

**ZESZYTY NAUKOWE NR 2 (74)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE**

EXPLO-SHIP 2004

Евгений М. Лушников

**К вопросу о повышении точности радиолокационных
обсерваций и её оценки**

Ключевые слова: точность, обсервации, радары

В статье рассматривается вопрос повышения точности радиолокационных обсерваций путём перехода к разнородным дифференциальным линиям положения – изогонам и гиперболам. Предлагается простая методика построения отрезков таких линий положения. Приводится математическое описание оценки случайных погрешностей метода, приводится математическое выражение для расчёта направления градиента изогонны.

**To the Question on Increase of Accuracy
for Radar Observations and its Estimations**

Key words: accuracy, observations, radars

In article the question of accuracy increase for radar-tracking observations is considered by transition to diverse differential lines of position – to isogons and hyperboles. The simple technique of construction of such lines of position is offered. The mathematical description for an estimation of casual errors of a method is resulted; mathematical expression for calculation of a gradient direction of an isogons is resulted.

Введение

Современная морская навигация использует в качестве основных средств определения места судна спутниковые навигационные системы (СНС) и радары. Определения с использованием СНС полностью автоматизированы, что исключает участие штурмана в измерительном и вычислительном процессе и в этом смысле исключается человеческий фактор навигационной аварийности.

Иначе обстоит дело с обсервациями, выполненными по радарам. При плавании в узкостях и в условиях ограниченной видимости радар позволяет вести непрерывный контроль окружающей обстановки, обеспечивая высокую наглядность развития ситуации. Определение места по РЛС, как правило, осуществляется по пеленгу и дистанции или по двум и более дистанциям. Полученные обсервации могут быть отягощены систематическими и случайными погрешностями. В случаях, когда имеет место пониженное доверие к точности гирокомпаса, а так же и радара, необходимо принимать меры к исключению систематических погрешностей пеленгов и дистанций и к оценке точности полученного места. Если при использовании однородных линий положения исключение систематических погрешностей сопряжено со сложной процедурой установления соотношения случайных и систематических погрешностей, то радар даёт возможность уйти от этой проблемы использованием разнородных линий положения, имеющих нулевую корреляцию.

Известно общее положение о том, что систематические погрешности компенсируются при использовании дифференциальных методов измерения навигационного параметра. Так, горизонтальный угол между двумя навигационными ориентирами, рассчитанный как разность пеленгов, свободен от систематической погрешности гирокомпаса. Конечно, предлагаемые сегодня методы прокладки отрезка изогон не отличаются особой простотой и доступностью, и это, как бы является платой за повышение точности.

Две дистанции до навигационного ориентира так же позволяют получить разностный параметр ΔD , который свободен от систематической погрешности измерения дистанции. И здесь плата за повышение точности линии положения путём перехода к гиперболической линии положения состоит в усложнении построения отрезка линии положения.

Пропагандируемые учебниками навигации способы прокладки таких линий положения не находят отклика у судоводителей и встретить в судовых журналах записи об использовании в качестве линий положения изогон и гипербол не представляется возможным, даже если в этом существует настоятельная необходимость.

Такое положение дел нельзя считать нормальным, но побудить судоводителя строить отрезки гипербол и изогон теми методами, которые пропагандирует современная учебная и научная литература, просто нереально.

Вопрос о приоритетности использования СНС и РЛС, в зависимости от точности наблюдений сегодня капитан, как правило, решает волевым методом на основе интуитивных предпосылок, поскольку точность наблюдений с РЛС автоматически не вычисляется.

Для решения всех этих вопросов необходима разработка простых и нетрудоёмких способов исключения систематических погрешностей и оценки величины случайных погрешностей наблюдений по РЛС.

Предлагаемые способы имеют целью решение этих вопросов средствами и методами доступными простому судоводителю на мостике судна.

1. Упрощённый способ построения отрезка ЛП по горизонтальному углу

Измеренные и приведённые к одному моменту радиолокационные пеленга РЛП₁ и РЛП₂ используются для вычисления горизонтального угла между навигационными ориентирами $\alpha = \text{РЛП}_1 - \text{РЛП}_2$.

Известно, что горизонтальному углу α соответствует круговая изолиния, проходящая через ориентиры А и В, и наблюдаемое место (рис. 1). Для построения отрезка линии положения (ЛП) по углу α необходимо получить две точки, через которые проходит ЛП в окрестности счислимого места. Первая точка С получается непосредственной прокладкой линий РЛП₁ и РЛП₂. Для получения второй точки С' каждый РЛП увеличивается, к примеру на 5°, в результате чего получается два изменённых РЛП:

$$\text{РЛП}_1' = \text{РЛП}_1 + 5^\circ$$

$$\text{РЛП}_2' = \text{РЛП}_2 + 5^\circ$$

Прокладка этих пеленгов на карте (рис.1) даёт точку С'. Соединение точек С и С' даёт отрезок линии положения горизонтального угла α .

Такая простая операция не требует существенных временных затрат и не может вызвать затруднений даже у самого неопытного штурмана. Если каждый из РЛП отягощён систематической погрешностью, то линия положения ЛП, найденная по горизонтальному углу α свободна от влияния этой погрешности.

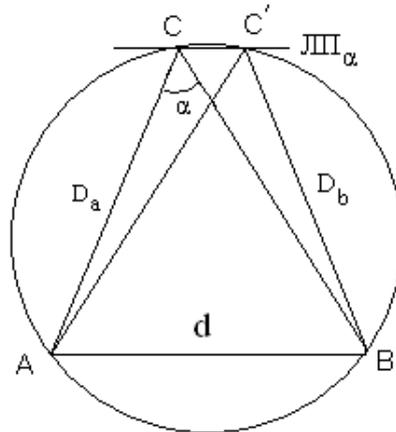


Рис. 1. Прокладка отрезка ЛП по горизонтальному углу α
 Fig. 1. The plotting of positions line by horizontal angle α

2. Упрощённый способ построения отрезка ЛП по разности расстояний

Известно, что разности расстояний $\Delta D = D_a - D_b$ соответствует гиперболическая линия положения, $\text{ЛП}_{\Delta D}$, в фокусах которой находятся навигационные ориентиры А и В (рис. 2).

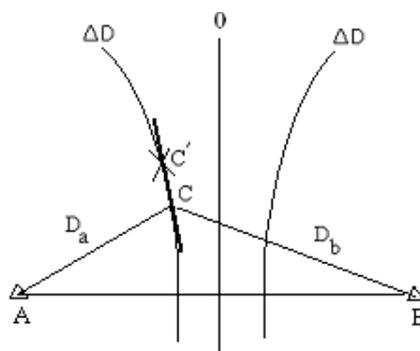


Рис. 2. Прокладка отрезка ЛП по разности расстояний ΔD
 Fig. 2. The plotting of positions line by difference of distances ΔD

Для построения отрезка гиперболической линии положения CC' с расстояниями D_a и D_b поступаем так же, как поступали с пеленгами. Из точки А и точки В радиусами D_a и D_b проводятся отрезки окружностей до

пересечения их в точке С. Для получения второй точки гиперболы каждая дистанция увеличивается, к примеру, на 1 милю, в результате чего получим:

$$D_a' = D_a + 1 \text{ м.м.}$$

$$D_b' = D_b + 1 \text{ м.м.}$$

Проложив на карте отрезки окружностей радиусами D_a' и D_b' , получим точку C' . Соединив точку С с точкой C' , получим отрезок ЛП_{ΔD}. И эта операция построения отрезка гиперболы исключительно проста и доступна для использования на мостике.

Две дифференциальных линии положения дают обследованное место свободное от систематических погрешностей пеленга и дистанции. Таким образом, самая главная часть задачи – исключение систематических погрешностей радиолокационных наблюдений решается без существенных усложнений процесса отыскания обследованного места.

3. Влияние случайных погрешностей измерений на точность обсервации

Оценка влияния случайных погрешностей измерений на точность полученной обсервации должна производиться обычными методами с учётом вида использованных линий положения. С учётом сказанного, круговая погрешность обсервации вычисляется по формуле:

$$m = \frac{1}{\sin \theta} \cdot \sqrt{n_\alpha^2 + n_{\Delta D}^2} \quad (1)$$

где:

- n_α и $n_{\Delta D}$ – смещения изогонны и гиперболы;
- θ – угол пересечения линий положения.

Величина переноса изогонны n_α находится из выражения:

$$n_\alpha = \frac{m_\alpha}{g} \quad (2)$$

где:

- m_α – стандартная погрешность горизонтального угла;
- g – градиент изогонны.

Горизонтальный угол α в данном случае находится из выражения

$$\alpha = \text{РЛП}_A - \text{РЛП}_B \quad (3)$$

а величина его стандартной погрешности из выражения

$$m_\alpha = \sqrt{m_{\text{РЛП}_A}^2 + m_{\text{РЛП}_B}^2} \quad (4)$$

Если одновременно выполняемые наблюдения считать равноточными, то тогда выражение (4) примет вид:

$$m_\alpha = 1,41 \cdot m_{\text{РЛП}} \quad (5)$$

Окончательно из выражения (2) с учётом (5) получается:

$$n_\alpha = \frac{1,41 m_{\text{РЛП}}}{g} = \frac{1,41 \cdot m_{\text{РЛП}} \cdot D_A \cdot D_B}{d} \quad (6)$$

Аналогичным образом находится смещение $n_{\Delta D}$:

$$n_{\Delta D} = \frac{1,41 m_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (7)$$

Окончательное выражение круговой погрешности места, полученного по гиперболе и изогоне с учётом выражений (5) и (6) принимает вид:

$$m = \frac{1}{\sin \theta} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m_{\text{РЛП}}^2 \cdot D_A^2 \cdot D_B^2}{d^2} + \frac{m_D^2}{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}} \quad (8)$$

или иначе:

$$m = \frac{1}{\sin \theta} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m_{\text{РЛП}}^2 \cdot h^2}{\sin^2 \alpha} + \frac{m_D^2}{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}} \quad (9)$$

где: h – расстояние до базовой линии между навигационными ориентирами.

В выражении (8) все величины определены, кроме величины угла пересечения изогонны с гиперболой θ . Для её отыскания необходимо знать направление градиентов этих линий. Направление $\tau_{\Delta D}$ градиента гиперболы определяется [1,2] формулой:

$$\tau_{\Delta D} = \frac{P_{\text{ЛП}}_A + P_{\text{ЛП}}_B}{2} \pm 90^\circ \quad (10)$$

Направление τ_α градиента изогонны в научной и учебной литературе до настоящего времени отсутствует. Полученные геометрическими построениями выражения направления градиента изогонны имеет вид:

$$\begin{aligned} \tau_\alpha &= P_{\text{ЛП}}_A - \frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{2D_A^2 \cdot \sin^2 \alpha}{d^2} \right) \\ \tau_\alpha &= P_{\text{ЛП}}_B + \frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{2D_B^2 \cdot \sin^2 \alpha}{d^2} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

Обе формулы в выражении (11) эквивалентны по своей сути. Величина угла θ вычисляется с использованием выражений (10) и (11) по одной из формул:

$$\begin{aligned} \theta = \tau_\alpha - \tau_{\Delta D} &= \frac{P_{\text{ЛП}}_A - P_{\text{ЛП}}_B}{2} \pm 90^\circ - \frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{2D_A^2 \cdot \sin^2 \alpha}{d^2} \right) \\ \theta = \tau_\alpha - \tau_{\Delta D} &= \frac{P_{\text{ЛП}}_B - P_{\text{ЛП}}_A}{2} \pm 90^\circ + \frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{2D_B^2 \cdot \sin^2 \alpha}{d^2} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Таким образом, формулы (12) восполняют пробел, мешавший аналитическому расчёту погрешности наблюдения с использованием изогон. Устранение этого пробела позволяет ставить в повестку дня создание алгоритма и программы автоматического решения задачи об исключении систематических погрешностей РЛС с последующим расчётом СКП.

Заключение

Разработка на предложенной математической основе алгоритма и программы автоматического исключения систематических погрешностей РЛС, с одновременной оценкой влияния случайных погрешностей существенно повысит точность навигации с использованием РЛС. Автоматизация этой задачи даст так же научное основание в выборе предпочтений наблюдениям с СНС или с радара.

Литература

1. Кожухов В.П., Жухлин А.М., Кондрашихин В.Т., Логиновский В.А., *Математические основы судовождения*, – М.: Транспорт, 1993. – 200 с.
2. Кожухов В.П., Григорьев В.В., Лукин С.М., *Математические основы судовождения*, – М.: Транспорт, 1980. – 231 с.
3. Lushnikov E., *Ship's navigational safety*, Szczecin: Maritime University 2001, 140 str.
4. Баранов Ю.К., Гаврюк М.И., Логиновский В.А., Песков Ю.А., *Навигация*, – Санкт-Петербург: Лань, 1997. – 508 с.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.

Recenzenci

prof. dr hab. inż. Józef Sanecki
prof. dr hab. inż. kpt.ż.w. Stanisław Gućma

Adres Autora

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Łusznikow
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nawigacji Morskiej
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin