

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Спешилов В.М.,*

*Херсонский государственный морской институт*

*Погрешность вычисления направления и расстояния между поворотными точками электронного маршрута перехода зависит от вида программного обеспечения судовой электронной картографической системы (ЭКС). Методика определения программного обеспечения судовой ЭКС позволяет оценить точность созданного электронного маршрута перехода по направлению и расстоянию.*

*Ключевые слова: программное обеспечение судовой электронной картографической системы, точность электронного маршрута перехода по направлению и расстоянию.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами.** Одним из важнейших условий безопасного мореплавания и повышения рентабельности морских грузоперевозок является умение осуществлять плавание судна по наивыгоднейшему пути. Критерием наивыгоднейшего пути является выполнение перехода судна из порта погрузки в порт назначения в кратчайшее время при условии обеспечения безопасности плавания и сохранности груза. Основой для выбора наивыгоднейшего пути судна является кратчайшее расстояние между начальной и конечной точками трансокеанского участка маршрута перехода. Кратчайшей линией пути между двумя точками на земном сферонде является геодезическая линия. Таким образом, использование земного сфероида в качестве математической модели Земли дает наилучшую точность решения навигационных задач. Применение в качестве математической модели земного шара различной модификации приводит к увеличению погрешности вычисления направления и расстояния. Поэтому для оценки точности вычисления направлений и расстояний необходимо определить – какая математическая модель Земли применяется в компьютерной программе ЭКС в качестве математической основы для решения навигационных задач.

**Анализ последних публикаций, в которых начато решение данной проблемы.** Программное обеспечение судовых ЭКС по решению навигационных задач основано на применении трех математических моделей Земли:

1. Земной шар, длина одной минуты дуги большого круга которого равна одной морской миле.
2. Земной шар, радиус которого равен длине большой полуоси земного сфероида, принятого в качестве геодезической основы судовой электронной карты.
3. Земной сфероид WGS-84 или сфероид Кларка, или сфероид Красовского и др.

В зависимости от базовой математической модели Земли – счетно-решающее устройство судовой ЭКС может иметь следующие виды программного обеспечения по вычислению локсодромических и ортодромических направлений и расстояний:

1. Если в качестве математической основы для решения навигационных задач принят земной шар, длина одной минуты дуги большого круга которого равна одной морской миле, то вид программного обеспечения судовой ЭКС зависит от способа вычисления локсодромического курса судна: с учетом сфероидичности Земли или без учета сфероидичности Земли.

2. Если в качестве математической основы для решения навигационных задач принят земной шар, радиус которого равен длине большой полуоси земного сфероида, то вид программного обеспечения судовой ЭКС также зависит от способа вычисления локсодромического курса – с учетом или без учета сфероидичности Земли.

Пятый способ вычисления локсодромического направления и расстояния основан на применении земного сфероида в качестве математической основы для решения навигационных задач.

Способ вычисления ортодромического направления и расстояния зависит от применения математической модели Земли: вышеупомянутые модификации земного шара или земной сфероид.

Таким образом, в программном обеспечении судовой ЭКС заложен один из пяти вышеперечисленных способов вычисления локсодромического курса и расстояния и один из трех способов вычисления начального ортодромического курса и расстояния. Поскольку каждый способ вычисления направления и расстояния имеет свою погрешность, то для оценки точности электронного маршрута перехода по направлению и расстоянию необходимо создать произвольный электронный маршрут табличным способом и методом исключения определить вид программного обеспечения судовой ЭКС путем сравнения табличных значений «электронного» локсодромического и ортодромического курса и расстояния с курсом и расстоянием, вычисленным с помощью научного калькулятора всеми возможными способами. Для этого судоводитель должен уметь вычислять локсодромические и ортодромические курсы и расстояния всеми вышеперечисленными способами.

Во всех отечественных учебниках по навигации приведены формулы по вычислению локсодромических и ортодромических направлений и расстояний без учета сфероидичности Земли на базе земного шара, длина одной минуты дуги большого круга которого равна одной морской миле.

В учебнике по навигации [1] приведены формулы по определению коэффициента для учета сфероидичности Земли при вычислении разности широт и разности долгот двух точек.

В издании [2] изложена методика вычисления локсодромических и ортодромических направлений и расстояний с учетом сфероидичности Земли с применением Таблиц для вычисления азимута и длины геодезической

линии, которые не входят в конвенционный перечень судовой коллекции руководств и пособий для плавания.

В издании [3] приведена методика вычисления локсодромических и ортодромических направлений и расстояний между точками с одноименными широтами на базе земного шара, радиус которого равен длине большой полуоси земного сфероиды WGS-84.

В публикации [4] приведена методика вычисления локсодромического и ортодромических расстояний с учетом сфероидичности Земли между точками с одноименными и разноименными широтами.

Таким образом, в вышеперечисленных изданиях и публикациях изложены не все способы вычисления локсодромических и ортодромических направлений и расстояний, которые могут быть заложены в программном обеспечении судовой ЭКС. Поэтому для определения вида программного обеспечения судовой ЭКС необходима целостная методика сравнения табличных значений локсодромических и ортодромических курсов и расстояний созданного электронного маршрута перехода с направлениями и расстояниями, вычисленными всеми возможными способами с помощью научного калькулятора.

**Целью данной статьи** является разработка методики определения программного обеспечения судовой ЭКС по вычислению направления и расстояния между двумя маршрутными точками.

**Изложение основного материала.** Определение вида программного обеспечения судовой ЭКС целесообразно производить в следующей последовательности:

1. Создать электронный маршрут табличным способом путем ручной установки произвольных географических координат начальной и конечной точек этого маршрута в таблицу ввода данных маршрута судовой ЭКС.

2. Вычислить локсодромический курс ( $K_{лок}$ ) и локсодромическое расстояние ( $S_{лок}$ ) между маршрутными точками четырьмя способами.

Способ № 1.1 основан на применении в качестве математической модели Земли земного шара, одна минута дуги большого круга которого равна одной морской миле. Локсодромический курс при этом вычисляется без учета сфероидичности Земли:

$$\pm \Delta \varphi_{нк} = (\pm \varphi_{к}) - (\pm \varphi_{н}); \quad \pm \Delta \lambda_{нк} = (\pm \lambda_{к}) - (\pm \lambda_{н}), \quad (1)$$

$$MЧ_{н(к)} = 7915,704468 \lg \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi_{н(к)}}{2} \right), \quad (2)$$

$$PMЧ_{нк} = (\pm MЧ_{к}) - (\pm MЧ_{н}), \quad (3)$$

$$K_{лок1} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta \lambda'}{PMЧ_{нк}}, \quad (4)$$

$$S_{\text{лок1}} = \frac{\Delta\varphi'}{\cos K_{\text{лок1}}}. \quad (5)$$

Способ № 2.1 основан на применении в качестве математической модели Земли земного шара, радиус которого равен длине большой полуоси земного сфероида. Локсодромический курс при этом вычисляется без учета сфероидичности Земли  $K_{\text{лок2}} = K_{\text{лок1}}$ :

$$1\text{георг.миля} = a_{\text{м}} \text{arc } 1' \quad (6)$$

где  $a_{\text{м}}$  – длина большой полуоси земного сфероида в метрах.

$$S_{\text{лок2}} = \frac{S_{\text{лок1}} \cdot 1\text{георг.миля}(м)}{1852\text{м}}. \quad (7)$$

Способ № 3.1 основан на применении в качестве математической модели Земли земного шара, длина одной минуты дуги большого круга которого равна одной морской миле. Локсодромический курс при этом вычисляется с учетом сфероидичности Земли. Поэтому меридиональные части начальной и конечной точки вычисляют по формуле:

$$MЧ_{\text{н(к)}} = 7915,704468 \lg \left[ \text{tg} \left( 45^\circ + \frac{\varphi_{\text{н(к)}}}{2} \right) \left( \frac{1 - e \sin \varphi_{\text{н(к)}}}{1 + e \sin \varphi_{\text{н(к)}}} \right)^{0,5e} \right]. \quad (8)$$

Разность меридиональных частей начальной и конечной точек ( $PMЧ_{\text{нк}}$ ), локсодромический курс судна ( $K_{\text{лок3}}$ ) и локсодромическое расстояние ( $S_{\text{лок3}}$ ) вычисляют с помощью формул (3-5).

Способ № 4.1 основан на применении в качестве математической модели Земли земного шара, радиус которого равен длине большой полуоси земного сфероида. Локсодромический курс при этом вычисляется с учетом сфероидичности Земли  $K_{\text{лок4}} = K_{\text{лок3}}$ :

$$S_{\text{лок4}} = \frac{S_{\text{лок3}} \cdot 1\text{георг.миля}(м)}{1852\text{м}}. \quad (9)$$

Способ № 5.1 основан на применении в качестве математической модели Земли земного сфероида:

Формулы для вычисления локсодромического расстояния с учетом сфероидичности Земли зависят от разности широт двух точек и от наименования географических широт этих точек:

$$\text{Если } \Delta\varphi_{нк} < 20^0 \text{ и } S_{лок5} = \frac{\Delta\varphi_{нк} \sec K_{лок5}}{1 + (\pm f)}, \quad (10)$$

где  $f$  – коэффициент для учета сфероидичности Земли, величину которого вычисляют по формуле:

$$\pm f = -0,00180896 + 0,00669342(1 - 1,5 \sin^2 \varphi_{ср.нк}). \quad (11)$$

Если  $\Delta\varphi_{нк} > 20^0$  и при этом  $\varphi_n = 0$ :

$$S_{лок5} = \frac{\varphi'_к + 0,0001337107\varphi'_к - 8,658986\sin 2\varphi_к + 0,00904\sin 4\varphi_к}{\cos K_{лок5}}. \quad (12)$$

Если  $\Delta\varphi_{нк} > 20^0$  и при этом  $\varphi_n$  и  $\varphi_к$  – одноименны:

$$S_{лок5} = [(\varphi_{\max} - \varphi_{\min})' + 0,0001337107\varphi'_{\max} - 8,65896\sin 2\varphi_{\max} + 0,00904\sin 4\varphi_{\max} - 0,0001337107\varphi'_{\min} + 8,65896\sin 2\varphi_{\min} - 0,00904\sin 4\varphi_{\min}] \sec K_{лок5}. \quad (13)$$

Если  $\Delta\varphi_{ie} > 20^0$  и при этом  $\varphi_i$  и  $\varphi_e$  – разноименны:

$$S_{лок5} = [(\varphi_n + \varphi_к)' + 0,0001337107\varphi'_n - 8,65896\sin 2\varphi_n + 0,00904\sin 4\varphi_n + 0,0001337107\varphi'_к - 8,65896\sin 2\varphi_к + 0,00904\sin 4\varphi_к] \sec K_{лок5}. \quad (14)$$

3. Вычислить начальный ортодромический курс ( $K_{opt}$ ) и ортодромическое расстояние ( $S_{opt}$ ) между маршрутными точками тремя способами.

Способ № 1.2 основан на применении в качестве математической модели Земли земного шара, одна минута дуги большого круга которого равна одной морской миле:

$$K_{opt1} = \arctg(\tg\varphi_к \cos\varphi_n \operatorname{cosec}\Delta\lambda_{нк} \sin\varphi_n - \operatorname{ctg}\Delta\lambda_{нк} \sin\varphi_n), \quad (15)$$

$$S_{opt1} = \arccos[\sin(\pm\varphi_n)\sin(\pm\varphi_к) + \cos\varphi_n \cos\varphi_к \cos\Delta\lambda]. \quad (16)$$

Способ № 2.2 основан на применении в качестве математической модели Земли земного шара, радиус которого равен длине большой полуоси земного сфероиды:

$$K_{opt2} = K_{opt1},$$

(17)

$$S_{opt2} = \frac{S_{opt1} \cdot 1 \text{ геогр.миля (м)}}{1852}.$$

Способ № 3.2 основан на применении в качестве математической модели Земли земного сфероида:

$$K_{opt3} = K_{лок3} + (\pm \psi)$$

(18)

где  $\psi$  – ортодромическая поправка направления, значение которой выбирают из сборника Мореходных таблиц [3].

$$S_{opt3} = S_{opt2} + (\pm \Delta S'_2),$$

(19)

где  $\Delta S'_2$  – поправка ортодромического расстояния за сфероидичность Земли, значение которой выбирают из таблиц 1, 2.

Таблица 1 – Поправки к ортодромическому расстоянию за сфероидичность Земли,  $\varphi_H$  и  $\varphi_K$  одноименны

$\varphi_H$	$\varphi_K$	$\Delta\lambda$									
		$1^0$		$10^0$		.....		$110^0$		$120^0$	
		$\Delta S_1$	$\Delta S_2$	$\Delta S_1$	$\Delta S_2$	.....		$\Delta S_1$	$\Delta S_2$	$\Delta S_1$	$\Delta S_2$
$0^0$	$0^0$	0	0	0	0	.....	.....	0	0	0	0
$0^0$	$10^0$	-3	-4	-1	-3	.....	.....	12	0	13	0
$0^0$	$20^0$	-6	-8	-5	-7	.....	.....	11	-1	12	-1
$0^0$	$30^0$	-8	-11	-7	-10	.....	.....	10	-2	10	-2
$0^0$	$40^0$	-9	-13	-8	-12	.....	.....	8	-3	9	-3
$0^0$	$50^0$	-9	-14	-8	-13	.....	.....	7	-4	8	-4
$0^0$	$60^0$	-8	-7	-14	-13	.....	.....	5	-6	6	-5
$10^0$	$10^0$	0	0	1	0	.....	.....	12	0	13	0
$10^0$	$20^0$	-3	-4	-1	-3	.....	.....	12	1	13	1
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$50^0$	$60^0$	1	0	1	0	.....	.....	13	7	14	8
$\varphi_H$ и $\varphi_K$ разноименны											
$10^0$	$10^0$	-6	-8	-5	-7	.....	.....	11	-1	12	-1
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$50^0$	$60^0$	-15	-27	2	-10	.....	.....	-3	-18	-2	-18

Таблица 2 – Поправки к локсодромическому расстоянию за сфероидичность Земли,  $\varphi_H$  и  $\varphi_K$  одноименны

$\varphi_H$	$\varphi_K$	$\Delta\lambda$																			
		$1^0$				$10^0$				.....				$110^0$				$120^0$			
		$\Delta S_1$	$\Delta S_2$	$\Delta S_3$	$\Delta S_4$	$\Delta S_1$	$\Delta S_2$	$\Delta S_3$	$\Delta S_4$	...	...	...	...	$\Delta S_1$	$\Delta S_2$	$\Delta S_3$	$\Delta S_4$	$\Delta S_1$	$\Delta S_2$	$\Delta S_3$	$\Delta S_4$
$0^0$	$0^0$	0	0	0	0	0	0	0	0	...	...	...	...	0	0	0	0	0	0	0	0
$0^0$	$10^0$	-3	-4	-3	-4	1	-3	-4	-6	...	...	...	...	12	0	-32	-44	13	0	-35	-48
$0^0$	$20^0$	-5	-8	-5	-8	-4	-7	-6	-8	...	...	...	...	11	-1	-30	-42	12	-1	-32	-45
$0^0$	$30^0$	-7	-11	-7	-11	-7	-10	-8	-11	...	...	...	...	10	-1	-26	-38	12	-1	-29	-42
$0^0$	$40^0$	-8	-13	-8	-12	-8	-12	-8	-13	...	...	...	...	10	-2	-22	-34	11	-2	-24	-37
$0^0$	$50^0$	-8	-14	-8	-14	-8	-13	-8	-14	...	...	...	...	8	-3	-18	-29	10	-3	-19	-31
$0^0$	$60^0$	-7	-14	-7	-14	-7	-13	-7	-14	...	...	...	...	7	-5	-12	-24	8	-4	-13	-25
$10^0$	$10^0$	0	0	0	0	1	0	1	0	...	...	...	...	12	1	12	1	13	1	13	1
$10^0$	$20^0$	-3	-4	-3	-4	-1	-3	-4	-5	...	...	...	...	12	0	-27	-39	13	1	-29	-42
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$50^0$	$60^0$	1	0	1	0	2	0	1	0	...	...	...	...	7	4	3	0	8	5	4	0
$\varphi_H$ и $\varphi_K$ разноименны																					
$10^0$	$10^0$	-6	-8	-6	-8	-5	-7	-6	-9	...	...	...	...	11	-1	-32	-44	12	-1	-35	-48
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$50^0$	$60^0$	10	5	5	0	11	6	5	0	...	...	...	...	15	9	7	0	17	9	8	0

Допустим:

$$\varphi_H = 0^0 00',000; \quad \lambda_H = 0^0 00',000; \quad \varphi_K = 60^0 00',000N; \quad \lambda_K = 120^0 00',000E.$$

Геодезическая система координат судовой электронной карты WGS-84  
 $a=6378137m; \quad e=0,081819791.$

**Вычисление  $K_{лок1}$  и  $S_{лок1}$  способом № 1.1 с помощью формул (1-5):**

$$\Delta\varphi_{нк} = \varphi_K = 60^0,0кN; \quad \Delta\lambda_{нк} = \lambda_K = 120^0,0кE;$$

$$MЧ_K = PMЧ_{нк} = 7915,704468 \lg \operatorname{tg} \left( 45^0 + \frac{\varphi_K}{2} \right) = 7915,704468 \lg \left( 45^0 + \frac{60^0}{2} \right) =$$

$$= 4527,367757;$$

$$K_{лок1} = \arctg \frac{\Delta\lambda'_{нк}}{PMЧ_{нк}} = \frac{120^0 \cdot 60'}{4527,367757} = 57^0,83827434 \approx 57^0,8;$$

$$S_{лок1} = \frac{\Delta\varphi'_{нк}}{\cos K_{лок1}} = \frac{60^0 \cdot 60'}{\cos 57^0,83827434} = 6762,965166 \approx 6763,0 \text{ м} \cdot \text{миль}.$$

**Вычисление  $K_{лок2}$  и  $S_{лок2}$  способом № 2.1 с помощью формул (6, 7):**

$$K_{лок2} = K_{лок1} = 57^0,8;$$

$$1 \text{ геогр.миля} = a_m \arcsin 1' = \frac{6378137}{3437,746771} = 1855,324846 \text{ м};$$

$$S_{лок2} = \frac{S_{лок1} \cdot 1 \text{ геогр.миля}}{1 \text{ мор.миля}} = \frac{6762,965166 \cdot 1855,324846}{1852,0} = 6775,106535 \approx 6775,1 \text{ м} \cdot \text{миль}.$$

**Вычисление  $K_{лок3}$  и  $S_{лок3}$  способом № 3.1 с помощью формул (3-5, 8):**

$$MЧ_{\kappa} = PMЧ_{нк} = 7915,704468 \lg \left[ \operatorname{tg} \left( 45^0 + \frac{\varphi_{\kappa}}{2} \right) \left( \frac{1 - e \sin \varphi_{\kappa}}{1 + e \sin \varphi_{\kappa}} \right)^{0,5e} \right] =$$

$$= 7915,704468 \lg \left[ \operatorname{tg} \left( 45^0 + \frac{60^0}{2} \right) \left( \frac{1 - 0,081819791 \sin 60^0}{1 + 0,081819791 \sin 60^0} \right)^{0,5 \cdot 0,081819791} \right] =$$

$$= 4507,403661;$$

$$K_{лок3} = \arctg \frac{\Delta\lambda'_{нк}}{PMЧ_{нк}} = \frac{120^0 \cdot 60'}{4507,403661} = 57^0,95226948 \approx 57^0,9...58^0,0;$$

$$S_{лок3} = \frac{\Delta\varphi'_{нк}}{\cos K_{лок3}} = \frac{60^0 \cdot 60'}{\cos 57^0,95226948} = 6784,445265 \approx 6784,4 \text{ м} \cdot \text{миль}.$$

**Вычисление  $K_{лок4}$  и  $S_{лок4}$  способом № 4.1 с помощью формулы (7):**

$$K_{лок4} = K_{лок3} = 57^0,9...58^0,0;$$

$$S_{лок4} = \frac{S_{лок3} \cdot 1 \text{ геогр.миля}}{1852,0} = \frac{6784,445265 \cdot 1855,324846}{1852,0} = 6796,625196 \approx 6796,6 \text{ м} \cdot \text{миль}.$$

**Вычисление  $K_{лок5}$  и  $S_{лок5}$  способом № 5.1 с помощью формул (10-13):**



$$K_{лок5} = K_{лок3} = 57^{\circ},9...58^{\circ},0;$$

Поскольку  $\Delta\varphi_{нк} > 20^{\circ}$ ,  $\varphi_i = 0$ , то вычисление  $S_{лок5}$  производят по формуле (12):

$$\begin{aligned} S_{лок5} &= \frac{\varphi'_к + 0,0001337107\varphi'_к - 8,658986 \sin 2\varphi_к + 0,00904 \sin 4\varphi_к}{\cos K_{лок5}} = \\ &= \frac{3600' + 0,000133107 \cdot 3600' - 8,658986 \sin 2 \cdot 60^{\circ} + 0,00904 \sin 4 \cdot 60^{\circ}}{\cos 57^{\circ},95226948} = \\ &= 6771,07273 \approx 6771,1. \end{aligned}$$

**Вычисление  $K_{орп1}$  и  $S_{орп2}$  способом № 1.2 с помощью формул (14, 15):**

$$\begin{aligned} K_{орп1} &= \text{arcctg} (tg\varphi_к \cos\varphi_н \text{ cosec}\Delta\lambda_{нк} - \text{ctg}\Delta\lambda_{нк} \sin\varphi_н) = \\ &= \text{arcctg} tg60^{\circ} \text{ cosec}120^{\circ} = 26^{\circ},56505118 \approx 26^{\circ},6; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{орп1} &= \arccos [\sin(\pm\varphi_н) \sin(\pm\varphi_к) + \cos\varphi_н \cos\varphi_к \cos\Delta\lambda_{нк}] = \\ &= \arccos \cos60^{\circ} \cos120^{\circ} = 104^{\circ},4775122 \cdot 60' = 6268,650731 \approx \\ &\approx 6268,6...6268,7 \text{ м} \cdot \text{миль}. \end{aligned}$$

**Вычисление  $K_{орп2}$  и  $S_{орп2}$  способом № 2.2 с помощью формулы (16):**

$$K_{орп2} = K_{орп1} = 26^{\circ},6;$$

$$\begin{aligned} S_{орп2} &= \frac{S_{орп1} \cdot 1 \text{ геогр.миля (м)}}{1 \text{ мор.миля (м)}} = \frac{6268,650731 \cdot 1855,324846}{1852,0} = \\ &= 6279,90467 \approx 6279,9 \text{ м} \cdot \text{миль}. \end{aligned}$$

**Вычисление  $K_{орп3}$  и  $S_{орп3}$  способом № 3.2 с помощью формул (17, 18):**

$$K_{орп3} = K_{лок3} + (\pm\psi) = 57^{\circ},9 + (-31^{\circ},4) = 57^{\circ},9 - 31^{\circ},4 = 26^{\circ},5;$$

$$S_{орп3} = S_{орп2} + (\pm\Delta S'_2) = 6279,9 + (-5,0) = 6274,9.$$

По результатам всех вычислений составляем таблицы 3 и 4.

$$\varphi_n = 0^{\circ}00',000; \quad \lambda_n = 0^{\circ}00',000; \quad \varphi_k = 60^{\circ}00',000N; \quad \lambda_k = 120^{\circ}00',000E.$$

Таблица 3

Способ №1.1		Способ №1.1		Способ №1.1		Способ №1.1		Способ №1.1	
$K_{лок1}$	$S_{лок1}$	$K_{лок2}$	$S_{лок2}$	$K_{лок3}$	$S_{лок3}$	$K_{лок4}$	$S_{лок4}$	$K_{лок5}$	$S_{лок5}$
57 <sup>0</sup> ,8	6763,0	57 <sup>0</sup> ,8	6775,1	57 <sup>0</sup> ,9	6784,4	57 <sup>0</sup> ,9	6796,6	57 <sup>0</sup> ,9	6771,1

Таблица 4

Способ №1.1		Способ №1.1		Способ №1.1	
$K_{лок1}$	$S_{лок1}$	$K_{лок2}$	$S_{лок2}$	$K_{лок3}$	$S_{лок3}$
26 <sup>0</sup> ,6	6268,7	26 <sup>0</sup> ,6	6279,9	26 <sup>0</sup> ,5	6274,9

Вид программного обеспечения судовой ЭКС определяют путем сравнения направления и расстояния, вычисленных счетно-решающим устройством судовой ЭКС, с направлениями и расстояниями, значения которых приведены в таблицах 3, 4. Возможны следующие виды программного обеспечения судовой ЭКС:

Программное обеспечение № 1, когда  $K_{лок}$  и  $S_{лок}$  вычисляются способом №1.1, а  $K_{орт}$  и  $S_{орт}$  вычисляются способом № 1.2, так как математической основой вычисления этими способами является земной шар, длина одной минуты дуги большого круга которого равна одной морской миле.

Программное обеспечение № 2, когда  $K_{лок}$  и  $S_{лок}$  вычисляют способом № 2.1, а  $K_{орт}$  и  $S_{орт}$  вычисляются способом № 2.2, так как математической основой вычисления этими способами является земной шар, радиус которого равен длине большой полуоси WGS-84.

Программное обеспечение № 3, когда  $K_{лок}$  и  $S_{лок}$  вычисляются способом № 3.1, а  $K_{орт}$  и  $S_{орт}$  вычисляются способом № 1.2, так как математической основой вычисления этими способами является земной шар, длина одной минуты дуги большого круга которого равна одной морской миле.

Программное обеспечение № 4, когда  $K_{лок}$  и  $S_{лок}$  вычисляются способом № 4.1, а  $K_{орт}$  и  $S_{орт}$  вычисляются способом № 2.2, так как математической основой вычисления этими способами является земной шар, радиус которого равен длине большой полуоси WGS-84.

Программное обеспечение № 5, когда  $K_{лок}$  и  $S_{лок}$  вычисляются способом № 5.1, а  $K_{орт}$  и  $S_{орт}$  вычисляются способом № 3.2, так как математической основой вычисления этими способами является земной сфероид WGS-84.

Таким образом, тестирование программного обеспечения судовой ЭКС по вычислению направления и расстояния между маршрутными точками с координатами

$$\varphi_n = 0^{\circ}00',000; \quad \lambda_n = 0^{\circ}00',000; \quad \varphi_k = 60^{\circ}00',000N; \quad \lambda_k = 120^{\circ}00',000E.$$

производят с помощью таблиц 3 и 4. Эти таблицы допустимо применять для тестирования программного обеспечения судовой ЭКС, когда геодезической основой судовой электронной карты является любой другой земной сфероид, отличный от WGS-84, так как результаты вычисления направления и расстояния на базе различных по форме и размеру земных сфероидов отличаются на сотые доли градуса и десятые доли морской мили соответственно, что для большой протяженности маршрута является пренебрежимо малой величиной.

Если по результатам тестирования судовой ЭКС имеет программное обеспечение № 1 то для получения длины локсодромии между маршрутными точками на земном сфероиде – табличное значение  $S_{лок1}$  исправляют поправкой  $\Delta S_1$  (табл. 2), а для получения длины геодезической линии – табличное значение  $S_{опт1}$  исправляют поправкой  $\Delta S'_1$  (табл. 1). Расстояния, вычисленные счетно-решающим устройством судовой ЭКС с программным обеспечением № 2-4, исправляют соответственно поправкам  $\Delta S_2$  и  $\Delta S'_2$ ;  $\Delta S_3$  и  $\Delta S'_3$ ;  $\Delta S_4$  и  $\Delta S'_4$ .

Локсодромический и начальный ортодромический курс, вычисленный счетно-решающим устройством судовой ЭКС, поправкой не исправляют, так как погрешность вычисления этих направлений не превышает величины  $(0,1-0,2)^{\circ}$ .

Допустим локсодромическое расстояние между точками 0 и 1 созданного электронного маршрута  $RL=6796,6$  м-миль (табл. 5), а ортодромическое расстояние между этими точками  $GC=6279,9$  м-миль (табл. 6).

Таблица 5

BIL-FLSG	0	1
Name		
Lat	0°00.000	50°00.000 N
Lon	0°00.000	120°00.000 E
XTE		0.10 m
RL/GC		RL
Course		57.9°
Distance		6796,6 nm
Sum distance		6796,6 nm

Таблица 6

BIL-FLSG	0	1
Name		
Lat	0°00.000	50°00.000 N
Lon	0°00.000	120°00.000 E
XTE		0.10 m
RL/GC		GL
Course		26.6°
Distance		6279,9 nm
Sum distance		6279,9 nm

С помощью таблиц 3 и 4 определяем способы вычисления, которые заложены в программном обеспечении судовой ЭКС:

- локсодромическое расстояние ( $RL$ ) 6796,6 nm вычислено способом № 4.1.

- ортодромическое расстояние ( $GC$ ) 6279,39 nm вычислено способом № 2.2.

Таким образом, судовая ЭКС имеет программное обеспечение № 4 и поэтому длину локсодромии между точками 0-1 на земном сфероиде определяют с помощью поправки  $\Delta S_4 = -4$  из таблицы 2, а длину геодезической линии между этими точками определяют с помощью поправки  $\Delta S'_2 = -5$  из таблицы 1:

$$S_{лок5} = S_{лок4} + (\pm \Delta S_4) = 6736,6 + (-4) = 6736,6 - 4 = 6732,6 \text{ м} \cdot \text{миль},$$

$$S_{орт3} = S_{орт2} + (\pm \Delta S'_2) = 6279,9 + (-5) = 6274,9 \text{ м} \cdot \text{миль}.$$

При выборе альтернативного пути на трансокеанском участке маршрута перехода учитывают выигрыш в расстоянии при движении судна по ортодромии в сравнении с движением по локсодромии:  $\Delta S = S_{лок} - S_{орт}$ . В нашем примере счетно-решающее устройство судовой ЭКС вычисляет этот выигрыш с погрешностью 20 м·миль:

$$\Delta S_1 = S_{лок4} - S_{орт2} = 6796,6 - 6279,9 = 516,7 \text{ м} \cdot \text{миль},$$

$$\Delta S_2 = S_{лок5} - S_{орт3} = 6771,1 - 6274,9 = 496,2 \text{ м} \cdot \text{миль},$$

$$\Delta = \Delta S_1 - \Delta S_2 = 516,7 - 496,2 = 20,5 \text{ м} \cdot \text{миль}.$$

**Выводы.** Анализ таблиц 1 и 2 показывает, что погрешность вычисления локсодромического и ортомического расстояния между маршрутными точками счетно-решающим устройством судовых ЭКС не

превышает величины, которая составляет 0,7% длины локсодромии на поверхности сфероиды (7 м·миль на каждую тысячу морских миль).

Однако погрешность вычисления выигрыша в расстоянии при плавании по ортодромии в сравнении с плаванием по локсодромии достигает 100 м·миль, что может негативно повлиять на принятие решения по выбору альтернативного пути на трансокеанском участке маршрута перехода.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев В.И., Григорян В., Ктенин В.А. Навигация и лоция: учебник для вузов / В.И. Дмитриев. – М.: ИКЦ «Академ книга», 2004. – 471 с.
2. Мореходные таблицы 1975 г. (МТ-75). – Изд. ГУНиО МО РФ.
3. BROWN'S NAUTICAL ALMANAH.: PUBLISHED BY: BROWN, SON FERGUSON, LTD, GLASGOV, G-41 2SD.
4. Спешилов В.М. Вычисление длины локсодромии и ортодромии для протяженных маршрутов плавания с учетом сфероидичности Земли // Науковий вісник ХДМІ, 2010. – № 1(2). – С. 56–61.

#### **Спешилов В.М. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ**

*Похибка обчислення напрямку та відстані між поворотними точками електронного маршруту переходу залежить від виду програмного забезпечення суднової електронної картографічної системи (ЕКС). Методика визначення програмного забезпечення суднової ЕКС дозволяє оцінити точність створеного електронного маршруту переходу за напрямком і відстанню.*

*Ключові слова: програмне забезпечення суднової електронної картографічної системи, точність електронного маршруту переходу за напрямком і відстанню.*

#### **Speshylov V.M. METHODOLOGY OF DETERMINATION OF SOFTWARE OF ELECTRONIC CHART DISPLAY SYSTEMS FOR CALCULATION OF DIRECTION AND DISTANCE BETWEEN TURNING POINTS OF TRANSIT ROUTE**

*Inaccuracy of calculation of direction and distance between turning points of electronic transit route depends on the type of software of Ship Electronic Chart Display System (ECDS). Methodology of determination of software for Ship Electronic Chart Display Systems allows to make an estimate the accuracy of created electronic transit route by direction and distance.*

*Key words: software of Electronic Chart Display Systems, accuracy of electronic transit route by direction and distance.*