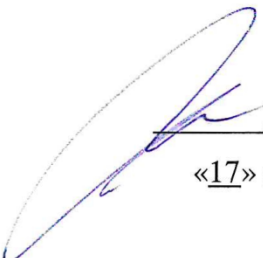


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Кафедра «Судовождение»

УТВЕРЖДАЮ

Декан МФ

 /С.Ю. Труднев/

«17» апреля 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Математические основы судовождения»**


по специальности  
26.05.05 «Судовождение»  
(уровень специалитет)

Петропавловск-Камчатский  
2019

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по специальности 26.05.05 «Судовождение» и учебным планом ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» для специальности 26.05.05 «Судовождение» и требованиями Международной Конвенции ПДМНВ (таблица А-П/1 «Минимальные требования к компетентности вахтенных помощников капитана судов валовой вместимостью 500 и более» раздела А-П/1 главы П приложения 1 ПДМНВ.

Составители рабочей программы:

Доцент кафедры «Судовождение»  
(должность, учёное звание, степень)

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

О.А.Мартынов  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры «Судовождение»  
Протокол № 9 .

Заведующий кафедрой  
«15» апреля 2019г.

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

А.М.Саранча  
(Ф.И.О.)

## 1 Цели и задачи учебной дисциплины

**Целью** освоения дисциплины «Математические основы судовождения» является научить слушателей на практике применять теорию вероятностей, учитывать проявление случайных событий и величин, с которыми ему приходится иметь дело на практике.

**Задачами** изучения дисциплины «Математические основы судовождения» является научить слушателей на практике применять теорию вероятностей, учитывать проявление случайных событий и величин, с которыми ему приходится иметь дело на практике.

## 2 Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих *компетенций*:

1. Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности (ОПК-2).

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлены в таблице.

Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ОПК-2	Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub> : Знает основные законы естественнонаучных дисциплин, связанные с профессиональной деятельностью. ИД-2 <sub>ОПК-2</sub> : Владеет навыками применения основных законов естественнонаучных дисциплин, связанные в профессиональной деятельности. ИД-3 <sub>ОПК-2</sub> : Умеет применять основные законы естественнонаучных дисциплин, связанные в профессиональной деятельности.	<b>Знать:</b> – Основы геометрии Земного сфероида, теорем сферического треугольника, работы с компьютерной графикой;	З(ОПК-2)1
			<b>Уметь:</b> - правильно расшифровывать информацию на экране монитора или самописце прибора;	У(ОПК-2)1
			<b>Владеть:</b> – способностью к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, самообразованию и постоянному совершенствованию в профессиональной, интеллектуальной, культурной и нравственной деятельности;	В(ОПК-2)1

## 3 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина "Математические основы судовождения" относится к обязательной части в структуре образовательной программы.

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1. Тематический план дисциплины очная форма обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Раздел 1. Некоторые правила и приемы приближенных вычислений. Ошибки арифметических действий с приближенными числами	32	18	9		9	14	Конспект лекций по темам, защита отчета по ПР	
Раздел 2. Понятие о геоиде, земном сфероиде и референц-эллипсоиде. Прямоугольные координаты точек на сфероиде, главные радиусы кривизны, длины дуг меридианов и параллелей.	32	18	9		9	14		
Раздел 3. Общие формулы градиента навигационного параметра. Обобщенный метод линий положения. Формулы модулей градиентов навигационных параметров	30	16	8		8	14		
Раздел 4. Оценка точности уравненных элементов. Метод весовых коэффициентов. Эллипс ошибок при определении места по нескольким (более двух) равноточным линиям положения.	32	8	4		4	24		
<b>Экзамен</b>	18						Опрос	
<b>Всего</b>	<b>144/4</b>	<b>60</b>	<b>30</b>		<b>30</b>	<b>66</b>		<b>18</b>

##### 4.1. Тематический план дисциплины заочная форма обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Раздел 1. Некоторые правила и приемы приближенных вычислений.	36	5	2		3	31	Конспект лекций по	

Ошибки арифметических действий с приближенными числами							темам, защита отчета по ПР	
Раздел 2. Понятие о геоиде, земном сфероиде и референц-эллипсоиде. Прямоугольные координаты точек на сфероиде, главные радиусы кривизны, длины дуг меридианов и параллелей.	33	5	2		3	28		
Раздел 3. Общие формулы градиента навигационного параметра. Обобщенный метод линий положения. Формулы модулей градиентов навигационных параметров	33	5	2		3	28		
Раздел 4. Оценка точности уравниваемых элементов. Метод весовых коэффициентов. Эллипс ошибок при определении места по нескольким (более двух) равноточным линиям положения.	33	5	4		5	24		
<b>Экзамен</b>	9						Опрос	
<b>Всего</b>	<b>144/4</b>	<b>24</b>	<b>10</b>		<b>14</b>	<b>111</b>		<b>9</b>

## 4.2 Содержание дисциплины

### Раздел 1. Некоторые правила и приемы приближенных вычислений. Ошибки арифметических действий с приближенными числами

#### Лекция 1.1.

Тема: Некоторые правила и приемы приближенных вычислений. Ошибки арифметических действий с приближенными числами. Использование для приближенных расчетов биномиальных рядов. Тригонометрические функции малых углов.

**Практическое занятие (ПЗ) 1.1** Тема «Решение косоугольных сферических треугольников по основным формулам».

Порядок вычислений при решении косоугольного сферического треугольника следующий:

1. Начертить произвольный сферический треугольник и отметить на нем заданные и искомые элементы;
2. С помощью основных теорем сферической тригонометрии установить связь между искомыми и заданными элементами;
3. Привести найденные формулы к рабочему виду, для чего неизвестный элемент перевести в левую часть, а известные - в правую;
4. Исследовать рабочие формулы на знаки по заданным значениям элементов; определить знаки I, II членов правой части уравнений и по **таблице 1** установить, какой логарифм сумм или разностей необходим для решения уравнения;
5. Составить рациональную схему для расчета формул и расписать формулы в схему;

6. Привести заданные значения элементов к углам первой четверти;
7. Выбрать логарифмы тригонометрических функций и записать их схему;
8. Рассчитать значения суммарных логарифмов I и II членов уравнений и определить больший из них;
9. Найти аргумент Гаусса (А.Г.), для чего из большего суммарного логарифма вычесть меньший, записать А.Г. под меньшим суммарным логарифмом;
10. По А.Г. в **таблице 3а** или **3б** МТ-75 выбрать  $\alpha$  или  $\beta$ ;
11. Складывая  $\alpha$  или  $\beta$  с большим суммарным логарифмом, получить логарифм искомого элемента;
12. Обратным входом в **таблицы 5а** МТ-75 (см. задание 2) найти значение искомого элемента и с помощью **таблицы 1** установить четверть окончательного ответа;
13. Произвести контроль вычислений по теореме синусов.

Таблица 1

Знаки членов				Искомый ре-
+I. + II				a
-I, -II				180-a
+L -II	I >	II		a
+I, -II	I <	II		180-a
-I.+II	I <	II		a
-I,+II	I >	II		180-a

**Пример:** В сферическом треугольнике даны два угла и сторона между ними:  
 $a=14^{\circ}27,3'$ ;  $B=100^{\circ}13,5'$ ;  $C=56^{\circ}44,7'$

Определить: A, b, c.

Решение.

Основные формулы.  $\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$

$$\operatorname{ctg} B \sin C = \operatorname{ctg} b \sin a - \cos a \cos C$$

$$\operatorname{ctg} C \sin B = \operatorname{ctg} c \sin a - \cos a \cos B$$

Рабочие формулы, исследование их на знаки и определение  $\alpha$  или  $\beta$  :

- + + + +

Формула:  $\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$  +1 +11

(a)

a	14°27,3'	-	-	cos	9,98603
B	100°13,5'	cos	9,24923	sin	9,99305
C	56°44,7'	COS	9,73907	sin	9,92233
180-B	79 56.5	+1	8,98830	+11	9,90141
		А.Г	0,91311	a	0,05005
				Cos A	9,95146
				A	26°35,3'

- + + + +

Формула:  $\text{Ctgb} = \text{ctgB} \sin C \text{ cosec } a + \text{ctg } a \cos C - I + II$   
( $\beta$ )

a	14°27,3'	CSC	0,60272	ctg	0,58875
B	100°13,5'	ctg	9,25618	-	-
C	56°44,7'	sin	9,92233	cos	9,73907
180-B	79 56.5	-I	9,78123	+II	0,32782
			0,54659	p	9,85488
				Ctg b	0,18270
				b	

+ + + +

Формула:  $\text{Ctgc} = \text{ctgC} \sin B \text{ cosec } a + \text{ctg } a \cos B + I - II$  ( $\beta$ )

a	14°27,3'	CSC	0,60272	ctg	0,58875
B	100°13,5'	sin	9,99305	cos	9,24923
C	56°44,7'	ctg	9,81674	-	-
180-B	79 56.5	+I	064125	-II	9,83798
		$\beta$	9,86548	A.Г.	0,57453
		Ctg c	0,27799		
		c	2 7°		

Ответ:  $A=26^\circ 35,3$ ;  $B=33^\circ 17,3$ ;  $c=27^\circ 48,0$

Контроль:  $\sin A \text{ esc } a = \sin B \text{ esc } b = \sin C \text{ esc } c$

sin A	9.65086	sin B	9.99305	sin C	9.92233
esc a	0.60272	esc b	0.26054	CSC	0.33125
X	0.25358	y	0.25359	E	0.25358

## Лекция 1.2.

Тема: Интерполяция. Линейная и квадратичная интерполяция. Интерполяционные формулы

Ньютона и Бесселя. Математические таблицы Мореходных таблиц.

**Практическое занятие (ПЗ) 1.2** Тема «Решение косоугольных сферических треугольников по основным формулам».

Порядок вычислений при решении косоугольного сферического треугольника следующий:

14. Начертить произвольный сферический треугольник и отметить на нем заданные и искомые элементы;

15. С помощью основных теорем сферической тригонометрии установить связь между искомыми и заданными элементами;
16. Привести найденные формулы к рабочему виду, для чего неизвестный элемент перевести в левую часть, а известные - в правую;
17. Исследовать рабочие формулы на знаки по заданным значениям элементов; определить знаки I, II членов правой части уравнений и по **таблице 1** установить, какой логарифм сумм или разностей необходим для решения уравнения;
18. Составить рациональную схему для расчета формул и расписать формулы в схему;
19. Привести заданные значения элементов к углам первой четверти;
20. Выбрать логарифмы тригонометрических функций и записать их схему;
21. Рассчитать значения суммарных логарифмов I и II членов уравнений и определить больший из них;
22. Найти аргумент Гаусса (А.Г.), для чего из большего суммарного логарифма вычесть меньший, записать А.Г. под меньшим суммарным логарифмом;
23. По А.Г. в **таблице 3а или 3б** МТ-75 выбрать **а** или **β**;
24. Складывая **а** или **β** с большим суммарным логарифмом, получить логарифм искомого элемента;
25. Обратным входом в **таблицы 5а** МТ-75 (см. задание 2) найти значение искомого элемента и с помощью **таблицы 1** установить четверть окончательного ответа;
26. Произвести контроль вычислений по теореме синусов.

**Таблица 1**

Знаки членов			Искомый ре-
+I. +II			a
-I. -II			180-a
+I. -II	I >	II	a
+I. -II	I <	II	180-a
-I. +II	I <	II	a
-I. +II	I >	II	180-a

**Пример:** В сферическом треугольнике даны два угла и сторона между ними:  
 $a=14^{\circ}27,3''$ ;  $B=100^{\circ}13,5''$ ;  $C=56^{\circ}44,7''$  Определить: A, в, с.

Решение.

Основные формулы.

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$$

$$\operatorname{ctg} B \sin C = \operatorname{ctg} b \sin a - \cos a \cos C$$

$$\operatorname{ctg} C \sin B = \operatorname{ctg} c \sin a - \cos a \cos B$$

Рабочие формулы, исследование их на знаки и определение **а** или **β**:

+ + + +

Формула :  $\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$  +1 +11 (a)

a	14°27,3'	-	-	cos	9,98603
B	100°13,5'	cos	9,24923	sin	9,99305
C	56°44,7'	COS	9,73907	sin	9,92233
180-B	79 56.5	+1	8,98830	+11	9,90141
		А.Г	0,91311	<b>а</b>	0,05005
				CosA	9,95146



		A	26° 35,3'
--	--	---	-----------

- + + + +

Формула:  $Ctg b = ctg B \sin C \operatorname{cosec} a + ctg a \cos C - I + 11$   
(β)

a	14°27,3'	CSC	0,60272	ctg	0,58875
B	100°13,5'	ctg	9,25618	-	-
C	56°44,7'	sin	9,92233	COS	9,73907
180-B	79 56.5	-1	9,78123	+11	0,32782
		АГ	0,54659	p	9,85488
				Ctg b	0,18270
				b	33" 17,3'

+ + + + -

Формула:  $Ctgc = ctg C \sin B \operatorname{cosec} a + ctg a \cos B + 1 - II (p)$

a	14°27,3'	CSC	0,60272	ctg	0,58875
B	100°13,5'	sin	9,99305	COS	9,24923
C	56°44,7'	ctg	9,81674	-	-
180-B	79 56.5	+1	0641251	-11	9,83798
		β	9,86548	А.Г.	0,57453
		Ctg	0,27799		
		c	27° 48.0		

Ответ: A=26°35,3; B=33°17,3; c=27°48,0

Контроль:  $\sin A \operatorname{esc} a = \sin B \operatorname{esc} b = \sin C \operatorname{esc} c$

sinA	9.65086	sinB	9.99305	sinC	9.92233
esc a	0.60272	esc b	0.26054	CSC	0.33125
2	0.25358	2	0.25359	X	0.25358

### Лекция 1.3.

Тема: Точность определения тригонометрических функций и их аргументов по таблицам.

Точность определения логарифмов тригонометрических функций по таблицам. Сферическая

тригонометрия. Основные понятия и определения.

**Практическое занятие (ПЗ) 1.3** Тема «Решение прямоугольных сферических треугольников».

Частными случаями сферических треугольников являются прямоугольные и прямо-  
 сторонние (четвертные) сферические треугольники, в которых угол или сторона соответ-  
 ственно равны  $90^\circ$ . Наличие заданного элемента, равного  $90^\circ$ , упрощает решение таких тре-  
 угольников, так как формулы косинуса стороны, косинуса угла и формулу котангенсов при-  
 водит к логарифмическому виду, не требующему применения **табл. За и 36** МТ-75.

Порядок решения прямоугольных и прямосторонних сферических треугольников та-  
 кой же, как и косоугольных треугольников.

ПРИМЕР: в прямоугольном сферическом треуголь-  
 нике Дано:  $A = 90^\circ$ ;  $a = 112^\circ 09,5'$ ;  $b = 66^\circ 13,4'$

Найти:  $B$ ,  $c$ ,  $C$ .

РЕШЕНИЕ. Основные формулы.

$$\sin A = \sin B$$

$$\sin a = \sin b$$

$$\operatorname{ctg} A \sin C = \operatorname{ctg} a \sin b - \cos b \cos C$$

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

Учитываем, что  $\sin 90^\circ = 1$ ,  $\cos 90^\circ = 0$ ,  $\operatorname{ctg} 90^\circ = 0$ , записываем рабочие формулы. Ис-  
 следуем их на знаки и определяем четверти искомых элементов.

$$\sin B = \operatorname{cosec} a \sin b \quad \text{так как } b < 90^\circ, \text{ то } B < 90^\circ$$

$$- \quad - \quad +$$

$$\cos C = \operatorname{ctg} a \operatorname{tg} b \quad \cos C < 0, \quad \text{то } C > 90^\circ$$

$$- \quad - \quad +$$

$$\cos c = \operatorname{cos} a \operatorname{sec} b \quad \cos c < 0, \quad \text{то } C > 90^\circ.$$

$a=112^\circ 09.5'$	CSC	0.03332	Ctg	9.60986	Cos	9.57654
$B=66^\circ 13.4'$	Sin	9.96148	Tg	0.35599	Sec	0.39451
180-	Sin	9.99480	Cos	9.96585	Cos	9.97105
	B	$81^\circ 09.0'$	180-	$22^\circ 25.5'$	180-c	$20^\circ 41.4'$
			C	$157^\circ 34.6'$	c	$159^\circ 18.6'$

$$\text{Контроль: } \sin A \operatorname{esc} a = \sin B \operatorname{esc} b = \sin C \operatorname{esc} c$$

$\sin A$	0.00000	$\sin B$	9.99480	$\sin C$	9.58146
$\operatorname{esc} a$	0.03332	$\operatorname{esc} b$	0.03852	$\operatorname{esc} c$	0.45184
I	0.03332	2	0.03332	I	0.03330

**Лекция 1.4.**

Тема: Основные формулы: теорема косинусов, теорема косинуса угла, теорема котангенсов, теорема синусов.

**Практическое занятие (ПЗ) 1.4** Тема «Решение прямоугольных сферических треугольников». Частными случаями сферических треугольников являются прямоугольные и прямо-сторонние (четвертные) сферические треугольники, в которых угол или сторона соответственно равны  $90^\circ$ . [5]

Наличие заданного элемента, равного  $90^\circ$ , упрощает решение таких треугольников, так как формулы косинуса стороны, косинуса угла и формулу котангенсов приводит к логарифмическому виду, не требующему применения табл. За и 36 МТ-75.

Порядок решения прямоугольных и прямосторонних сферических треугольников такой же, как и косоугольных треугольников.

ПРИМЕР: в прямоугольном сферическом треугольнике

Дано:  $A = 90^\circ$ ;  $a = 112^\circ 09,5''$ ;  $b = 66^\circ 13,4'$

Найти:  $B$ ,  $c$ ,  $C$ .

РЕШЕНИЕ. Основные формулы  $\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b}$

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B}$$

$$\operatorname{ctg} A \sin C = \operatorname{ctg} a \sin b - \cos b \cos C$$

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

Учитываем, что  $\sin 90^\circ = 1$ ,  $\cos 90^\circ = 0$ ,  $\operatorname{ctg} 90^\circ = 0$ , записываем рабочие формулы. Исследуем их на знаки и определяем четверти искомых элементов.

$$\sin B = \operatorname{cosec} a \sin b \quad \text{так как } B < 90^\circ, \text{ то } B < 90^\circ$$

- - +

$$\cos C = \operatorname{ctg} a \operatorname{tg} b \quad \cos C < 0, \quad \text{то } C > 90^\circ$$

- - +

$$\cos c = \cos a \operatorname{sec} b \quad \cos c < 0, \quad \text{то } c > 90^\circ.$$

$a = 112^\circ 09,5''$	CSC	0.03332	Ctg	9.6098	Cos	9.57654
$B = 66^\circ 13,4'$	Sin	9.96148	Tg	0.3559	Sec	0.39451
180-	Sin	9.99480	Cos	9.9658	Cos	9.97105
	B	$81^\circ 09,0''$	180-	$22^\circ 25,0''$	180-c	$20^\circ 41,4'$
			C	$157^\circ 34,0'$	c	$159^\circ 18,6'$

Контроль:  $\sin A \operatorname{esc} a = \sin B \operatorname{esc} b = \sin C \operatorname{esc} c$

$\sin A$	0.00000	$\sin B$	9.99480	$\sin C$	9.58146
$\operatorname{csc} a$	0.03332	$\operatorname{csc} b$	0.03852	$\operatorname{csc} c$	0.45184
$\Sigma$	0.03332	$\Sigma$	0.03332	$\Sigma$	0.03330

**Лекция 1.5.**

Тема: Решение косоугольных сферических треугольников по основным формулам. Дополнительные формулы для решения косоугольных сферических треугольников. Формулы полупериметра. Формулы Деламбера-Гаусса. Аналогии (пропорции) Непера.

**Практическое занятие (ПЗ) 1.5** Тема «Решение прямоугольных сферических треугольников».

Частными случаями сферических треугольников являются прямоугольные и прямо-сторонние (четвертные) сферические треугольники, в которых угол или сторона соответственно равны  $90^\circ$ . Наличие заданного элемента, равного  $90^\circ$ , упрощает решение таких треугольников, так как формулы косинуса стороны, косинуса угла и формулу котангенсов приводит к логарифмическому виду, не требующему применения табл. За и 36 МТ-75.

Порядок решения прямоугольных и прямосторонних сферических треугольников такой же, как и косоугольных треугольников.

ПРИМЕР: в прямоугольном сферическом треугольнике

Дано:  $A = 90^\circ$ ;  $a = 112^\circ 09,5$ ;  $b = 66^\circ 13,4$

Найти:  $B$ ,  $c$ ,  $C$ .

РЕШЕНИЕ. Основные формулы.  $\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b}$

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B}$$

$$\operatorname{ctg} A \sin C = \operatorname{ctg} a \sin b - \cos b \cos C$$

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

Учитываем, что  $\sin 90^\circ = 1$ ,  $\cos 90^\circ = 0$ ,  $\operatorname{ctg} 90^\circ = 0$ , записываем рабочие формулы. Исследуем их на знаки и определяем четверти искомых элементов.

$$\begin{array}{l} \sin B = \operatorname{cosec} a \sin b \quad \text{так как } b < 90^\circ, \text{ то } B < 90^\circ \\ \cos C = \operatorname{ctg} a \operatorname{tg} b \quad \cos C < 0, \text{ то } C > 90^\circ \\ \cos c = \cos a \operatorname{sec} b \quad \cos c < 0, \text{ то } c > 90^\circ. \end{array}$$

$a=112^\circ 09.5$	CSC	0,03332	Ctg	9.60986	Cos	9.57654
$B=66^\circ 13.4$	Sin	9.96148	Tg	0.35599	Sec	0.39451
180-	Sin	9.99480	Cos	9.96585	Cos	9.97105
	B	$81^\circ 09.0$	180-C	$22^\circ 25.5$	180-c	$20^\circ 41.4$
			C	$157^\circ 34.$	c	$159^\circ 18.6$

$$\text{Контроль: } \sin A \operatorname{csc} a - \sin B \operatorname{csc} b = \sin C \operatorname{csc} c$$

$\sin A$	0,0000	$\sin B$	9,99480	$\sin C$	9,58146
$\operatorname{csc} a$	0,0333	$\operatorname{csc} b$	0,03852	$\operatorname{csc} c$	0,45184
$\Sigma$	0,0333	$\Sigma$	0,03332	$\Sigma$	0,03330

СРС по модулю 1. Интерполяция и приемы приближенных вычислений. Основные формулы: теоремы косинусов, теорема косинуса угла, теорема котангенсов, теореме синусов.

**Раздел 2. Понятие о геоиде, земном сфероиде и референц-эллипсоиде. Прямоугольные координаты точек на сфероиде, главные радиусы кривизны, длины дуг меридианов и параллелей.**

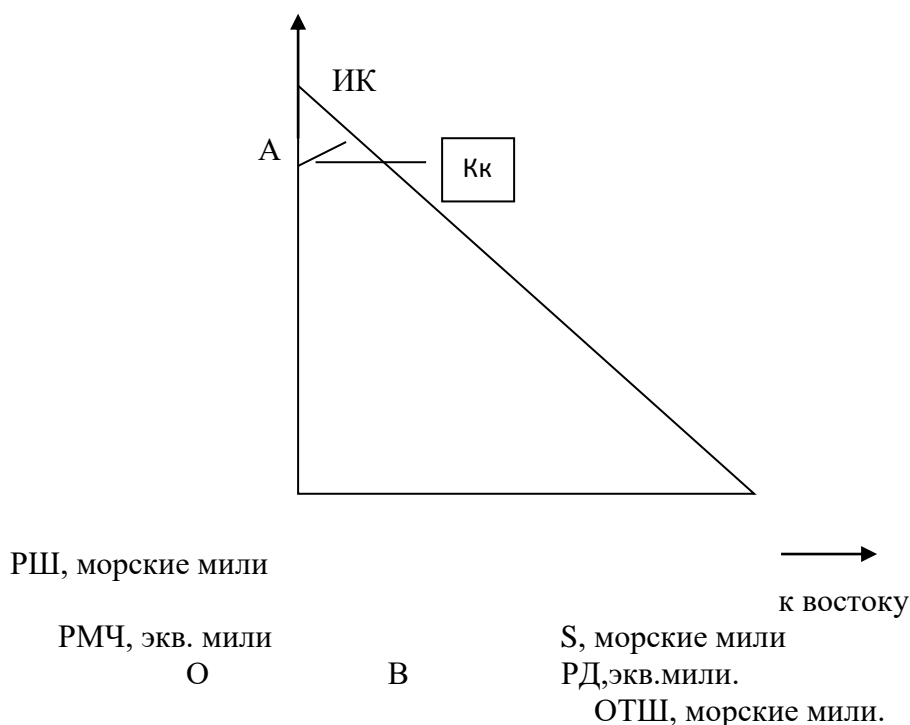
### Лекция 2.1.

Тема: Решение прямоугольных сферических треугольников. Правила Модюи-Непера.

**Практическое занятие (ПЗ) 2.1** Тема: «Расчет плавания по локсодромии».

**Расчет плавания по локсодромии и ортодромии с определением выигрыша в расстоянии.**

Плавание между двумя точками «А» и «В» с координатами  $\varphi_1 \chi_1$  и  $\varphi_2 \chi_2$  можно совершить двумя путями: по локсодромии (одним курсом, но более длинным путем) и по ортодромии (кратчайшим путем, но переменными курсами). Разница в длине пути особенно сказывается при плавании на большие расстояния.



Расчет локсодромического курса ИК и плавания S по локсодромии производится по формулам:

$$\operatorname{tg} K = \frac{РД}{РМЧ}; \quad S = РШ \sec K, \quad (1,2)$$

где  $РД = \chi_2 \chi_1$  - разность долгот

$РШ = \varphi_2 - \varphi_1$  - разность широт

$РМЧ = МЧ_2 - МЧ_1$  - разность меридиональных частей, табл. 26 МТ-75,

Для перехода к локсодромическому курсу локсодромическому углу дают наименование: первая буква одноименна с РШ, вторая - с РД.

Расчет локсодромического курса и плавания.

Дано:  $\varphi_1 = 41^\circ 30,0' N$ ,  $\chi_1 = 142^\circ 40,0' E$

$\varphi_2 = 04^\circ 38,0' N$ ,  $\chi_2 = 83^\circ 18,0' W$

Решение. Рассчитываем РШ, РМЧ, РД.

$\varphi_2$	04°38,0'N	МЧ <sub>2</sub>	276,4	$\chi_2$	83°18,0'W
- $\varphi_1$	41°30,0'N	-МЧ <sub>1</sub>	2726,2	- $\chi_1$	142°40,0'E
РШ	36°52,0'кS	РМЧ	2449,8	РД	225°58,0'кW
РШ	2212,0' к S			РД	134°02,0'кE
				РД	8042,0'к E

Примечание: РШ и РД перевели в минуты (т.е. м. мили).  
Логарифмируем формулы (1) и (2)

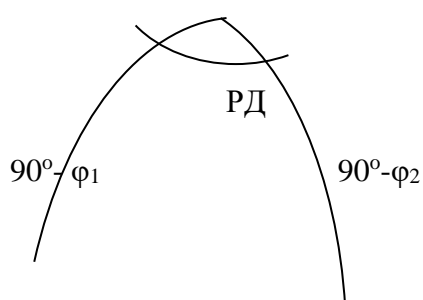
$\lg 8042,0''$	3.90 536	$\lg 2212,0'$	3.34 479
$-\lg 2449,8'$	3.38 913	$+\lg \sec 73^\circ 03,5'$	0.53 550
$\lg \text{tg } K$	0.51 623	$\lg S$	3.88 029
K	73°03,5' SE	S	7590,8 мили
ИК	106,9°		

Расчет плавания, начального и конечного курсов по ортодромии производится по формулам:  $\cos D = \cos(90^\circ - \varphi_1) \cos(90^\circ - \varphi_2) + \sin(90^\circ - \varphi_1) \sin(90^\circ - \varphi_2) \cos PД$

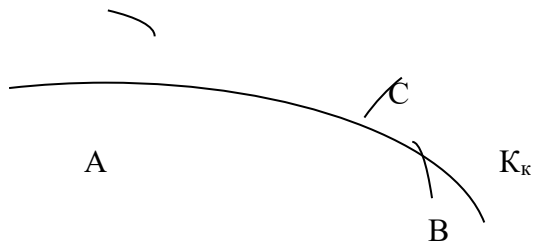
$\text{ctg } K_H \sin PД = \text{ctg}(90^\circ - \varphi_2) \sin(90^\circ - \varphi_1) - \cos(90^\circ - \varphi_1) \cos PД$

$\text{ctg}(180^\circ - K_K) \sin PД = \text{ctg}(90^\circ - \varphi_1) \sin(90^\circ - \varphi_2) - \cos(90^\circ - \varphi_2) \cos PД$

$P_n$



$K_H$



Приводим исходные формулы к рабочему виду, исследуем их на знаки согласно табл.6.1 .

Таблица 6.1.

Аргумент	Условия	sin	cosec	tg	ctg	sec	cos
$\varphi$ или $\varphi_1$		+	+	+	+	+	+
$\delta$ или $\varphi_2$	Одноименно с $\varphi$ или $\varphi_1$	+	+	+	+	+	+
$\delta$ или $\varphi_2$	Разноименно с $\varphi$ или $\varphi_1$	-	-	-	-	+	+
t или РД	Меньше $90^\circ$	+	+	+	+	+	+
t или РД	Больше $90^\circ$	+	+	-	-	-	-

+ + + + -

$$\text{CosD} = \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos \text{РД} \quad + \text{I} - \text{II} \quad (\beta)$$

+ + + + -

$$\text{Ctg } K_H = \text{tg}\varphi_2 \cos\varphi_1 \text{csc } \text{РД} - \sin\varphi_1 \text{ctg}\text{РД} \quad + \text{I} + \text{II} \quad (\alpha)$$

+ + + + -

$$\text{Ctg}(180-K_k) = \text{tg}\varphi_1 \cos\varphi_2 \text{csc } \text{РД} - \sin\varphi_2 \text{ctg}\text{РД} \quad + \text{I} + \text{II} \quad (\alpha)$$

$\varphi_1 =$	sin	9.82	cos	9.87
$\varphi_2 = 04^\circ 38.0' \text{N}$	sin	8.90 730	cos	9.99 858
$\text{РД} = 1344)2.0'$	-	-	cos	9.84 203
$(180^\circ - \text{РД})$	+1	8.72 856	- II	9.71 507
	А.Г.	0.98 651		9.95 272
	D	117°44.0'	cos	9.66 779
	D	7 064.0'	180° -	62° 16.0'
$\varphi_1 = 41^\circ 30.(\text{rN})$	cos	9.87 446	sin	9.82 126
$\varphi_2 = 04^\circ 38.0' \text{N}$	tg	8.90 872	-	-
$\text{РД} = 134^\circ 02.0' \text{k}$	csc	0.14331	ctg	9.98 534
$(180^\circ - \text{РД})$	+1	8.92 649	+ II	9.80 660

	А.Г.	0.88011	a	0.05377
			ctg	9.86037
			К <sub>Н</sub>	54°03.3'
$\varphi_1=41^\circ30.0'N$	tg	9.94681	-	-
$\varphi_2=04^\circ38.0'$	cos	9.99858	sin	8.90730
РЛ=134°02.0'	csc	0.14331	Ctg	9.98534
(180°-РЛ)	+1	0.08870	+ II	8.89264
	a	0.02681	А.Г.	1.19606
	ctg	0.11551		
(180°-К <sub>к</sub> )		37°28.Г	К <sub>к</sub>	142.5°

Расчет выигрыша в расстоянии.

$$\Delta S = S_{\text{лок}} - D_{\text{орт}} = 7\,590,8 - 7\,064,0 = 526,8 \text{ мили.}$$

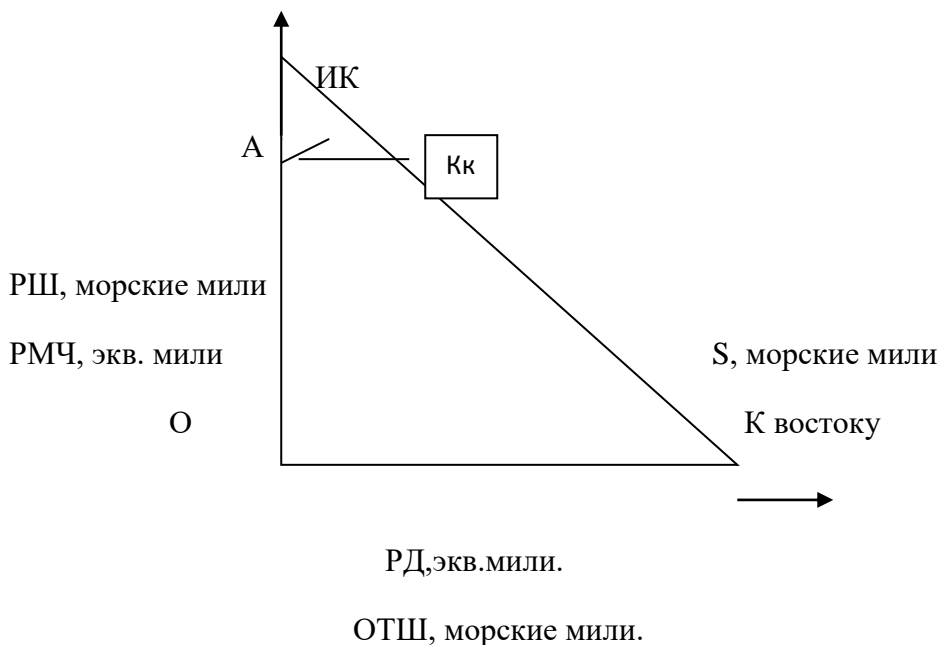
### Лекция 2.2.

Тема: Понятие о геоиде, земном сфероиде и референц-эллипсоиде. Прямоугольные координаты точек на сфероиде, главные радиусы кривизны, длины дуг меридианов и параллелей. Понятие о геодезической линии. Прямая и обратная геодезические задачи.

**Практическое занятие (ПЗ) 2.2** Тема: «Расчет плавания по локсодромии».

**Расчет плавания по локсодромии и ортодромии с определением выигрыша в расстоянии**

Плавание между двумя точками «А» и «В» с координатами  $\varphi_1 \chi_1$  и  $\varphi_2 \chi_2$ , можно совершить двумя путями: по локсодромии (одним курсом, но более длинным путем) и по ортодромии (кратчайшим путем, но переменными курсами). Разница в длине пути особенно сказывается при плавании на большие расстояния.





Расчет локсодромического курса ИК и плавания S по локсодромии производится по формулам:

$$tgK = \frac{PД}{PMЧ}; \quad S = PШ \sec K, \quad (1,2)$$

где  $PД = \chi_2 \chi_1$  - разность долгот

$PШ = \varphi_2 - \varphi_1$  - разность широт

$PMЧ = MЧ_2 - MЧ_1$  - разность меридиональных частей, табл. 26 МТ-75,

Для перехода к локсодромическому курсу локсодромическому углу дают наименование: первая буква одноименна с PШ, вторая - с PД.

Расчет локсодромического курса и плавания.

Дано:  $\varphi_1 = 41^\circ 30,0' N$ ,  $\chi_1 = 142^\circ 40,0' E$

$\varphi_2 = 04^\circ 38,0' N$ ,  $\chi_2 = 83^\circ 18,0' W$

Решение. Рассчитываем PШ, PMЧ, PД.

$\varphi_2$	04°38.0'N	MЧ <sub>2</sub>	276.4	$\chi_2$	83°18.0'W
$-\varphi_1$	41°30.0'N	-MЧ <sub>1</sub>	2726.2	$-\chi_1$	142°40.0'E
PШ	36°52.0'kS	PMЧ	2449.8	PЛ	225°58.0'kW
PШ	2212.0' к S			PЛ	134°02.0'кE
				PЛ	8042.0'к E

Примечание: PШ и PД перевели в минуты (т.е. м. мили).  
Логарифмируем формулы (1) и (2)

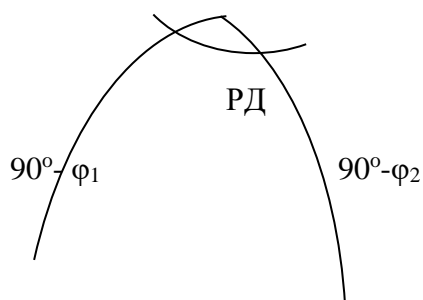
$lg 8042.0''$	3.90 536	$lg 2212.0'$	3.34 479
$-lg 2449.8'$	3 38 913	$+lg \sec 73^\circ 03.5'$	0.53 550
$lg tg K$	0.51 623	$lg S$	3.88 029
K	73°03.5' SE	S	7590.8 ми-
ИК	106.9°		

Расчет плавания, начального и конечного курсов по ортодромии производится по формулам:  $\cos D = \cos(90^\circ - \varphi_1) \cos(90^\circ - \varphi_2) + \sin(90^\circ - \varphi_1) \sin(90^\circ - \varphi_2) \cos PД$

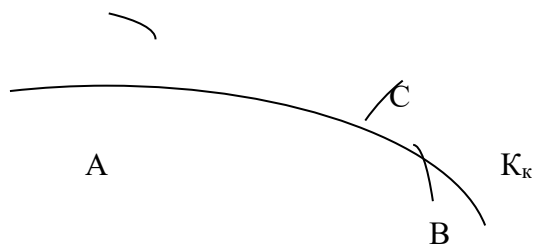
$\text{Ctg} K_n \sin PД = \text{ctg}(90^\circ - \varphi_2) \sin(90^\circ - \varphi_1) - \cos(90^\circ - \varphi_1) \cos PД$

$\text{Ctg}(180^\circ - K_k) \sin PД = \text{ctg}(90^\circ - \varphi_1) \sin(90^\circ - \varphi_2) - \cos(90^\circ - \varphi_2) \cos PД$

P<sub>n</sub>



$K_H$



Приводим исходные формулы к рабочему виду, исследуем их на знаки согласно табл.6.1 .

Таблица 6.1

Аргумент	Условия	sin	cosec	tg	ctg	sec	cos
$\varphi$ или $\varphi_1$		+	+	+	+	+	+
$\delta$ или $\varphi_2$	Одноименно с $\varphi$ или $\varphi_1$	+	+	+	+	+	+
$\delta$ или $\varphi_2$	Разноименно с $\varphi$ или $\varphi_1$	-	-	-	-	+	+
t или РД	Меньше $90^\circ$	+	+	+	+	+	+
t или РД	Больше $90^\circ$	+	+	-	-	-	-

+ + + + -

$$\cos D = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \text{РД} \quad + \text{I} - \text{II} \quad (\beta)$$

+ + + + -

$$\text{Ctg } K_H = \text{tg} \varphi_2 \cos \varphi_1 \text{csc } \text{РД} - \sin \varphi_1 \text{ctg} \text{РД} \quad + \text{I} + \text{II} \quad (\alpha)$$

+ + + + -

$$\text{Ctg}(180 - K_K) = \text{tg} \varphi_1 \cos \varphi_2 \text{csc } \text{РД} - \sin \varphi_2 \text{ctg} \text{РД} \quad + \text{I} + \text{II} \quad (\alpha)$$

$\varphi_1 =$	sin	9.82	cos	9.87
$\varphi_2 = 04^\circ 38.0' \text{N}$	sin	8.90 730	cos	9.99 858
РЛ = 1344)2.0'	-	-	cos	9.84 203
(180°-РЛ)	+1	8.72 856	- II	9.71 507
	А.Г.	0.98 651		9.95 272
	D	117°44.0'	cos	9.66 779
	D	7 064.0'	180°-	62° 16.0'
$\varphi_1 = 41^\circ 30.0' \text{rN}$	cos	9.87 446	sin	9.82 126
$\varphi_2 = 04^\circ 38.0' \text{N}$	tg	8.90 872	-	-
РЛ = 134°02.0'k	csc	0.14331	ctg	9.98 534
(180°-РЛ)	+1	8.92 649	+ II	9.80 660

	А.Г.	0.88011	a	0.05377
			ctg	9.86037
			Кн	54°03.3'
$\varphi_1=41^\circ30.0'N$	tg	9.94681	-	-
$\varphi_2=04^\circ38.0'$	cos	9.99858	sin	8.90730
РЛ=134°02.0'	csc	0.14331	Ctg	9.98534
(180°-РЛ)	+1	0.08870	+ II	8.89264
	a	0.02681	А.Г.	1.19606
	ctg	0.11551		
(180°-Кк)		37°28.Г	Кк	142.5°

Расчет выигрыша в расстоянии.

$$\Delta S = S_{\text{лок}} - D_{\text{орт}} = 7\,590,8 - 7\,064,0 = \mathbf{526,8 \text{ мили.}}$$

### Лекция 2.3.

Тема: Основы теории изображений. Основные понятия и определения. Масштабы. Элементы

общей теории искажений.

**Практическое занятие (ПЗ) 2.3** Тема: «Расчет плавания по ортодромии. Оценка точности навигационных параметров. Обработка равноточных наблюдений и оценка точности результата».

#### Обработка равноточных наблюдений и оценка точности наблюдения.

Если штурман производит серию наблюдений навигационного параметра одним прибором в небольшой интервал времени и в одинаковых условиях, то такие наблюдения можно отнести к равноточным.

За наиболее вероятное значение измеряемой величины при равноточных наблюдениях принимают среднее арифметическое значение:

$$\chi_o = \frac{\sum \chi_i}{n},$$

где  $\chi_2$  - результат измерения навигационного параметра;

n - число измерений.

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения **m** можно определить:

а) По отклонениям от истинного значения  $x$ , если оно известно:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}},$$

где  $\Delta_1 = x_1 - x$  - отклонение от истинного значения;

б) по вероятным отклонениям, если неизвестно истинное значение измеряемой величины,  
формуле: по

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}},$$

где:  $V_1 = x_1 - x_0$  - вероятное отклонение;

в) по размаху в соответствии с формулой

$$m = (X_{\max} - X_{\min}) k,$$

где:  $X_{\max} - X_{\min} = R$  –размах;

k, - коэффициент из табл.7.1.

Таб-

лица 7.1.

n	5	6	7	8	9	10	11
k	0.430	0.395	0.370	0.351	0.337	0.325	0.315

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения равна:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Предельная погрешность произведенных наблюдений вычисляется по формуле

$$\Delta_{np} = 3m.$$

**Пример.** Секстаном произведена серия измерений горизонтального угла между береговыми ориентирами. Результаты измерений - во второй колонке схемы решения.

**Определить:** вероятнейшее значение горизонтального угла, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения горизонтального угла предельную погрешность.

**Решение.** Составляем схему решения:

№	$X_i$	$V_i = x_i - x_0$	$V_i^2$
1	45°30,6"	-1,02'	1,0404
2	45 33,9"	+2,28"	5,1984
3	45 35,0"	+3,38	11,4244
4	45 31,8"	+0,18'	0,0324
5	45 29, Г	-2,52	6,3504
6	45 30,4	-1,22	1,4884
7	45 31,0	+0,38	0,1444
8	45 29,8"	-1,82	3,3124
9	45 32,0'	+0,38"	0,1444
10	45 32,2	+0,58"	0,3364
11	45 31,0	-0,62"	0,3844

$$\sum V_i = -0,02' \quad \sum V_i^2 = 29,8564$$

Вероятнейшее значение горизонтального угла найдем по формуле:

$$x_0 = \frac{x_0 n + (x_i - x_a)}{n} = x_a + \frac{\sum(x_i - x_a)}{n} = 45^\circ 29,0' + \frac{28,8'}{11} ;$$

$$x_0 = 45^\circ 31,62';$$

где  $x_a$  - наименьшая величина, входящая во все значения  $x_j$ .

Вычисление средней квадратической погрешности одного измерения произведем по формулам:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{29,8564}{11-1}} = \pm 1,73'.$$

По размаху:

$$m = \pm 0,315(45^\circ 35,0' - 45^\circ 29,1') = \pm 0,315 \cdot 5,9' = \pm 1,86'.$$

Среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения найдем по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,73'}{\sqrt{11}} = \pm 0,52'.$$

Предельную погрешность найдем по формуле:

$$\Delta_{\text{гп}} = 3m = \pm 3 \cdot 1,73' = \pm 5,19'.$$

### Задачи к заданию

№	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	П <sub>5</sub>	П <sub>6</sub>	П <sub>7</sub>
601	110.5°	111.0°	111.6°	110.1°	111.8°	110.0°	112.0°
602	25.8	26.0	24.8	24.5	25.3	26.4	26.5
603	271.8	272.6	273.5	272.9	270.5	270.9	272.0
604	314.8	315.0	316.2	316.8	314.5	314.8	315.3
605	121,8	119,8	120,5	121,5	122.0	122.0	120,2
606	89.0	89.5	89.0	90.0	91.0	91.0	90.4
607	39.5	40.4	41.4	42.0	40.0	39.8	41.0
608	156,5	155,0	155,5	155,0	156,0	156,0	157,5
609	221,6	221,0	221.0	222,0	222,5	222.6	223,0
610	45.6	45.0	45.8	46.0	46.5	46.0	45.5
611	185,0	185,0	186,0	185,4	186.0	185,7	186,4
612	168,6	169,0	169.2	168,7	168,0	168,4	169,0
613	321.2	321.0	321.8	321.5	322.0	322.2	322.4
614	359,6	359,8	0,4	0,6	0,0	359,5	359,2
615	5,8	5,5	5,0	5,5	5,1	4.7	4,8

**2. Радиолокатор.** С помощью радиолокатора определено расстояние ( $D$ ) до береговой черты вкабельтовых.

№	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	$D_8$	$D_9$
616	120,5	121,8	120,	122,	122,0	123,	122,	121,9	122,2
617	60,8	61,8	62.5	61,5	61,0	61,8	60,0	61,4	62,0
618	79,8	80,1	81,5	81,0	80,8	80.5	81,0	80,4	80,8
619	40,5	40.8	40,8	41,0	40,6	40,8	41,1	41,0	41,4
620	152,7	163.0	153,	152,	153,8	154,	154,	153,5	153,1
621	145,5	145.1	145,	146.	146.6	145,	145,	145,8	146,7
622	246,0	245,1	246,	246,	244,6	243,	245,	246,8	246.5
623	196,8	198,6	195,	195,	197,6	197,	198,	197,4	197,0
624	85,8	86,2	86,7	86,1	87,0	87,4	86,7	86,9	85,5
625	64,6	63,2	63,8	63,1	64,2	65,4	64,0	65,1	—
626	112,0	111,2	113.	113.	111,8	111,	114,	114,8	113.6
627	98,7	99,2	98,9	101,	102,0	100,	98,7	89,9	—
628	38,7	38,1	38,9	39,4	38,0	39,6	37,7	38.7	—
629	134,9	136,4	135,6	136,9	134,5	134,0	133,5	135,2	137,1
630	168,5	167,0	166,1	166,9	167,9	168,7	169,6	169,9	170.4

**3.Секстан.** Измерены серии высот светил над видимым горизонтом. Отсчеты секстана (ОС) приведены к одному моменту.

№	ОС <sub>1</sub>	ОС <sub>2</sub>	ОС <sub>3</sub>	ОС <sub>4</sub>	ОС <sub>5</sub>	ОС <sub>6</sub>	ОС <sub>7</sub>
<b>631</b>	30°15,3'	30°15,5'	30°16,0'	30°16,2'	30°16,5'	30°16,0'	30°15,0'
<b>632</b>	21 05,0	21 05,5	21 05,8	21 06,0	21 05,8	21 06,3	21 06,4
<b>633</b>	49 45,6	49 45,4	49 45,0	49 45,2	49 46,0	49 44,8	49 45,0
<b>634</b>	58 08,4	58 08,0	58 08,8	58 08,0	58 08,5	58 08,1	58 08,6
<b>635</b>	10 58,1	10 58,8	10 58,7	10 58,9	10 58,8	10 59,0	10 58,4
<b>636</b>	25 00,6	25 00,9	25 00,2	24 59,7	24 59,8	25 00,7	25 00,8
<b>637</b>	61 56,6	61 56,0	61 56,1	61 56,6	61 56,8	61 55,7	61 56,3
<b>638</b>	72 13,6	72 13,8	72 13,0	72 12,7	72 13,9	72 14,4	72 14,0

#### Лекция 2.4.

Тема: Картографические сетки. Способы построения картографических сеток.

Классификация картографических проекций.

**Практическое занятие (ПЗ) 2.4** Тема: «Расчет плавания по ортодромии. Оценка точности навигационных параметров. Обработка равноточных наблюдений и оценка точности результата».

#### Обработка равноточных наблюдений и оценка точности наблюдения.

Если штурман производит серию наблюдений навигационного параметра одним прибором в небольшой интервал времени и в одинаковых условиях, то такие наблюдения можно отнести к равноточным.

За наиболее вероятное значение измеряемой величины при равноточных наблюдениях принимают среднее арифметическое значение:

$$\chi_o = \frac{\sum \chi_i}{n},$$

где  $\chi_i$  - результат измерения навигационного параметра;

$n$  - число измерений.

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения  $m$  можно определить:

а) По отклонениям от истинного значения  $x$ , если оно известно:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}},$$

где  $\Delta i = x_i - x_0$  - отклонение от истинного значения;

б) по вероятным отклонениям, если неизвестно истинное значение измеряемой величины, по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}},$$

где  $V_j = x_j - x_0$  - вероятное отклонение;

в) по размаху в соответствии с формулой

$$m = (X_{\max} - X_{\min}) k,$$

где  $x_{\max} - x_{\min} = R$  - размах;

$k$  - коэффициент из табл. 7.1.

Таблица 7.1.

п	5	6	7	8	9	10	11
к.	0,430	0,395	0,370	0,351	0,337	0,325	0,315

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Предельная погрешность произведенных наблюдений вычисляется по формуле

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения равна:

$$\Delta_{\text{пр}} = 3m.$$

**Пример.** Секстаном произведена серия измерений горизонтального угла между береговыми ориентирами. Результаты измерений - во второй колонке схемы решения.

**Определить:** вероятнейшее значение горизонтального угла, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения горизонтального угла и предельную погрешность.

**Решение.** Составляем схему решения:

№	$X_i$	$V_i = x_i - x_0$	$V_i^2$
1	45°30,6"	-1,02'	1,0404
2	45 33,9"	+2,28"	5,1984
3	45 35,0"	+3,38	11,4244
4	45 31,8"	+0,18'	0,0324
5	45 29, Г	-2,52	6,3504
6	45 30,4	-1,22	1,4884
7	45 31,0	+0,38	0,1444
8	45 29,8"	-1,82	3,3124
9	45 32,0'	+0,38"	0,1444
10	45 32,2	+0,58"	0,3364
11	45 31,0	-0,62"	0,3844



Вероятнейшее значение горизонтального угла найдем по формуле:

$$\sum V_i = -0,02' \quad \sum V_i^2 = 29,8564$$

$$x_0 = \frac{x_0 n + (x_i - x_a)}{n} = x_a + \frac{\sum (x_i - x_a)}{n} = 45^\circ 29,0' + \frac{28,8'}{11} ;$$
$$x_0 = 45^\circ 31,62',$$

где  $x_a$  - наименьшая величина, входящая во все значения  $x_j$ .

Вычисление средней квадратической погрешности одного измерения произведем по формулам:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{29,8564}{11-1}} = \pm 1,73'.$$

По размаху:

$$m = \pm 0,315(45^\circ 35,0' - 45^\circ 29,1') = \pm 0,315 \cdot 5,9' = \pm 1,86'.$$

Среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения найдем по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,73'}{\sqrt{11}} = \pm 0,52'.$$

Предельную погрешность найдем по формуле:

$$\Delta_{\text{гп}} = 3m = \pm 3 \cdot 1,73' = \pm 5,19'.$$

### Задачи к заданию

№	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	П <sub>5</sub>	П <sub>6</sub>	П <sub>7</sub>
<b>601</b>	110,5°	111,0°	111,6°	110,1°	111,8°	110,0°	112,0°
<b>602</b>	25,8	26,0	24,8	24,5	25,3	26,4	26,5
<b>603</b>	271,8	272,6	273,5	272,9	270,5	270,9	272,0
<b>604</b>	314,8	315,0	316,2	316,8	314,5	314,8	315,3
<b>605</b>	121,8	119,8	120,5	121,5	122,0	122,0	120,2
<b>606</b>	89,0	89,5	89,0	90,0	91,0	91,0	90,4
<b>607</b>	39,5	40,4	41,4	42,0	40,0	39,8	41,0
<b>608</b>	156,5	155,0	155,5	155,0	156,0	156,0	157,5
<b>609</b>	221,6	221,0	221,0	222,0	222,5	222,6	223,0
<b>610</b>	45,6	45,0	45,8	46,0	46,5	46,0	45,5

<b>611</b>	185,0	185,0	186,0	185,4	186,0	185,7	186,4
<b>612</b>	168,6	169,0	169,2	168,7	168,0	168,4	169,0
<b>613</b>	321,2	321,0	321,8	321,5	322,0	322,2	322,4
<b>614</b>	359,6	359,8	0,4	0,6	0,0	359,5	359,2
<b>615</b>	5,8	5,5	5,0	5,5	5,1	4,7	4,8

2. **Радиолокатор.** С помощью радиолокатора определено расстояние ( $D$ ) до береговой черты вкабельтовых.

№	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	$D_8$	$D_9$
<b>616</b>	120,5	121,8	120,	122,	122,0	123,	122,	121,9	122,2
<b>617</b>	60,8	61,8	62,5	61,5	61,0	61,8	60,0	61,4	62,0
<b>618</b>	79,8	80,1	81,5	81,0	80,8	80,5	81,0	80,4	80,8
<b>619</b>	40,5	40,8	40,8	41,0	40,6	40,8	41,1	41,0	41,4
<b>620</b>	152,7	163,0	153,	152,	153,8	154,	154,	153,5	153,1
<b>621</b>	145,5	145,1	145,	146,	146,6	145,	145,	145,8	146,7
<b>622</b>	246,0	245,1	246,	246,	244,6	243,	245,	246,8	246,5
<b>623</b>	196,8	198,6	195,	195,	197,6	197,	198,	197,4	197,0
<b>624</b>	85,8	86,2	86,7	86,1	87,0	87,4	86,7	86,9	85,5
<b>625</b>	64,6	63,2	63,8	63,1	64,2	65,4	64,0	65,1	—
<b>626</b>	112,0	111,2	113,	113,	111,8	111,	114,	114,8	113,6
<b>627</b>	98,7	99,2	98,9	101,	102,0	100,	98,7	89,9	—
<b>628</b>	38,7	38,1	38,9	39,4	38,0	39,6	37,7	38,7	—
<b>629</b>	134,9	136,4	135,6	136,9	134,5	134,0	133,5	135,2	137,1
<b>630</b>	168,5	167,0	166,1	166,9	167,9	168,7	169,6	169,9	170,4

**3. Секстан.** Измерены серии высот светил над видимым горизонтом. Отсчеты секстана (ОС) приведены к одному моменту.

№	ОС <sub>1</sub>	ОС <sub>2</sub>	ОС <sub>3</sub>	ОС <sub>4</sub>	ОС <sub>5</sub>	ОС <sub>6</sub>	ОС <sub>7</sub>
<b>631</b>	30°15,3'	30°15,5'	30°16,0'	30°16,2'	30°16,5'	30°16,0'	30°15,0'
<b>632</b>	21 05,0	21 05,5	21 05,8	21 06,0	21 05,8	21 06,3	21 06,4
<b>633</b>	49 45,6	49 45,4	49 45,0	49 45,2	49 46,0	49 44,8	49 45,0
<b>634</b>	58 08,4	58 08,0	58 08,8	58 08,0	58 08,5	58 08,1	58 08,6
<b>635</b>	10 58,1	10 58,8	10 58,7	10 58,9	10 58,8	10 59,0	10 58,4
<b>636</b>	25 00,6	25 00,9	25 00,2	24 59,7	24 59,8	25 00,7	25 00,8
<b>637</b>	61 56,6	61 56,0	61 56,1	61 56,6	61 56,8	61 55,7	61 56,3
<b>638</b>	72 13,6	72 13,8	72 13,0	72 12,7	72 13,9	72 14,4	72 14,0

Расчет плавания по локсодромии и ортодромии с определением выигрыша в расстоянии при наличии программируемого микрокалькулятора вместо задания 6 (по желанию курсанта). Рабочие формулы для расчета плавания по локсодромии и ортодромии:

$$\operatorname{tg} K_{\text{лок}} = \frac{PД}{PМЧ} = \frac{PД}{7915,7045 \left[ \lg \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi_2}{2} \right) - \lg \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right) \right]}$$

$$S_{\text{лок}} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\cos K_{\text{лок}}};$$

$$\operatorname{Cos} D_{\text{орт}} = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos PД$$

$$\operatorname{tg} K_{\text{н}} = \frac{1}{\left( \frac{\operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \cos \varphi_1}{\sin PД} - \frac{\sin \varphi_1}{\operatorname{tg} Pг} \right)};$$

$$\operatorname{tg} C = \frac{1}{\left( \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 \operatorname{tg} \varphi_2}{\sin PД} - \frac{\sin \varphi_2}{\operatorname{tg} Pг} \right)}.$$

$$K_{\text{н}} = 180^\circ - C$$

Программа составлена для решения задач по данному методическому руководству на микрокалькуляторе МК-52 или БЗ-34.

1	ип 4	32	:	63	F sin
2	2	33	хпб	64	<->
3	:	34	ип1	65	:
4	ип8	35	F sin	66	-
5	+	36	ип4	67	F 1/x
6	F tg	37	F sin	68	F tg-1
7	F ig	38	X	69	хп а
8	ип1	39	ип1	70	ип1
9	2	40	F cos	71	F tg
10	:	41	ип4	72	ип4

11	ип8	42	F cos	73	F cos
12	+	43	X	74	X
13	F tg	44	ип9	75	ип9
14	F ig	45	F cos	76	F sin
15	-	46	X	77	:
16	ип 7	47	+	78	ип4
17	X	48	F cos-1	79	F sin
18	ип9	49	60	80	ип9
19	60	50	X	81	F tg
20	X	51	хп d	82	:
21	<->	52	ип4	83	-
22	:	53	F tg	84	F 1/x
23	F tg-1	54	ип1	85	F tg-1
24	хп3	55	F cos	86	хп в
25	ип4	56	X	87	ип 6
26	ип1	57	ип9	88	ип d
27	-	58	F sin	89	-
28	60	59	:	90	C/п
29	X	60	ип9		
30	ип 3	61	F tg		
31	F cos	62	ип1		

До набора программы или после положить в ячейки памяти исходные данные:

- $\phi_1$  - в ячейку памяти 1
- $\chi_1$  - в ячейку памяти 2
- $\phi_2$  - в ячейку памяти 4
- $\chi_2$  - в ячейку памяти 5
- 7915,7045 - в ячейку памяти 7
- 45 - в ячейку памяти 8
- $(\chi_1 - \chi_2)$  - в ячейку памяти 9

### **ОТВЕТЫ**

Выигрыш в расстоянии **на экране** после завершения расчета;

$S_{\text{лок}}$ -в памяти 6

$K_{\text{лок}}$  - в памяти 3

$S_{\text{орт}}$  - в памяти d

$K_{\text{н}}$  - в памяти a

$K_{\text{к}}$  - в памяти в

### Задачи для выполнения задания

Вари-	$\varphi_1$	$\chi_1$	$\varphi_2$	$\chi_2$
1	42 45.7N	141 35.2E	58 53.6N	159 25.7E
2	43 36.5N	138 55.2E	61 44.6N	177 24.6E
3	39 45,1 N	142 35.8E	44 57.9N	154 47.7E
4	36 35.4N	136 48.9E	61 32.7N	166 45.5E
5	38 46.9N	147 32,1 E	58 31.9N	179 59.9E
6	23 45.5N	136 54.6E	53 40.0N	158 56.0E
7	35 46.7N	137.44.4E	62 43.9N	169 41.0E
8	43 51.1N	142 34.9E	58 36.6N	171 56.9E
9	33 45.5N	132 57.8E	55 34,8N	158 43,1 E
10	44 54.4N	141 41.2E	48 34.5N	176 56.9E
11	12 23.3N	131 34.6E	52 34,5N	155 32.2E
12	23 31.9N	148 49.4E	49 59.9N	168 59.0E
13	41 28.8N	121 45.6E	59 48.9N	176 55.4E
14	05 45.6N	110 36.6E	49 59.6N	143 24.6E
15	14 38.9N	145 44.4E	59 44.9N	154 55.3E
16	20 35.8N	128 34.5E	48 48.8N	142 32.2E
17	12 36.6N	132 55.0E	39 48.5N	175 33.3E
18	18 34.7N	110 23.6E	58 33,9N	145 51.2E
19	10 37.6N	132 32.2E	43 43.2N	175 22,1 E
20	02 25.5N	134 34.2E	50 05.5N	152 32.2E
21	35 35.5N	137 57.9E	67 32.2N	166 56.6E
22	38 35.3N	142 43.2E	58 45.5N	176 48.8E
23	31 30.0N	130 30.0E	69 33.3N	155 55.5E
24	25 55.4N	146 00.0E	49 00,3N	178 32.0E
25	44 52.2N	142 35.6E	55 56.8N	180 00.0E
26	33.45.7N	121 21.5E	61 31.1N	163 54.4E
27	15 27.8N	141 37.7E	48 48.3N	176 36.4E
28	20 20.3N	141 13.3E	58 36.2N	179 59.0E
29	27 27.7N	121 23.6E	49 44.4N	168 35.5E
30	36 31.2N	144 54.4E	59 34.2N	165 35.5E
31	41 40.4N	144 44.8E	67 51.1N	177 45,1 E
32	32 36.7N	141 23.6E	54 54.3N	166 23.3E
33	28 28.3N	122 24.5E	55 12.3N	155 24.7E
34	34 54.4N	122 55.5E	60 30.0N	160 57.6E
35	41 24.7N	144 34,8E	62 23.3N	154 23.9E
36	39 45.8N	125 55.4E	58 26.5N	156 47.7E
37	27 27.7N	133 45.9E	49 59.8N	154 36.8E
38	12 12.2N	124 24.0E	51 23.5N	155 45.6E
39	18 19.0N	138 37.5E	44 42.1N	166 43.2E
40	36 46,4N	136 57,0E	48 32,1N	158 59.0E

#### Лекция 2.5.

Тема: Основы определения места судна. Навигационные параметры. Изолинии навигационных параметров. Изолиния пеленга. Изолиния расстояния между судном и ориентиром. Изолинии горизонтального и вертикального углов. Изолиния разности расстояний. Изолиния высоты светила. Определение места судна методом изолиний.

**Практическое занятие (113) 2.5**Тема: «Обработка неравноточных наблюдений и оценка точности результата».

## Обработка неравноточных наблюдений и оценка точности результата.

Часто один и тот же параметр измеряется несколькими наблюдателями, разными приборами и в различных условиях. Такие измерения одной и той же величины называются неравноточными. Опыт наблюдателя, точность изготовления и настройка прибора, а также условия наблюдения вносят в результаты измерений погрешности, свойственные только данному наблюдателю. При обработке таких наблюдений среднеарифметическое из измерений уже не будет являться наиболее вероятным значением искомой величины, так как более точные наблюдения должны оказывать на конечный результат большее влияние. Поэтому при обработке результаты таких наблюдений умножают на некоторый коэффициент, определяющий степень доверия к измеренной величине и называемый весом.

Весы можно получить по одному из следующих способов.

1. Допустим, что случайная величина в серии измерений принимает значения:  $x_1=3$  раза,  $x_2=6$  раз,  $x_3=1$  раз и т.д. Тогда веса соответственно равны  $p_1=3$ ,  $p_2=6$ ,  $p_3=1$  и т.д.

2. Если известна точность измерений значений  $x_j$ , то веса можно определить по формуле:

$$p_i = \frac{1}{m_i^2},$$

где  $m_i$  - средняя квадратическая грешность данного измерения.

Наиболее вероятное значение измеренного параметра  $X_0$  называют средневзвешенным и рассчитывают по формуле:

$$x_0 = \frac{\sum x_i p_i}{\sum p_i}.$$

Средняя квадратическая погрешность средневзвешенного определяется по формуле:

$$m_0 = \frac{1}{\sqrt{\sum p_i}}.$$

**Пример:** В полдень пять штурманов определяли широту места судна  $\varphi_1$  по измерениям меридиональной высоты Солнца. Каждый наблюдатель производил измерения высоты светила со своей средней квадратической погрешностью  $m_1$ .

**Определить:** широту места судна  $\varphi_0$  с учетом весов всех измерений и среднюю квадратическую погрешность  $m_0$  этой широты.

**Решение.**

$$\varphi_0 = \varphi_a + \frac{\sum (\varphi_i - \varphi_a) p_i}{\sum p_i},$$

где  $\varphi_a$  - некоторая величина входящая во все  $\varphi_1$ .

№	$\varphi_1$	$m_1$	$P_1$	$\varphi_1 - \varphi_a$	$(\varphi_1 - \varphi_a) P_1$
1	12°45,1N	±1,2'	0,69	+6, Г	4,25'
2	12 39,1	0,9	1,23	+0,1	0,12
3	12 40,4	0,7	2,04	+1,4	2,86
4	12 43,6	1,1	0,83	+4,6	3,82
5	1241,5	0,5	4,00	+2,5	10,00
$\varphi_a$	12 39,0		$\Sigma=8,79$		$\Sigma=21,06'$

$$\varphi_a = 12^\circ 39,0' + \frac{21,06'}{8,79} = 12^\circ 41,4' N. \quad m_a = \frac{1}{\sqrt{8,79}} = \pm 0,3'$$

### Задачи к заданию

№	$\varphi_1$	$m_1$	$\varphi_2$	$m_2$	$\varphi_3$	$m_3$
691	35°16,7	±0,7	35°15,2	±1,1	35°16,1 N	±0,9'
692	9 36,3 S	0,8	9 34,0 S	1,2	9 35,7 S	0,6
693	45 02,8	0,9	45 00,0	1,2	45 01,5	0,8
694	21 10,0 S	0,5	21 11,3	0,7	21 10,7 S	0,6
695	30 42,4	0,9	3041,7N	0,7	3041,1N	0,5
696	16 31,5	0,8	16 30,4	0,6	1631,1S	0,7
697	54 09,6	0,6	54 09,0	0,5	54 09,9	0,9
698	7 35,3 S	0,6	7 36,0 S	0,9	7 36,7 S	1,1
699	18 13,0	0,8	18 12,3	0,7	18 12,8	1,0
700	39 43,2	0,7	39 44,0	0,8	39 44,7 S	1,0
701	2 19,7 N	1,0	2 18,9 N	0,9	2 19,3 N	0,5
702	20 33,6	1,1	20 32,5	0,6	20 32,9 S	0,5
703	28 22,9	0,6	28 23,4	1,0	28 23,9	1,2
704	15 19,8	0,9	15 19,0	0,6	15 19,3 S	0,5
705	40 18,2N	1,1	40	1,3	40 18,0	0,9
706	8 45,3 S	0,8	8 46,0 S	0,5	8 45,7 S	0,9
707	14 38,0	0,7	14 37,5	0,8	14 38,3	0,5
708	29 41,8	1,1	29 40,9	0,5	29 41,2 S	0,8
709	6327,1N	0,9	6328,0	0,7	6327,7N	0,5
710	2236,9S	0,8	2236,2S	0,6	2237,0S	0,9
711	1324,5N	0,5	1325,0N	0,8	1324,1N	0,7
712	1155,1S	0,7	1155,6S	0,8	1154,8S	0,9
713	58 16,0N	0,8	58 16,3N	1,1	58 15,7N	0,5
714	3329,4S	0,6	3329,0S	0,8	3329,8S	0,7
715	4230,7N	0,7	4231,0N	0,8	4230,3N	0,6
716	1726,2S	0,6	1727,0S	0,8	1726,0S	0,7
717	5900,7N	0,8	5900,0N	0,9	5901,2N	0,5
718	4702,9S	1,1	4702,5S	0,8	4702,0S	0,5
719	1219,2N	1,1	1218,3N	0,7	1219,0N	0,8
720	2518,6S	0,7	2519,0S	0,5	2519,5S	1,1
721	3620,3N	0,8	3621,0N	0,6	3621,5N	0,9
722	1041,6S	1,1	1040,0S	0,7	1041,1S	0,9
723	4616,5N	0,6	4617,1N	1,1	4617,5N	1,3
724	2246,4S	0,9	2246,0S	0,6	2246,8S	1,2
725	3122,2N	0,9	3121,8N	0,7	3121,0N	0,8
726	1731,3S	0,9	1730,5S	0,7	1731,0S	0,6

<b>727</b>	55 17,1N	1,0	55 17,8N	0,8	55 18,5N	1,2
<b>728</b>	8 55,5 S	0,8	8 54,2S	1,1	8 55,1 S	0,6
<b>729</b>	1908,8N	0,7	1909,2N	0,8	1909,9N	1,1
<b>730</b>	4019,1S	0,8	4019,6S	0,6	4020,2S	1,1
<b>731</b>	3400N	0,8	3 39,6N	0,6	3 39,1 N	0,9
<b>732</b>	2103,3S	0,9	2102,8S	0,7	2103,8S	1,1
<b>733</b>	2921,2N	1,0	2921,7N	1,2	2920,6N	0,6
<b>734</b>	1629,9S	1,0	1629,0S	0,8	1629,5S	0,6
<b>735</b>	4116,1N	0,6	4115,6N	0,8	4116,7N	1,0
<b>736</b>	9 41,4 S	0,9	940,8S	0,6	9 40,1 S	0,8
<b>737</b>	1509,9N	1,0	1509,3N	0,8	1510,2N	1,2
<b>738</b>	3015,5S	0,6	3016,1S	0,9	3016,7S	1,2

СРС по модулю 2. Понятие о геоиде, земном сфероиде и референц-эллипсоиде. Основы теории изображений. Основные понятия и определения. Масштабы.

### **Раздел 3. Общие формулы градиента навигационного параметра. Обобщенный метод линий положения. Формулы модулей градиентов навигационных параметров**

#### **Лекция 3.1.**

Тема: Общие формулы градиента навигационного параметра. Обобщенный метод линий положения. Формулы модулей градиентов навигационных параметров.

**Практическое занятие (ПЗ) 3.1.** Тема: «Обработка неравноточных наблюдений и оценка точности результата».

Обработка неравноточных наблюдений и оценка точности результата.

Часто один и тот же параметр измеряется несколькими наблюдателями, разными приборами и в различных условиях. Такие измерения одной и той же величины называются неравноточными. Опыт наблюдателя, точность изготовления и настройка прибора, а также условия наблюдения вносят в результаты измерений погрешности, свойственные только данному наблюдателю. При обработке таких наблюдений среднее арифметическое из измерений уже не будет являться наиболее вероятным значением искомой величины, так как более точные наблюдения должны оказывать на конечный результат большее влияние. Поэтому при обработке результаты таких наблюдений умножают на некоторый коэффициент, определяющий степень доверия к измеренной величине и называемый весом.

Вес можно получить по одному из следующих способов.

1. Допустим, что случайная величина  $x$  в серии измерений принимает значения:  $x = 3$  раза,  $x_2 = 6$ .

раз,  $x_3 = 1$  раз и т.д. Тогда веса соответственно равны  $p_1 = 3$ ,  $p_2 = 6$ ,  $p_3 = 1$  и т.д.

2. Если известна точность измерений значений  $X_j$ , то веса можно определить по формуле:

$$p_i = \frac{1}{m_i^2},$$

где  $m_i$  - средняя квадратическая грешность данного измерения.

Наиболее вероятное значение измеренного параметра  $x_0$  называют средневзвешенным и рассчитывают по формуле:



$$x_o = \frac{\sum x_i p_i}{\sum p_i}$$

Средняя квадратическая погрешность средневзвешенного определяется по формуле:

$$m_o = \frac{1}{\sqrt{\sum p_i}}$$

**Пример.** В полдень пять штурманов определяли широту места судна  $\varphi_1$  по измерениям меридиональной высоты Солнца. Каждый наблюдатель производил измерения высоты светила со своей средней квадратической погрешностью  $m_j$ .

Определить: широту места судна  $\varphi_o$  с учетом весов всех измерений и среднюю квадратическую погрешность  $m_o$  этой широты.

**Решение.**

$$\varphi_o = \varphi_a + \frac{\sum (\varphi_i - \varphi_a) p_i}{\sum p_i},$$

где  $\varphi_a$  - некоторая величина входящая во все  $\varphi_i$ ;

№	$\varphi_1$	$m_1$	$P_1$	$\varphi_1 - \varphi_a$	$(\varphi_1 - \varphi_a) P_1$
1	12°45,1N	±1,2'	0,69	+6, Г	4,25'
2	12 39,1	0,9	1,23	+0,1	0,12
3	12 40,4	0,7	2,04	+1,4	2,86
4	12 43,6	1,1	0,83	+4,6	3,82
5	1241,5	0,5	4,00	+2,5	10,00
$\varphi_a$	12 39,0		$\Sigma=8,79$		$\Sigma=21,06'$

$$\varphi_o = 12^\circ 39,0' + \frac{21,06'}{8,79} = 12^\circ 41,4' N. \quad m_o = \frac{1}{\sqrt{8,79}} = \pm 0,3'$$

### Задачи к заданию

№	$\varphi_1$	$m_1$	$\varphi_2$	$m_2$	$\varphi_3$	$m_3$
<b>691</b>	35°16,7	±0,7	35°15,2	±1,1	35°16,1 N	±0,9'
<b>692</b>	9 36,3 S	0,8	9 34,0 S	1,2	9 35,7 S	0,6
<b>693</b>	45 02,8	0,9	45 00,0	1,2	45 01,5	0,8
<b>694</b>	21 10,0 S	0,5	21 11,3	0,7	21 10,7 S	0,6
<b>695</b>	30 42,4	0,9	3041,7N	0,7	3041,1N	0,5
<b>696</b>	16 31,5	0,8	16 30,4	0,6	1631,1S	0,7
<b>697</b>	54 09,6	0,6	54 09,0	0,5	54 09,9	0,9
<b>698</b>	7 35,3 S	0,6	7 36,0 S	0,9	7 36,7 S	1,1
<b>699</b>	18 13,0	0,8	18 12,3	0,7	18 12,8	1,0
<b>700</b>	39 43,2	0,7	39 44,0	0,8	39 44,7 S	1,0
<b>701</b>	2 19,7 N	1,0	2 18,9 N	0,9	2 19,3 N	0,5

702	20 33,6	1,1	20 32,5	0,6	20 32,9 S	0,5
703	28 22,9	0,6	28 23,4	1,0	28 23,9	1,2
704	15 19,8	0,9	15 19,0	0,6	15 19,3 S	0,5
705	40 18,2N	1,1	40	1,3	40 18,0	0,9
706	8 45,3 S	0,8	8 46,0 S	0,5	8 45,7 S	0,9
707	14 38,0	0,7	14 37,5	0,8	14 38,3	0,5
708	29 41,8	1,1	29 40,9	0,5	29 41,2 S	0,8
709	6327,1N	0,9	6328,0	0,7	6327,7N	0,5
710	2236,9S	0,8	2236,2S	0,6	2237,0S	0,9
711	1324,5N	0,5	1325,0N	0,8	1324,1N	0,7
712	1155,1S	0,7	1155,6S	0,8	1154,8S	0,9
713	58 16,0N	0,8	58 16,3N	1Д	58 15,7N	0,5
714	3329,4S	0,6	3329,0S	0,8	3329,8S	0,7
715	4230,7N	0,7	4231,0N	0,8	4230,3N	0,6
716	1726,2S	0,6	1727,0S	0,8	1726,0S	0,7
717	5900,7N	0,8	5900,0N	0,9	5901,2N	0,5
718	4702,9S	1,1	4702,5S	0,8	4702,0S	0,5
719	1219,2N	1,1	1218,3N	0,7	1219,0N	0,8
720	2518,6S	0,7	2519,0S	0,5	2519,5S	1,1
721	3620,3N	0,8	3621,0N	0,6	3621,5N	0,9
722	1041,6S	1,1	1040,0S	0,7	1041,1S	0,9
723	4616,5N	0,6	4617,1N	1,1	4617,5N	1,3
724	2246,4S	0,9	2246,0S	0,6	2246,8S	1,2
725	3122,2N	0,9	3121,8N	0,7	3121,0N	0,8
726	1731,3 S	0,9	1730,5S	0,7	1731,0S	0,6
727	5517,1 N	1,0	5517,8N	0,8	5518,5N	1,2
728	8 55,5 S	0,8	854,2S	1,1	8 55,1 S	0,6
729	1908,8N	0,7	1909,2N	0,8	1909,9N	1.1
730	4019,1S	0,8	4019,6S	0,6	4020,2S	1,1
731	340,0N	0,8	339,6N	0,6	339,1 N	0,9
732	2103,3S	0,9	2102,8S	0,7	2103,8S	1,1
733	2921,2N	1,0	2921,7N	1,2	2920,6N	0,6
734	1629,9S	1,0	1629,0S	0,8	1629,5S	0,6
735	4116,1N	0,6	4115,6N	0,8	4116,7N	1,0
736	941,4 S	0,9	940,8S	0,6	940,1 S	0,8
737	1509,9N	1,0	1509,3N	0,8	1510,2N	1,2
738	3015,5S	0,6	3016,1S	0,9	3016,7S	1,2

### Лекция 3.2.

Тема: Оценка точности навигационных параметров. События. Случайная величина. Частота и вероятность события. Сложение и умножение вероятностей. Распределение случайных величин и их основные характеристики.

**Практическое занятие (ПЗ) 3.2.** Тема: «Вычисление среднеквадратической погрешности функции».

Если штурман производит серию наблюдений навигационного параметра одним прибором в небольшой интервал времени и в одинаковых условиях, то такие наблюдения можно отнести к равноточным.

За наиболее вероятное значение измеряемой величины при равнооточных наблюдениях принимают среднее арифметическое значение:

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{n},$$

где  $x_i$  - результат измерения навигационного параметра;

$n$  - число измерений.

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения  $m$  можно определить:

а) По отклонениям от истинного значения  $x$ , если оно известно:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}},$$

где  $\Delta_i = x_i - x$  - отклонение от истинного значения;

б) по вероятным отклонениям, если неизвестно истинное значение измеряемой величины, по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}},$$

где:  $V_i = x_i - x_0$  - вероятное отклонение;

в) по размаху в соответствии с формулой

$$m = (X_{\max} - X_{\min}) k,$$

где:  $X_{\max} - X_{\min} = R$  - размах;

$k$ , - коэффициент из табл.7.1.

**Таблица 7.1.**

$n$	5	6	7	8	9	10	11
$k$	0.430	0.395	0.370	0.351	0.337	0.325	0.315

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения равна:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Предельная погрешность произведенных наблюдений вычисляется по формуле

$$\Delta_{\text{пр}} = 3\text{ м.}$$

**Пример.** Секстаном произведена серия измерений горизонтального угла между береговыми ориентирами. Результаты измерений - во второй колонке схемы решения.

**Определить:** вероятнейшее значение горизонтального угла, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения горизонтального угла и предельную погрешность.

**Решение.** Составляем схему решения:

№	$X_i$	$V_i = x_i - x_0$	$V_i^2$
1	45°30,6"	-1,02'	1,0404
2	45 33,9"	+2,28"	5,1984
3	45 35,0"	+3,38	11,4244
4	45 31,8"	+0,18'	0,0324
5	45 29, Г	-2,52	6,3504
6	45 30,4	-1,22	1,4884
7	45 31,0	+0,38	0,1444
8	45 29,8"	-1,82	3,3124
9	45 32,0'	+0,38"	0,1444
10	45 32,2	+0,58"	0,3364
И	45 31,0	-0,62"	0,3844

$$\sum V_i = -0,02' \quad \sum V_i^2 = 29,8564$$

Вероятнейшее значение горизонтального угла найдем по формуле:

$$x_0 = \frac{x_0 n + (x_i - x_a)}{n} = x_a + \frac{\sum (x_i - x_a)}{n} = 45^\circ 29,0' + \frac{28,8'}{11} ;$$

$$x_0 = 45^\circ 31,62;$$

где  $x_a$  - наименьшая величина, входящая во все значения  $x_j$ .

Вычисление средней квадратической погрешности одного измерения произведем по формулам:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{29,8564}{11-1}} = \pm 1,73'.$$

По размаху:

$$m = \pm 0,315(45^\circ 35,0' - 45^\circ 29,1') = \pm 0,315 \cdot 5,9' = \pm 1,86'.$$

Среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения найдем по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,73}{\sqrt{11}} = \pm 0,52.$$

Предельную погрешность найдем по формуле:

$$\Delta_{\text{пр}} = 3m = \pm 3 \cdot 1,73 = \pm 5,19.$$

### Лекция 3.3.

Тема: Классификация ошибок. Законы распределения случайных ошибок. Средняя квадратическая ошибка наблюдения, Подчиненная нормальному закону распределения Вероятность попадания случайной величины (ошибки) внутрь конечного интервала.

**Практическое занятие (ПЗ) 3.3** Тема: «Вычисление среднеквадратической погрешности функции».

Если штурман производит серию наблюдений навигационного параметра одним прибором в небольшой интервал времени и в одинаковых условиях, то такие наблюдения можно отнести к равноточным.

За наиболее вероятное значение измеряемой величины при равноточных наблюдениях принимают среднее арифметическое значение:

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{n},$$

где  $x_i$  - результат измерения навигационного параметра;

$n$  - число измерений.

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения  $m$  можно определить:

а) По отклонениям от истинного значения  $x$ , если оно известно:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}},$$

где  $\Delta_i = x_j - x$  - отклонение от истинного значения;

б) по вероятным отклонениям, если неизвестно истинное значение измеряемой величины, по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_j^2}{n-1}},$$

где  $V_j = X_j - x_0$  - вероятное отклонение;

в) по размаху в соответствии с формулой:

$$m = (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) k,$$

где:  $X_{\max} - X_{\min} = R$  –размах;

k, - коэффициент из табл.7.1.

Таб-

лица 7.1.

n	5	6	7	8	9	10	11
k	0.430	0.395	0.370	0.351	0.337	0.325	0.315

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения равна:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

Предельная погрешность произведенных наблюдений вычисляется по формуле

$$\Delta_{\text{пр}} = 3m.$$

**Пример.** Секстаном произведена серия измерений горизонтального угла между береговыми ориентирами. Результаты измерений - во второй колонке схемы решения.

**Определить:** вероятнейшее значение горизонтального угла, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения горизонтального угла и предельную погрешность.

**Решение.** Составляем схему решения:

№	$X_i$	$V_i = x_i - x_0$	$V_i^2$
1	45°30,6"	-1,02'	1,0404
2	45 33,9"	+2,28"	5,1984
3	45 35,0"	+3,38	11,4244
4	45 31,8"	+0,18'	0,0324
5	45 29, Г	-2,52	6,3504
6	45 30,4	-1,22	1,4884
7	45 31,0	+0,38	0,1444
8	45 29,8"	-1,82	3,3124
9	45 32,0'	+0,38"	0,1444
10	45 32,2	+0,58"	0,3364
И	45 31,0	-0,62"	0,3844

$$\sum V_i = -0,02' \quad \sum V_i^2 = 29,8564$$

Вероятнейшее значение горизонтального угла найдем по формуле:

$$x_0 = \frac{x_0 n + (x_i - x_a)}{n} = x_a + \frac{\sum(x_i - x_a)}{n} = 45^{\circ}29,0' + \frac{28,8'}{11} ;$$

$$x_0 = 45^{\circ}31,62';$$

где  $x_a$  - наименьшая величина, входящая во все значения  $x_j$ .

Вычисление средней квадратической погрешности одного измерения произведем по формулам:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{29,8564}{11-1}} = \pm 1,73'.$$

По размаху:

$$m = \pm 0,315(45^{\circ}35,0' - 45^{\circ}29,1') = \pm 0,315 \cdot 5,9' = \pm 1,86'.$$

Среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения найдем по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,73'}{\sqrt{11}} = \pm 0,52'.$$

Предельную погрешность найдем по формуле:

$$\Delta_{\text{пр}} = 3m = \pm 3 \cdot 1,73' = \pm 5,19'.$$

#### Лекция 3.4.

Тема: Среднее арифметическое. Формула Бесселя. Средняя квадратическая ошибка функции.  
**Практическое занятие (ПЗ) 3.4.** Тема: «Вычисление среднеквадратической погрешность функции».

Если штурман производит серию наблюдений навигационного параметра одним прибором в небольшой интервал времени и в одинаковых условиях, то такие наблюдения можно отнести к равноточным.

За наиболее вероятное значение измеряемой величины при равноточных наблюдениях принимают среднее арифметическое значение:

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{n},$$

где  $x_i$  - результат измерения навигационного параметра;

$n$  - число измерений.

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения  $m$  можно определить:

а) По отклонениям от истинного значения  $x$ , если оно известно:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}},$$

где  $\Delta_i = x_j - x$  - отклонение от истинного значения;

б) по вероятным отклонениям, если неизвестно истинное значение измеряемой величины, по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}},$$

где  $V_j = X_j - x_0$  - вероятное отклонение;

в) по размаху в соответствии с формулой:

$$m = (X_{\max} - X_{\min}) k,$$

где:  $X_{\max} - X_{\min} = R$  - размах;

$k$ , - коэффициент из табл.7.1 Таблица 7.1.

n	5	6	7	8	9	10	11
k	0.430	0.395	0.370	0.351	0.337	0.325	0.315

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения равна:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Предельная погрешность произведенных наблюдений вычисляется по формуле

$$\Delta_{np} = 3m.$$

**Пример.** Секстаном произведена серия измерений горизонтального угла между береговыми ориентирами. Результаты измерений - во второй колонке схемы решения.

**Определить:** вероятнейшее значение горизонтального угла, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения горизонтального угла и предельную погрешность.

**Решение.** Составляем схему решения:



№	$X_i$	$V_i = x_i - x_0$	$V_i^2$
1	45°30,6"	-1,02'	1,0404
2	45 33,9"	+2,28"	5,1984
3	45 35,0"	+3,38	11,4244
4	45 31,8"	+0,18'	0,0324
5	45 29, Г	-2,52	6,3504
6	45 30,4	-1,22	1,4884
7	45 31,0	+0,38	0,1444
8	45 29,8"	-1,82	3,3124
9	45 32,0'	+0,38"	0,1444
10	45 32,2	+0,58"	0,3364
И	45 31,0	-0,62"	0,3844

$$\sum V_i = -0,02' \quad \sum V_i^2 = 29,8564$$

Вероятнейшее значение горизонтального угла найдем по формуле:

$$x_0 = \frac{x_0 n + (x_i - x_a)}{n} = x_a + \frac{\sum (x_i - x_a)}{n} = 45^\circ 29,0' + \frac{28,8'}{11} ;$$

$$x_0 = 45^\circ 31,62;$$

где  $x_a$  - наименьшая величина, входящая во все значения  $x_j$ .

Вычисление средней квадратической погрешности одного измерения произведем по формулам:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{29,8564}{11-1}} = \pm 1,73'.$$

По размаху:

$$m = \pm 0,315(45^\circ 35,0' - 45^\circ 29,1') = \pm 0,315 \cdot 5,9' = \pm 1,86'.$$

Среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения найдем по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,73'}{\sqrt{11}} = \pm 0,52'.$$

Предельную погрешность найдем по формуле:

$$\Delta_{\text{шр}} = 3m = \pm 3 \cdot 1,73 = \pm 5,19'.$$

### Лекция 3.5.

Тема: Веса измерений. Весовое среднее. Средняя квадратическая ошибка единицы веса.

Оценка истинного значения измеряемой величины и истинного значения СКО..

**Практическое занятие (ПЗ) 3.5.** Тема: «Оценка точности места с помощью среднеквадратической погрешности».

Если штурман производит серию наблюдений навигационного параметра одним прибором в небольшой интервал времени и в одинаковых условиях, то такие наблюдения можно отнести к равноточным.

За наиболее вероятное значение измеряемой величины при равноточных наблюдениях принимают среднее арифметическое значение:

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{n},$$

где  $x_i$  - результат измерения навигационного параметра;

$n$  - число измерений.

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения  $m$  можно определить:

а) По отклонениям от истинного значения  $x$ , если оно известно:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}},$$

где:  $\Delta_i = x_i - x_0$  - отклонение от истинного значения;

б) по вероятным отклонениям, если неизвестно истинное значение измеряемой величины, по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}},$$

где  $V_j = X_j - x_0$  - вероятное отклонение;

в) по размаху в соответствии с формулой:

$$m = (X_{\max} - X_{\min}) k,$$

где  $X_{\max} - X_{\min} = R$  - размах;

$k$ , - коэффициент из табл.7.1.

Таблица 7.1.

n	5	6	7	8	9	10	11
k	0.430	0.395	0.370	0.351	0.337	0.325	0.315

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения равна:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

Предельная погрешность произведенных наблюдений вычисляется по формуле:

$$\Delta_{np} = 3m.$$

**Пример.** Секстаном произведена серия измерений горизонтального угла между береговыми ориентирами. Результаты измерений - во второй колонке схемы решения.

**Определить:** вероятнейшее значение горизонтального угла, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения горизонтального угла и предельную погрешность.

**Решение.** Составляем схему решения:

№	X <sub>i</sub>	V <sub>i</sub> = X <sub>i</sub> - x <sub>0</sub>	V <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	45°30,6"	-1,02'	1,0404
2	45 33,9"	+2,28"	5,1984
3	45 35,0"	+3,38	11,4244
4	45 31,8"	+0,18'	0,0324
5	45 29, Г	-2,52	6,3504
6	45 30,4	-1,22	1,4884
7	45 31,0	+0,38	0,1444
8	45 29,8"	-1,82	3,3124
9	45 32,0'	+0,38"	0,1444
10	45 32,2	+0,58"	0,3364
И	45 31,0	-0,62"	0,3844

$$\sum V_i = -0,02' \quad \sum V_i^2 = 29,8564$$

Вероятнейшее значение горизонтального угла найдем по формуле:

$$x_0 = \frac{x_0 n + (x_i - x_a)}{n} = x_a + \frac{\sum(x_i - x_a)}{n} = 45^\circ 29,0' + \frac{28,8'}{11} ;$$

$$x_0 = 45^\circ 31,62;$$

где  $x_a$  - наименьшая величина, входящая во все значения  $x_j$ .

Вычисление средней квадратической погрешности одного измерения произведем по формулам:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{29,8564}{11-1}} = \pm 1,73'.$$

По размаху:

$$m = \pm 0,315(45^\circ 35,0' - 45^\circ 29,1') = \pm 0,315 \cdot 5,9' = \pm 1,86'.$$

Среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения найдем по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,73'}{\sqrt{11}} = \pm 0,52'.$$

Предельную погрешность найдем по формуле:  $\Delta_{\text{гр}} = 3m = \pm 3 \cdot 1,73' = \pm 5,19'$ .

СРС по модулю 3. Классификация картографических проекций. Изолинии навигационных параметров.

**Раздел 4. Оценка точности уравненных элементов. Метод весовых коэффициентов. Эллипс ошибок при определении места по нескольким (более двух) равноточным линиям положения.**

#### Лекция 4.1.

Тема: Эллипс ошибок. Вычисление элементов эллипса ошибок. Средняя квадратическая ошибка обсервованного места судна. Смещение обсервованного места судна под действием систематических ошибок измерений.

**Практическое занятие (ПЗ) 4.1.** Тема: «Оценка точности места с помощью среднеквадратической погрешности».

Если штурман производит серию наблюдений навигационного параметра одним прибором в небольшой интервал времени и в одинаковых условиях, то такие наблюдения можно отнести к равноточным.

За наиболее вероятное значение измеряемой величины при равноточных наблюдениях принимают среднее арифметическое значение:

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{n},$$

где  $x_j$  - результат измерения навигационного параметра;

n - число измерений.

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения  $m$  можно определить:

а) По отклонениям от истинного значения  $x$ , если оно известно.

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}},$$

где:  $\Delta_i = x_j - x$  - отклонение от истинного значения;

б) по вероятным отклонениям, если неизвестно истинное значение измеряемой величины, по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}},$$

где  $V_j = X_j - x_0$  - вероятное отклонение;

в) по размаху в соответствии с формулой:

$$m = (X_{\max} - X_{\min}) k,$$

где:  $X_{\max} - X_{\min} = R$  - размах;

k, - коэффициент из табл.7.1.

Таблица 7.1.

n	5	6	7	8	9	10	11
k	0.430	0.395	0.370	0.351	0.337	0.325	0.315

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения равна:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Предельная погрешность произведенных наблюдений вычисляется по формуле:

$$\Delta_{np} = 3m.$$

**Пример.** Секстаном произведена серия измерений горизонтального угла между береговыми ориентирами. Результаты измерений - во второй колонке схемы решения.

**Определить:** вероятнейшее значение горизонтального угла, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения горизонтального угла и предельную погрешность.

**Решение.** Составляем схему решения:

№	$X_i$	$V_i = x_i - x_0$	$V_i^2$
1	45°30,6"	-1,02'	1,0404
2	45 33,9"	+2,28"	5,1984
3	45 35,0"	+3,38	11,4244
4	45 31,8"	+0,18'	0,0324
5	45 29, Г	-2,52	6,3504
6	45 30,4	-1,22	1,4884
7	45 31,0	+0,38	0,1444
8	45 29,8"	-1,82	3,3124
9	45 32,0'	+0,38"	0,1444
10	45 32,2	+0,58"	0,3364
И	45 31,0	-0,62"	0,3844

$$\sum V_i = -0,02' \quad \sum V_i^2 = 29,8564$$

Вероятнейшее значение горизонтального угла найдем по формуле:

$$x_0 = \frac{x_0 n + (x_i - x_a)}{n} = x_a + \frac{\sum(x_i - x_a)}{n} = 45^\circ 29,0' + \frac{28,8'}{11} ;$$

$$x_0 = 45^\circ 31,62;$$

где  $x_a$  - наименьшая величина, входящая во все значения  $x_j$ .

Вычисление средней квадратической погрешности одного измерения произведем по формулам:

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{29,8564}{11-1}} = \pm 1,73'$$

По размаху:

$$m = \pm 0,315(45^\circ 35,0' - 45^\circ 29,1') = \pm 0,315 \cdot 5,9' = \pm 1,86'$$

Среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения найдем по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,73'}{\sqrt{11}} = \pm 0,52'.$$

Предельную погрешность найдем по формуле:  $\Delta_{\text{пр}} = 3m = \pm 3 \cdot 1,73' = \pm 5,19'$ .

## Лекция 4.2.

Тема: Уравнивание по методу наименьших квадратов. Приведение нелинейных уравнений к линейному виду. Решение уравнений по методу наименьших квадратов.

**Практическое занятие (ПЗ) 4.2.** Тема: «Оценка точности места с помощью среднеквадратической погрешности».

Если штурман производит серию наблюдений навигационного параметра одним прибором в небольшой интервал времени и в одинаковых условиях, то такие наблюдения можно отнести к равноточным.

За наиболее вероятное значение измеряемой величины при равноточных наблюдениях принимают среднее арифметическое значение:

$$\chi_0 = \frac{\sum \chi_i}{n},$$

Где:  $\chi_i$  - результат измерения навигационного параметра;  $n$  - число измерений.

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения  $m$  можно определить:

а) По отклонениям от истинного значения  $x$ , если оно известно:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}},$$

где  $\Delta_i = x_i - x$  - отклонение от истинного значения;

б) по вероятным отклонениям, если неизвестно истинное значение измеряемой величины, по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}},$$

где  $V_j = X_j - x_0$  - вероятное отклонение;

в) по размаху в соответствии с формулой:

$$m = (X_{\max} - X_{\min}) k,$$

где:  $X_{\max} - X_{\min} = R$  - размах;

$k$ , - коэффициент из табл.7.1.

Таблица 7.1.

n	5	6	7	8	9	10	11
k	0.430	0.395	0.370	0.351	0.337	0.325	0.315

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения равна:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

Предельная погрешность произведенных наблюдений вычисляется по формуле:

$$\Delta_{np} = 3m.$$

**Пример.** Секстаном произведена серия измерений горизонтального угла между береговыми ориентирами. Результаты измерений - во второй колонке схемы решения.

**Определить:** вероятнейшее значение горизонтального угла, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения горизонтального угла и предельную погрешность.

**Решение.** Составляем схему решения:

№	X <sub>i</sub>	V <sub>i</sub> = x <sub>i</sub> - x <sub>0</sub>	V <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	45°30,6"	-1,02'	1,0404
2	45 33,9"	+2,28"	5,1984
3	45 35,0"	+3,38	11,4244
4	45 31,8"	+0,18'	0,0324
5	45 29, Г	-2,52	6,3504
6	45 30,4	-1,22	1,4884
7	45 31,0	+0,38	0,1444
8	45 29,8"	-1,82	3,3124
9	45 32,0'	+0,38"	0,1444
10	45 32,2	+0,58"	0,3364
И	45 31,0	-0,62"	0,3844

$$\sum V_i = -0,02' \quad \sum V_i^2 = 29,8564$$

Вероятнейшее значение горизонтального угла найдем по формуле:

$$x_0 = \frac{x_0 n + (x_i - x_a)}{n} = x_a + \frac{\sum (x_i - x_a)}{n} = 45^\circ 29,0' + \frac{28,8'}{11} ;$$

$$x_0 = 45^\circ 31,62';$$

где x<sub>a</sub> - наименьшая величина, входящая во все значения x<sub>j</sub>.

Вычисление средней квадратической погрешности одного измерения произведем по формулам:



$$m = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{29,8564}{11-1}} = \pm 1,73'.$$

По размаху:

$$m = \pm 0,315(45^\circ 35,0' - 45^\circ 29,1') = \pm 0,315 \cdot 5,9' = \pm 1,86'.$$

Среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения найдем по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,73'}{\sqrt{11}} = \pm 0,52'.$$

Предельную погрешность найдем по формуле:  $\Delta_{\text{пр}} = 3m = \pm 3 \cdot 1,73' = \pm 5,19'.$

### Лекция 4.3.

Тема: Средняя квадратическая ошибка одного измерения. Неравноточные измерения. Вычисление коэффициентов нормальных уравнений. Решение нормальных уравнений методом последовательных приближений (итераций). Решение нормальных уравнений методом определителей.

**Практическое занятие (ПЗ) 4.3.** Тема: «Оценка точности места с помощью эллипса погрешностей».

Чтобы построить эллипс, необходимо знать величины большой и малой полуосей и ориентировку одной из них. Для равноточных линий положения величины полуосей вычисляются по формулам:

$$a = 0,7 \cdot m \cdot \csc \frac{\theta}{2};$$

$$b = 0,7 \cdot m \cdot \sec \frac{\theta}{2}$$

где  $m$  - средняя квадратическая погрешность линий положения;

$\theta$  - острый угол между линиями положения.

Большая полуось направлена по биссектрисе угла  $\theta$ .

Вероятность того, что действительное место судна находится в эллипсе, равна 39,3%. Для увеличения вероятности оси увеличивают втрое. Такой эллипс называется предельным. Вероятность нахождения внутри него равна 98,9%.

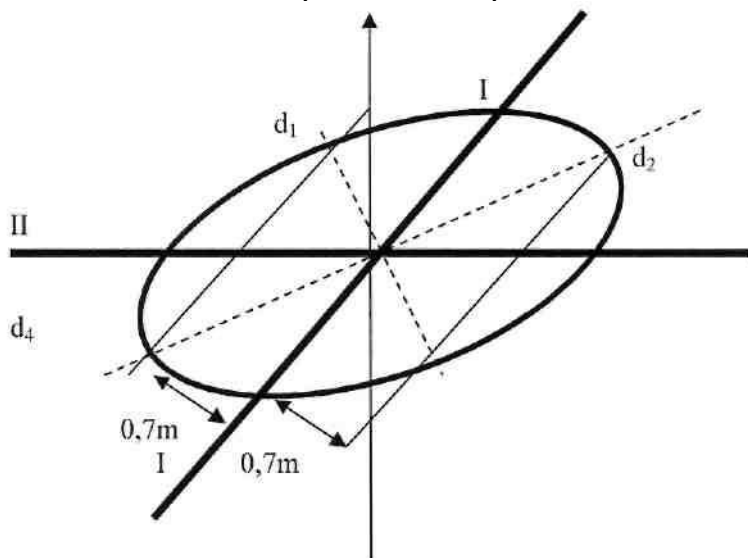
Пример. Дано:  $m = \pm 1,5''$ ;  $\theta = 60^\circ$ ; угол между первой линией положения и меридианом  $A$  равен  $30^\circ$ . Построить эллипс погрешностей.

Решение.

1. По  $A$  и  $\theta$  строим линии положения.
2. Строим биссектрисы углов между линиями положения.
3. Рассчитываем значения полуосей по формулам:  
 $a = 0,7 \times 1,5 \cdot \csc 30^\circ = 2,1;$

$$b = 0,7 \times 1,5 \sec 30^\circ = 1,2.$$

4. В выбранном масштабе откладываем в обе стороны от  $\varphi_0$  по биссектрисе острого угла величину 2,1, а по биссектрисе тупого угла - величину 1,2.
5. По четырем точкам строим эллипс.



#### Лекция 4.4.

Тема: Оценка точности уравненных элементов. Метод весовых коэффициентов. Эллипс ошибок при определении места по нескольким (более двух) равноточным линиям положения.

**Практическое занятие (ПЗ) 4.4.** Тема: «Оценка точности места с помощью эллипса погрешностей».

Чтобы построить эллипс, необходимо знать величины большой и малой полуосей и ориентировку одной из них. Для равноточных линий положения величины полуосей вычисляются по формулам:

$$a = 0,7 \cdot m \cdot \csc \frac{\theta}{2};$$

$$b = 0,7 \cdot m \cdot \sec \frac{\theta}{2}$$

где  $m$  - средняя квадратическая погрешность линий положения;

$\theta$  - острый угол между линиями положения.

Большая полуось направлена по биссектрисе угла  $\theta$ .

Вероятность того, что действительное место судна находится в эллипсе, равна 39,3%. Для увеличения вероятности оси увеличивают втрое. Такой эллипс называется предельным. Вероятность нахождения внутри него равна 98,9%.

Пример. Дано:  $m = \pm 1,5''$ ;  $\theta = 60^\circ$ ; угол между первой линией положения и меридианом  $A$  равен  $30^\circ$ . Построить эллипс погрешностей.

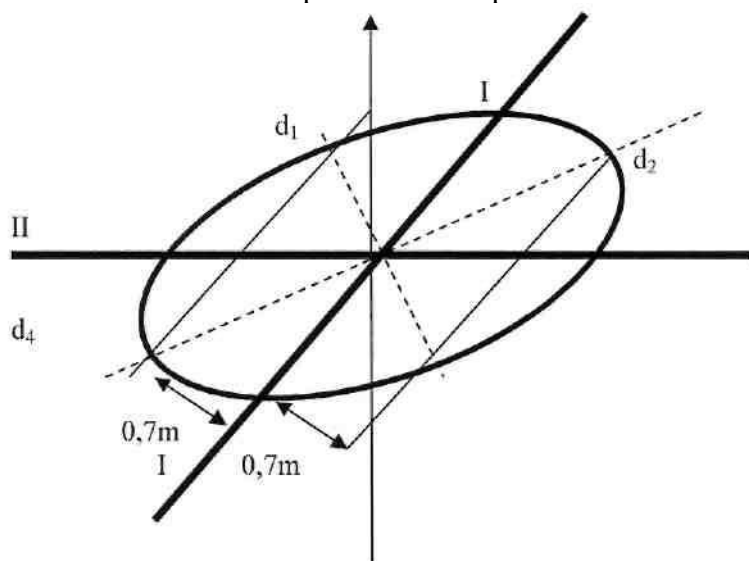
Решение.

6. По  $A$  и  $\theta$  строим линии положения.
7. Строим биссектрисы углов между линиями положения.
8. Рассчитываем значения полуосей по формулам:

$$a=0,7 \times 1,5 \operatorname{csc} 30^{\circ}=2,1;$$

$$b=0,7 \times 1,5 \operatorname{sec} 30^{\circ}=1,2.$$

9. В выбранном масштабе откладываем в обе стороны от  $\varphi_0$  по биссектрисе острого угла величину 2,1, а по биссектрисе тупого угла- величину 1,2.
10. По четырем точкам строим эллипс.



#### Лекция 4.5.

Тема: Уравнительные вычисления при отыскании неизвестных, входящих в периодические функции. Средняя квадратическая ошибка и вес функции уравненных элементов. Графическое уравнивание по методу наименьших квадратов. Основы обработки зависимых результатов наблюдений.

**Практическое занятие (ПЗ) 4.5.** Тема: «Оценка точности места с помощью эллипса погрешностей».

Чтобы построить эллипс, необходимо знать величины большой и малой полуосей и ориентировку одной из них. Для равноточных линий положения величины полуосей вычисляются по формулам:

$$a = 0,7 \cdot m \cdot \operatorname{csc} \frac{\theta}{2};$$

$$b = 0,7 \cdot m \cdot \operatorname{sec} \frac{\theta}{2}$$

где  $m$  - средняя квадратическая погрешность линий положения;

$\theta$  - острый угол между линиями положения.

Большая полуось направлена по биссектрисе угла  $\theta$ .

Вероятность того, что действительное место судна находится в эллипсе, равна 39,3%. Для увеличения вероятности оси увеличивают втрое. Такой эллипс называется предельным. Вероятность нахождения внутри него равна 98,9%.

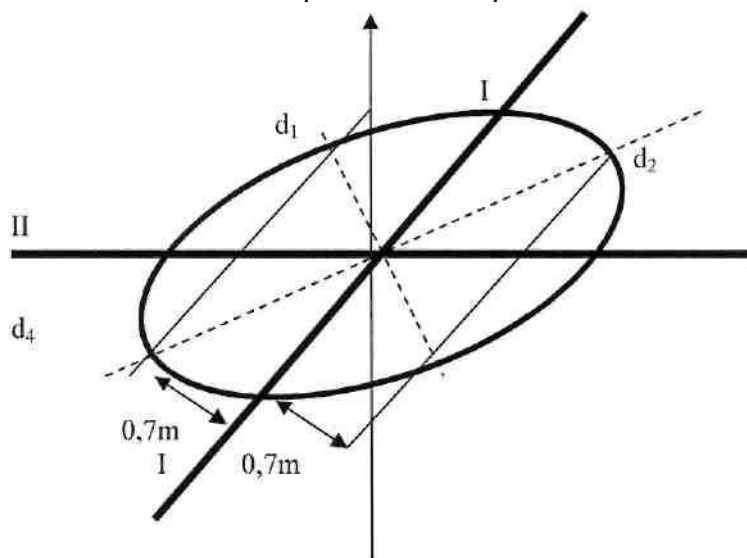
Пример. Дано:  $m = \pm 1,5''$ ;  $\theta = 60^{\circ}$ ; угол между первой линией положения и меридианом  $A$  равен  $30^{\circ}$ . Построить эллипс погрешностей.

Решение.

11. По  $A$  и  $\theta$  строим линии положения.
12. Строим биссектрисы углов между линиями положения.
13. Рассчитываем значения полуосей по формулам:  
 $a=0,7 \times 1,5 \operatorname{csc} 30^\circ=2,1$ ;

$$b=0,7 \times 1,5 \operatorname{sec} 30^\circ=1,2.$$

14. В выбранном масштабе откладываем в обе стороны от  $\varphi_0$  по биссектрисе острого угла величину 2,1, а по биссектрисе тупого угла- величину 1,2.
15. По четырем точкам строим эллипс.



**СРС по модулю 4.** Вычисление среднеквадратической погрешности функции. Определение места судна по линиям положения и точности обсервации.

## 5 Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы курсантов

### 5.1 Внеаудиторная самостоятельная работа курсантов

Основными формами самостоятельной работы студентов при освоении дисциплины являются: проработка вопросов, выносимых на самостоятельное изучение, изучение основной и дополнительной литературы, конспектирование материалов, подготовка к практическим занятиям, подготовка к промежуточной аттестации.

Студентам заочного факультета необходимо выполнить задание по контрольной работе.

**Задание на контрольную работу:** Выполнение расчётов сложных электрических цепей переменного тока.

#### **Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение:**

Принцип получения трёхфазный ЭДС. Основные схемы соединения трех фазных цепей. Соединение трёхфазной цепи звездой. Четырёх- и трёхпроводная цепи. Соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами при симметричной нагрузке в трехфазной цепи, соединенной звездой. Назначение нулевого провода в четырёхпроводной цепи. Соединение нагрузки треугольником. Векторные диаграммы, соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями. Активная, реактивная и полная мощности трёхфазной цепи. Коэффициент мощности. Выбор схем соединения осветительной и силовой нагрузок при включении их в трёхфазную сеть. Генераторы постоянного тока независимого возбуждения. Генераторы с самовозбуждением. Двигатели постоянного тока независимого и параллельного возбуждения. Вращающий момент. Механическая и рабочие характеристики двигателей постоянного тока независимого и параллельного возбуждения. Регулирование частоты вращения двигателей по-

стоянного тока независимого и параллельного возбуждения. Двигатели постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения.

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Математические основы судовождения» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Вопрос:

1. Некоторые правила и приемы приближенных вычислений.
2. Интерполяция.
3. Точность определения алгарифмов тригонометрических функций и их аргументов по таблицам. Сферическая тригонометрия. Основные понятия и определения.
4. Основные формулы: теорема косинусов, теорема косинуса угла, теорема котангенсов, теорема синусов.
5. Решение косоугольных сферических треугольников по основным формулам.
6. Решение прямоугольных сферических треугольников.
7. Понятие о геоиде, земном сфероиде и референц-эллипсоиде
8. Расчет плавания по локсодромии.
9. Расчет плавания по ортодромии.
10. Основы теории изображений. Основные понятия и определения. Масштабы.
11. Классификация картографических проекций.
12. Основы определения места судна. Навигационные параметры. Изолинии навигационных параметров.
13. Определение места судна методом изолиний.
14. Оценка точности навигационных параметров. Обработка равноточных наблюдений и оценка точности результата.
15. Обработка неравноточных наблюдений и оценка точности результата.
16. Вычисление среднеквадратической погрешности функции.
17. Определение места судна по линиям положения и точность обсервации. 18. Оценка точности места с помощью среднеквадратической погрешности. 19. Оценка точности места с помощью эллипса погрешностей.
20. Определение места судна при избыточных наблюдениях.
21. Использование программируемого микрокалькулятора для навигационных целей.

**ТЕСТ по дисциплине «Математические основы судовождения»**

**1. Если  $A$  - точное значение величины,  $a$  - приближенное, то абсолютная ошибка  $\Delta_a$ :**

А)  $\Delta_a = A - a$ .

Б)  $\Delta_a = a - A$

В)  $\Delta_a = (A + a)/2$ .

Г)  $\Delta_a = (A - a)/2$ .

**2. В таблице девиации магнитного компаса, компасному курсу  $40^\circ$  соответствует девиация  $\delta = - 3.7^\circ$ , компасному курсу  $50^\circ$  соответствует девиация  $\delta = + 1.3^\circ$ . Определите значение девиации для компасного курса  $47^\circ$ .**

А)  $-1.8^\circ$ .

Б)  $+ 2.5^\circ$ .

В)  $- 0.2^\circ$ .

Г)  $-3.1^\circ$ .

**3. При использовании тригонометрических таблиц МТ-75 наименьшие по величине ошибки при любых значениях угла  $a$  будут, если он определяется по функциям :**

А)  $\operatorname{tg} a, \operatorname{ctg} a$ .

Б)  $\sin a, \cos a$ .

В)  $\cos a, \operatorname{tg} a$ .

Г)  $\sin a, \operatorname{ctg} a$ .

**4. Кратчайшее расстояние между двумя точками на сферической поверхности :**

А) Дуга большого круга (ДБК).

Б) Меньшая ДБК, заключенная между этими точками.

В) Меньшая дуга малого круга, заключенная между этими точками.

Г) Дуга малого круга.

**5. Какую величину имеет сумма углов  $A, B$  и  $C$  сферического треугольника ?**

А)  $0^\circ < A+B+C < 180^\circ$ .

Б)  $180^\circ < A+B+C < 540^\circ$ .

В)  $90^\circ < A+B+C < 270^\circ$ .

Г)  $120^\circ < A+B+C < 360^\circ$ .

**6. Сумма сторон  $a, b, c$  сферического треугольника изменяется в пределах:**

А)  $90^\circ < a + b + c < 540^\circ$ .

Б)  $30^\circ < a + b + c < 180^\circ$ .

В)  $180^\circ < a + b + c < 270^\circ$ .

Г)  $0^\circ < a + b + c < 360^\circ$ .

**7. Какая формула верна для сферического треугольника ?**

А)  $\cos A = -\cos B - \cos C + \sin B - \sin C - \cos a$ .

Б)  $\cos A = \cos B - \cos C - \sin B - \sin C - \cos a$ .

- В)  $\cos A = \sin B \cdot \cos C + \cos B \cdot \sin C \cdot \sin a$ .  
Г)  $\cos A = -\sin B \cdot \cos C + \cos B \cdot \sin C \cdot \sin a$ .

**8. Эллипсоид, принятый в качестве фигуры, на поверхность которой без заметных искажений могут быть спроектированы все геодезические пункты страны и в той или иной системе рассчитаны их координаты, это :**

- А) Эллипсоид вращения.  
Б) Геоид.  
В) Референц-эллипсоид.    Г)  
Сфероид.

**9. Какие формулы верны для сферического схождения меридианов  $\gamma$ ?**

- А)  $\gamma = A_2 - A_1$  где А - азимут.  
Б)  $\gamma = (A_2 - A_1) / 2$ .  
В)  $\gamma = \Delta \chi \sin \varphi_{\text{ср}}$ .  
Г)  $\gamma = \Delta \varphi \cos \chi_1$ .

**10. Если изображение земной поверхности на плоскости не имеет искажений более 0.2 мм, то это:**

- А) Географическая карта.  
Б) План.  
В) Морская карта.  
Г) Карта-сетка.

**11. Картографические проекции по характеру искажений бывают :**

- А) Равноугольные.  
Б) Равновеликие.  
В) Равнопромежуточные.  
Г) Произвольные.

**12. Картографические проекции по виду меридианов и параллелей нормальной сетки бывают:**

- А) Цилиндрическими.  
Б) Азимутальными.  
В) Коническими.  
Г) Произвольными.

**13. Градиент навигационного параметра характеризует:**

- А) Скорость изменения параметра по направлению нормали к изолинии и направлен в сторону увеличения параметра.  
Б) Значение параметра в момент наблюдения.  
В) Ускорение параметра по направлению нормали к изолинии.  
Г) Скорость изменения параметра по направлению касательной к изолинии.

**14. Чему равен модуль градиента расстояния ?**

- А) 0,5.
- Б) 3,0.
- В) 1,0.
- Г) 4,8.

**15. Градиент пеленга равен:**

- А)  $360^\circ$ .
- Б)  $57,3/D$  (град/мили), где  $D$  - дистанция до ориентира.
- В)  $30^\circ$ .
- Г)  $180/D$  (град/мили), где  $D$  - дистанция до береговой черты.

**16. Направления наибольшего и наименьшего возможных смещений места судна под влиянием случайных среднеквадратических ошибок измерений навигационных параметров показывают :**

- А) Градиенты параметров.
- Б) Оси эллипса ошибок.
- В) Линии положения.
- Г) Изолинии.

**17. Что является основой для построения карт ?**

- А) Рельеф земной поверхности.
- Б) Геодезические пункты.
- В) Данные спутниковых навигационных систем.
- Г) Картографическая сетка меридианов и параллелей.

**18. Что является сравнительной оценкой качества серии наблюдений ?**

- А) Вес.
- Б) Предельная поправка наблюдения.
- В) Поправка в определении места судна.
- Г) Среднеквадратическая погрешность.

**19. Что является признаком равноточности измерений.**

- А) Опыт наблюдателя.
- Б) Использование приборов с одинаковой погрешностью измерений.
- В) Равенство средних квадратических ошибок результатов измерений.
- Г) Равноудаленность ориентиров.

**20. Касательная к изолинии называется:**

- А) Линией положения.
- Б) Градиентом параметра.



- В) Изостадией.
- Г) Изогоной.

## 7. Рекомендуемая литература

### 7.1 Основная литература

1. Кожухов В.П., Григорьев В.В., Лукин СМ. Математические основы судовождения. М. Транспорт, 1987. – 80 экз.

### 7.2. Дополнительная литература

2. Синяев В.А., Лукин М.Г., Кулик В.К. Сборник задач по математическим основам судовождения. М. ЦРИА «Морфлот», 1980. (методический кабинет кафедры СВ)

3. Синяев В.А. Лукин М.Г., Кулик В.К. Сборник задач и упражнений по математической обработке результатов измерений. М. Рекламинформбюро ММФ, 1975. – 40 экз.

4. Руководство по практическому применению программируемых микрокалькуляторов в штурманских расчетах. Л. Транспорт, 1984. – 1 экз.

### 7.3 Методические указания

.Горшков В.Г., Математические основы судовождения. Методические указания по выполнению контрольных работ для курсантов и студентов специальности 180402.65 «Судовождение» очной и заочной форм обучения, КамчатГТУ, 2007.

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://www.radioingener.ru>
2. Вебсайт электроники - <http://elektro-tex.ru/>
3. журнал-электротехника - [www.znack.com/](http://www.znack.com/)
4. Радиоэлектроника и электротехника – сайт - [www.radioingener.ru/](http://www.radioingener.ru/)

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

**Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям** Лекции проводятся, как правило, в интерактивной форме с элементами дискуссий, и спорных посылов и утверждений На лекциях рассматриваются основные понятия предметной области, методы, приемы и средства функционирования электроэнергетических систем и сетей. При проведении лекций используются современные информационные технологии, демонстрационные материалы. Текущий контроль учебы курсантов и студентов проводится на лабораторных и практических занятиях.

### **Рекомендации по подготовке к практическим и лабораторным занятиям**

**Практические занятия** проводятся в виде детального практического разбора конкретных ситуаций в реальных электрических цепях и устройствах, обсуждения логики поиска решений задач (проблем), разбора заданий для самостоятельной работы

**Лабораторные работы** с письменным и устным отчетом о разработанном плане проведения работы, методах контроля основных электротехнических процессов и параметров, полученных результата и их осмыслении, с демонстрацией использованных при этом информационных технологий По каждой практической и лабораторной работе оформляется отчет, на основании которого проводится защита работы (цель – оценка уровня освоения учебного материала). По результатам лабораторных и практических работ в каждом семестре выставляется оценка, которая учитывается при промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине. Студенты заочной формы обучения выполняют задания по практическим работам в период самостоятельного освоения дисциплины (после установочных сессий) и представляют отчеты по лабораторным занятиям во время лабораторно-экзаменационных сессий.

Целевое назначение практических занятий состоит в развитии самостоятельности мышления студентов; углублении, расширении, детализировании знаний, полученных на лекции в

обобщенной форме, и содействии выработке навыков профессиональной деятельности, рассматриваются примеры решения профессиональных задач, осуществляется контроль результатов освоения учебного материала. При этом формируются практические навыки, необходимые в дальнейшем при выполнении курсового проекта. Студенты заочной формы обучения индивидуально выполняют контрольную работу, результаты которой используются для промежуточной и итоговой аттестации.

**Рекомендации по организации самостоятельной работы** Самостоятельная работа включает изучение литературы, поиск информации в сети Интернет, подготовку к практическим и лабораторным работам, зачету. При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с литературой, рекомендованной преподавателем, и конспектом лекций. Необходимо разобраться в основных понятиях. Записать возникшие вопросы и найти ответы на них на занятиях, либо разобрать их с преподавателем. Подготовка к зачету необходимо начинать заранее. Следует проанализировать научный и методический материал учебников, учебно-методических пособий, конспекты лекций. Знать формулировки терминов и уметь их четко воспроизводить. Ответы на вопросы из примерного перечня вопросов для подготовки к зачету лучше обдумать заранее. Ответы построить в четкой и лаконичной форме.

**Рекомендации по подготовке к экзамену** При подготовке к экзамену большую роль играют правильно подготовленные заранее записи и конспекты. В этом случае остается лишь повторить пройденный материал, учесть, что было пропущено, восполнить пробелы, закрепить ранее изученный материал.

В ходе самостоятельной подготовки к экзамену при анализе имеющегося теоретического и практического материала курсанту (студенту) также рекомендуется проводить постановку различного рода задач по изучаемой теме, что поможет в дальнейшем выявлять критерии принятия тех или иных решений, причины совершения определенного рода ошибок. При ответе на вопросы, поставленные в ходе самостоятельной подготовки, обучающийся вырабатывает в себе способность логически мыслить, искать в анализе событий причинно-следственные связи.

## **10. Курсовой проект (работа)**

Выполнение курсового проекта (работы) не предусмотрено учебным планом.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационно-справочных систем.**

### ***11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса***

1. электронные образовательные ресурсы, представленные в п. 6 и 7 данной рабочей программы;
2. использование слайд-презентаций;
3. интерактивное общение с обучающимися и консультирование посредством электронной почты.

### ***11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса***

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:

1. текстовый редактор Microsoft Word;
2. электронные таблицы Microsoft Excel;
3. презентационный редактор Microsoft Power Point;

## **12. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы учебная аудитория № 3-413 с комплектом учебной мебели на 32 посадочных места;
2. доска аудиторная;
3. комплект лекций по темам курса «Математические основы судовождения»;

Дополнения и изменения в рабочей программе за \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

В рабочую программу \_\_\_\_\_ «Математические основы судовождения»  
(наименование дисциплины)

для специальности (тей) \_\_\_\_\_ 26.05.05 «Судовождение»  
(номер специальности)

вносятся следующие изменения:

Дополнения и изменения внес \_\_\_\_\_  
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры \_\_\_\_\_ «Судовождение»  
(наименование кафедры)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Заведующий кафедрой СВ \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Саранча А.Г