^0$; $S_G = 3705$ миль.

Определить: $\varphi_K = ?$ $\lambda_K = ?$

Решение:

$$1) D_G = \frac{3705}{60,108732} = 61,638299^0;$$

2)

$$\begin{aligned}\varphi'_K &= \arcsin[0,812253 \cdot 0,475036 + 0,583305 \cdot 0,879966 \cdot (-0,956305)] = \\ &= \arcsin[0,385849 + (-0,490860)] = -6,027825^0;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}3) S_{OPT} &= 3705 - 3,104721 [0,812253 + (-0,105011)]^2 + \\ &+ 21,463847 [0,812253 - (-0,105011)]^2 = \\ &= 3705 - 1,552954 + 18,059107 = 3721,5 \text{ миль};\end{aligned}$$

$$4) D_{OPT} = \frac{3721,5}{60,108732} = 61,912802^0;$$

$$\begin{aligned}5) A_{OPT} &= 163^0 - 0,0960333 [1,576667 \cdot 0,340245 \cdot (-0,559193) - \\ &- 1,080583 \cdot 0,947583 \cdot 0,292372] = 163^0 - 0,0960333 [(-0,299981) -\end{aligned}$$

$$-0,299372] = 163^0 - (-0,1^0) = 163,1^0;$$

$$6) \varphi_K = \arcsin[0,812253 \cdot 0,470815 + 0,583305 \cdot 0,882232 \times \\ \times (-0,956814)] = \arcsin[0,382421 + (-0,492386)] = -6,3133^0 = \underline{\underline{6^0 18,8'S}};$$

$$7) \lambda_K - \lambda_H = \arctg \left[\frac{0,290702}{0,583305 \cdot 0,533663 - 0,812253 \cdot (-0,956814)} \right] = \\ = \arctg \frac{0,290702}{1,088463} = +14,9533^0 = 14^0 57,2' \kappa E;$$

$$8) \lambda_K = (-168^0 43,0') + (+14^0 57,2') = -153^0 45,8' = \underline{\underline{153^0 45,8'W}}.$$

Тема 5. ОБРАТНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Обратная геодезическая задача находит применение при расчетах, связанных с плаванием по ортодромии.

Если известны географические координаты начального пункта φ_H , λ_H и конечного пункта прихода φ_K , λ_K , то задача определения длины S_Γ и азимута A_Γ геодезической линии на земном эллипсоиде между этими пунктами носит название **обратной геодезической задачи**.

Формулы для решения обратной геодезической задачи имеют вид:

$$1) \Delta\lambda = \lambda_K - \lambda_H; \quad (49)$$

$$2) D_{OPT} = \arccos(\sin \varphi_H \cdot \sin \varphi_K + \cos \varphi_H \cdot \cos \varphi_K \cdot \cos \Delta\lambda); \quad (50)$$

$$3) S_{OPT} = 60,108732 \cdot D_{OPT}; \quad (51)$$

$$4) A = \arctg\left(\frac{\sin \Delta\lambda}{\operatorname{tg} \varphi_K \cdot \cos \varphi_H - \cos \Delta\lambda \cdot \sin \varphi_H}\right). \quad (52)$$

Для получения азимута ортодромии A_{OPT} необходимо произвести анализ формулы (52):

$$\left. \begin{array}{l} \text{если } A > 0, \text{ то } A' = A; \\ \text{если } A < 0, \text{ то } A' = A + 180^0; \\ \text{если } \sin \Delta\lambda > 0, \text{ то } A_{OPT} = A'; \\ \text{если } \sin \Delta\lambda < 0, \text{ то } A_{OPT} = A' + 180^0. \end{array} \right\}; \quad (53)$$

$$5) S_\Gamma = S_{OPT} + 0,05037 \cdot D_{OPT} (\sin \varphi_H + \sin \varphi_K)^2 - \frac{1322,995}{D_{OPT}} \cdot (\sin \varphi_H - \sin \varphi_K)^2; \quad (54)$$

$$6) A_\Gamma = A_{OPT} + 0,0960333 \left[(1 + 0,0174533 \cdot D_{OPT} \cdot \operatorname{ctg} D_{OPT}) \times \cos^2 \varphi_H \cdot \sin 2A_{OPT} - 0,0174533 \cdot D_{OPT} \cdot \sin 2\varphi_H \cdot \sin A_{OPT} \right]. \quad (55)$$

В этих формулах:

D_{OPT} – длина геодезической линии (ортодромия), град;

S_{OPT} – длина геодезической линии на земном шаре (ортодромия) радиуса 6 378 245 м, мили;

A_{OPT} – азимут геодезической линии на земном шаре (ортодромия), град;

S_T – длина геодезической линии на референц-эллипсоиде Красовского, мили;

A_T – азимут геодезической линии на референц-эллипсоиде Красовского, град.

Обратная геодезическая задача может быть решена с помощью таблиц ТВА-57 и ВАС-58, принимая при этом:

$\varphi_H = \varphi_C$; $\varphi_K = \delta$; $\Delta\lambda = t_M$; $D_{OPT} = 90^0 - h_C$; $A_{OPT} = A_C$ (кругового счета).

Пример.

Дано: $\varphi_H = 54^019,2'N$; $\varphi_K = 6^013,6'S$;

$\lambda_H = 168^043,3'W$; $\lambda_K = 154^011,8'W$.

Определить: $S_T = ?$, $A_T = ?$

Решение:

$$1) \Delta\lambda = (-154^011,8') - (-168^043,3') = +14^031,5' = +14,525^0;$$

$$2) D_{OPT} = \arccos[0,812287 \cdot (-0,108462) + 0,583258 \times \\ \times 0,994101 \cdot 0,968038] = \arccos[(-0,088103) + 0,561285] = \\ = \arccos 0,473182 = 61,758954^0;$$

$$3) S_{OPT} = 60,108732 \cdot 61,758954 = 3712,3 \text{ мили};$$

$$4) A = \arctg \left[\frac{0,250802}{(-0,109106) \cdot 0,583258 - 0,968038 \cdot 0,812287} \right] = \\ = \arctg \frac{0,250802}{(-0,063637) - 0,786325} = \arctg \frac{0,250802}{(-0,849962)} = \\ = \arctg(-0,295074) = -16,4^0;$$

$$A < 0; \quad A' = (-16,4^0) + 180^0 = 163,6^0;$$

$$\sin \Delta \lambda > 0; \quad A_{OPT} = 163,6^0;$$

$$\begin{aligned} 5) S_T &= 3712,3 + 3,110799 \cdot [0,812287 + (-0,108462)]^2 - 21,421914 \times \\ &\times [0,812287 - (-0,108462)]^2 = 3712,3 + 3,110799 \cdot 0,495370 - \\ &- 21,421914 \cdot 0,847779 = 3712,3 + 1,540997 - 18,161049 = \underline{3695,7 \text{ мили}}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6) A_T &= 163,6^0 + 0,0960333 [(1 + 0,0174533 \cdot 61,758954 \times \\ &\times \operatorname{ctg} 61,758954) \cdot \cos^2 54,32^0 \cdot \sin(2 \cdot 163,6^0) - 0,0174533 \times \\ &\times 61,758954 \cdot \sin(2 \cdot 54,32^0) \cdot \sin 163,6^0] = 163,6^0 + 0,0960333 \times \\ &\times [1,578958 \cdot 0,340189 \cdot (-0,541708) - 0,288371] = 163,6^0 + (-0,1^0) = \underline{163,5^0}. \end{aligned}$$

Порядок решения этой же задачи с помощью таблицы ВАС-58:

$$\varphi_C = 54^0 19,2' N; \quad \delta = 6^0 13,6' S; \quad t_M = 14^0 31,5' E;$$

				h	$28^0 41,4'$	A_T	162,9
φ	$54^0 19,2' N$	54	+19,2	Δh_φ	-18,4	ΔA_φ	+0,1
δ	$6^0 13,6' S$	6	+13,6	Δh_δ	-13,4	ΔA_δ	0
t_M	$14^0 31,5' E$	15	-28,5	Δh_t	+4,9	ΔA_t	+0,6
q	170			h_c	$28^0 14,5'$	A_C	$163,6^0 \text{ NE}$

φ и δ разноименные.

$$D = 90^0 - 28^0 14,5' = 61^0 45,5'; \quad \underline{A_{OPT} = 163,6^0};$$

$$S_{OPT} = 60,108732 \cdot 61,758^0 = \underline{\underline{3712,2 \text{ мили}}}.$$

Тема 6. ПЛАВАНИЕ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИНИИ (С УЧЕТОМ И БЕЗ УЧЕТА СФЕРОИДИЧНОСТИ ЗЕМЛИ)

Основой для выбора оптимального маршрута плавания судна является кратчайшее расстояние между начальным пунктом отхода и конечным пунктом прихода судна.

На математической модели Земли в виде эллипсоида линия кратчайшего расстояния между начальным и конечным пунктами маршрута перехода судна носит название *геодезической линии*, которая на морских картах меркаторской проекции изображается кривой линией, обращенной своей выпуклостью к ближайшему географическому полюсу.

Геодезическая линия (ортодромия) пересекает географические меридианы под разными углами, поэтому плавание судна по ней возможно только теоретически – непрерывным изменением курса. Практически под «плаванием по геодезической линии» понимают движение судна по хордам геодезической линии локсодромическими курсами. Длина таких хорд определяется отличием двух соседних локсодромических курсов на $3-5^0$ и назначается исходя из обстоятельств плавания. Обычно за длину хорд принимают полусуточное или суточное плавание судна (около $200 \div 400$ миль).

Расчет плавания судна по геодезической линии включает в себя решение следующих задач:

- 1) задание координат начального φ_H, λ_H и конечного φ_K, λ_K пунктов маршрута перехода судна;
- 2) определение длины S_G и азимута A_G геодезической линии, соединяющей начальный и конечный пункты маршрута, т.е. решение обратной геодезической задачи по формулам (49)-(55);
- 3) определение длины $S_{ЛОК}$ и курса $K_{ЛОК}$ локсодромии, соединяющей начальный и конечный пункты маршрута, т.е. решение обратной навигационной задачи по формулам (32)-(40);
- 4) определение разности длин ΔS локсодромии и геодезической линии (определение выигрыша пути, т.е. определение целесообразности плавания по геодезической линии):

$$\Delta S = S_{ЛОК} - S_G; \quad (56)$$

5) определение количества n промежуточных точек геодезической линии, наносимых на генеральную карту:

$$n = \frac{S_{\Gamma}}{S_X}, \quad (57)$$

где S_X – длина хорд геодезической линии (полусуточное или суточное плавание судна), мили; n – количество промежуточных точек, определяется до целого числа в меньшую сторону;

6) определение координат промежуточных точек геодезической линии φ_i, λ_i , т.е. решение прямой геодезической задачи по формулам (41)-(48);

7) нанесение промежуточных точек геодезической линии на генеральную карту для представления о расположении этой линии относительно навигационных опасностей;

8) определение начального локсодромического курса ПУ, которым необходимо совершить плавание по первой хорде геодезической линии S_X :

$$D_X = \frac{S_X}{60,108732}; \quad (58)$$

$$ПУ_1 = A_{\Gamma} + 0,5 \cdot D_X \cdot \sin A_{\Gamma} \cdot \operatorname{tg} \varphi_H. \quad (59)$$

Как правило, локсодромические курсы для других хорд заранее не рассчитывают. Их рассчитывают в море при фактическом плавании судна.

Для вычисления географических координат последующих промежуточных точек ($\varphi_{K_2}, \lambda_{K_2}; \varphi_{K_3}, \lambda_{K_3}$ и т.д.) за начальные координаты принимают координаты предыдущей промежуточной точки ($\varphi_{K_1}, \lambda_{K_1}$ и т.д.).

В практике современного судовождения допустимо использовать *упрощенный расчет плавания судна по геодезической линии без учета сфероидичности Земли*, который включает в себя решение следующих задач:

1) задание координат начального φ_H, λ_H и конечного φ_K, λ_K пунктов маршрута перехода судна;

2) определение приблизительной разности ΔS длин локсодромии и геодезической линии, соединяющих начальный и конечный пункты маршрута, %:

$$\Delta S = 0,0012(\Delta\lambda \cdot \sin \varphi_{cp.})^2, \quad (60)$$

где $\Delta\lambda$ – разность долгот начальной и конечной точек пунктов маршрута перехода судна, град; $\varphi_{cp.}$ – средняя широта между начальной и конечной точками пунктов маршрута, град.

Если $\Delta S \geq 0,5$ %, то плавание по геодезической линии (ортодромии) предпочтительно;

3) определение длины D_{OPT} и азимута A_{OPT} ортодромии, соединяющей начальный и конечный пункты маршрута, т.е. решение обратной геодезической задачи по формулам (49), (50), (52);

4) определение длины ортодромии S_{OPT} на земном шаре радиуса 6 366 707 м:

$$S_{OPT} = 60 \cdot D_{OPT}; \quad (61)$$

5) определение количества n промежуточных точек ортодромии:

$$n = \frac{S_{OPT}}{S_X}, \quad (62)$$

где S_X – длина хорд ортодромии, т.е. полусуточное или суточное плавание судна, мили;

6) определение начального локсодромического курса (пути) ПУ, которым необходимо совершить плавание S_X по первой хорде ортодромии:

$$D_X = \frac{S_X}{60}; \quad (63)$$

$$ПУ = A_{OPT} + 0,5 \cdot D_X \cdot \sin A_{OPT} \cdot \operatorname{tg} \varphi_H; \quad (64)$$

7) определение координат φ_1, λ_1 первой промежуточной точки ортодромии (конец первой хорды ортодромии), т.е. решение прямой навигационной задачи:

$$\varphi_1 = \varphi_H + S_X \cdot \cos \Pi Y; \quad (65)$$

$$\lambda_1 = \lambda_H + S_X \cdot \frac{\sin \Pi Y}{\cos \varphi_H}; \quad (66)$$

8) определение координат φ_i, λ_i других промежуточных точек ортодромии по изложенной выше методике определения координат φ_1, λ_1 , принимая за новые начальные пункты маршрута координаты предыдущих точек.

Пример.

Дано: $\varphi_H = 49^0 N$; $\varphi_K = 46^0 30' N$;

$\lambda_H = 7^0 W$; $\lambda_K = 50^0 W$; $S_X = 215$ миль.

Определить: $\varphi_i, \lambda_i, \Pi Y_1$ с учетом сфероидичности Земли.

Решение:

$$1) \Delta\lambda = \lambda_K - \lambda_H = (-50^0) - (-7^0) = -43^0;$$

2)

$$D_{OPT} = \arccos(\sin \varphi_H \cdot \sin \varphi_K + \cos \varphi_H \cdot \cos \varphi_K \cdot \cos \Delta\lambda) =$$

$$= \arccos(0,547447 + 0,330280) = 28,630595^0;$$

$$3) S_{OPT} = 60,108732 \cdot D_{OPT} = 60,108732 \cdot 28,630595 = 1720,9 \text{ миль};$$

$$4) A = \arctg\left(\frac{\sin \Delta\lambda}{tg \varphi_K \cdot \cos \varphi_H - \cos \Delta\lambda \cdot \sin \varphi_H}\right) =$$

$$= \arctg \frac{(-0,681998)}{0,691342 - 0,551960} = -78,4494^0;$$

так как $A < 0$ и $\sin \Delta\lambda < 0$, то $A' = (-78,4494^0) + 180^0 = 101,5506^0$;

$$A_{OPT} = 101,5506^0 + 180^0 = 281,5506^0;$$

$$5) S_{\Gamma} = S_{OPT} + 0,05037 \cdot D_{OPT} (\sin \varphi_H + \sin \varphi_K)^2 - \\ - \frac{1322,995}{D_{OPT}} \cdot (\sin \varphi_H - \sin \varphi_K)^2 = 720,9 + 3,1592 - 0,039765 = 1724 \text{ мили};$$

$$6) A_{\Gamma} = A_{OPT} + 0,0960333 \left[\left(1 + \frac{0,0174533 \cdot D_{OPT}}{\operatorname{tg} D_{OPT}} \right) \times \right. \\ \times \cos^2 \varphi_H \cdot \sin 2A_{OPT} - 0,0174533 \cdot D_{OPT} \cdot \sin 2\varphi_H \cdot \sin A_{OPT} \left. \right] = \\ = 281,5506 + 0,0960333 \left[1,915348 \cdot 0,430413 \cdot (-0,392356) - \right. \\ \left. - (-0,484814) \right] = 281,5661^0;$$

$$7) \Delta \varphi' = \varphi_K - \varphi_H = (+46^0 30') - (+49^0) = -2^0 30' = -150';$$

$$8) \Delta \lambda' = \lambda_K - \lambda_H = (-50^0) - (-7^0) = -43^0 = -2580';$$

$$9) PM\varphi' = M\varphi_K - M\varphi_H = 3142,2 - 3364,7 = -222,5';$$

$$10) A = \operatorname{arctg} \frac{\Delta \lambda'}{PM\varphi'} = \operatorname{arctg} \frac{(-2580)}{(-222,5)} = 85,071^0;$$

так как $A > 0$, а $\Delta \lambda < 0$, то

$$A' = A, K_{ЛОК} = A' + 180^0 = 85,071^0 + 180^0 = 265,071^0;$$

$$11) S'_{ЛОК} = \frac{\Delta \varphi'}{\cos K_{ЛОК}} = \frac{(-150')}{(-0,08592)} = 1745,81 \text{ миль};$$

$$12) \varphi_{cp.} = \frac{\varphi_H + \varphi_K}{2} = \frac{(+49^0) + (+46^0 30')}{2} = 47,45^0;$$

$$13) f = 0,00669342 \left(1 - 1,5 \sin^2 \varphi_{cp.} \right) - 0,00180896 = -0,000617;$$

$$14) S_{ЛОК} = \frac{S'_{ЛОК}}{1 + f} = 1746,9 \text{ мили};$$

$$15) \Delta S = S_{ЛОК} - S_{\Gamma} = 1746,9 - 1724,0 = 22,9 \text{ мили};$$

$$16) n = \frac{S_{\Gamma}}{S_X} = \frac{1724'}{215'} = 8,02 = 8 \text{ точек};$$

$$17) D_X = \frac{S_X}{60,108732} = \frac{215}{60,108732} = 3,576851^0;$$

$$18) \varphi'_K = \arcsin(\sin \varphi_H \cdot \cos D_X + \cos \varphi_H \cdot \sin D_X \cdot \cos A_\Gamma) = \\ = \arcsin(0,753239 + 0,008206) = 49,591782^0;$$

$$19) S_{OPT} = S_X - 0,05037 \cdot D_X \cdot (\sin \varphi_H + \sin \varphi'_K)^2 + \frac{1322,995}{D_X} \times \\ \times (\sin \varphi_H - \sin \varphi'_K)^2 = 215 - 0,414152 + 0,016781 = 214,60263 \text{ мили};$$

$$20) D_{OPT} = \frac{S_{OPT}}{60,108732} = \frac{214,60263}{60,108732} = 3,570241^0;$$

21)

$$A_{OPT} = A_\Gamma - 0,0960333 \left[\left(1 + \frac{0,0174533 \cdot D_{OPT}}{\operatorname{tg} D_{OPT}} \right) \cdot \cos^2 \varphi_H \cdot \sin 2A_\Gamma - \right. \\ \left. - 0,0174533 \cdot D_{OPT} \cdot \sin 2\varphi_H \cdot \sin A_\Gamma \right] = 281,5661 - 0,0960333 \times \\ \times [1,998706 \cdot 0,430413 \cdot (-0,392854) - (-0,060453)] = 281,59275^0;$$

$$22) \lambda_K - \lambda_H = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin A_{OPT}}{\frac{\cos \varphi_H}{\operatorname{tg} D_{OPT}} - \sin \varphi_H \cdot \cos A_{OPT}} \right) = \\ = \operatorname{arctg} \frac{(-0,9796)}{10,514906 - 0,151662} = -5,4^0 = -5^0 24';$$

$$23) \varphi_{K1} = \arcsin(\sin \varphi_H \cdot \cos D_{OPT} + \cos \varphi_H \cdot \sin D_{OPT} \cdot \cos A_{OPT}) = \\ = \arcsin(0,753245 + 0,00821) = +49,593333 = \underline{\underline{+49^0 35,6' (N)}};$$

$$24) \lambda_{K1} = \lambda_H + \Delta\lambda = (-7^0) + (-5^0 24') = \underline{\underline{-12^0 24,0' (W)}} = -12,4^0;$$

$$25) ПУ_1 = A_\Gamma + 0,5 \cdot D_X \cdot \sin A_\Gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi_H = \\ = 281,5661 + 0,5 \cdot 3,576851 \cdot (-0,9797) \cdot 1,15 = \underline{\underline{279,55^0}}.$$

Рассчитываем координаты следующих промежуточных точек:

$$26) \Delta\lambda = (-50^0) - (-12,4^0) = -37,6^0;$$

$$27) D_{OPT} = \arccos(0,552346 + 0,353517) = 25,0602^0;$$

$$28) S_{OPT} = 1503,6 \text{ мили};$$

- 29) $A = \arctg \frac{(-0,610145)}{0,683069 - 0,603299} = -82,55143^0$;
 $A' = (-82,55143^0) + 180^0 = 97,44857^0$;
 $A_{OPT} = 97,44857^0 + 180^0 = 277,44857^0$;
- 30) $A_T = 277,44857 + 0,0960333[1,935404 \cdot 0,42017 \cdot (-0,257085) -$
 $-(-0,42813)] = 277,66764^0$;
- 31) $D_X = 3,576851^0$;
- 32) $\varphi'_K = \arcsin(0,75998 + 0,04044 \cdot 0,133426) = 49,9404^0$;
- 33) $S_{OPT} = 215 - 0,05037 \cdot 3,576851 \cdot 2,331235 + 0,005662 =$
 $= 214,585653$ мили;
- 34) $D_{OPT} = \frac{214,585653}{60,108732} = 3,569958^0$;
- 35) $A_{OPT} = 277,66764 - 0,0960[1,998706 \cdot 0,42017 \cdot (-0,264467) -$
 $-(-0,060958)] = 277,6831^0$;
- 36) $\Delta\lambda = \arctg \frac{(-0,991023)}{10,389909 - 0,101803} = -5,502158^0 = -5^030,1'(\kappa W)$;
- 37) $\varphi_{K_2} = \arcsin(0,759985 + 0,005396) = 49,941^0 = \underline{\underline{49^056,5'N}}$;
- 38) $\lambda_{K_2} = (-12^024') + (-5^030,1') = \underline{\underline{(-)17^054,1'W}}$;
- 39) $\varphi_{K_3} = \underline{\underline{50^000,0'N}}$;
- 40) $\lambda_{K_3} = \underline{\underline{23^027,2'W}}$.

Для усвоения данной темы (плавание по геодезической линии) достаточно рассчитать три первые промежуточные точки.

***Расчет плавания по геодезической линии
без учета сфероидичности Земли***

$$1) \Delta S \% = 0,0012(\Delta\lambda \cdot \sin \varphi_{cp.})^2 = 0,0012[(-43) \cdot \sin 47,75]^2 =$$

- $= 1,2157 \%$;
- 2) $D_{OPT} = 28,630595^0$;
- 3) $S_{OPT} = 60 \cdot D_{OPT} = 60 \cdot 28,630595 = 1717,8357$ мили;
- 4) $A_{OPT} = 281,5506^0$;
- 5) $n = \frac{S_{OPT}}{S_X} = \frac{1717,8357}{215} = 7,99 = 7$ точек;
- 6) $D_X = \frac{S_X}{60} = \frac{215}{60} = 3,583333^0$;
- 7) $ПУ_1 = A_{OPT} + 0,5 \cdot D_X \cdot \sin A_{OPT} \cdot \operatorname{tg} \varphi_H =$
 $= 281,5506 + 3,583333 \cdot (-0,979748) \cdot 1,150368 = \underline{\underline{279,53126^0}}$;
- 8) $\varphi_1 = \varphi_H + S_X \cdot \cos ПУ_1 = 49^0 + 215 \cdot \cos 279,53126^0 = +49,593333 =$
 $= \underline{\underline{49^0 35,6' N}}$;
- 9) $\lambda_1 = \lambda_H + \frac{S_X \cdot \sin ПУ_1}{\cos \varphi_H} = (-7^0) + \frac{215 \cdot \sin 279,53126^0}{\cos 49^0} =$
 $= (-7^0) + (-5^0 23,2') = (-) \underline{\underline{12^0 23,2' W}} = (-12,38667^0)$;
- 10) $\Delta \lambda = (-50^0) - (-12^0 23,2') = -37,6133^0$;
- 11) $D_{OPT} = 25,0687^0$;
- 12) $S_{OPT} = 1504,122$ мили;
- 13) $A_{OPT} = 277,4556^0$;
- 14) $\underline{\underline{ПУ_2 = 275,3687^0}}$;
- 15) $\varphi_2 = 49^0 35,6' + 20,1' = \underline{\underline{49^0 55,7' N}}$;
- 16) $\lambda_2 = (-12^0 23,2') + (-5^0 30,2') = \underline{\underline{17^0 53,4' W}}$.

Тема 7. РАСЧЕТ РАМКИ И КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТКИ МОРСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ КАРТЫ

Географической картой называется уменьшенное и искаженное по определенному математическому закону изображение части или всей земной поверхности на плоскости с помощью условных знаков.

Способ изображения земной поверхности на плоскости называется *картографической проекцией*. Картографическая проекция определяет характер неизбежных и сознательных искажений земной поверхности, изображенной на той или иной карте.

Картографической сеткой называется совокупность линий, изображающих параллели и меридианы на плоскости проекции.

Степень уменьшения изображения земной поверхности на карте выражается масштабом – главным или частным. *Масштабом карты* (или плана) называется отношение длины отрезка S_0 , взятого на карте (плане), к соответствующему отрезку S на земной поверхности, т.е.

$$M = \frac{S_0}{S}.$$

На морских навигационных картах масштаб обычно обозначается в виде дроби счислением 1: 1:50 000; 1:100 000.

Знаменатель масштаба C ($M=1:C$) выражают круглым числом.

Масштабы карт (планов) бывают главными и частными. Главный масштаб указывается в заголовке карты. Частный масштаб указывается за рамкой карты.

Для оптимальной стыковки карт главные параллели определяют для каждого моря, и все карты этого моря имеют главную параллель $\varphi_{ГП}$.

Единицей карты e называется длина графического изображения одной минуты дуги параллели, выраженная в миллиметрах в масштабе карты. Единица карты как постоянная величина используется при расчете картографической сетки меркаторской проекции.

Формулы для расчета рамки и картографической сетки меркаторской карты имеют вид:

$$1) \varphi_{ГП} = \frac{\varphi_N + \varphi_S}{2}; \quad (67)$$

$$2) e = \frac{1855356,2 \cdot \cos \varphi_{ГП}}{c_{ГП} \sqrt{1 - 0,006693367 \cdot \sin^2 \varphi_{ГП}}}; \quad (68)$$

$$3) a = (\lambda'_E - \lambda'_W) e; \quad (69)$$

$$4) b = (M\varphi'_N - M\varphi'_S) e; \quad (70)$$

$$5) \Delta\varphi' = \sqrt{\frac{c_{ГП}}{675 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ГП}}}; \quad (71)$$

$$6) a_i = (\lambda'_E - \lambda'_i) e; \quad (72)$$

$$7) b_i = (M\varphi'_N - M\varphi'_i) e, \quad (73)$$

где φ_N – широта северной стороны рамки карты, град, мин; φ_S – широта южной стороны рамки карты, град, мин; λ_E – долгота восточной стороны рамки карты, град, мин; λ_W – долгота западной стороны рамки карты, град, мин; $M\varphi_N$ – меридиональная часть северной стороны рамки карты, мин; $M\varphi_S$ – меридиональная часть южной стороны рамки карты, мин; $\varphi_{ГП}$ – широта главной параллели карты, град; $c_{ГП}$ – знаменатель главного масштаба карты; e – единица карты, мм; a – длина северной (южной) стороны рамки карты, мм; b – длина восточной (западной) стороны рамки карты, мм; $\Delta\varphi'$ – промежуток практически постоянного линейного масштаба, мин; a_i – расстояние от восточной стороны рамки карты до промежуточного меридиана λ_i , мм; b_i – расстояние от северной стороны рамки карты до промежуточной параллели φ_i , мм; $M\varphi_i$ – меридиональная часть параллели φ_i , мин.

Для решения формул (67), (69), (70), (72), (73) необходимо наименования широт и долгот поменять на соответствующие знаки. $\varphi_{ГП}$ в формулах (68) и (71) независимо от наименования всегда считать положительной.

После произведенных расчетов рамки карты (a и b) параллели φ_i и меридианы λ_i вычерчиваются на листе плотной бумаги (или на обратной стороне морской карты) форматом **680x930** мм. Отрез-

ки между промежуточными меридианами на северной и южной (верхней и нижней) сторонах рамки карты разбивают на минуты долготы, а между промежуточными параллелями на восточной и западной сторонах рамки карты разбивают на минуты широты. Длина 1' долготы равна единице карты e ; длина 1' широты, называемая меркаторской милей, определяется длиной отрезка

$$\Delta b_i = b_i - b_{i-1},$$

поделенного на промежутков $\Delta \varphi$ практически постоянного линейного масштаба.

Пример.

$$\text{Дано: } \varphi_N = -62^0 45'; \quad \lambda_E = +26^0 20'; \quad c_{ГП} = 50000;$$

$$\varphi_S = -63^0 00'; \quad \lambda_W = +25^0 30'; \quad \Delta \lambda = 20'.$$

Решение:

1) вычислить широту главной параллели карты $\varphi_{ГП}$ с округлением результата, полученного по формуле (67), до целого градуса в ближайшую большую или меньшую сторону:

$$\varphi_{ГП} = \frac{(-62^0 45') + (-63^0 00')}{2} = 63^0;$$

2) задать знаменатель главного масштаба карты $c_{ГП}$ (этот знаменатель, обеспечивая вложение рамки в формат **680x930** мм, должен быть как можно меньшим);

в нашем примере $c_{ГП} = 50\ 000$;

3) определить единицу карты по формуле (68):

$$e = \frac{1855356,2 \cdot \cos 63^0}{50000 \sqrt{1 - 0,006693367 \cdot \sin^2 63^0}} = \frac{842314,0884}{49866,97768} = 16,891 \approx 16,89 \text{ мм};$$

4) определить длину северной (южной) стороны рамки карты по формуле (69):

$$a = (1580' - 1530') \cdot 16,89 = 845 \text{ мм};$$

5) определить длину восточной (западной) стороны рамки карты по формуле (70):

$$MЧ_N = -4851,5'; MЧ_S = -4884,4'; (\text{т. 26 МТ-75 или т. 2.28а МТ-2000});$$

$$b = [(-4851,5') - (-4884,4')] \cdot 16,89 = 556 \text{ мм};$$

6) определить промежуток практически постоянного линейного масштаба по формуле (71) с округлением в меньшую сторону до целого числа, кратного $5', 10', 15', 20'$ или $30'$:

$$\Delta\varphi' = \sqrt{\frac{50000}{675 \cdot \operatorname{tg} 63^0}} = 6,1435; \quad \Delta\varphi = 5';$$

7) определить расстояние от восточной стороны рамки до промежуточных меридианов $\lambda_1 = +26^0 00'$ и $\lambda_2 = +25^0 40'$ (для $\Delta\lambda = 20'$) по формуле (72):

$$a_1 = \Delta\lambda' \cdot e = 20' \cdot 16,89 = \underline{\underline{338 \text{ мм}}};$$

$$a_2 = 2 \cdot \Delta\lambda' \cdot e = 2 \cdot 20' \cdot 16,89 = \underline{\underline{676 \text{ мм}}};$$

8) определить расстояние от северной стороны рамки карты до промежуточных параллелей $\varphi_1 = -62^0 50'$ и $\varphi_2 = -62^0 55'$ (для $\Delta\varphi = 5'$) по формуле (73):

$$b_1 = [(-4851,5') - (-4862,5)] \cdot 16,89 = 185,9 \text{ мм} \approx \underline{\underline{186 \text{ мм}}};$$

$$b_2 = [(-4851,5') - (-4873,4)] \cdot 16,89 = 370,1 \text{ мм} \approx \underline{\underline{370 \text{ мм}}}.$$

Вычертить рамку карты и картографическую сетку:

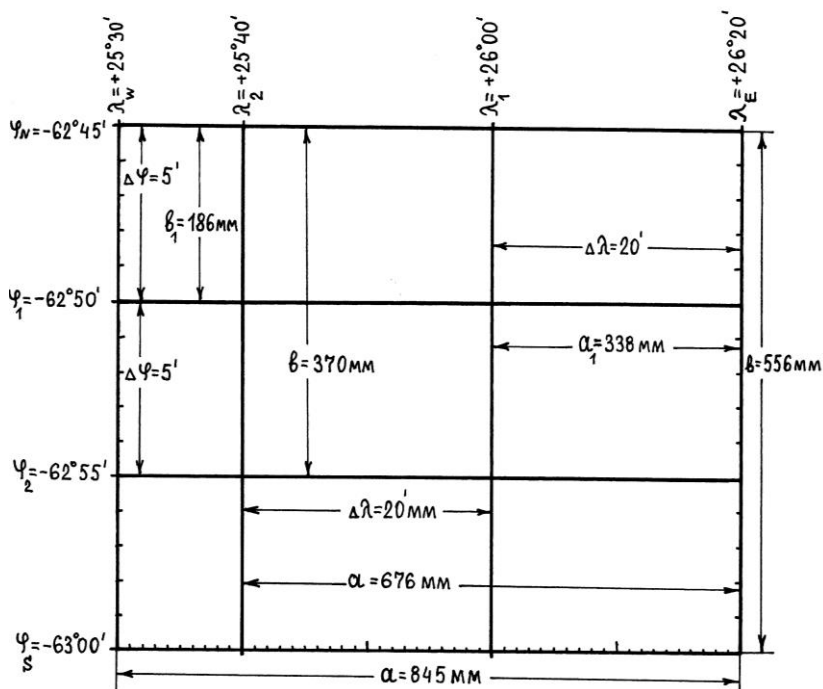


Рис. 2

Тема 8. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАВНОТОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ВЫСОТЫ СВЕТИЛА (РАСЧЕТ СКП ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ СВЕТИЛА)

Измерение светила – это определение значения **ОС** (отсчета секстана) высоты светила на гринвичское время $T_{ГР}$ опытным путем с помощью навигационного секстана.

Наблюдение светила – это экспериментальная операция в процессе измерения, в результате которой получают на гринвичское время $T'_{ГР}$ одно значение $ОС'$ из группы n значений высоты, подлежащих совместной обработке для определения результата измерения.

Оценками точности результатов равноточных наблюдений высоты светила являются *средние квадратические погрешности* результатов наблюдения $m'_{ОС}$ и результатов измерения, полученные обработкой группы n результатов равноточных наблюдений высоты светила.

Формулы для расчета СКП $m'_{ОС}$ и $m_{ОС}$ имеют вид:

$$1) \quad OC = \frac{[OC_i]}{n}; \quad (74)$$

$$2) \quad T_{CEK} = \frac{[T_{CEKi}]}{n}; \quad (75)$$

$$3) \quad \omega_{ht} = 0,25 \cdot \cos \varphi \cdot \sin ИП; \quad (76)$$

$$4) \quad \omega_{hz} = \frac{V}{3600} \cdot \cos(ИП - ПУ); \quad (77)$$

$$5) \quad \omega_h = \omega_{ht} + \omega_{hz}; \quad (78)$$

$$6) \quad \Delta OC_i = -\omega_h \cdot T_{ceki}; \quad (79)$$

$$7) \quad OC_{ИPi} = OC_i + \Delta OC_i; \quad (80)$$

$$8) \quad OC_{ИP} = \frac{[OC_{ИPi}]}{n}; \quad (81)$$

$$9) \quad v_i = OC_{ИPi} - OC_{ИP}; \quad (82)$$

$$10) \quad m'_{ОС} = \sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-1}}; \quad (83)$$

$$11) m_{OC} = \frac{m'_{OC}}{\sqrt{n}}, \quad (84)$$

где OC_i – измеренные значения отсчетов секстана равноточных наблюдений высоты светила; OC – осредненное значение измеренных высот светил; T_{CEKi} – фиксированное значение времени равноточных наблюдений высоты светила; T_{CEK} – осредненное значение времени при измерении высот светил; ω_{ht} – скорость изменения высоты светила вследствие видимого суточного движения этого светила, мин дуги/сек; ω_{hz} – скорость изменения высоты светила вследствие движения судна, мин дуги/сек; ω_h – общая скорость изменения высоты светила, мин дуги/сек; φ – широта счислимого места судна в период наблюдений высоты светила; $ИП$ – истинный пеленг светила в период наблюдений высоты светила; $ПУ$ – путь судна в период наблюдений высоты светила; V – скорость судна в период наблюдений высоты светила, уз; ΔOC_i – поправка для приведения результата наблюдения высоты светила к моменту и месту пуска секундомера, минуты дуги; OC_{Pri} – приведенный результат наблюдения высоты светила; OC_{Pr} – приведенный результат измерения высоты светила; V – вероятнейшая погрешность приведенного результата наблюдения высоты светила; n – количество результатов наблюдений высоты светила.

Пример.

Дано: $\varphi = -33^{\circ}29'$; $V = 14,5$ уз; $A = 41^{\circ}$; $ИП = 319^{\circ}$; $ПУ = 297^{\circ}$;

Определить: $m'_{OC} = ?$, $m_{OC} = ?$

$T_{сек}^{мин} i$	$T_{сек} i$	OC_i	ΔOC_i	OC_{Pri}	v_i	v_i^2
0^m00^c	0^c	$33^019,9'$	$0, 0'$	$33^019,9'$	-0,4	0,16
0 31	31	17,4	+4,1	21,5	+1,2	1,44
1 05	65	12,2	+8,6	20,8	+0,5	0,25
1 29	89	08,5	+11,8	20,3	0,0	0
1 51	111	05,1	+14,8	19,9	-0,4	0,16
2 12	132	01,9	+17,6	19,5	-0,8	0,64
2^m45^c	165^c	$32^058,1'$	$+21, 9'$	$33^020,0'$	-0,3	0,09

Решение:

$$1) OC = \frac{19,9 + 17,4 + 12,2 + 8,5 + 5,1 + 1,9 + (-1,9)}{7} = 33^0 09,0';$$

$$2) T_{сек} = \frac{31 + 65 + 89 + 111 + 132 + 165}{7} = 84,7 \text{ сек} = 1 \text{ мин } 25 \text{ сек};$$

$$3) \omega_{ht} = 0,25 \cdot 0,834 \cdot (-0,656) = -0,137;$$

$$4) \omega_{hz} = \frac{14,5}{3600} \cdot 0,9272 = +0,004;$$

$$5) \omega_h = (-0,137) + 0,004 = -0,133;$$

$$6) \Delta OC_2 = -(-0,133) \cdot 31 = +4,1;$$

$$\Delta OC_3 = -(-0,133) \cdot 65 = +8,6;$$

$$\Delta OC_4 = -(-0,133) \cdot 89 = +11,8;$$

$$\Delta OC_5 = -(-0,133) \cdot 111 = +14,8;$$

$$\Delta OC_6 = -(-0,133) \cdot 132 = +17,6;$$

$$\Delta OC_7 = -(-0,133) \cdot 165 = +21,9;$$

$$7) OC_{ПП1} = 33^0 19,9' + 0 = 33^0 19,9';$$

$$OC_{ПП2} = 33^0 17,4' + 4,1' = 33^0 21,5';$$

$$OC_{ПП3} = 33^0 12,2' + 8,6' = 33^0 20,8';$$

$$OC_{ПП4} = 33^0 08,5' + 11,8' = 33^0 20,3';$$

$$OC_{ПП5} = 33^0 05,1' + 14,8' = 33^0 19,9';$$

$$OC_{ПП6} = 33^0 01,9' + 17,6' = 33^0 19,5';$$

$$OC_{ПП7} = 32^0 58,1' + 21,9' = 33^0 20,0';$$

$$8) OC_{ПП} = \frac{19,9 + 21,5 + 20,8 + 20,3 + 19,9 + 19,5 + 20,0}{7} = 33^0 20,3';$$

$$\begin{aligned}
9) \quad \nu_1 &= 33^0 19,9' - 33^0 20,3' = -0,4'; & \nu_1^2 &= 0,16; \\
\nu_2 &= 33^0 21,5' - 33^0 20,3' = +1,2'; & \nu_2^2 &= 1,44; \\
\nu_3 &= 33^0 20,8' - 33^0 20,3' = +0,5'; & \nu_3^2 &= 0,25; \\
\nu_4 &= 33^0 20,3' - 33^0 20,3' = 0; & \nu_4^2 &= 0; \\
\nu_5 &= 33^0 19,9' - 33^0 20,3' = -0,4'; & \nu_5^2 &= 0,16; \\
\nu_6 &= 33^0 19,5' - 33^0 20,3' = -0,8'; & \nu_6^2 &= 0,64; \\
\nu_7 &= 33^0 20,0' - 33^0 20,3' = -0,3'; & \nu_7^2 &= 0,09;
\end{aligned}$$

$$10) \quad m'_{OC} = \sqrt{\frac{0,16 + 1,44 + 0,25 + 0 + 0,16 + 0,64 + 0,09}{6}} \approx \underline{0,7'};$$

$$11) \quad m_{OC} = \frac{0,7'}{\sqrt{7}} \approx \underline{\underline{0,3'}}.$$

Тема 9. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАВНОТОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ КОМПАСНОГО ПЕЛЕНГА НАВИГАЦИОННОГО ОРИЕНТИРА (РАСЧЕТ СКП ИЗМЕРЕНИЯ КОМПАСНОГО ПЕЛЕНГА ОРИЕНТИРА)

Оценкой точности значений компасного пеленга навигационного ориентира являются *средние квадратические погрешности* результатов наблюдений m'_{KP} и результатов измерения m_{KP} , получаемые обработкой группы n результатов равноточных наблюдений компасного пеленга.

Формулы для расчета СКП m'_{KP} и m_{KP} имеют вид:

$$1) \quad KP = \frac{[KP_i]}{n}; \quad (85)$$

$$2) \quad T_{сек} = \frac{[T_{iсек}]}{n}; \quad (86)$$

$$3) \quad \omega_{KP} = \frac{0,016 \cdot V \cdot \cos(KP - 90^0 - ПУ)}{D}; \quad (87)$$

$$4) \quad \Delta KP_i = -\omega_{KP} \cdot T_{iсек}; \quad (88)$$

$$5) \quad KP_{ПРi} = KP_i + \Delta KP_i; \quad (89)$$

$$6) \quad KP_{ПР} = \frac{[KP_{ПРi}]}{n}; \quad (90)$$

$$7) \quad v_i = KP_{ПРi} - KP_{ПР}; \quad (91)$$

$$8) \quad m'_{KP} = \sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-1}}; \quad (92)$$

$$9) \quad m_{KP} = \frac{m'_{KP}}{\sqrt{n}}, \quad (93)$$

где KP_i – результаты наблюдения компасного пеленга; n – количество результатов наблюдения компасного пеленга; KP – осредненное значение результата измерения компасного пеленга; $KP_{ПРi}$ – приведенный результат наблюдения компасного пеленга; ΔKP_i – поправка для приведения результата наблюдения компасного пеленга к месту пуска секундомера; $KP_{ПР}$ – приведенный результат

измерения компасного пеленга; $ПУ$ – путь судна в период наблюдения компасного пеленга; V – скорость судна в период наблюдения компасного пеленга, уз; D – расстояние до навигационного ориентира в период наблюдения компасного пеленга, мили; ω_{KP} – скорость изменения компасного пеленга вследствие движения судна, град дуги/сек; ν – вероятнейшая погрешность приведенного результата наблюдения компасного пеленга.

Пример.

Дано: $ПУ = 35^0$; $V = 10$ уз; $D = 4,5$ мили;

Определить: $m'_{KP} = ?$ $m_{KP} = ?$

$T_{iсек}^{мин}$	$T_{iсек}$	$KП_i$	$\Delta KП_i$	$KП_{при}$	ν_i	ν_i^2
0*00°	0°	100,5 ⁰	0 ⁰	100,5 ⁰	+0,1	0,01
0 15	15	101,0	-0,5	100,5	+0,1	0,01
0 31	31	101,5	-1,0	100,5	+0,1	0,01
0 40	40	102,5	-1,3	101,2	+0,8	0,64
0 57	57	102,5	-1,9	100,6	+0,2	0,04
1 09	69	102,0	-2,3	99,7	-0,7	0,49
1*30°	90°	103,0 ⁰	-3,0 ⁰	100,0 ⁰	-0,4	0,16

Решение:

$$1) KP = \frac{100,5 + 101,0 + 101,5 + 102,5 + 102,5 + 102,0 + 103,0}{7} = 101,9^0;$$

$$2) T_{сек} = \frac{0 + 15 + 31 + 40 + 57 + 69 + 90}{7} = 0^M 43^C;$$

$$3) \omega_{KP} = \frac{0,016 \cdot 10 \cdot \cos(-23,1^0)}{4,5} = +0,033^0 / сек;$$

$$4) \Delta KП_1 = -0,033 \cdot 0 = 0^0;$$

$$\Delta KП_2 = -0,033 \cdot 15 = -0,5^0;$$

$$\Delta KП_3 = -0,033 \cdot 31 = -1,0^0;$$

$$\Delta KП_4 = -0,033 \cdot 40 = -1,3^0;$$

$$\Delta KП_5 = -0,033 \cdot 57 = -1,9^0;$$

$$\Delta K\Pi_6 = -0,033 \cdot 69 = -2,3^0;$$

$$\Delta K\Pi_7 = -0,033 \cdot 90 = -3,0^0;$$

$$5) K\Pi_{\Pi P1} = 100,5 + 0 = 100,5^0;$$

$$K\Pi_{\Pi P2} = 101,0 + (-0,5) = 100,5^0;$$

$$K\Pi_{\Pi P3} = 101,5 + (-1,0) = 100,5^0;$$

$$K\Pi_{\Pi P4} = 102,5 + (-1,3) = 101,2^0;$$

$$K\Pi_{\Pi P5} = 102,5 + (-1,9) = 100,6^0;$$

$$K\Pi_{\Pi P6} = 102,0 + (-2,3) = 99,7^0;$$

$$K\Pi_{\Pi P7} = 103,0 + (-3,0) = 100,0^0;$$

$$6) K\Pi_{\Pi P} = \frac{100,5 + 100,5 + 100,5 + 101,2 + 100,6 + 99,7 + 100}{7} = 100,4^0;$$

$$7) \nu_1 = 100,5^0 - 100,4^0 = +0,1^0;$$

$$\nu_1^2 = 0,01;$$

$$\nu_2 = 100,5^0 - 100,4^0 = +0,1^0;$$

$$\nu_2^2 = 0,01;$$

$$\nu_3 = 100,5^0 - 100,4^0 = +0,1^0;$$

$$\nu_3^2 = 0,01;$$

$$\nu_4 = 101,2^0 - 100,4^0 = +0,8^0;$$

$$\nu_4^2 = 0,64;$$

$$\nu_5 = 100,6^0 - 100,4^0 = +0,2^0;$$

$$\nu_5^2 = 0,04;$$

$$\nu_6 = 99,7^0 - 100,4^0 = -0,7^0;$$

$$\nu_6^2 = 0,49;$$

$$\nu_7 = 100,0^0 - 100,4^0 = -0,4^0;$$

$$\nu_7^2 = 0,16;$$

$$8) m'_{K\Pi} = \sqrt{\frac{0,01 + 0,01 + 0,01 + 0,64 + 0,04 + 0,49 + 0,16}{6}} = \underline{0,48^0};$$

$$9) m_{K\Pi} = \frac{0,48}{\sqrt{7}} = \underline{\underline{0,18^0}}.$$

Тема 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ПО ДВУМ НАВИГАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ КОСВЕННЫМ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В практике судовождения типичной иллюстрацией косвенного аналитического метода определения места судна является решение задачи двух пеленгов.

Формулы для решения задачи двух пеленгов имеют вид:

$$1) \Delta\lambda_i = \lambda_{mi} - \lambda_c; \quad (94)$$

$$2) A_i = \arctg \left(\frac{\sin \Delta\lambda_i}{\operatorname{tg} \varphi_{mi} \cdot \cos \varphi_c - \cos \Delta\lambda_i \cdot \sin \varphi_c} \right); \quad (95)$$

для получения счислимого истинного пеленга ИП_с навигационного ориентира необходимо произвести анализ формулы (95):

если $A_i > 0$, то $A' = A$;

если $A_i < 0$, то $A' = A + 180^0$;

если $\sin \Delta\lambda_i > 0$, то $ИП_{ci} = A'$;

если $\sin \Delta\lambda_i < 0$, то $ИП_{ci} = A' + 180^0$;

$$3) g_i = \frac{\sin ИП_{ci}}{\operatorname{tg} [\arcsin (\sin \Delta\lambda_i \cdot \cos \varphi_c)]}; \quad (96)$$

$$4) \tau_i = ИП_i - 90^0 + \arctg (\operatorname{tg} \Delta\lambda_i \cdot \sin \varphi_c); \quad (97)$$

$$5) \Delta n_i = \frac{ИП_i - ИП_{ci}}{g_i}; \quad (98)$$

$$6) m_{ИП_i} = \frac{m_{ИП_i}}{g_i}; \quad (99)$$

$$7) \Delta\varphi_0 = \frac{\Delta n_1 \cdot \sin \tau_2 - \Delta n_2 \cdot \sin \tau_1}{\sin (\tau_2 - \tau_1)}; \quad (100)$$

$$8) \Delta\lambda_0 = \frac{\Delta n_2 \cdot \cos \tau_1 - \Delta n_1 \cdot \cos \tau_2}{\cos \varphi_c \cdot \sin (\tau_2 - \tau_1)}; \quad (101)$$

$$9) \varphi_0 = \varphi_c + \Delta\varphi_0; \quad (102)$$

$$10) \lambda_0 = \lambda_c + \Delta\lambda_0, \quad (103)$$

где φ_c, λ_c – счислимые координаты места судна; φ_0, λ_0 – обсервованные координаты места судна; $\Delta\varphi_0, \Delta\lambda_0$ – поправки координат; $\varphi_{M1}, \lambda_{M1}$ – географические координаты первого навигационного ориентира; $\varphi_{M2}, \lambda_{M2}$ – географические координаты второго навигационного ориентира; $ИП_{c1}, ИП_{c2}$ – счислимые пеленги навигационных ориентиров; $ИП_1, ИП_2$ – измеренные пеленги навигационных ориентиров; g_1, g_2 – модули градиентов навигационных параметров; τ_1, τ_2 – направления градиентов навигационных параметров; $m_{ИП}$ – средняя квадратическая погрешность измеренного пеленга навигационного ориентира; $m_{ЛП}$ – средняя квадратическая погрешность линии положения; Δn – перенос линии положения.

Пример.

$$\begin{aligned} \text{Дано: } \varphi_c &= -60^0 06,0'; & \varphi_{M1} &= -60^0 00,0'; & \varphi_{M2} &= -60^0 10,0'; \\ \lambda_c &= -159^0 52,0'; & \lambda_{M1} &= -160^0 00,0'; & \lambda_{M2} &= -160^0 14,0'; \\ & & ИП_1 &= 320^0; & ИП_2 &= 259^0; \\ & & m_{ИП1} &= 1^0; & m_{ИП2} &= 1^0. \end{aligned}$$

Определить: $\varphi_0 = ?$, $\lambda_0 = ?$

Решение:

решение задачи двух пеленгов косвенным аналитическим методом выполнить двумя итерациями (приближениями).

Первая итерация:

$$\begin{aligned} 1) \Delta\lambda_1 &= (-160^0 00,0') - (-159^0 52,0') = -8' = -0,1333^0; \\ \Delta\lambda_2 &= (-160^0 14,0') - (-159^0 52,0') = -22' = -0,3667^0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2) \quad A_1 &= \arctg \left[\frac{(-0,002327)}{(-1,732051) \cdot 0,498488 - 0,999997 \cdot (-0,866897)} \right] = \\
&= \arctg \left[\frac{(-0,002327)}{(-0,863407) - (-0,866894)} \right] = \arctg \frac{(-0,002327)}{0,003487} = \\
&= \arctg(-0,667336) = -33,7166^0;
\end{aligned}$$

так как $A_1 < 0$, то $A'_1 = (-33,7166^0) + 180^0 = 146,2834^0$;

так как $\sin \Delta\lambda < 0$, то $III_{C1} = 146,2834^0 + 180^0 = 326,2834^0$;

$$\begin{aligned}
A_2 &= \arctg \left[\frac{(-0,0064)}{(-1,743745) \cdot 0,498488 - 0,99998 \cdot (-0,866897)} \right] = \\
&= \arctg \left[\frac{(-0,0064)}{(-0,869236) - (-0,86688)} \right] = \arctg \frac{(-0,0064)}{(-0,002356)} = \\
&= \arctg 2,716469 = 69,79^0;
\end{aligned}$$

так как $A_2 > 0$, то $A'_2 = 69,79^0$;

так как $\sin \Delta\lambda < 0$, то $III_{C2} = 69,79^0 + 180^0 = 249,79^0$;

$$\begin{aligned}
3) \quad g_1 &= \frac{(-0,555085)}{\operatorname{tg} \left\{ \arcsin \left[(-0,002327) \cdot 0,498488 \right] \right\}} = \\
&= \frac{(-0,555085)}{(-0,00116)} = 478,521552;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g_2 &= \frac{(-0,938433)}{\operatorname{tg} \left\{ \arcsin \left[(-0,0064) \cdot 0,498488 \right] \right\}} = \\
&= \frac{(-0,938433)}{(-0,00319)} = 294,179624;
\end{aligned}$$

$$4) \quad \tau_1 = 320^0 - 90^0 + \arctg \left[(-0,002327) \cdot (-0,866897) \right] = 230,11558^0;$$

$$\tau_2 = 259^0 - 90^0 + \arctg \left[(-0,0064) \cdot (-0,866897) \right] = 169,317882^0;$$

$$5) \Delta n_1 = \frac{320^0 - 326,2834^0}{478,521552} = -0,013131;$$

$$\Delta n_2 = \frac{259^0 - 249,79^0}{294,179624} = 0,031307;$$

$$6) m_{III1} = \frac{1^0}{478,521552} = 0,00209^0 = 0,1254 \text{ мили};$$

$$m_{III2} = \frac{1^0}{294,179624} = 0,0034^0 = 0,204 \text{ мили};$$

$$7) \Delta \varphi_0 = \frac{(-0,013131) \cdot 0,18536 - 0,031307 \cdot (-0,76734)}{(-0,872902)} =$$

$$= \frac{(-0,002434) - (-0,024023)}{(-0,872902)} = -0,018941^0 = -0^0 01,1';$$

$$8) \Delta \lambda_0 = \frac{0,031307 \cdot (-0,641241) - 0,013131 \cdot (-0,982671)}{0,498488 \cdot (-0,872902)} =$$

$$= \frac{(-0,020075) - 0,012903}{(-0,435131)} = +0,075789^0 = +0^0 04,5';$$

$$9) \varphi_0 = (-60^0 06, 0') + (-0^0 01, 1') = \underline{\underline{-60^0 07, 1'}} (-60,118333^0);$$

$$10) \lambda_0 = (-159^0 52, 0') + 0^0 04, 5' = \underline{\underline{-159^0 47, 5'}}.$$

Вторая итерация.

При решении задачи второй итерации за φ_C, λ_C принимаются соответствующие значения φ_0, λ_0 первой итерации:

$$1) \Delta \lambda_1 = (-160^0 00, 0') - (-159^0 47, 5') = -12, 5' = -0,2083^0;$$

$$\Delta \lambda_2 = (-160^0 14, 0') - (-159^0 47, 5') = -26, 5' = -0,4417^0;$$

$$\begin{aligned}
2) \quad A_1 &= \arctg \left[\frac{(-0,003636)}{(-1,732051) \cdot 0,49821 - 0,999993 \cdot (-0,867056)} \right] = \\
&= \arctg \left[\frac{(-0,003636)}{(-0,862925) - (-0,86705)} \right] = \arctg \frac{(-0,003636)}{0,004125} = \\
&= \arctg(-0,881455) = -41,3947^0;
\end{aligned}$$

так как $A_1 < 0$, то $A'_1 = (-41,3947^0) + 180^0 = 138,6053^0$;

так как $\sin \Delta\lambda < 0$, то $III_{C1} = 138,6053^0 + 180^0 = 318,6053^0$;

$$\begin{aligned}
A_2 &= \arctg \left[\frac{(-0,007709)}{(-1,743745) \cdot 0,49821 - 0,99997 \cdot (-0,867056)} \right] = \\
&= \arctg \left[\frac{(-0,007709)}{(-0,868751) - (-0,86703)} \right] = \arctg \frac{(-0,007709)}{(-0,001721)} = \\
&= \arctg 4,479372 = 77,4153^0;
\end{aligned}$$

так как $A_2 > 0$, то $A' = 77,4153^0$;

так как $\sin \Delta\lambda < 0$, то $III_{C2} = 77,4153^0 + 180^0 = 257,4153^0$;

$$3) \quad g_1 = \frac{(-0,661242)}{\operatorname{tg} \left\{ \arcsin \left[(-0,003636) \cdot 0,49821 \right] \right\}} = \frac{(-0,661242)}{(-0,001811)} = 365,125345;$$

$$g_2 = \frac{(-0,975975)}{\operatorname{tg} \left\{ \arcsin \left[(-0,007709) \cdot 0,49821 \right] \right\}} = \frac{(-0,975975)}{(-0,003841)} = 254,093986;$$

$$4) \quad \tau_1 = 320^0 - 90^0 + \arctg \left[(-0,003636) \cdot (-0,867056) \right] = \underline{\underline{230,180631^0}};$$

$$\tau_2 = 259^0 - 90^0 + \arctg \left[(-0,007709) \cdot (-0,867056) \right] = \underline{\underline{169,382967^0}};$$

$$5) \quad \Delta n_1 = \frac{320^0 - 318,6053}{365,125345} = 0,00382;$$

$$\Delta n_2 = \frac{259^0 - 257,4153}{254,093986} = 0,006237;$$

$$6) m_{III1} = \frac{1}{365,125345} = 0,002739^0 = \underline{\underline{0,16434 \text{ мили}}};$$

$$m_{III2} = \frac{1}{254,093986} = 0,003936^0 = \underline{\underline{0,23616 \text{ мили}}};$$

$$\begin{aligned} 7) \Delta\varphi_0 &= \frac{0,00382 \cdot 0,184244 - 0,006237 \cdot (-0,768067)}{(-0,872902)} = \\ &= \frac{0,000704 - (-0,00479)}{(-0,872902)} = -0,006294^0 = -0^000,4'; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8) \Delta\lambda_0 &= \frac{0,006237 \cdot (-0,640369) - 0,00382 \cdot (-0,982881)}{0,49821 \cdot (-0,872902)} = \\ &= \frac{(-0,003994) - (-0,003755)}{(-0,434889)} = 0,00055^0 = 0^000,0'; \end{aligned}$$

$$9) \varphi_0 = (-60^007,1') + (-0^000,4') = \underline{\underline{-60^007,5'}};$$

$$10) \lambda_0 = (-159^047,5') + 0 = \underline{\underline{-159^047,5'}}.$$

Тема 11. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА СУДНА ПО ДВУМ НАВИГАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ

Определить истинное место судна по результатам измерений двух навигационных параметров принципиально невозможно по причине неизбежных как случайных, так и систематических погрешностей результатов измерений навигационных параметров.

При определении места судна по однородным навигационным параметрам (два пеленга, две дистанции) систематическая погрешность является общей для обоих из них, что вызывает корреляцию полных погрешностей результатов измерений. При определении места судна по разнородным навигационным параметрам (по пеленгу и дистанции, по пеленгу и горизонтальному углу, по пеленгу или дистанции и изобате) систематическая погрешность строго индивидуальна для каждого из них, что не вызывает корреляции полных погрешностей.

Случайные погрешности результатов измерений навигационных параметров могут принимать значения в любых сочетаниях, что приводит к рассеиванию обсервованных мест судна по площади, оцениваемой *эллипсом погрешности*.

Повторяющаяся погрешность может принимать любое значение, что приводит к рассеиванию обсервованных мест судна по линии, оцениваемой *векториальной погрешностью*.

Совместное действие случайных и повторяющейся погрешностей приводит к рассеиванию обсервованных мест судна по площади, оцениваемой *полным эллипсом погрешностей*.

Формулы для расчета параметров полного среднего квадратического эллипса погрешностей имеют вид:

$$1) \Delta \tau = \tau_2 - \tau_1; \quad (104)$$

$$2) m = \sqrt{m_c^2 + m_{II}^2}; \quad (105)$$

$$3) m_{III} = \frac{m}{g_i}; \quad (106)$$

$$4) k = \frac{1}{1 + \left(\frac{m_c}{m_{II}}\right)^2}; \quad (107)$$

$$5) \left. \begin{matrix} A_0^2 \\ B_0^2 \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2 \sin^2 \Delta \tau} \left[m_{\text{ЛП1}}^2 + m_{\text{ЛП2}}^2 - 2k \cdot m_{\text{ЛП1}} \cdot m_{\text{ЛП2}} \cdot \cos \Delta \tau \pm \sqrt{(m_{\text{ЛП1}}^2 + m_{\text{ЛП2}}^2 - 2k \cdot m_{\text{ЛП1}} \cdot m_{\text{ЛП2}} \cdot \cos \Delta \tau)^2 - 4(1-k^2) \cdot m_{\text{ЛП1}} \cdot m_{\text{ЛП2}} \cdot \sin^2 \Delta \tau} \right]. \quad (108)$$

В формуле (108): для A_0^2 считать знак «плюс» перед $\sqrt{}$;

для B_0^2 считать знак «минус» перед $\sqrt{}$;

$$6) \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{m_{\text{ЛП1}}^2 \cdot \sin 2\tau_2 + m_{\text{ЛП2}}^2 \cdot \sin 2\tau_1 - 2k \cdot m_{\text{ЛП1}} \cdot m_{\text{ЛП2}} \cdot \sin(\tau_1 + \tau_2)}{m_{\text{ЛП1}}^2 \cdot \cos 2\tau_2 + m_{\text{ЛП2}}^2 \cdot \cos 2\tau_1 - 2k \cdot m_{\text{ЛП1}} \cdot m_{\text{ЛП2}} \cdot \cos(\tau_1 + \tau_2)}, \quad (109)$$

где τ_1 и τ_2 — направления градиентов навигационных параметров; m — полная средняя квадратическая погрешность результата измерения навигационного параметра; m_c — случайная средняя квадратическая погрешность результата измерения навигационного параметра; $m_{\text{П}}$ — повторяющаяся средняя квадратическая погрешность результата измерения навигационного параметра; $m_{\text{ЛП}}$ — средняя квадратическая погрешность линии положения; g — модуль градиента навигационного параметра; k — коэффициент корреляции навигационных параметров; A_0 — большая полуось полного среднего квадратического эллипса погрешностей обсервованного места судна; B_0 — малая полуось полного среднего квадратического эллипса погрешностей обсервованного места судна; T_0 — направление большой полуоси полного среднего квадратического эллипса погрешностей обсервованного места судна.

Для получения значения T_0 необходимо произвести анализ формулы (109):

если $\alpha > 0$ при числителе (109) < 0 , то $T_0 = \alpha$;

если $\alpha > 0$ при числителе (109) > 0 , то $T_0 = \alpha + 90^0$;

если $\alpha < 0$ при числителе (109) < 0 , то $T_0 = \alpha + 90^0$;

если $\alpha < 0$ при числителе (109) > 0 , то $T_0 = \alpha + 360^0$.

При определении коэффициента корреляции k полных погрешностей результатов измерений пеленгов учитывать следующие условия:

- если $m_{\text{ЛП1}} = m_{\text{ЛП2}} = 1^0$, то $m_c = m_{\text{КП}} = 0,5^0$; $m_{\text{П}} = m_{\Delta k} = 0,9^0$;

- если $m_{\text{ЛП1}} = m_{\text{ЛП2}} = 2^0$, то $m_c = m_{\text{КП}} = 1,4^0$; $m_{\text{П}} = m_{\Delta k} = 1,4^0$;

- если $m_{\text{ЛП1}} = m_{\text{ЛП2}} = 3^0$, то $m_c = m_{\text{КП}} = 2,5^0$; $m_{\text{П}} = m_{\Delta k} = 1,7^0$.

Пример.

Дано: $\varphi_c = +35^0 45,3' (+35,755^0)$;

$\lambda_c = +133^0 48,5' (+133,808333^0)$;

$\varphi_{M1} = +36^0 10,3' (+36,171667^0)$; $ИП_1 = 295^0$;

$\lambda_{M1} = +133^0 20,0' (+133,333333^0)$; $m_{ИП1} = 2^0$.

$\varphi_{M2} = +35^0 33,9' (+35,565^0)$; $ИП_1 = 233^0$;

$\lambda_{M2} = +133^0 19,4' (+133,323333^0)$; $m_{ИП1} = 2^0$.

Определить: $A_0 = ?$, $B_0 = ?$, $T_0 = ?$ с учетом корреляции.

$A_0 = ?$, $B_0 = ?$, $T_0 = ?$ без учета корреляции ($k = 0$).

Решение.

Первая итерация (приближение):

$$1) \Delta\lambda_1 = 133^0 20,0' - 133^0 48,5' = -28,5' = -0,475^0;$$

$$\Delta\lambda_2 = 133^0 19,4' - 133^0 48,5' = -29,1' = -0,485^0;$$

$$2) A_1 = \text{arctg} \left[\frac{(-0,00829)}{0,73113 \cdot 0,811523 - 0,999966 \cdot 0,58432} \right] =$$

$$= \text{arctg} \frac{(-0,00829)}{0,009029} = -42,556677^0;$$

$$A_2 = \text{arctg} \left[\frac{(-0,008465)}{0,715 \cdot 0,811523 - 0,999964 \cdot 0,58432} \right] =$$

$$= \text{arctg} \frac{(-0,008465)}{(-0,00406)} = 64,376596^0;$$

так как $A_1 < 0$, то $A'_1 = A_1 + 180^0 = 137,443323^0$;

так как $\sin \Delta\lambda < 0$, то $ИП_{C1} = A'_1 + 180^0 = 317,443323^0$;

так как $A_2 > 0$, то $A'_2 = A_2 = 64,376596^0$;

так как $\sin \Delta\lambda < 0$, то $ИП_{C2} = A'_2 + 180^0 = 244,376596^0$;

$$3) g_1 = \frac{(-0,676319)}{\operatorname{tg}\{\arcsin[(-0,00829) \cdot 0,811523]\}} = \frac{(-0,676319)}{(-0,006728)} = 100,523038;$$

$$g_2 = \frac{(-0,901656)}{\operatorname{tg}\{\arcsin[(-0,008465) \cdot 0,811523]\}} = \frac{(-0,901656)}{(-0,00687)} = 131,245415;$$

$$4) \tau_1 = 295^0 - 90^0 + \operatorname{arctg}[(-0,008291) \cdot 0,58432] = 204,7224^0;$$

$$\tau_2 = 233^0 - 90^0 + \operatorname{arctg}[(-0,008465) \cdot 0,58432] = 142,7166^0;$$

$$5) \Delta n_1 = \frac{295^0 - 317,443323^0}{100,523038} = -0,223265;$$

$$\Delta n_2 = \frac{233^0 - 244,376596^0}{131,245415} = -0,086682;$$

$$6) m_{III1} = \frac{2}{100,523038} = 0,019896^0 \cdot 60' = 1,19376 \text{ мили};$$

$$m_{III2} = \frac{2}{131,245415} = 0,015239^0 \cdot 60' = 0,91434 \text{ мили};$$

$$7) \Delta \varphi_0 = \frac{(-0,223265) \cdot 0,605758 - (-0,086682) \cdot (-0,418222)}{(-0,882995)} =$$

$$= 0,194222^0 = 11,7' = +0^0 11,7';$$

$$8) \Delta \lambda_0 = \frac{(-0,086682) \cdot (-0,908345) - (-0,223265) \cdot (-0,795649)}{0,811523 \cdot (-0,882995)} =$$

$$= 0,138024^0 = +8,3' = +0^0 08,3';$$

$$9) \varphi_0 = (+35^0 45,3') + (+0^0 11,7') = +\underline{\underline{35^0 57,0'}};$$

$$10) \lambda_0 = (+133^0 48,5') + (+0^0 08,3') = +\underline{\underline{133^0 56,8'}}.$$

Вторая итерация:

$$\varphi_c = +35^0 57,0' = 35,95^0;$$

$$\lambda_c = +133^0 56,8' = 133,946667^0.$$

$$1) \Delta\lambda_1 = 133^0 20,0' - 133^0 56,8' = -36,8' = -0,613333^0;$$

$$\Delta\lambda_2 = 133^0 19,4' - 133^0 56,8' = -37,4' = -0,623333^0;$$

$$2) A_1 = \text{arctg} \left[\frac{(-0,010704)}{0,73113 \cdot 0,80953 - 0,999943 \cdot 0,587079} \right] =$$

$$= \text{arctg} \frac{(-0,010704)}{0,004826} = -65,731315^0;$$

$$A_2 = \text{arctg} \left[\frac{(-0,010879)}{0,715006 \cdot 0,80953 - 0,999941 \cdot 0,587079} \right] =$$

$$= \text{arctg} \frac{(-0,010879)}{(-0,008225)} = 52,909124^0;$$

так как $A_1 < 0$, то $A'_1 = A_1 + 180^0 = 114,268685^0$;

так как $\sin \Delta\lambda < 0$, то $III_{C1} = A'_1 + 180^0 = 294,268685^0$;

так как $A_2 > 0$, то $A'_2 = A_2 = 52,909124^0$;

так как $\sin \Delta\lambda < 0$, то $III_{C2} = A'_2 + 180^0 = 232,909124^0$;

$$3) g_1 = \frac{(-0,911628)}{\text{tg} \left\{ \arcsin \left[(-0,010704) \cdot 0,80953 \right] \right\}} = \frac{(-0,911628)}{(-0,008666)} = 105,195938;$$

$$g_2 = \frac{(-0,79768)}{\text{tg} \left\{ \arcsin \left[(-0,010879) \cdot 0,80953 \right] \right\}} = \frac{(-0,79768)}{(-0,008807)} = 90,573408;$$

$$4) \tau_1 = 295^0 - 90^0 + \text{arctg} \left[(-0,010705) \cdot 0,587079 \right] = \underline{204,6399^0};$$

$$\tau_2 = 233^0 - 90^0 + \text{arctg} \left[(-0,01088) \cdot 0,587079 \right] = \underline{142,634057^0};$$

$$5) \Delta n_1 = \frac{295^0 - 294,268685^0}{105,195938} = 0,006952;$$

$$\Delta n_2 = \frac{233^0 - 232,934158^0}{90,654738} = 0,000726;$$

$$6) m_{III1} = \frac{2^0}{105,195938} = 0,019012^0 \cdot 60' = \underline{1,14072} \text{ мили};$$

$$m_{III2} = \frac{2^0}{90,573408} = 0,022082^0 \cdot 60' = \underline{1,32492} \text{ мили};$$

$$7) \Delta\varphi_0 = \frac{0,006952 \cdot 0,606904 - 0,000726 \cdot (-0,416914)}{(-0,882995)} =$$

$$= -0,005121^0 = -0^000,3';$$

$$8) \Delta\lambda_0 = \frac{0,000726 \cdot (-0,908946) - 0,006952 \cdot (-0,794776)}{0,80953 \cdot (-0,882995)} =$$

$$= -0,006806^0 = -0^000,4';$$

$$9) \varphi_0 = (+35^057,0') + (-0^000,3') = \underline{\underline{+35^056,7'}};$$

$$10) \lambda_0 = (+133^056,8') + (0^000,4') = \underline{\underline{+133^056,4'}}.$$

Расчет параметров A_0 , B_0 , T_0 с учетом корреляции:

$$1) \Delta\tau = 142,634057^0 - 204,6399^0 = -62,005843^0;$$

$$2) m = \sqrt{1,4^2 + 1,4^2} = 2^0;$$

$$3) m_{III1} = \frac{2}{105,195938} = 0,019012^0 = 1,14072 \text{ мили};$$

$$m_{III2} = \frac{2^0}{90,573408} = 0,022082^0 = 1,32492 \text{ мили};$$

$$4) k = \frac{1}{1 + \left(\frac{1,4}{1,4}\right)^2} = 0,5;$$

$$\begin{aligned}
5) \ A_0^2 &= \frac{1}{2 \cdot 0,779681} [1,301242 + 1,755413 - 2 \cdot 0,5 \cdot 1,14072 \cdot 1,32492 \times \\
&\times 0,469382 + \sqrt{(1,301242 + 1,755413 - 2 \cdot 0,5 \cdot 1,14072 \cdot 1,32492 \cdot 0,469382)^2 -} \\
&\overline{-4(1 - 0,25) \cdot 1,14072 \cdot 1,32492 \cdot 0,779681}] = \\
&= 0,641288 \left[2,347249 + \sqrt{(2,347249)^2 - 3,535142} \right] = \\
&= 0,641288 \cdot 3,752395 = 2,406366; \\
A_0 &= \sqrt{2,406366} = \underline{\underline{1,551247 \text{ мми}}};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
6) \ B_0^2 &= 0,641288 \left[2,347249 - \sqrt{(2,347249)^2 - 3,535142} \right] = \\
&= 0,641288 \cdot 0,942103 = 0,604159; \\
B_0 &= \sqrt{0,604159} = \underline{\underline{0,777277 \text{ мми}}};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
7) \ \operatorname{tg} 2\alpha &= \frac{1,301242 \cdot (-0,964704) + 1,755413 \cdot 0,757904 -}{1,301242 \cdot 0,263336 + 1,755413 \cdot 0,652366 -} \\
&\frac{-1 \cdot 1,14072 \cdot 1,32492 \cdot (-0,22029)}{-1 \cdot 1,14072 \cdot 1,32492 \cdot 0,975435} = \frac{(-1,255313) + 1,330435 - (-0,332938)}{0,342664 + 1,145172 - 1,474236} = \\
&= \frac{0,40806}{0,0136} = 30,004412; \\
2\alpha &= \operatorname{arctg} 30,004412 = 88,091128; \\
\alpha &= 44,045564^0;
\end{aligned}$$

так как $\alpha > 0$ при числителе > 0 , то

$$T_0 = 44,045564^0 + 90^0 = \underline{\underline{134,045564^0}}.$$

Расчет параметров A_0 , B_0 , T_0 без учета корреляции ($k = 0$):

$$\begin{aligned}
1) \ A_0^2 &= 0,641288 \left[1,301242 + 1,755413 + \sqrt{(1,301242 + 1,755413)^2 -} \right. \\
&\left. - 4,713523 \right] = 0,641288 (3,056655 + 2,151654) = 3,340026;
\end{aligned}$$

$$A_0 = \sqrt{3,340026} = \underline{\underline{1,827574.мили}} ;$$

$$2) B_0^2 = 0,641288(3,056655 - 2,151654) = 0,580366;$$

$$B_0 = \sqrt{0,580366} = \underline{\underline{0,761818.мили}} ;$$

$$\begin{aligned} 3) \operatorname{tg} 2\alpha &= \frac{1,301242 \cdot (-0,964704) + 1,755413 \cdot 0,757904}{1,301242 \cdot 0,263336 + 1,755413 \cdot 0,652366} = \\ &= \frac{(-1,255313) + 1,330435}{0,342664 + 1,145172} = \frac{0,075122}{1,487836} = 0,050491; \end{aligned}$$

$$2\alpha = \operatorname{arctg} 0,050491 = 2,890467;$$

$$\alpha = 1,445234^0;$$

так как $\alpha > 0$ при числителе > 0 , то

$$T_0 = 1,445234^0 + 90^0 = \underline{\underline{91,445234^0}}.$$

Тема 12. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СЧИСЛИМОГО МЕСТА СУДНА

Точность счислимого места судна наиболее полно и строго оценивается средним квадратическим эллипсом погрешностей, параметры которого зависят от точности исходного для счисления координат обсервованного места судна и от случайных погрешностей в элементах движения судна.

Формулы для расчета параметров среднего квадратического эллипса погрешностей счислимого места судна имеют вид:

$$1) \quad \nu_1 = \Delta T \cdot m_V; \quad (110)$$

$$2) \quad \nu_2 = V \cdot \Delta T \cdot \operatorname{tg} m_{\Pi V}; \quad (111)$$

$$3) \quad C_1 = (A_0 \cdot \cos T_0)^2 + (B_0 \cdot \sin T_0)^2 + (\nu_1 \cdot \cos \Pi V)^2 + (\nu_2 \cdot \sin \Pi V)^2; \quad (112)$$

$$4) \quad C_2 = (A_0 \cdot \sin T_0)^2 + (B_0 \cdot \cos T_0)^2 + (\nu_1 \cdot \sin \Pi V)^2 + (\nu_2 \cdot \cos \Pi V)^2; \quad (113)$$

$$5) \quad C_3 = (A_0^2 - B_0^2) \cdot \sin T_0 \cdot \cos T_0 + (\nu_1^2 - \nu_2^2) \cdot \sin \Pi V \cdot \cos \Pi V; \quad (114)$$

$$6) \quad A_c = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{2}} + \sqrt{\left(\frac{C_1 - C_2}{2}\right)^2 + C_3^2}; \quad (115)$$

$$7) \quad B_c = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{2}} - \sqrt{\left(\frac{C_1 - C_2}{2}\right)^2 + C_3^2}; \quad (116)$$

$$8) \quad \operatorname{tg} 2T = \frac{2C_3}{C_1 - C_2}, \quad (117)$$

где ΠV – путь судна; V – путевая скорость судна; $m_{\Pi V}$ – средняя квадратическая погрешность пути судна; m_V – средняя квадратическая погрешность путевой скорости судна; ΔT – промежуток времени плавания от исходного для счисления координат обсервованного места судна; A_0 – большая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей обсервованного места судна; B_0 – малая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей обсервованного места судна; T_0 – направление большой полуоси среднего квадратического эллипса погрешностей обсервованного места судна;

на; A_c – большая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей счислимого места судна; B_c – малая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей счислимого места судна; T_c – направление большой полуоси среднего квадратического эллипса погрешностей счислимого места судна.

Пример.

Дано: $ПУ = 117^0$; $m_{ПУ} = 2^0$; $V = 10$ уз; $m_V = 0,5$ уз;

$\Delta T = 4$ часа; $A_0 = 1,5$ мили; $B_0 = 0,8$ мили; $T_0 = 123^0$.

Определить: $A_c = ?$; $B_c = ?$; $T_c = ?$

Решение:

$$1) \nu_1 = 4 \cdot 0,5 = 2;$$

$$2) \nu_2 = 10 \cdot 4 \cdot 0,034921 = 1,39684;$$

$$3) C_1 = [1,5 \cdot (-0,544639)]^2 + (0,8 \cdot 0,838671)^2 + [2 \cdot (-0,45399)]^2 + (1,39684 \cdot 0,891007)^2 = 0,667422 + 0,450156 + 0,824428 + 1,549014 = 3,49102;$$

$$4) C_2 = (1,5 \cdot 0,838671)^2 + [0,8 \cdot (-0,544639)]^2 + (2 \cdot 0,891007)^2 + [1,39684 \cdot (-0,45399)]^2 = 1,582582 + 0,189844 + 3,175574 + 0,402147 = 5,350147;$$

$$5) C_3 = (2,25 - 0,64) \cdot 0,838671 \cdot (-0,544639) + (4 - 1,951162) \cdot 0,891007 \cdot (-0,45399) = (-0,735404) + (-0,828772) = -1,564176;$$

$$6) A_c = \sqrt{\frac{3,49102 + 5,350147}{2} + \sqrt{\left(\frac{3,49102 - 5,350147}{2}\right)^2 + (1,564176)^2}} = \sqrt{4,420584 + \sqrt{0,864088 + 2,446647}} = \underline{\underline{2,498025 \text{ мили}}};$$

$$7) B_c = \sqrt{4,420584 - \sqrt{0,864088 + 2,446647}} = \underline{\underline{1,612774 \text{ мили}}};$$

$$8) \operatorname{tg} 2T = \frac{(-3,128352)}{(-1,859127)} = 1,682699;$$

$$2T = \operatorname{arctg} 1,682699 = 59,277689^0; \quad T = 29,638845^0;$$

так как $(C_1 - C_2) < 0$, то

$$T_c = 29,638845^0 + 90^0 = \underline{\underline{119,638845^0}}.$$

Тема 13. ЗАДАЧИ АНАЛИТИЧЕСКОГО СЧИСЛЕНИЯ

Аналитическим счислением называется вычисление географических координат текущего (счислимого) места судна по курсу и пройденному расстоянию при известных начальных координатах, а также расчет плавания и курса судна по известным координатам пунктов отхода и прихода.

Задачи аналитического счисления можно решать как с помощью формул аналитического счисления, так и с помощью Мореходных таблиц (МТ-2000 или МТ-75).

1. Прямая задача.

$$1) \Delta\varphi' = S \cdot \cos IK; \quad (118)$$

$$2) W' = S \cdot \sin IK \quad (119)$$

$$(IK = ГKK + \Delta GK; IK = KK + \Delta MK = KK + d + \delta);$$

$$3) \varphi_{cp}^0 = \varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{2}; \quad (120)$$

$$4) \Delta\lambda' = \frac{W'}{\cos \varphi_{cp}}; \quad (121)$$

$$5) \varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi; \quad (122)$$

$$6) \lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda, \quad (123)$$

где S – плавание судна (пройденное расстояние) от начальной точки счисления φ_1, λ_1 до текущего места, мили; IK – курс судна от начальной точки счисления φ_1, λ_1 до текущего места, град; если при плавании учитывается дрейф, течение или дрейф и течение одновременно, то в формулы (118) и (119) подставляются значения $ПУ_\alpha$, $ПУ_\beta$ или $ПУ_c$

$$(ПУ_\alpha = IK + \alpha; ПУ_\beta = IK + \beta; ПУ_c = IK + \alpha + \beta);$$

φ_{cp} – средняя широта между начальной точкой счисления и текущим местом судна, град; $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ – разность широты и разность долготы, град и угл. мин; W – отстояние, угл. мин; φ_1, λ_1 – начальные координаты; φ_2, λ_2 – координаты текущего места судна.

Решение прямой аналитической задачи с помощью Мореходных таблиц

Значения величин $\Delta\varphi$ и W выбирают из т. 2.19а МТ-2000 (или т. 24 МТ-75). Аргументами для входа в таблицу являются пройденное судном расстояние S от 0 до 100 миль и курс (путь) судна ИК (ПУ) от 1^0 до 359^0 через 1^0 . Курсы первой четверти выделены жирным шрифтом, а рядом даны три курса остальных четвертей, которым соответствуют косинусы и синусы курсов первой четверти. Значения $\Delta\varphi$ и W в таблице приведены с точностью до 0,01. Это позволяет использовать таблицу с достаточной степенью точности для пройденных расстояний в 10 и 100 раз больших, чем дано в таблице. Например, при плавании $S=450$ миль курсом 37^0 $\Delta\varphi = 359,4$ мили и $W = 270,8$ мили.

Если курс судна от 1 до 45^0 , то в таблицу входить сверху и тогда левый столбик « $\Delta\varphi$ », а правый – « W »; если курс судна от 45 до 89^0 , то в таблицу входить снизу и тогда левый столбик « W », а правый – « $\Delta\varphi$ ». При дробных значениях ИК (или ПУ) $\Delta\varphi$ и W выбирают методом интерполирования.

Значения величин $\Delta\lambda$ выбирают из таблицы 2.20 МТ-2000 (или т. 25-а МТ-75). Аргументами для входа в таблицу являются отстояние W и средняя широта φ_{cp} .

В табл. 2.20 $\Delta\lambda$ даны в угл. минутах с точностью до $0,01'$ для W в 1, 2, ..., 9 и 100 миль и φ_{cp} от 0 до 86^0 .

Разности долгот двух пунктов для десятков или сотен миль отстояния получают переносом запятой, отделяющей целую часть от дробной в найденных табличных значениях, вправо на один или два знака. при $\varphi_{cp} = 47^0$ и $W = 7$ миль получим $\Delta\lambda = 10,26'$; при $\varphi_{cp} = 47^0$ и $W = 70$ миль – $\Delta\lambda = 102,6'$; Например, при $\varphi_{cp} = 47^0$ и $W = 700$ миль – $\Delta\lambda = 1026' = 17^006,0'$.

Если отстояние содержит две и более значащие цифры, то разность долгот находится суммированием результатов, найденных для цифры каждого разряда, составляющих отстояние. Например, при $\varphi_{cp} = 47^0$ и $W = 356 = (300 + 50 + 6)$ миль получим:

$$\Delta\lambda = 440' + 73,3' + 8,8' = 522,1' = 8^042,1'.$$

Если при выборках требуется интерполяция и по средней широте φ_{cp} , то сначала на каждую цифру отшествия интерполируют соответствующие разности долгот по средней широте, а потом их суммируют.

Наименования или знаки $\Delta\varphi$ и W определяются по основному правилу знаков:

$$\oplus \begin{array}{l} \varphi_N, \lambda_E, \Delta\varphi_{kN}, \Delta\lambda_{kE}, W_{kE}; \\ \varphi_S, \lambda_W, \Delta\varphi_{kS}, \Delta\lambda_{kW}, W_{kW}. \end{array}$$

Наименование или знак $\Delta\lambda$ одного наименования с W .

2. Обратная задача.

При решении обратной аналитической задачи рассчитывается плавание S и курс судна $ИК$ по известным координатам пунктов отхода и прихода по следующим формулам:

$$1) \Delta\varphi' = \varphi_2 - \varphi_1; \quad (124)$$

$$2) \Delta\lambda' = \lambda_2 - \lambda_1; \quad (125)$$

$$3) РМЧ' = МЧ'_2 - МЧ'_1; \quad (126)$$

$$4) ИК = \arctg \frac{\Delta\lambda'}{РМЧ'}; \quad (127)$$

$$5) S = \frac{\Delta\varphi'}{\cos ИК}, \quad (128)$$

где $РМЧ$ – разность меридиональных частей пунктов отхода и прихода.

Значения меридиональных частей выбирают из табл. 2.28а МТ-2000 (или из табл. 26 МТ-75). Аргументами для входа в таблицу служит широта φ заданной точки от 0 до 90° с интервалом 1'. Значения $МЧ$ в таблице даны с точностью до 0,1 экв. минуты. Наименование (и знак) $МЧ$ одинаково с наименованием (знаком) широты φ . Наименование (и знак) $РМЧ$ соответствует наименованию (и знаку) $\Delta\varphi$.

Значение курса судна по формуле (127) получается в четвертной системе счета. Наименование четверти определяется по наименованию (знаку) $PMЧ$ и по наименованию (знаку) $\Delta\lambda$:

- если $PMЧ$ имеет знак «плюс», то « κN »;
- если $PMЧ$ имеет знак «минус», то « κS »;
- если $\Delta\lambda$ имеет знак «плюс», то « κE »;
- если $\Delta\lambda$ имеет знак «минус», то « κW ».

Например: 63^0NE ; 35^0SE ; 45^0SW ; 50^0NW .

Полученное значение курса из четвертичной системы счета необходимо перевести в круговую систему счета по правилу:

- если наименование четверти NE , то величина угла остается без изменений ($63^0NE = 63^0$);
- если наименование четверти SE , то величина угла определяется как $180^0 - IK^0SE$ ($35^0SE = 180^0 - 35^0 = 145^0$);
- если наименование четверти SW , то величина угла определяется как $180^0 + IK^0SW$ ($45^0SW = 180^0 + 45^0 = 225^0$);
- если наименование четверти NW , то величина угла определяется как $360^0 - IK^0NW$ ($50^0NW = 360^0 - 50^0 = 310^0$).

Пример 1.

Дано: $\varphi_1 = 24^037,0'S$; $\lambda_1 = 162^024,0'E$; $S = 184$ мили;

$KK = 294^0$; $\Delta MK = +3,5^0$; $\alpha = 4^0$ от ветра $KW = 20^0$.

Определить: $\varphi_2 = ?$, $\lambda_2 = ?$

1. Решение задачи по формулам:

$$ПУ_{\alpha} = 294^0 + (+3,5^0) + (-4^0) = 293,5^0;$$

$$1) \Delta\varphi' = 184' \cdot 0,39875 = +73,4' = 1^013,4'\kappa N;$$

$$2) W' = 184' \cdot (-0,91706) = -168,74';$$

$$3) \varphi_{cp}^0 = 24^037,0'S + \frac{1^013,4'}{2} \kappa N \approx 24^0S;$$

$$4) \Delta\lambda' = \frac{(-168,74')}{0,9135} = -184,72' = 3^004,7'\kappa W;$$

$$5) \varphi_2 = (-24^037,0') + (+1^013,4') = -23^023,6' = 23^023,6'S;$$

$$6) \lambda_2 = (+162^024,0') + (-3^004,7') = +159^019,3' = 159^019,3'E.$$

2. Решение задачи с помощью Мореходных таблиц:

1) $ПУ_{\alpha} = 294^0 + (+3,5^0) + (-4^0) = 293,5^0$;

2) из табл. 2.19а МТ-2000 (или из табл. 24 МТ-75) выбираем $\Delta\varphi$ и W по значению $S = 184$ мили на $ПУ_{\alpha} = 293^0$ и $ПУ_{\alpha} = 294^0$; полученные значения $\Delta\varphi$ и W интерполируем на $ПУ_{\alpha} = 293,5^0$:

S	на $ПУ_{\alpha} = 293^0$		на $ПУ_{\alpha} = 294^0$	
	$\Delta\varphi$	W	$\Delta\varphi$	W
100	39,07	92,05	40,67	91,35
84	32,82	77,32	34,17	76,74
184	71,89	169,37	74,84	168,09

$$\Delta\varphi = \frac{71,89 + 74,84}{2} = 73,36' = 1^013,4'\kappa N;$$

$$W = \frac{169,37 + 168,09}{2} = 168,73'\kappa W;$$

3) $\varphi_{cp}^0 = 24^037,0'S + \frac{1^013,4'}{2}\kappa N = 24^000,3'S \approx 24^0S$;

4) из табл. 2.20 МТ-2000 (или табл. 25а МТ-75) выбираем $\Delta\lambda$ по значениям φ_{cp} и W :

W	100	60	8	0,7	0,03	168,73
$\Delta\lambda$	109,5	65,7	8,76	0,77	0,03	184,76

$$= 3^004,8'\kappa W;$$

5) $\varphi_2 = (-24^037,0') + (+1^013,4') = \underline{\underline{23^023,6'S}}$;

6) $\lambda_2 = (+162^024,0') + (-3^004,8') = \underline{\underline{159^019,2'E}}$.

Пример 2.

Дано: $\varphi_1 = 20^014,6'S$; $\varphi_2 = 23^029,4'S$;

$\lambda_1 = 5^022,7'W$; $\lambda_2 = 2^006,9'E$.

Определить: $IK = ?$, $S = ?$

Решение:

обратную задачу аналитического счисления быстрее и удобнее решать по формулам (124)-(128).

$$1) \Delta\varphi' = (-23^0 29,4') - (-20^0 14,6') = -3^0 14,8' = -194,8';$$

$$2) \Delta\lambda' = (+2^0 06,9') - (-5^0 22,7') = +7^0 29,6' = +449,6';$$

$$3) PMЧ = (-1441,4') - (-1232,7') = -208,7';$$

$$4) IK = \operatorname{arctg} \frac{449,6}{(-208,7)} = \operatorname{arctg}(-2,154) = 65,1^0 SE = \underline{\underline{114,9^0}};$$

$$5) S = \frac{(-194,8')}{\cos 114,9^0} = 462,67' = \underline{\underline{462,7 \text{ мили}}}.$$

Тема 1

РЕШЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ТРЕУГОЛЬНИКОВ

Задание.

По заданным значениям трех элементов сферического треугольника произвести его полное решение.

№ задачи	Элементы сферического треугольника		
1	$a = 91^0 43,8'$	$B = 11^0 13,6'$	$c = 98^0 56,3'$
2	$a = 12 \ 40,7$	$B = 80 \ 43,6$	$C = 94 \ 14,3$
3	$A = 64 \ 37,3$	$\epsilon = 147 \ 13,6$	$c = 106 \ 43,7$
4	$A = 168 \ 43,6$	$B = 52 \ 53,6$	$c = 14 \ 03,8$
5	$a = 136 \ 10,3$	$\epsilon = 63 \ 01,6$	$C = 31 \ 41,7$
6	$A = 61 \ 05,8$	$\epsilon = 3 \ 50,3$	$C = 96 \ 13,4$
7	$A = 136 \ 13,3$	$\epsilon = 10 \ 41,6$	$C = 71 \ 10,8$
8	$A = 13 \ 36,2$	$\epsilon = 61 \ 11,3$	$c = 96 \ 41,6$
9	$A = 54 \ 03,4$	$B = 126 \ 32,3$	$c = 161 \ 47,3$
10	$A = 146 \ 20,7$	$\epsilon = 97 \ 41,3$	$c = 13 \ 15,4$
11	$a = 1 \ 26,8$	$B = 63 \ 11,3$	$c = 100 \ 46,6$
12	$A = 36 \ 53,1$	$\epsilon = 96 \ 33,6$	$C = 93 \ 43,4$
13	$A = 40 \ 53,6$	$B = 64 \ 46,3$	$C = 136 \ 21,8$
14	$A = 141 \ 46,4$	$\epsilon = 61 \ 14,3$	$C = 98 \ 30,3$
15	$a = 118 \ 19,6$	$\epsilon = 158 \ 43,1$	$c = 46 \ 13,6$
16	$a = 143 \ 46,3$	$\epsilon = 41 \ 36,4$	$C = 100 \ 14,8$
17	$a = 43 \ 16,3$	$\epsilon = 137 \ 12,6$	$C = 143 \ 46,8$
18	$A = 63 \ 31,4$	$B = 12 \ 40,6$	$c = 112 \ 14,7$
19	$a = 31 \ 18,6$	$B = 60 \ 13,4$	$c = 113 \ 17,3$
20	$a = 136 \ 42,6$	$B = 47 \ 03,4$	$C = 163 \ 13,8$
21	$a = 5 \ 23,6$	$B = 4 \ 31,6$	$c = 3 \ 16,9$
22	$a = 36 \ 43,1$	$B = 123 \ 58,1$	$C = 74 \ 16,2$
23	$a = 140 \ 13,8$	$\epsilon = 91 \ 29,4$	$C = 61 \ 51,7$
24	$A = 92 \ 14,9$	$\epsilon = 1 \ 43,7$	$C = 126 \ 31,8$
25	$A = 111 \ 10,6$	$\epsilon = 1 \ 19,7$	$c = 11 \ 21,9$
26	$A = 97 \ 12,3$	$B = 83 \ 41,4$	$c = 1 \ 26,8$
27	$a = 132 \ 50,7$	$B = 157 \ 18,1$	$c = 163 \ 13,6$
28	$a = 91 \ 17,4$	$B = 77 \ 01,7$	$C = 38 \ 53,8$
29	$a = 111 \ 08,6$	$\epsilon = 49 \ 17,6$	$C = 116 \ 42,5$
30	$a = 48 \ 50,7$	$B = 40 \ 56,2$	$C = 139 \ 48,9$

Тема 2
ПРЯМАЯ НАВИГАЦИОННАЯ ЗАДАЧА
(плавание судна по локсодромии)

Задание.

По заданным значениям φ_n , λ_n на референц-эллипсоиде Кравского определить: φ_k , λ_k – конечного пункта локсодромии.

№ задачи	φ_n	λ_n	$K_{\text{ЛОК}}$	$S_{\text{ЛОК}}$
1	+54°19,0'	–168°43,0'	163°	3705 м.мили
2	+47 10,0	+147 04,0	172	2495
3	+54 43,0	-169 22,0	165	3764
4	+55 43,0	+142 36,0	124	4475
5	-42 36,0	-84 20,0	110	5066
6	+55 14,0	+142 07,0	124	4424
7	-48 32,0	-166 29,0	336	2853
8	+45 36,0	-61 17,0	185	2958
9	-48 42,0	+151 29,0	54	3916
10	-49 30,0	-89 28,0	303	2215
11	-50 45,0	+148 37,0	78	4945
12	+50 25,0	+146 50,0	113	4196
13	+54 32,0	+170 16,0	82	3998
14	-43 12,0	+108 43,0	67	4223
15	-54 27,0	-162 18,0	302	2516
16	+46 44,0	+155 19,0	117	3246
17	+51 08,0	-178 58,0	234	3069
18	+54 09,0	-168 35,0	226	4269
19	+55 05,0	+141 43,0	184	3610
20	-48 03,0	+150 39,0	351	3025
21	+21 19,0	-157 51,0	144	6471
22	-16 54,0	-149 19,0	309	5110
23	+40 43,0	-74 04,0	115	6762
24	-41 19,0	+174 47,0	111	5722
25	-33 52,0	+151 10,0	88	3307
26	+12 40,0	+124 15,0	71	4458
27	+41 46,0	+140 43,0	57	4609
28	+12 31,0	+145 40,0	56	5282

Тема 3
ОБРАТНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ ЗАДАЧА
(расчет элементов локсодромии)

Задание.

По данным значениям географических координат начального и конечного пункта определить:

- курс $K_{ЛОК}$ локсодромии;
- длину $S_{ЛОК}$ локсодромии на земном шаре радиусом 6 366 707 м;
- длину $S_{ЛОК}$ локсодромии на референц-эллипсоиде Красовского.

№ задачи	φ_n	λ_n	φ_k	λ_k
1	+54 ⁰ 19, 2'	-168 ⁰ 43, 3'	-6 ⁰ 13, 6'	-154 ⁰ 11, 8'
2	+47 10,3	+147 03,6	+5 49,2	+152 08,2
3	+54 43,2	-169 21,7	-6 59,6	-155 56,0
4	+55 42,9	+142 36,4	-4 56,7	-164 18,9
5	-42 36,3	-84 19,9	-18 41,6	+15 35,0
6	+55 13,7	+142 07,3	-4 33,6	-165 16,9
7	-48 32,5	-166 28,8	-3 19,7	+176 18,4
8	+45 36,2	-61 17,5	-3 35,3	-65 00,3
9	-48 42,5	+151 28,7	+1 56,1	-160 49,5
10	-49 30,1	-89 27,6	-23 26,2	-122 56,0
11	-50 44,8	+148 37,4	+1 54,5	-135 48,9
12	+50 24,6	+146 50,3	+1 55,6	-153 01,9
13	+54 31,6	+170 15,6	+23 23,5	-107 39,6
14	-43 12,1	+108 43,2	+1 58,1	+169 10,6
15	-54 27,3	-162 18,4	-23 25,5	+159 43,2
16	+46 43,9	+155 19,0	+10 08,7	-157 27,6
17	+51 07,5	-178 57,6	+11 35,9	+141 01,6
18	+54 08,8	-168 35,7	-6 56,0	+147 48,0
19	+55 05,0	+141 42,3	-5 00,4	+138 11,0
20	-48 03,1	+150 39,0	+1 59,7	+143 41,5
21	+21 19,0	-157 51,0	-56 01,0	-67 17,0
22	-16 54,5	-149 18,5	+35 30,6	+139 40,3
23	+40 43,4	-74 03,7	-33 05,6	+18 37,9
24	-41 18,2	+174 47,5	-11 54,4	-76 59,3
25	-33 52,7	+151 10,8	-17 40,8	-149 25,3
26	+12 40,3	+124 15,6	+21 19,4	-157 51,7
27	+41 46,8	+140 43,2	+32 45,3	-117 05,6
28	+12 30,4	+145 40,4	+33 53,5	-118 12,7

Тема 4
ПРЯМАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Задание.

По данным значениям φ_n , λ_n и S_n , A_n определить φ_k , λ_k .

№ задачи	φ_n	λ_n	A_n	S_n
1	+54 ⁰ 19,0'	-168 ⁰ 43,0'	163 ⁰	3705 м.мили
2	+47 10,0	+147 04,0	172	2495
3	+54 43,0	-169 22,0	165	3764
4	+55 43,0	+142 36,0	124	4475
5	-42 36,0	-84 20,0	110	5066
6	+55 14,0	+142 07,0	124	4424
7	-48 32,0	-166 29,0	336	2853
8	+45 36,0	-61 17,0	185	2958
9	-48 42,0	+151 29,0	54	3916
10	-49 30,0	-89 28,0	303	2215
11	-50 45,0	+148 37,0	78	4945
12	+50 25,0	+146 50,0	113	4196
13	+54 32,0	+170 16,0	82	3998
14	-43 12,0	+108 43,0	67	4223
15	-54 27,0	-162 18,0	302	2516
16	+46 44,0	+155 19,0	117	3246
17	+51 08,0	-178 58,0	234	3069
18	+54 09,0	-168 35,0	226	4269
19	+55 05,0	+141 43,0	184	3610
20	-48 03,0	+150 39,0	351	3025
21	+21 19,0	-157 51,0	144	6471
22	-16 54,0	-149 19,0	309	5110
23	+40 43,0	-74 04,0	115	6762
24	-41 19,0	+174 47,0	111	5722
25	-33 52,0	+151 10,0	88	3307
26	+12 40,0	+124 15,0	71	4458
27	+41 46,0	+140 43,0	57	4609
28	+12 31,0	+145 40,0	56	5282

Тема 5
ОБРАТНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Задание.

По заданным значениям φ_n , λ_n и φ_k , λ_k определить: $S_{орт}$, $A_{орт}$, S_g , A_g .

№ задачи	φ_n	λ_n	φ_k	λ_k
1	+54 ⁰ 19,2'	-168 ⁰ 43,3'	-6 ⁰ 13,6'	-154 ⁰ 11,8'
2	+47 10,3	+147 03,6	+5 49,2	+152 08,2
3	+54 43,2	-169 21,7	-6 59,6	-155 56,0
4	+55 42,9	+142 36,4	-4 56,7	-164 18,9
5	-42 36,3	-84 19,9	-18 41,6	+15 35,0
6	+55 13,7	+142 07,3	-4 33,6	-165 16,9
7	-48 32,5	-166 28,8	-3 19,7	+176 18,4
8	+45 36,2	-61 17,5	-3 35,3	-65 00,3
9	-48 42,5	+151 28,7	+1 56,1	-160 49,5
10	-49 30,1	-89 27,6	-23 26,2	-122 56,0
11	-50 44,8	+148 37,4	+1 54,5	-135 48,9
12	+50 24,6	+146 50,3	+1 55,6	-153 01,9
13	+54 31,6	+170 15,6	+23 23,5	-107 39,6
14	-43 12,1	+108 43,2	+1 58,1	+169 10,6
15	-54 27,3	-162 18,4	-23 25,5	+159 43,2
16	+46 43,9	+155 19,0	+10 08,7	-157 27,6
17	+51 07,5	-178 57,6	+11 35,9	+141 01,6
18	+54 08,8	-168 35,7	-6 56,0	+147 48,0
19	+55 05,0	+141 42,3	-5 00,4	+138 11,0
20	-48 03,1	+150 39,0	+1 59,7	+143 41,5
21	+21 19,0	-157 51,0	-56 01,0	-67 17,0
22	-16 54,5	-149 18,5	+35 30,6	+139 40,3
23	+40 43,4	-74 03,7	-33 05,6	+18 37,9
24	-41 18,2	+174 47,5	-11 54,4	-76 59,3
25	-33 52,7	+151 10,8	-17 40,8	-149 25,3
26	+12 40,3	+124 15,6	+21 19,4	-157 51,7
27	+41 46,8	+140 43,2	+32 45,3	-117 05,6
28	+12 30,4	+145 40,4	+33 53,5	-118 12,7

Тема 6
ПЛАВАНИЕ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИНИИ
(с учетом и без учета сфероидичности Земли)

Задание.

По заданным значениям географических координат φ_n , λ_n и φ_k , λ_k начального и конечного пунктов на референц-эллипсоиде Красовского соответственно запланировать:

- плавание по геодезической линии с учетом сфероидичности Земли;
- плавание по геодезической линии без учета сфероидичности Земли, принимая длину хорд геодезической линии 360 миль (суточное плавание судна).

№ задачи	φ_n	λ_n	φ_k	λ_k
1	2	3	4	5
1	+54 ⁰ 19,2'	-168 ⁰ 43,3'	-6 ⁰ 13,6'	-154 ⁰ 11,8'
2	+47 10,3	+147 03,6	+5 49,2	+152 08,2
3	+54 43,2	-169 21,7	-6 59,6	-155 56,0
4	+55 42,9	+142 36,4	-4 56,7	-164 18,9
5	-42 36,3	-84 19,9	-18 41,6	+15 35,0
6	+55 13,7	+142 07,3	-4 33,6	-165 16,9
7	-48 32,5	-166 28,8	-3 19,7	+176 18,4
8	+45 36,2	-61 17,5	-3 35,3	-65 00,3
9	-48 42,5	+151 28,7	+1 56,1	-160 49,5
10	-49 30,1	-89 27,6	-23 26,2	-122 56,0
11	-50 44,8	+148 37,4	+1 54,5	-135 48,9
12	+50 24,6	+146 50,3	+1 55,6	-153 01,9
13	+54 31,6	+170 15,6	+23 23,5	-107 39,6
14	-43 12,1	+108 43,2	+1 58,1	+169 10,6
15	-54 27,3	-162 18,4	-23 25,5	+159 43,2
16	+46 43,9	+155 19,0	+10 08,7	-157 27,6
17	+51 07,5	-178 57,6	+11 35,9	+141 01,6
18	+54 08,8	-168 35,7	-6 56,0	+147 48,0
19	+55 05,0	+141 42,3	-5 00,4	+138 11,0
20	-48 03,1	+150 39,0	+1 59,7	+143 41,5

Продолжение приложения
Окончание таблицы

1	2	3	4	5
21	+21 19,0	-157 51,0	-56 01,0	-67 17,0
22	-16 54,5	-149 18,5	+35 30,6	+139 40,3
23	+40 43,4	-74 03,7	-33 05,6	+18 37,9
24	-41 18,2	+174 47,5	-11 54,4	-76 59,3
25	-33 52,7	+151 10,8	-17 40,8	-149 25,3
26	+12 40,3	+124 15,6	+21 19,4	-157 51,7
27	+41 46,8	+140 43,2	+32 45,3	-117 05,6
28	+12 30,4	+145 40,4	+33 53,5	-118 12,7

$S_x = 360'$ миль (длина хорд геодезической линии).

Тема 7 **РАСЧЕТ РАМКИ И КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТКИ** **МОРСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ КАРТЫ**

Задание.

По заданным границам φ_N , φ_S , λ_E , λ_W участка местности на референц-эллипсоиде Красовского и разности долгот $\Delta\lambda$ соседних промежуточных меридианов определить:

- широту $\varphi_{ГП}$ главной параллели планшета;
- знаменатель $C_{ГП}$ главного масштаба планшета при условии вмещения его в рамки в формат 680х930 мм;
- длину a и b сторон рамки планшета;
- промежуток $\Delta\varphi$ практически постоянного линейного масштаба планшета;
- элементы a_i и b_i картографической сетки планшета;
- меркаторские мили на отрезках Δb_i между промежуточными параллелями планшета.

№ задачи	φ_N	φ_S	λ_E	λ_W	$\Delta\lambda$	C
1	+62°00,0'	+61°25,0'	+26°20,0'	+25°05,0'	20'	100 000
2	-61 30,0	-62 00,0	-20 40,0	-22 00,0	20	100 000
3	+49 00,0	+48 40,0	-32 40,0	-33 20,0	20	100 000
4	-67 50,0	-69 00,0	+31 40,0	+29 20,0	20	150 000
5	+54 10,0	+53 30,0	+22 00,0	+20 20,0	20	150 000
6	-59 50,0	-61 00,0	+30 30,0	+26 40,0	30	250 000
7	+61 00,0	+60 30,0	-28 30,0	-30 00,0	30	100 000
8	-43 30,0	-44 10,0	+80 00,0	+78 50,0	30	150 000
9	+60 00,0	+59 20,0	+25 00,0	+24 00,0	20	100 000
10	-59 40,0	-60 00,0	-22 40,0	-24 00,0	20	100 000
11	+59 00,0	+58 30,0	+22 50,0	+21 30,0	20	100 000
12	-58 20,0	-59 00,0	-22 40,0	-23 30,0	30	100 000
13	+58 10,0	+57 25,0	+20 50,0	+18 20,0	30	200 000
14	-56 50,0	-57 05,0	-16 25,0	-18 30,0	30	150 000
15	+70 05,0	+69 30,0	-28 35,0	-30 05,0	20	100 000
16	-33 30,0	-34 00,0	+31 05,0	+30 30,0	20	100 000
17	+42 00,0	+41 05,0	-30 40,0	-31 05,0	20	150 000
18	-39 20,0	-40 00,0	+50 00,0	+49 10,0	20	150 000
19	+59 00,0	+58 05,0	+27 40,0	+26 00,0	20	150 000
20	-42 30,0	-43 00,0	+26 00,0	+25 10,0	10	100 000

Тема 8
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАВНОТОЧНЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ ВЫСОТЫ СВЕТИЛА
(расчет СКП измерения высоты светила)

Задание.

По заданным результатам OC_i' равноточных наблюдений высоты астронавигационного ориентира, соответствующим показаниям $T_{сек i}^{мин}$ секундомера и другой навигационной информации, определить:

- результат OC измерения высоты астронавигационного ориентира и соответствующее ему показание $T_{сек}$ секундомера;
- среднюю квадратическую погрешность m'_{oc} результата наблюдения высоты астронавигационного ориентира;
- среднюю квадратическую погрешность m_{oc} результата измерения высоты астронавигационного ориентира.

№ задачи	φ	$ПУ$	V	$ИП$	OC_i	$T_{сек i}^{мин}$
1	$+18^0 16'$	280^0	16,8 уз	89^0	$32^0 30,0'$ 34,7 38,1 43,2 47,7 52,0 57,1	$0^M 00^C$ 16 34 54 1 16 34 48
2	$+45^0 26'$	30^0	17,3 уз	241^0	$52^0 30,3'$ 24,3 19,9 14,9 08,4 04,8 02,6	$0^M 00^C$ 34 1 00 31 2 11 29 48
3	$-64^0 22'$	290^0	14,6 уз	267^0	$20^0 11,7'$ 08,2 04,8 00,3 19 56,8 53,7 50,4	$0^M 00^C$ 37 1 09 44 2 11 40 3 09

Продолжение приложения
Продолжение таблицы

№ задачи	φ	$ПУ$	V	III	OC_i	$T_{сек}^{мин}$
4	+15 ⁰ 19'	350 ⁰	16,6 уз	197 ⁰	34 ⁰ 12,4'	0 ^M 00 ^C
					07,8	57
					02,9	1 55
					33 58,4	2 51
					55,0	3 47
					51,2	4 41
					46,1	5 38
5	+32 ⁰ 37'	340 ⁰	10,2 уз	143 ⁰	50 ⁰ 40,9'	0 ^M 00 ^C
					43,8	31
					48,6	1 04
					53,0	40
					55,9	2 11
					51 00,3	46
					04,4	3 23
6	+11 ⁰ 20'	20 ⁰	17,1 уз	213 ⁰	61 ⁰ 16,6'	0 ^M 00 ^C
					09,0	53
					01,1	1 56
					60 52,9	2 58
					40,0	4 01
					36,2	55
					30,0	5 46
7	+28 ⁰ 32'	150 ⁰	14,5 уз	122 ⁰	27 ⁰ 32,7'	0 ^M 00 ^C
					39,2	42
					46,3	1 21
					54,6	2 02
					28 03,0	42
					10,2	3 24
					17,9	4 11
8	+11 ⁰ 16'	310 ⁰	15,8 уз	213 ⁰	37 ⁰ 26,9'	0 ^M 00 ^C
					19,3	53
					11,4	1 56
					08,2	2 58
					36 54,3	4 01
					46,5	55
					40,3	5 46

Продолжение приложения
Продолжение таблицы

№ задачи	φ	$ПУ$	V	$ИП$	OC_i	$T_{сек}^{мин}$
9	+36°32'	80°	14,3 уз	120°	14°49,9' 58,6 15 08,0 15,2 24,1 32,2 42,7	0°00 ^C 45 1 35 2 22 3 14 57 4 49
10	+21°50'	280°	12,6 уз	246°	34°50,8' 40,7 30,6 21,8 10,2 00,7 33 49,2	0°00 ^C 42 1 31 2 16 3 03 51 4 40
11	+15°20'	100°	16,5 уз	118°	13°21,2' 30,7 39,5 50,0 14 01,6 10,1 22,6	0°00 ^C 43 1 28 2 19 3 06 48 4 47
12	+32°35'	240°	15,2 уз	143°	31°30,6' 33,5 38,3 42,7 45,6 50,0 54,1	0°00 ^C 31 1 04 40 2 11 46 3 23
13	+29°19'	350°	16,2 уз	157°	28°03,5' 06,2 09,8 11,1 14,6 16,4 20,1	0°00 ^C 35 1 11 44 2 22 55 3 26

Продолжение приложения
Продолжение таблицы

№ задачи	φ	$ПУ$	V	$ИП$	OC_i	$T_{сек}^{мин}$
14	$+71^0 23'$	270^0	13,8 уз	253^0	$10^0 33,1'$ 31,6 30,8 29,0 26,3 25,0 23,2	$0^M 00^C$ 19 45 1 06 34 56 2 32
15	$+49^0 38'$	310^0	15,6 уз	220^0	$20^0 43,6'$ 39,4 35,5 29,4 25,3 21,8 16,3	$0^M 00^C$ 41 1 24 2 09 56 3 41 4 28
16	$+62^0 11'$	270^0	15,5 уз	106^0	$23^0 19,7'$ 20,2 22,7 24,7 26,2 27,4 29,8	$0^M 00^C$ 26 41 1 05 23 50 2 19
17	$-45^0 26'$	120^0	14,2 уз	299^0	$16^0 40,4'$ 34,4 30,0 25,0 18,5 14,9 12,7	$0^M 00^C$ 34 1 00 32 2 11 29 48
18	$+57^0 34'$	310^0	13,5 уз	218^0	$30^0 29,0'$ 24,4 19,9 14,9 07,6 03,1 29 59,4	$0^M 00^C$ 57 1 56 2 52 3 57 4 52 5 43

Продолжение приложения
Окончание таблицы

№ задачи	φ	$ПУ$	V	$ИП$	OC_i	$T_{сек i}^{мин}$
19	+60°25'	340°	15,3 уз	140°	41°51,7' 52,4 55,2 56,3 58,7 42 01,2 04,2	0°00 ^C 25 49 1 16 45 2 13 42
20	+20°35'	330°	15,5 уз	137°	37°04,2' 10,6 15,2 19,1 24,6 30,9 35,7	0°00 ^C 31 1 05 40 2 12 47 3 26
21	+43°19'	310°	14,5 уз	242°	17°28,7' 20,4 12,7 06,3 16 59,7 53,1 45,7	0°00 ^C 48 1 37 2 19 59 3 42 4 21
22	-33°29'	161°	14,5 уз	319°	33°21,3' 17,4 12,2 08,5 05,1 01,9 32 58,1	0°00 ^C 31 1 05 29 51 2 12 45

Тема 9

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАВНОТОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ КОМПАСНОГО ПЕЛЕНГА НАВИГАЦИОННОГО ОРИЕНТИРА

(расчет СКП измерения компасного пеленга ориентира)

Задание.

По заданным результатам $KП_i$ равноточных наблюдений компасного пеленга навигационного ориентира, соответствующим показаниям $T_{сек i}^{мин}$ секундомера и другой навигационной информации, определить:

- результат $KП$ измерения компасного пеленга навигационного ориентира и соответствующее ему показание $T_{сек}$ секундомера;
- среднюю квадратическую погрешность $m_{KП'}$ результата наблюдения компасного пеленга навигационного ориентира;
- среднюю квадратическую погрешность $m_{KП}$ результата измерения компасного пеленга навигационного ориентира.

№ задачи	$ПУ$	V	$Д$	$KП_i$	$T_{сек i}^{мин}$
1	30^0	14,0 уз	8,3 м.мили	100,2 ⁰	0 ^M 00 ^C
				101,5	20
				101,8	43
				102,0	1 05
				101,9	35
				102,4	2 20
				102,9	37
2	320^0	15,0 уз	6,3 м.мили	25,8 ⁰	0 ^M 00 ^C
				26,1	21
				26,9	40
				26,6	1 02
				27,4	15
				27,5	28
				27,7	50
3	205^0	12,5 уз	5,6 м.мили	271,4 ⁰	0 ^M 00 ^C
				272,7	17
				273,0	35
				273,2	51
				273,4	1 13
				273,0	28
				274,6	47

Продолжение приложения
Продолжение таблицы

№ задачи	$ПУ$	V	D	$KП_i$	$T_{сек i}^{мин}$
4	260 ⁰	14,2 уз	4,7 м.мили	314,7 ⁰	0 ^М 00 ^С
				315,3	19
				315,2	34
				315,7	58
				316,2	1 17
				317,7	32
				317,5	59
5	60 ⁰	13,4 уз	3,7 м.мили	119,7 ⁰	0 ^М 00 ^С
				120,6	23
				120,5	43
				121,9	1 05
				122,5	16
				122,7	38
				123,0	56
6	40 ⁰	14,8 уз	4,4 м.мили	124,9	2 22
				89,2 ⁰	0 ^М 00 ^С
				89,5	16
				89,1	33
				90,6	52
				90,9	1 18
				91,7	40
7	350 ⁰	14,3 уз	2,9 м.мили	93,3	2 07
				39,6 ⁰	0 ^М 00 ^С
				41,0	32
				43,1	50
				43,5	1 13
				45,8	32
				46,7	53
8	110 ⁰	15,0 уз	5,3 м.мили	48,2	2 22
				154,5 ⁰	0 ^М 00 ^С
				155,4	18
				156,7	31
				157,8	54
				157,7	1 09
				158,3	23
				158,2	41

Продолжение приложения
Продолжение таблицы

№ задачи	$ПУ$	V	$Д$	$KП_i$	$T_{сек i}^{мин}$
9	173 ⁰	13,8 уз	6,7 м.мили	221,3 ⁰	0 ^М 00 ^С
				222,4	18
				222,8	34
				224,0	49
				225,2	1 07
				225,7	27
				226,0	40
10	183 ⁰	12,5 уз	5,0 м.мили	45,7 ⁰	0 ^М 00 ^С
				45,1	15
				44,7	40
				44,0	59
				44,1	1 15
				43,0	32
				41,7	55
11	343 ⁰	13,5 уз	7,4 м.мили	41,0	2 16
				185,0 ⁰	0 ^М 00 ^С
				184,3	23
				184,2	43
				183,8	1 06
				183,7	21
				183,3	39
12	302 ⁰	13,7 уз	6,5 м.мили	182,4	50
				181,6	2 10
				168,4 ⁰	0 ^М 00 ^С
				168,2	13
				167,7	31
				166,0	46
				166,2	58
13	111 ⁰	14,0 уз	7,7 м.мили	165,3	1 18
				164,1	32
				321,0 ⁰	0 ^М 00 ^С
				320,3	15
				320,0	32
				319,1	52
				318,4	1 21
				317,9	38
				317,7	52

Продолжение приложения
Продолжение таблицы

№ задачи	$ПУ$	V	D	$KП_i$	$T_{сек\ i}^{мин}$
14	124 ⁰	12,7 уз	3,8 м.мили	5,7 ⁰	0 ^{M00C}
				5,5	23
				5,2	38
				5,1	51
				4,8	1 07
				4,1	23
				3,2	50
15	107 ⁰	13,0 уз	5,7 м.мили	359,2 ⁰	0 ^{M00C}
				359,1	18
				358,0	34
				357,2	48
				355,8	1 11
				355,9	27
				354,3	52
16	257 ⁰	11,3 уз	6,4 м.мили	353,5	2 12
				314,3 ⁰	0 ^{M00C}
				315,0	32
				315,0	45
				314,8	1 10
				316,3	28
				316,7	43
17	267 ⁰	12,4 уз	7,2 м.мили	317,6	2 11
				318,2	28
				320,1 ⁰	0 ^{M00C}
				320,4	16
				321,3	26
				322,7	37
				322,8	50
18	110 ⁰	13,4 уз	2,3 м.мили	323,6	1 11
				324,8	34
				324,9	52
				355,4 ⁰	0 ^{M00C}
				355,1	17
				353,5	33
				352,0	52
				350,5	1 07
				348,3	21
				345,2	56

Продолжение приложения
Окончание таблицы

№ задачи	$ПУ$	V	D	$KП_i$	$T_{сек i}^{мин}$
19	128 ⁰	11,6 уз	1,7 м.мили	12,0 ⁰	0 ^М 00 ^С
				11,0	23
				9,3	42
				7,3	1 03
				5,2	18
				3,0	40
				2,3	2 01
20	110 ⁰	10,8 уз	2,8 м.мили	343,5 ⁰	0 ^М 00 ^С
				341,4	33
				337,8	54
				335,7	1 23
				334,6	43
				331,5	2 06
				327,9	43
21	320 ⁰	12,3 уз	4,5 м.мили	153,6 ⁰	0 ^М 00 ^С
				154,3	12
				153,8	30
				152,7	42
				151,8	1 11
				151,5	28
				151,7	43
22	342 ⁰	14,0 уз	4,4 м.мили	184,2 ⁰	0 ^М 00 ^С
				185,0	18
				184,3	31
				183,8	51
				184,1	1 12
				182,4	45
				182,5	2 13
				181,3	32
				179,3	42

Тема 10
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ПО ДВУМ
НАВИГАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ КОСВЕННЫМ
АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Задание.

По приведенным результатам измерений пеленгов двух навигационных ориентиров определить:

- широту φ_0 обсервованного места судна;
- долготу λ_0 обсервованного места судна;
- полные средние квадратические погрешности $m_{ПП1}$, $m_{ПП2}$ линий положения.

№ задачи	$\varphi_{M1}, \lambda_{M1}$	$ПП_1$	$m_{ПП1}$	$\varphi_{M2}, \lambda_{M2}$	$ПП_2$	$m_{ПП2}$	φ_c, λ_c
1	+36°10,3' +133 20,0	300°	1°	+35°33,9' +133 19,4	230°	1°	+35°50,4' +133 53,8
2	+36°10,3' +133 20,0	301°	2°	+35°33,9' +133 19,4	230°	2°	+35°49,3' +133 51,8
3	+36°10,3' +133 20,0	302°	2°	+35°33,9' +133 19,4	229°	2°	+35°48,3' +133 49,7
4	+36°10,3' +133 20,0	300°	3°	+35°33,9' +133 19,4	231°	3°	+35°54,1' +133 50,6
5	+36°10,3' +133 20,0	299°	2°	+35°33,9' +133 19,4	232°	2°	+35°48,3' +133 51,0
6	+36°10,3' +133 20,0	298°	1°	+35°33,9' +133 19,4	230°	1°	+35°50,8' +133 48,5
7	+36°10,3' +133 20,0	297°	2°	+35°33,9' +133 19,4	231°	2°	+35°47,3' +133 47,7
8	+36°10,3' +133 20,0	296°	3°	+35°33,9' +133 19,4	232°	3°	+35°47,1' +133 50,3

Продолжение приложения
Окончание таблицы

№ задачи	$\varphi_{M1}, \lambda_{M1}$	$ИП_1$	$m_{ИП1}$	$\varphi_{M2}, \lambda_{M2}$	$ИП_2$	$m_{ИП2}$	φ_c, λ_c
9	+35°29,9' +133 13,8	232°	2°	+35°36,1' +135 04,8	151°	2°	+36°27,8' +134 30,0
10	+35°29,9' +133 13,8	231°	1°	+35°36,1' +135 04,8	150°	1°	+36°24,7' +134 31,4
11	+35°29,9' +133 13,8	230°	3°	+35°36,1' +135 04,8	149°	3°	+36°29,5' +134 27,2
12	+35°29,9' +133 13,8	233°	1°	+35°36,1' +135 04,8	153°	1°	+36°25,6' +134 30,4
13	+35°29,9' +133 13,8	229°	2°	+35°36,1' +135 04,8	152°	2°	+36°25,7' +134 32,3
14	+35°29,9' +133 13,8	234°	2°	+35°36,1' +135 04,8	150°	2°	+36°28,3' +134 27,4
15	+35°29,9' +133 13,8	232°	3°	+35°36,1' +135 04,8	152°	3°	+36°31,1' +134 27,4
16	+35°29,9' +133 13,8	228°	2°	+35°36,1' +135 04,8	153°	2°	+36°26,5' +134 31,0

Тема 11
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА СУДНА
ПО ДВУМ НАВИГАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ

Задание.

По приведенным результатам измерений пеленгов двух навигационных ориентиров определить:

- коэффициент корреляции K полных погрешностей результатов измерений пеленгов при условиях:

если $m_{ИП1} = m_{ИП2} = 1^0$, то $m_C = 0,5^0$, $m_{II} = 0,9^0$;

если $m_{ИП1} = m_{ИП2} = 2^0$, то $m_C = 1,4^0$, $m_{II} = 1,4^0$;

если $m_{ИП1} = m_{ИП2} = 3^0$, то $m_C = 2,5^0$, $m_{II} = 1,7^0$;

- значение большой полуоси A_0 полного среднего квадратического эллипса погрешностей обсервованного места судна;

- значение малой полуоси B_0 полного среднего квадратического эллипса погрешностей обсервованного места судна;

- значение направления T_0 большой полуоси среднего квадратического эллипса погрешностей обсервованного места судна

№ задачи	$\varphi_{M1}, \lambda_{M1}$	$ИП_1$	$m_{ИП}$	$\varphi_{M2}, \lambda_{M2}$	$ИП_2$	$m_{ИП2}$	φ_c, λ_c
1	+36°10,3' +133 20,0	300°	1°	+35°33,9' +133 19,4	230°	1°	+35°50,4' +133 53,8
2	+36°10,3' +133 20,0	301°	2°	+35°33,9' +133 19,4	230°	2°	+35°49,3' +133 51,8
3	+36°10,3' +133 20,0	302°	2°	+35°33,9' +133 19,4	229°	2°	+35°48,3' +133 49,7
4	+36°10,3' +133 20,0	300°	3°	+35°33,9' +133 19,4	231°	3°	+35°54,1' +133 50,6
5	+36°10,3' +133 20,0	299°	2°	+35°33,9' +133 19,4	232°	2°	+35°48,3' +133 51,0
6	+36°10,3' +133 20,0	298°	1°	+35°33,9' +133 19,4	230°	1°	+35°50,8' +133 48,5

Продолжение приложения
Окончание таблицы

№ задачи	$\varphi_{M1}, \lambda_{M1}$	$ИП_1$	$m_{ИП1}$	$\varphi_{M2}, \lambda_{M2}$	$ИП_2$	$m_{ИП2}$	φ_c, λ_c
7	+36°10,3' +133 20,0	297°	2°	+35°33,9' +133 19,4	231°	2°	+35°47,3' +133 47,7
8	+36°10,3' +133 20,0	296°	3°	+35°33,9' +133 19,4	232°	3°	+35°47,1' +133 50,3
9	+35°29,9' +133 13,8	232°	2°	+35°36,1' +135 04,8	151°	2°	+36°27,8' +134 30,0
10	+35°29,9' +133 13,8	231°	1°	+35°36,1' +135 04,8	150°	1°	+36°24,7' +134 31,4
11	+35°29,9' +133 13,8	230°	3°	+35°36,1' +135 04,8	149°	3°	+36°29,5' +134 27,2
12	+35°29,9' +133 13,8	233°	1°	+35°36,1' +135 04,8	153°	1°	+36°25,6' +134 30,4
13	+35°29,9' +133 13,8	229°	2°	+35°36,1' +135 04,8	152°	2°	+36°25,7' +134 32,3
14	+35°29,9' +133 13,8	234°	2°	+35°36,1' +135 04,8	150°	2°	+36°28,3' +134 27,4
15	+35°29,9' +133 13,8	232°	3°	+35°36,1' +135 04,8	152°	3°	+36°31,1' +134 27,4
16	+35°29,9' +133 13,8	228°	2°	+35°36,1' +135 04,8	153°	2°	+36°26,5' +134 31,0

Тема 12

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СЧИСЛИМОГО МЕСТА СУДНА

Задание.

По приведенным элементам движения судна, характеристикам точности плавания и промежутку времени от начала счисления координат определить параметры A_C , B_C , T_C среднего квадратического эллипса погрешностей счислимого места судна.

№ задачи	$ПУ, m_{ПУ}$	V, m_v	ΔT	A_0, B_0, T_0
1	117^0 1^0	10,0 уз 0,5 уз	$2^h41^{мин}$	1,6 м.мили 0,9 м.мили 46^0
2	300^0 2^0	11,4 уз 1,0 уз	$3^h14^{мин}$	1,8 м.мили 0,8 м.мили 100^0
3	100^0 1^0	9,3 уз 1,0 уз	$2^h39^{мин}$	2,3 м.мили 1,1 м.мили 210^0
4	120^0 3^0	8,8 уз 1,0 уз	$3^h17^{мин}$	3,1 м.мили 2,0 м.мили 130^0
5	240^0 2^0	12,8 уз 0,5 уз	$3^h17^{мин}$	1,3 м.мили 0,8 м.мили 126^0
6	164^0 3^0	7,3 уз 1,0 уз	$2^h43^{мин}$	4,2 м.мили 2,6 м.мили 231^0
7	136^0 2^0	10,3 уз 1,0 уз	$3^h43^{мин}$	3,2 м.мили 1,8 м.мили 324^0
8	39^0 2^0	9,6 уз 1,0 уз	$3^h17^{мин}$	4,4 м.мили 0,7 м.мили 128^0
9	231^0 1^0	8,4 уз 0,5 уз	$2^h48^{мин}$	1,0 м.мили 0,4 м.мили 237^0
10	76^0 2^0	9,1 уз 1,0 уз	$3^h22^{мин}$	2,4 м.мили 1,2 м.мили 174^0

Продолжение приложения
Окончание таблицы

№ задачи	$ПУ, m_{ПУ}$	V, m_V	ΔT	A_0, B_0, T_0
11	341^0 3^0	11,3 уз 1,0 уз	$3^447^{мин}$	3,8 м.мили 1,4 м.мили 323^0
12	163^0 4^0	12,3 уз 1,0 уз	$2^452^{мин}$	1,6 м.мили 1,2 м.мили 73^0
13	239^0 5^0	10,4 уз 2,0 уз	$3^432^{мин}$	4,6 м.мили 1,4 м.мили 173^0
14	263^0 4^0	11,7 уз 1,0 уз	$3^413^{мин}$	3,3 м.мили 2,0 м.мили 4^0
15	8^0 9^0	9,5 уз 1,0 уз	$4^400^{мин}$	5,3 м.мили 2,6 м.мили 346^0

Тема 13
ЗАДАЧИ АНАЛИТИЧЕСКОГО СЧИСЛЕНИЯ

<u>№1</u> 1) $\varphi_1 = 32^0 17,3' N$; $\lambda_1 = 45^0 12,4' W$; $S = 321$ мили; <u>$HK = 38^0$; $\alpha = +2^0$;</u> $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 31^0 29,6' N$; $\lambda_1 = 12^0 59,6' E$; $\varphi_2 = 30^0 08,0' N$; <u>$\lambda_2 = 11^0 06,3' E$;</u> $HK = ? S = ?$	<u>№2</u> 1) $\varphi_1 = 32^0 06,4' N$; $\lambda_1 = 55^0 22,1' W$; $S = 52$ мили; $ГКК = 23^0$; $\Delta GK + 1^0$; <u>$\alpha = +3^0$; $\beta = -2^0$;</u> $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 30^0 46,7' N$; $\lambda_1 = 30^0 51,2' W$; $\varphi_2 = 29^0 20,4' N$; <u>$\lambda_2 = 32^0 30,9' W$;</u> $HK = ? S = ?$	<u>№3</u> 1) $\varphi_1 = 44^0 12,1' N$; $\lambda_1 = 179^0 07,0' E$; $S = 199,5$ мили; <u>$HK = 97^0$;</u> $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 20^0 10,0' S$; $\lambda_1 = 57^0 30,0' E$; $\varphi_2 = 16^0 46,0' N$; <u>$\lambda_2 = 96^0 10,0' E$;</u> $HK = ? S = ?$
<u>№4</u> 1) $\varphi_1 = 1^0 27,3' N$; $\lambda_1 = 165^0 54,7' E$; $S = 275$ миль; <u>$HK = 215,5^0$;</u> $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 23^0 15,2' N$; $\lambda_1 = 35^0 58,7' E$; $\varphi_2 = 25^0 07,5' N$; <u>$\lambda_2 = 38^0 48,2' E$;</u> $HK = ? S = ?$	<u>№5</u> 1) $\varphi_1 = 72^0 22,3' N$; $\lambda_1 = 164^0 15,7' E$; $S = 155$ миль; <u>$HK = 12,5^0$;</u> $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 3^0 15,0' N$; $\lambda_1 = 179^0 21,8' W$; $\varphi_2 = 1^0 07,3' S$; <u>$\lambda_2 = 178^0 02,6' E$;</u> $HK = ? S = ?$	<u>№6</u> 1) $\varphi_1 = 39^0 03,2' S$; $\lambda_1 = 105^0 42,1' W$; $S = 108,5$ мили; <u>$HK = 312^0$; $\alpha = +3^0$;</u> $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 53^0 20,0' N$; $\lambda_1 = 6^0 15,0' W$; $\varphi_2 = 23^0 08,0' N$; <u>$\lambda_2 = 82^0 22,0' W$;</u> $HK = ? S = ?$

Продолжение приложения

<u>№7</u> 1) $\varphi_1 = 49^0 10, 2' S$; $\lambda_1 = 16^0 34, 2' W$; $S = 212, 8 \text{ мили}$; <u>$IK = 83^0$; $\alpha = +7^0$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 31^0 29, 6' N$; $\lambda_1 = 12^0 59, 6' E$; $\varphi_2 = 30^0 08, 0' N$; <u>$\lambda_2 = 11^0 06, 3' E$</u>; $IK = ? S = ?$	<u>№8</u> 1) $\varphi_1 = 12^0 07, 4' S$; $\lambda_1 = 3^0 24, 3' W$; $S = 246 \text{ мили}$; <u>$IK = 112^0$; $\alpha = +5^0$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 23^0 13, 2' N$; $\lambda_1 = 35^0 38, 7' E$; $\varphi_2 = 25^0 07, 5' N$; <u>$\lambda_2 = 38^0 48, 2' E$</u>; $IK = ? S = ?$	<u>№9</u> 1) $\varphi_1 = 49^0 52, 6' N$; $\lambda_1 = 177^0 24, 5' E$; $S = 301, 5 \text{ мили}$; <u>$IK = 73^0$; $\alpha = -4^0$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 30^0 58, 7' N$; $\lambda_1 = 30^0 51, 2' W$; $\varphi_2 = 29^0 20, 4' N$; <u>$\lambda_2 = 32^0 36, 9' W$</u>; $IK = ? S = ?$
<u>№10</u> 1) $\varphi_1 = 2^0 34, 6' S$; $\lambda_1 = 124^0 17, 5' W$; $OL_1 = 21, 1$; $OL_2 = 195, 3$; $\Gamma KK = 356^0$; $\Delta \Gamma K = -1^0$; <u>$\alpha = +5^0$; $\Delta I = +6\%$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 3^0 15, 0' N$; $\lambda_1 = 179^0 21, 8' W$; $\varphi_2 = 2^0 07, 3' S$; <u>$\lambda_2 = 178^0 02, 6' E$</u>; $IK = ? S = ?$	<u>№11</u> 1) $\varphi_1 = 59^0 39, 3' N$; $\lambda_1 = 24^0 32, 2' E$; $OL_1 = 8, 9$; $OL_2 = 94$; $\Gamma KK = 260^0$; $\Delta \Gamma K = +2^0$; <u>$\alpha = -6^0$; $\Delta I = -8\%$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 10^0 10, 0' S$; $\lambda_1 = 57^0 30, 0' E$; $\varphi_2 = 16^0 46, 0' N$; <u>$\lambda_2 = 95^0 10, 0' E$</u>; $IK = ? S = ?$	<u>№12</u> 1) $\varphi_1 = 2^0 11, 8' S$; $\lambda_1 = 77^0 42, 2' E$; $\delta = +3, 8^0$; $OL_1 = 90, 9$; $OL_2 = 300$; $KK = 306^0$; $d = 5, 2^0 E$; <u>$\alpha = -1, 5^0$; $\Delta I = -4\%$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 53^0 20, 0' N$; $\lambda_1 = 16^0 15, 0' W$; $\varphi_2 = 23^0 08, 0' N$; <u>$\lambda_2 = 82^0 22, 0' W$</u>; $IK = ? S = ?$

Продолжение приложения

<u>№13</u> 1) $\varphi_1 = 42^0 12,6' N$; $\lambda_1 = 132^0 17,2' E$; $\delta = -2^0$; $OL_1 = 51,1$; $OL_2 = 146,4$; $KK = 176^0$; $d = 1^0 W$; <u>$\alpha = +3,5^0$; $\Delta I = +12\%$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 31^0 29,6' N$; $\lambda_1 = 12^0 59,6' E$; $\varphi_2 = 30^0 06,6' N$; <u>$\lambda_2 = 10^0 06,6' E$</u>; $HK = ? S = ?$	<u>№14</u> 1) $\varphi_1 = 12^0 07,4' S$; $\lambda_1 = 3^0 24,3' W$; $S = 286 \text{ миль}$; $\alpha = +4^0$; <u>$\Gamma KK = 112^0$; $\Delta \Gamma K = +3^0$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 30^0 26,7' N$; $\lambda_1 = 30^0 57,2' W$; $\varphi_2 = 29^0 20,7' N$; <u>$\lambda_2 = 33^0 20,8' W$</u>; $HK = ? S = ?$	<u>№15</u> 1) $\varphi_1 = 32^0 48,3' N$; $\lambda_1 = 46^0 02,7' W$; $S = 354 \text{ мили}$; <u>$HK = 39^0$; $\alpha = +2^0$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 31^0 12,6' N$; $\lambda_1 = 13^0 02,9' E$; $\varphi_2 = 29^0 15,6' N$; <u>$\lambda_2 = 10^0 20,4' E$</u>; $HK = ? S = ?$
<u>№16</u> 1) $\varphi_1 = 33^0 16,4' N$; $\lambda_1 = 54^0 12,1' W$; $S = 252 \text{ мили}$; $\beta = -2^0$; <u>$HK = 24^0$; $\alpha = +3^0$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 31^0 26,7' N$; $\lambda_1 = 30^0 21,5' W$; $\varphi_2 = 28^0 40,4' N$; <u>$\lambda_2 = 32^0 55,9' W$</u>; $HK = ? S = ?$	<u>№17</u> 1) $\varphi_1 = 43^0 18,0' N$; $\lambda_1 = 178^0 34,0' E$; $S = 298 \text{ миль}$; <u>$HK = 98^0$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 20^0 54,0' S$; $\lambda_1 = 56^0 40,0' E$; $\varphi_2 = 17^0 05,5' N$; <u>$\lambda_2 = 95^0 57,0' E$</u>; $HK = ? S = ?$	<u>№18</u> 1) $\varphi_1 = 2^0 37,2' N$; $\lambda_1 = 166^0 34,7' E$; $S = 295 \text{ миль}$; <u>$HK = 213^0$</u>; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 22^0 10,7' N$; $\lambda_1 = 35^0 28,7' E$; $\varphi_2 = 25^0 37,5' N$; <u>$\lambda_2 = 39^0 02,4' E$</u>; $HK = ? S = ?$

Продолжение приложения

<u>№19</u> 1) $\varphi_1 = 38^0 03,0' S$; $\lambda_1 = 104^0 44,0' W$; $S = 189 \text{ миль}$; $\underline{HK = 315^0}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 53^0 50,0' N$; $\lambda_1 = 6^0 25,0' W$; $\varphi_2 = 38^0 48,0' N$; $\underline{\lambda_2 = 62^0 22,0' W}$; $\underline{HK = ? S = ?}$	<u>№20</u> 1) $\varphi_1 = 48^0 50,0' S$; $\lambda_1 = 18^0 34,0' W$; $S = 266 \text{ миль}$; $\underline{HK = 92^0}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 32^0 30,0' N$; $\lambda_1 = 13^0 49,0' E$; $\varphi_2 = 29^0 06,0' N$; $\underline{\lambda_2 = 10^0 26,0' E}$; $\underline{HK = ? S = ?}$	<u>№21</u> 1) $\varphi_1 = 59^0 39,3' N$; $\lambda_1 = 24^0 32,2' E$; $OL_1 = 8,9$; $OL_2 = 94$; $\underline{ГKK = 260^0; \Delta GK = +2^0}$; $\underline{\alpha = -6^0; \Delta I = -8\%}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 10^0 10,0' S$; $\lambda_1 = 57^0 30,0' E$; $\varphi_2 = 16^0 46,0' N$; $\underline{\lambda_2 = 95^0 10,0' E}$; $\underline{HK = ? S = ?}$
<u>№22</u> 1) $\varphi_1 = 2^0 11,8' S$; $\lambda_1 = 77^0 42,2' E$; $\delta = +3,8^0$; $OL_1 = 90,9$; $OL_2 = 300$; $\underline{KK = 306^0; d = 5,2^0 E}$; $\underline{\alpha = -1,5^0; \Delta I = -4\%}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 53^0 20,0' N$; $\lambda_1 = 16^0 15,0' W$; $\varphi_2 = 23^0 08,0' N$; $\underline{\lambda_2 = 82^0 22,0' W}$; $\underline{HK = ? S = ?}$	<u>№23</u> 1) $\varphi_1 = 42^0 12,6' N$; $\lambda_1 = 132^0 17,2' E$; $\delta = -2^0$; $OL_1 = 51,1$; $OL_2 = 146,4$; $\underline{KK = 176^0; d = 1^0 W}$; $\underline{\alpha = +3,5^0; \Delta I = +12\%}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 31^0 29,6' N$; $\lambda_1 = 12^0 59,6' E$; $\varphi_2 = 30^0 06,6' N$; $\underline{\lambda_2 = 10^0 06,6' E}$; $\underline{HK = ? S = ?}$	<u>№24</u> 1) $\varphi_1 = 12^0 07,4' S$; $\lambda_1 = 3^0 24,3' W$; $S = 286 \text{ миль}$; $\alpha = +4^0$; $\underline{ГKK = 112^0; \Delta GK = +3^0}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 30^0 26,7' N$; $\lambda_1 = 30^0 57,2' W$; $\varphi_2 = 29^0 20,7' N$; $\underline{\lambda_2 = 33^0 20,8' W}$; $\underline{HK = ? S = ?}$

Окончание приложения

<u>№25</u> 1) $\varphi_1 = 72^0 22,3' N$; $\lambda_1 = 164^0 15,7' E$; $S = 155 \text{ мили}$; $\alpha = -2^0$; $\underline{ГКК = 12^0; \Delta ГК = +2,5^0}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 3^0 15,0' N$; $\lambda_1 = 179^0 21,8' W$; $\varphi_2 = 1^0 07,3' S$; $\underline{\lambda_2 = 178^0 02,6' E}$; $ИК = ? S = ?$	<u>№26</u> 1) $\varphi_1 = 39^0 03,2' S$; $\lambda_1 = 105^0 42,1' W$; $S = 108,5 \text{ мили}$; $\underline{ИК = 310^0; \alpha = +5^0}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 53^0 20,0' N$; $\lambda_1 = 6^0 15,0' W$; $\varphi_2 = 23^0 08,0' N$; $\underline{\lambda_2 = 82^0 22,0' W}$; $ИК = ? S = ?$	<u>№27</u> 1) $\varphi_1 = 49^0 10,2' S$; $\lambda_1 = 16^0 34,2' W$; $S = 212,8 \text{ мили}$; $\underline{ИК = 85^0; \alpha = +5^0}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 31^0 29,6' N$; $\lambda_1 = 12^0 59,6' E$; $\varphi_2 = 30^0 08,0' N$; $\underline{\lambda_2 = 11^0 06,3' E}$; $ИК = ? S = ?$
<u>№28</u> 1) $\varphi_1 = 12^0 07,4' S$; $\lambda_1 = 3^0 24,3' W$; $S = 246 \text{ мили}$; $\beta = +2^0$; $\underline{ИК = 112^0; \alpha = +3^0}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 23^0 13,2' N$; $\lambda_1 = 35^0 38,7' E$; $\varphi_2 = 25^0 07,5' N$; $\underline{\lambda_2 = 38^0 48,2' E}$; $ИК = ? S = ?$	<u>№29</u> 1) $\varphi_1 = 49^0 52,6' N$; $\lambda_1 = 117^0 24,5' E$; $S = 301,5 \text{ мили}$; $\underline{ИК = 73^0; \alpha = -4^0}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 30^0 58,7' N$; $\lambda_1 = 30^0 51,2' W$; $\varphi_2 = 29^0 20,4' N$; $\underline{\lambda_2 = 32^0 36,9' W}$; $ИК = ? S = ?$	<u>№30</u> 1) $\varphi_1 = 2^0 34,6' S$; $\lambda_1 = 124^0 17,5' W$; $ОЛ_1 = 21,1$; $ОЛ_2 = 195,3$; $\underline{ГКК = 356^0; \Delta ГК = -1^0}$; $\underline{\alpha = +5^0; \Delta I = +6\%}$; $\varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$ 2) $\varphi_1 = 3^0 15,0' N$; $\lambda_1 = 179^0 21,8' W$; $\varphi_2 = 2^0 07,3' S$; $\underline{\lambda_2 = 178^0 02,6' E}$; $ИК = ? S = ?$

Оглавление

Введение.....	3
Организация самостоятельной работы	4
Тема 1. Решение сферических треугольников	5
Тема 2. Прямая навигационная задача (плавание судна по локсодромии).....	11
Тема 3. Обратная навигационная задача (расчет элементов локсодромии).....	14
Тема 4. Прямая геодезическая задача	16
Тема 5. Обратная геодезическая задача	19
Тема 6. Плавание по геодезической линии (с учетом и без учета сфероидичности Земли).....	22
Тема 7. Расчет рамки и картографической сетки морской навигационной карты.....	30
Тема 8. Обработка результатов равноточных наблюдений высоты светила (расчет СКП измерения высоты светила)	35
Тема 9. Обработка результатов равноточных наблюдений компасного пеленга навигационного ориентира (расчет СКП измерения компасного пеленга ориентира).....	39
Тема 10. Определение места судна по двум навигационным параметрам косвенным аналитическим методом.....	42
Тема 11. Оценка точности определения места судна по двум навигационным параметрам.....	48
Тема 12. Оценка точности числимого места судна	56
Тема 13. Задачи аналитического счисления	58
Приложение.....	64