

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-941-950

THE BEARINGS AND DISTANCES ISOLINES COMBINATIONS OF THE NAVIGATIONAL LANDMARKS PAIR FOR THE VESSEL FIXED POSITION DETERMINATION

A. S. Vas'kov¹, A. A. Mironenko²

¹ — Admiral Ushakov State Maritime University, Novorossisk, Russian Federation

² — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The issues of applying basic navigation parameters (bearing and distance), and their isolines traditionally used in navigation practice in coastal waters are studied in the paper. A new distinctive feature is the use of isolines combinations (three distance arcs, two isoazimuths, a hyperbola and an ellipse) based on measured bearings and distances to the pair of landmarks to obtain the vessel fixed positions with high precision. The traditional navigation methods (the theory of isolines, the generalized method of lines position, the method of least squares) are involved as a mathematical framework. The mathematical argumentation and the isolines characteristics of bearings and distances, their combinations (difference and sum of distances, difference of bearings) are given. The solutions of the surplus equations of the lines position under random error influence by the least squares method and the accuracy assessment of the vessel fix position by the radial error including the reduced variant to compensate the systematic errors are suggested. The principal points of the research are supported by the graphic interpretation, and the given expressions are adjusted to the practical application and navigation systems software development. The computer simulation that shows the radial error of the fixed position by seven position lines is at least two times less than by any pair of position lines has been carried out. The formalization of the proposed methods in the automatic navigation systems or in autonomous ship control systems will enable the navigator on board or at operating the vessel remotely to solve the problems of the navigation information processing in coastal and congested waters on a new level.

Keywords: navigation parameter, distance arc, isoazimuth, ellipse, hyperbola, position line, least squares method, vessel fixed position, radial error.

For citation:

Vas'kov, Anatoliy S., and Aleksandr A. Mironenko. "The bearings and distances isolines combinations of the navigational landmarks pair for the vessel fixed position determination." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.6 (2023): 941–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-941-950.

УДК 656.61.052.4

КОМБИНАЦИИ ИЗОЛИНИЙ ПЕЛЕНГОВ И ДИСТАНЦИЙ ПАРЫ НАВИГАЦИОННЫХ ОРИЕНТИРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБСЕРВОВАННОГО МЕСТА СУДНА

А. С. Васьков¹, А. А. Мироненко²

¹ — ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова», Новороссийск, Российская Федерация

² — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Российская Федерация

В работе исследованы варианты комбинирования основных навигационных параметров (пеленг и дистанция) и их изолиний, традиционно применяемых в практике судовождения в условиях прибрежного плавания. Рассмотрена новая отличительная особенность, такая как использование комбинаций изолиний (три окружности, две изопеленги, гипербола и эллипс), полученных по измеренным пеленгам и дистанциям до пары ориентиров для определения координат обсервованного места судна с избыточной точностью. В качестве математического аппарата задействованы классические методы навигации (теория изолиний, обобщенный метод линий положения, метод наименьших квадратов). Дано математическое обоснование

и характеристики изолиний исходных параметров: пеленгов и дистанций, их комбинации (разность и сумма дистанций, разность пеленгов). Предложены решения исходных избыточных уравнений линий положения методом наименьших квадратов при гипотезе действия случайных погрешностей измерений и редуцированных вариантов уравнений линий положения для компенсации систематических погрешностей с оценкой точности обсервованного места судна радиальной погрешностью. Основные положения исследования подкреплены графической интерпретацией, а приведенные выражения доведены до уровня непосредственного практического применения и разработки программного обеспечения систем навигации. Выполнено компьютерное моделирование вариантов решения уравнений линий положения, показывающее, что радиальная погрешность обсервованного места судна по семи линиям положения возможных комбинаций пеленгов и дистанций пары ориентиров как минимум на порядок (в 10 раз) меньше, чем любая из пар линий положения. Формализация предлагаемых методов в автоматических навигационных комплексах или системах управления автономными судами позволит судоводителю на борту и управляющему судном дистанционно решать задачи обработки соответствующей навигационной информации пар ориентиров в прибрежных и стесненных районах плавания на качественно новом уровне.

Ключевые слова: навигационный параметр, изостадия, изоазимут, эллипс, гипербола, линия положения, метод наименьших квадратов, обсервованное место судна, радиальная погрешность.

Для цитирования:

Васьков А. С. Комбинации изолиний пеленгов и дистанций пары навигационных ориентиров для определения обсервованного места судна / А. С. Васьков, А. А. Мироненко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 6. — С. 941–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-941-950.

Введение (Introduction)

В исследованиях [1]–[3] выполнен подробный анализ оперативного контроля обеспечения безопасности движения судна по запланированному маршруту (программной траектории (ПТ)) в стесненных водах с помощью использования изолиний измеряемых навигационных параметров (НП) — пеленгов и дистанций до навигационных ориентиров или их комбинации — технологии параллельной индексации (ПИ). На основе результатов исследования и практики судовождения [4]–[7] обоснована более надежная идентификация ориентиров и, следовательно, навигационной обстановки при использовании двух характерно расположенных ориентиров. Измерения НП по двум ориентирам позволяют исключить ошибки опознавания, получить не только ведущие, контрольные и ограждающие изолинии (линии положения (ЛП)) для оперативного контроля процесса движения судна, но и координаты обсервованного места судна (ОМС).

Целью настоящей публикации является исследование возможности применения дополнительных типов изолиний, образованных различными комбинациями измеренных исходных НП — пеленгов и дистанций пары навигационных ориентиров.

В данном случае могут быть получены следующие варианты изолиний: окружности (по дистанциям до ориентиров — изостадии и горизонтальному углу между ориентирами по разности двух пеленгов — изогона); изопеленги / ортодромии (по прямым и обратным пеленгам ориентиров, соответственно); софокусные гиперболы (по разностям дистанций до ориентиров) и эллипсы (по сумме дистанций до ориентиров). Отдельные аспекты применения софокусных гипербол и эллипсов для определения места судна на поверхности сферы рассматривались в исследовании [8]. Таким образом, одномоментное и совместное измерение пеленгов и дистанций до пары навигационных ориентиров позволяет получить избыточные изолинии для определения координат ОМС и контроля параметров движения судна по ПТ — в общем случае семь (три окружности, два изопеленга, гипербола и эллипс).

Горизонтальный угол, или разность пеленгов пары ориентиров, широко использовался в классической морской навигации до появления радионавигационных систем навигации, а разность дистанций пары ориентиров являлась основным навигационным параметром гиперболических радионавигационных систем, построенных на основе различных принципов ее измерения [4], [6]. Пары навигационных ориентиров могут выбираться вручную или с помощью специально разработанных программных приложений, например, для современных ECDIS. Непрерывные изме-

$$R = \frac{d}{2 \sin \gamma}; g_{\gamma} = 57,3 \frac{d}{D_A D_B}; \gamma = |\Pi_A - \Pi_B| = \text{const}; \gamma = \Pi_A + \delta; \text{ctg } \delta = \frac{D_A \sin \gamma}{D_B - D_A \cos \gamma}, \quad (3)$$

где x_i, y_i, x_o, y_o, R — прямоугольные координаты ориентиров, смещения центра и радиус окружности — изолиний, мили;

D_A, D_B, d — дистанции до ориентиров и базовое расстояние, мили;

$\Pi_A, \Pi_B, \gamma, \delta$ — пеленги на ориентиры, горизонтальный угол между ориентирами и вспомогательный угол, °;

$\tau_D, \tau_{\gamma}, g_D, g_{\gamma}$ — направления и модули градиентов дистанций и горизонтального угла.

Изолинии — изопеленги для НП — прямого пеленга:

$$\Pi_i = \arctg \frac{y_i - y_c}{x_i - x_c}; \Pi_i = (\Pi_A, \Pi_B) = \text{const}; g_{\Pi(A, B)} = \frac{57,7^\circ}{D_{A, B}}, \text{ } ^\circ/\text{мили}; \tau_{\Pi(A, B)} = \Pi_i - 90^\circ, \quad (4)$$

где $\tau_{\Pi(A, B)}, g_{\Pi(A, B)}$ — направления и модули градиентов пеленгов, °, °/мили; x_c, y_c — прямоугольные координаты счислимого места судна, мили.

Изолинии — гиперболы для НП — разности дистанций:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1; \frac{(x - x_o)^2}{a^2} - \frac{(y - y_o)^2}{b^2} = 1; \quad (5)$$

$$a = \frac{\Delta D}{2} = \frac{D_A - D_B}{2} = \text{const}; b = \sqrt{\frac{d^2}{4} - a^2}; e = \frac{d}{2a};$$

$$\tau_{\Delta D} = \Pi_{cp} \pm 90^\circ = \frac{\Pi_A + \Pi_B}{2} \pm 90^\circ; g_{\Delta D} = \left| 2 \sin \frac{w}{2} \right|; w = \Pi_A - \Pi_B, \quad (6)$$

где a, b, e — соответственно большая, малая полуоси и эксцентриситет гиперболы;

$\tau_{\Delta D}, g_{\Delta D}$ — соответственно направления и модули градиентов разности дистанций, °;

Π_{cp}, w — соответственно средний пеленг между ориентирами и базовый угол, °.

Изолинии — эллипса для НП — суммы дистанций:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1; \frac{(x - x_o)^2}{a^2} + \frac{(y - y_o)^2}{b^2} = 1; \quad (7)$$

$$a = \frac{D_A + D_B}{2} = \text{const}; b = \sqrt{a^2 - \frac{d^2}{4}}; a > 0,5d > b;$$

$$\tau_{\Sigma D} = \Pi_{cp} \pm 180^\circ = \frac{\Pi_A + \Pi_B}{2} \pm 180^\circ; g_{\Sigma D} = \left| 2 \cos \frac{w}{2} \right|, \quad (8)$$

где $\tau_{\Sigma D}, g_{\Sigma D}$ — направления и модули градиентов сумма дистанций, °.

Для уменьшения погрешностей изолиний (или ЛП), из-за исходных погрешностей измерений, необходимо, чтобы значения модулей градиентов изолиний были как можно больше, как следует из приведенного выражения:

$$m_{\text{ЛП}i} = \frac{m_i}{g_i}, \quad (9)$$

где $m_i, m_{\text{ЛП}i}$ — средние квадратические погрешности (СКП) измерений НП и ЛП;

g_i — модули градиентов ЛП (2)–(4), (6), (7).

Из выражений (3), (4), (6) для градиентов горизонтального угла, пеленга и разности дистанций такое условие (8) достигается выбором пар навигационных ориентиров, база которых находится как можно ближе к судну. Однако для модуля градиента изолинии эллипса (7) недопустимо, чтобы базовый угол был близок к 180° , при котором градиент будет равен нулю. Пересечение изолиний

пеленгов и дистанций по каждому из ориентиров, эллипса и гиперболы пары ориентиров, и, соответственно, их ЛП, всегда будет под углом 90° , т. е. имеет наилучшее значение с позиций влияния погрешностей на ОМС [13]–[15].

Решение задачи определения координат ОМС при избыточных ЛП может быть выполнено с применением обобщенного метода линий положения и метода наименьших квадратов (МНК), или непосредственным совместным решением уравнений изолиний (1), (4)–(7), а также с применением МНК. Переход от прямоугольных координат к любым другим (в частности, географическим) может быть выполнен с использованием методов, подробно изложенных в работе [17].

Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

Для применения обобщенного метода линий положения уравнения ЛП в системе координат, связанных с парой ориентиров, целесообразно представить в нормальном виде, чтобы привести единицы измерения исходных и косвенных НП к одинаковой размерности (морским милям):

$$\Delta x \cos \tau_i + \Delta y \sin \tau_i = l_i; \quad l_i = \frac{\Delta \text{НП}_i}{g_i}; \quad x_o = x_c + \Delta x; \quad y_o = y_c + \Delta y, \quad (10)$$

где $\Delta x, \Delta y$ — искомые поправки к счислимым координатам судна для получения обсервованных;
 $\Delta \text{НП}, l_i, \tau_i$ — разности измеренных (обсервованных) и счислимого значений НП соответственно, смещения ЛП относительно координат счислимого места судна (СМС), направления градиентов ЛП;
 x_c, y_c — координаты СМС;
 x_o, y_o — искомые координаты ОМС.

Для определения координат ОМС необходимо совместно решить минимум пару уравнений ЛП (9) по возможным сочетаниям из семи изолиний (ЛП). Радиальная погрешность ОМС по двум ЛП оценивается выражением

$$M_o = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{\text{ЛП1}}^2 + m_{\text{ЛП2}}^2}; \quad \theta = \tau_1 - \tau_2, \quad (11)$$

где θ — угол пересечения пар ЛП.

При гипотезе действия в уравнениях ЛП (10) только случайных погрешностей, после применения МНК к системе семи уравнений ЛП пары ориентиров с двумя искомыми поправками к СМС, получается система двух нормальных уравнений определения вероятнейших координат ОМС [13]–[16]:

$$\left. \begin{aligned} A_1 \Delta x + B_1 \Delta y &= L_1; \\ A_2 \Delta x + B_2 \Delta y &= L_2; \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$A_1 = \sum_{i=1}^n P_i \cos^2 \tau_i; \quad B_1 = A_2 = \sum_{i=1}^n P_i \sin \tau_i \cos \tau_i; \quad B_2 = \sum_{i=1}^n P_i \sin^2 \tau_i; \quad (13)$$

$$L_1 = \sum_{i=1}^n P_i l_i \cos \tau_i; \quad L_2 = \sum_{i=1}^n P_i l_i \sin \tau_i; \quad P_i = m_{\text{ЛП}_i}^{-2}; \quad n = 7;$$

$$\Delta x = \frac{B_2 L_1 - B_1 L_2}{\Delta}; \quad \Delta y = \frac{A_1 L_2 - A_2 L_1}{\Delta}; \quad \Delta = A_1 B_2 - A_2 B_1, \quad (14)$$

где A, B, L_i — коэффициенты нормальных уравнений ЛП (НЛП);

P_i — вес исходных ЛП;

n — количество исходных ЛП.

Радиальная погрешность вероятнейшего ОМС оценивается через СКП ЛП с единичным весом, полученным по вероятнейшим поправкам относительно ОМС после его определения (12), следующим выражением:

$$M_o = m_1 \sqrt{\frac{A_1 + B_2}{\Delta}} = \sqrt{\frac{\sum P_i}{\Delta}}; \quad (15)$$

$$m_1 = \sqrt{\frac{\sum P_i (l_i - \Delta x \cos \tau_i - \Delta y \sin \tau_i)^2}{n-2}},$$

где m_1 — СКП ЛП с единичным весом относительно вероятнейшего ОМС.

Решения системы уравнений (12)–(14) могут быть представлены в векторно-матричной форме, элементы которых формируются из составляющих исходных уравнений ЛП (10), что позволяет также исключить возможные проблемы, когда главный определитель системы (14) может оказаться равным нулю [11], [13], [14]:

$$PA\Delta X = PL; \Delta X = (A^T P A)^{-1} A^T P^{-1} L; \quad (16)$$

$$\Delta X = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}; A^T = \begin{bmatrix} \cos \tau_1 & \cos \tau_2 & \dots & \cos \tau_n \\ \sin \tau_1 & \sin \tau_2 & \dots & \sin \tau_n \end{bmatrix};$$

$$A = \begin{bmatrix} \cos \tau_1 & \sin \tau_1 \\ \cos \tau_2 & \sin \tau_2 \\ \dots & \dots \\ \cos \tau_n & \sin \tau_n \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \dots \\ l_n \end{bmatrix}; P = \begin{bmatrix} 1/m_{\text{ЛП}_1}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/m_{\text{ЛП}_2}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/m_{\text{ЛП}_n}^2 \end{bmatrix},$$

где ΔX — матрица-столбец искоемых неизвестных ($\Delta x, \Delta y$);

A, A^T — матрица коэффициентов исходных ЛП и ее транспонированная матрица;

L — матрица-столбец переносов ЛП;

P, P^{-1} — прямая и обратная матрицы весов исходных ЛП.

При совместном действии в исходных уравнениях ЛП (10) случайных и систематических погрешностей их коэффициенты перед применением МНК редуцируются соответствующими им средними значениями [14], [16], отдельно по каждому НП. В результате получаются НЛП (12), коэффициенты которых, в отличие от (13), принимают следующий вид и могут использоваться при любых гипотезах действия типов погрешностей:

$$\begin{aligned} A_1 &= \sum_1^n P_i \left(\cos \tau_i - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right)^2; \quad B_1 = A_2 = \sum_1^n P_i \left(\cos \tau_i - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right) \left(\sin \tau_i - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right); \\ B_2 &= \sum_1^n P_i \left(\sin \tau_i - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right)^2; \\ L_1 &= \sum_1^n P_i \left(\cos \tau_i - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right) \left(l_i - \frac{\sum_1^n l_i}{n} \right); \quad L_2 = \sum_1^n P_i \left(\sin \tau_i - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right) \left(l_i - \frac{\sum_1^n l_i}{n} \right). \end{aligned} \quad (17)$$

Радиальная погрешность вероятнейшего ОМС в данном случае оценивается выражением (15), но с СКП единичным весом, полученным по ЛП с редуцированными коэффициентами (17):

$$m_1 = \sqrt{\frac{\sum_1^n P_i \left(\left(l_i - \frac{\sum_1^n l_i}{n} \right) - \Delta x \left(\cos \tau_i - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right) - \Delta y \left(\sin \tau_i - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right) \right)^2}{n-2}}.$$

Для векторно-матричного вида уравнений (16) при совместном действии случайных и систематических погрешностей для разнородных НП при решении системы уравнений НЛП (12) с редуцированными коэффициентами (17) элементы матриц и векторов примут следующий вид:

$$A^B = \begin{bmatrix} \left(\cos \tau_1 - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right) \left(\cos \tau_2 - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right) \dots \left(\cos \tau_n - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right) \\ \left(\sin \tau_1 - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right) \left(\sin \tau_2 - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right) \dots \left(\sin \tau_n - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right) \end{bmatrix};$$

$$A = \begin{bmatrix} \left(\cos \tau_1 - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right) \left(\sin \tau_1 - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right) \\ \left(\cos \tau_2 - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right) \left(\sin \tau_2 - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right) \\ \dots \\ \left(\cos \tau_n - \frac{\sum_1^n \cos \tau_i}{n} \right) \left(\sin \tau_n - \frac{\sum_1^n \sin \tau_i}{n} \right) \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} l_1 - \frac{\sum_1^n l_i}{n} \\ l_2 - \frac{\sum_1^n l_i}{n} \\ \dots \\ l_n - \frac{\sum_1^n l_i}{n} \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Работоспособность представленных методов и алгоритмов определения ОМС апробирована компьютерным моделированием для следующих исходных данных, снятых с крупномасштабной карты и представленных в таблице.

Исходные данные определения координат ОМС судна по паре ориентиров

Ориентир	Пеленг, °		Дистанция, мили		Угол, °		ΔD , мили		ΣD , мили		База, мили	Координаты, мили	
	Π_A / Π_B	m_Π	D_A / D_B	m_D	γ	m_γ	ΔD	$m_{\Delta D}$	ΣD	$m_{\Sigma D}$	d	x	y
$A (F_1)$	45,0	0,5	5,66	0,015	121,0	0,1	10,83	0,015	22,15	0,015	20,00	10,00	0,00
$B (F_2)$	166,0	0,5	16,49	0,015								-10,00	0,00
СМС												6,00	-4,00

Результаты моделирования определения координат ОМС с соответствующими радиальными погрешностями представлены для сравнения на планшете (рис. 2), графики — на рис. 3.

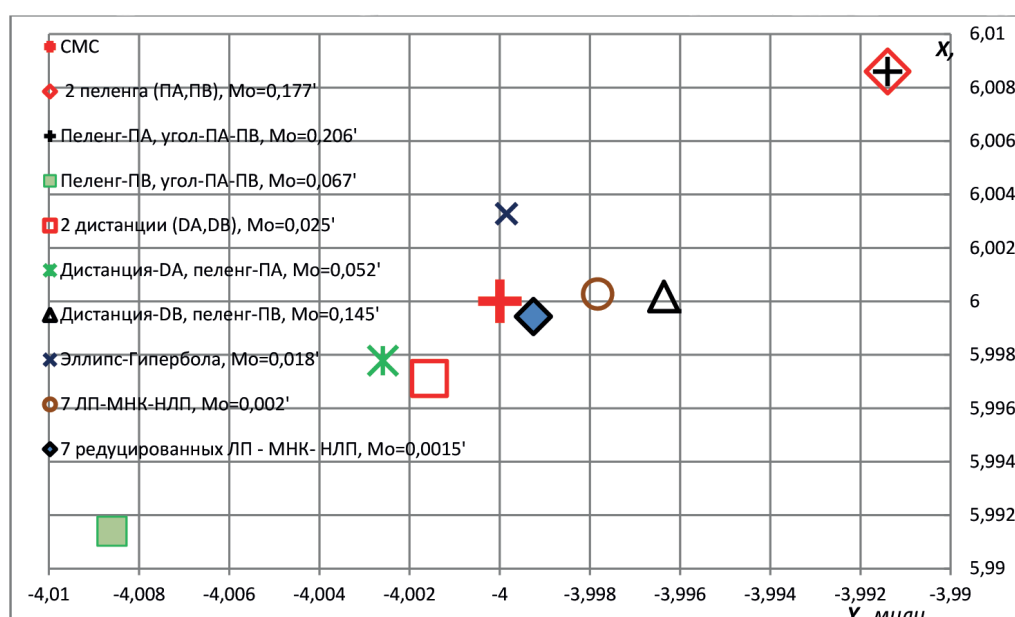


Рис. 2. Результаты определения координат ОМС при различных сочетаниях НП пары ориентиров

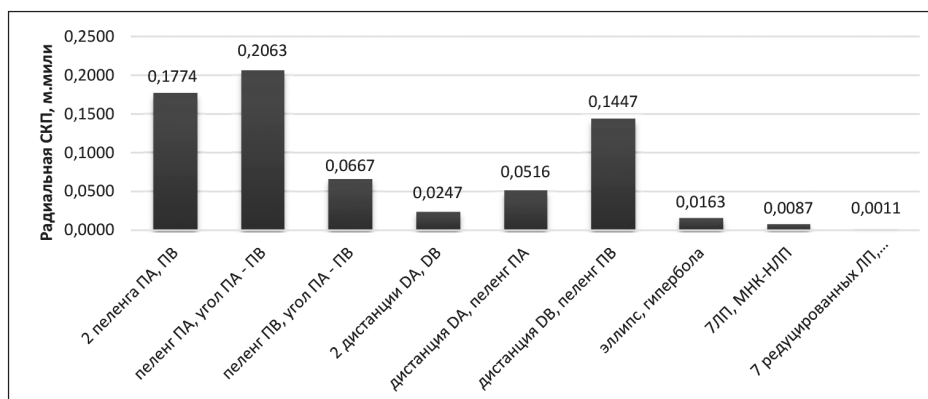


Рис. 3. Радиальные погрешности определения координат ОМС при различных сочетаниях НП пары ориентиров

Решения осуществлялись по двум уравнениям ЛП (10) при различных вариантах сочетаний измеренных НП и по всем семи ЛП пары ориентиров по уравнениям НЛП (12) для получения вероятнейших ОМС с гипотезами действия как только случайных погрешностей, так и совместно случайных и систематических погрешностей.

Учитывая различные СКП НП и значения модулей их градиентов (2), (4), (6), (7) координаты ОМС, полученные по первой итерации, по двум ЛП имеют разброс. Как и следовало ожидать, наибольшие отклонения от вероятнейших ОМС и радиальные погрешности наблюдаются у ОМС по двум пеленгам, пеленгам и горизонтальному углу ввиду малых значений модулей их градиентов из-за дистанций до ориентиров. Из сравнения видно, что вероятнейшие ОМС имеют радиальные погрешности на два порядка меньше по сравнению с ОМС по любым двум ЛП.

Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Применение пары ориентиров для определения координат ОМС позволяет однозначно опознавать эти ориентиры по характерному направлению их базы и дистанции между ориентирами в отличие от использования одного ориентира. Предлагаемые методы могут быть успешно реализованы с помощью современных существующих технических средств и программного обеспечения: РЛС–САРП и ECDIS. Данный аспект важен в целях повышения безопасности традиционного и перспективного автономного судовождения в стесненных водах.

2. В перспективе подлежит изучению проблема наилучшего выбора взаимного расположения пар навигационных ориентиров из возможных вариантов с целью повышения точности ОМС от характерного расположения отдельных изолиний при использовании их в качестве ведущих, контрольных и ограждающих ЛП в соответствии с конкретным участком программной траектории движения и навигационных условий плавания судна.

3. Актуальным является дальнейшее исследование одновременного использования пар трех-четырех ориентиров с измерением и сопровождением только пеленгов и дистанций. При этом количество изолиний для определения координат ОМС увеличивается в разы по сравнению с одной парой ориентиров, что обеспечит наилучшее расположение изолиний (ЛП) относительно опасностей и программной траектории движения судна и, соответственно, повысит точность и надежность ОМС, а также безопасность плавания при традиционном и автономном судовождении в стесненных водах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васьков А. С. Контроль движения судна по навигационным параметрам и параллельным индексам / А. С. Васьков, А. А. Мироненко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 6. — С. 826–836. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-826-836.

2. Васьков А. С. Планирование и контроль криволинейной траектории движения судна / А. С. Васьков, А. А. Мироненко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 401–415. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-401-415.
3. Васьков А. С. Методы планирования ограждения опасностей для контроля в системах управления движением судна / А. С. Васьков, А. А. Мироненко // Морские интеллектуальные технологии. — 2023. — № 3–1 (61). — С. 110–119. DOI: 10.37220/MIT.2023.61.3.036.
4. Баранов Ю. К. Навигация / Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк, В. А. Логиновский, Ю. А. Песков. — СПб.: Лань, 1997. — 512 с.
5. Песков Ю. А. Руководство по «Организации мостика» для судов / Ю. А. Песков. — Новороссийск: НГМА, 2002. — Т. 1. — 146 с.
6. Практическое кораблевождение: для командиров кораблей, штурманов и вахтенных офицеров. Книга первая / Под ред. А. П. Михайловского. — СПб.: ГУН и О, 1889. — 896 с.
7. Swift A. I. Bridge team management. A Practical Guide / A. I. Swift. — Southall, Meddlesex: O'Sullivan Printing, 2004. — 118 p.
8. Санаев А. И. Аналитическое определение места судна в прибрежной зоне / А. И. Санаев, В. И. Меньшиков, М. А. Пасечников // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. — 2002. — Т. 5. — № 2. — С. 195–202.
9. Bole A. Radar and ARPA Manual Radar, AIS and Target Tracking for Marine Radar Users / A. Bole, A. Wall, A. Norris. — UK, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013. — 552 p.
10. Мироненко А. А. Методология формирования навигационной обстановки и программирования движений судна / А. А. Мироненко. — Новороссийск: РИО ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2016. — 162 с.
11. Афанасьев Б. В. Расчет координат места судна: учеб. пособие по МОС / Б. В. Афанасьев, В. В. Афанасьев, В. А. Логиновский. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2020. — 84 с.
12. Логиновский В. А. Оценка вероятности нахождения места судна в геометрической фигуре погрешностей линий положения / В. А. Логиновский // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 161–171. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-161-171.
13. Кожухов В. П. Математические основы судовождения / В. П. Кожухов, А. М. Жухлин, В. Т. Кондрашихин [и др.]. — М.: Транспорт, 1993. — 200 с.
14. Васьков А. С. Математические основы судовождения / А. С. Васьков, А. А. Мироненко. — СПб.: Лань, 2023. — 244 с.
15. Груздев Н. М. Оценка точности морского судовождения / Н. М. Груздев. — М.: Транспорт, 1989. — 191 с.
16. Родионов А. И. Автоматизация судовождения / А. И. Родионов, А. Е. Сазонов. — М.: Транспорт, 1992. — 192 с.
17. Васьков А. С. Взаимосвязь систем координат положения и кинематических характеристик движения судна / А. С. Васьков, А. А. Мироненко // Эксплуатация морского транспорта. — 2022. — № 1(102). — С. 28–33. DOI: 10.34046/aumsuomtl02/6.

REFERENCES

1. Vas'kov, Anatoliy S., and Aleksandr A. Mironenko. "The ship motion control by navigational parameters and parallel indexes." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.6 (2022): 826–836. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-826-836.
2. Vas'kov, Anatoliy S., and Aleksandr A. Mironenko. "Planning and control of the ship curvilinear route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.3 (2023): 401–415. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-401-415.
3. Vas'kov, A.S., and A. A. Mironenko. "The methods for planning no-go area clearing lines in the vessel's control systems." *Marine intellectual technologies* 3–1(61) (2023): 110–119. DOI: 10.37220/MIT.2023.61.3.036.
4. Baranov, Yu.K., M. I. Gavryuk, V. A. Loginovskii, and Yu. A. Peskov. *Navigatsiya*. SPb.: Lan', 1997.
5. Peskov, Yu. A. *Rukovodstvo po «Organizatsii mostika» dlya sudov*. Vol. 1. Novorossiisk: NGMA, 2002.
6. Mikhailovskii, A. P. *Prakticheskoe korablevozhdenie: dlya komandirov korablei, shturmanov i vakhtennykh ofitserov. Kniga pervaya*. SPb.: GUN i O, 1889.
7. Swift, A. I. *Bridge team management. A Practical Guide*. Southall, Meddlesex: O'Sullivan Printing, 2004.

8. Sanaev, A.I., V. I. Men'shikov, and M. A. Pasechnikov. "Analiticheskoe opredelenie mesta sudna v pribrezhnoi zone." *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* 5.2 (2002): 195–202.
9. Bole, A., A. Wall, and A. Norris. *Radar and ARPA Manual Radar, AIS and Target Tracking for Marine Radar Users*. UK, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013.
10. Mironenko, A. A. *Metodologiya formirovaniya navigatsionnoi obstanovki i programmirovaniya dvizhenii sudna*. Novorossiisk: RIO GMU im. adm. F. F. Ushakova, 2016.
11. Afanas'ev, B. V., V. V. Afanas'ev, and V. A. Loginovskii. *Raschet koordinat mesta sudna: Uchebnoe posobie po MOS*. SPb.: GMA im. adm. S. O. Makarova, 2020.
12. Loginovsky, Vladimir A. "Assessment of ship position probability in the geometrical figure of position lines errors." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.2 (2023): 161–171. DOI: 10.21821/2309–5180–2023–15–2–161–171.
13. Kozhukhov, V. P., A. M. Zhukhlin, V. T. Kondrashikhin, V. A. Loginovskii, and A. N. Lukin. *Matematicheskie osnovy sudovozhdeniya*. M.: Transport, 1993.
14. Vas'kov, A. S., and A. A. Mironenko. *Matematicheskie osnovy sudovozhdeniya*. SPb.: Lan', 2023.
15. Gruzdev, N. M. *Otsenka tochnosti morskogo sudovozhdeniya*. M.: Transport, 1989.
16. Rodionov, A. I., and A. E. Sazonov. *Avtomatizatsiya sudovozhdeniya*. M.: Transport, 1992.
17. Vas'kov, A. S., and A. A. Mironenko. "Coordinate systems and vessel's movement kinematic characteristics interconnection." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1(102) (2022): 28–33.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Васьков Анатолий Семёнович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Государственный морской
университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»
353924, Российская Федерация, г. Новороссийск,
пр. Ленина, 93
e-mail: as.vaskov@mail.ru
Мироненко Александр Анатольевич —
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: alex_mironenko@mail.ru,
mironenkoaa@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vas'kov, Anatoliy S. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Ushakov State
Maritime University
93 Lenin Ave., Novorossisk, 353924,
Russian Federation
e-mail: as.vaskov@mail.ru
Mironenko, Aleksandr A. —
Dr. of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: alex_mironenko@mail.ru,
mironenkoaa@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 26 сентября 2023 г.
Received: September 26, 2023.