

2. Kusunokawa, Ken-Ichi. On the two-dimensional compressible flow over a thin symmetric obstacle with sharp shoulders placed in an unbounded fluid and in a choked wind tunnel // J. Phys. Soc. Japan. – 1957. – 12, №9. – P. 1031–1041.
3. Хилтон У.Ф. Аэродинамика больших скоростей. – М.: Изд. иностр. лит. 1955. – 504 с.

*Аналізується термічне рівняння стану та термодинамічні особливості розширення та стиску води при русі з дозвуковими швидкостями. Розглядається проявлення стисливості води при русі тіл із дозвуковими швидкостями. Запропоновано правило перерахунку коефіцієнтів тиску при обтіканні тонкого профілю нестисливою рідиною на їхні значення при заданому числі  $M$  у дозвуковому діапазоні швидкостей. На відміну від правила Прандтля-Глауєрта запропонований підхід враховує термодинамічні властивості середовища. Наведено приклад розрахунку обтікання водою тонкого профілю при числах  $M < 1$ .*

*Ключові слова:* вода, стисливість, дозвукові швидкості, розрахунок навантажень.

*The thermal equation of a condition and thermodynamic features of expansion and water compressions are analyzed at movement with subsonic speeds. Water compressibility effect is considered at movement of bodies with subsonic speeds. The rule of recalculation of pressure factors is offered at a flow over a thin profile an incompressible liquid on their values at set number  $M$  in a subsonic range of speeds. Unlike Prandtl-Glauerts rule the offered approach considers thermodynamic properties of a liquid. The example of calculation of a water flow over thin profile at numbers  $M < 1$  is demonstrated.*

*Keywords:* water, compressibility, subsonic speeds, calculation of loads.

УДК 621.396.967

**Воробей В.И.**

### **ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ СИГНАЛА В СРЕДСТВАХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ПРОКЛАДКИ**

*Рассмотрены особенности измерения координат сигналов судовых навигационных радиолокационных станций для решения задачи предупреждения столкновения судов. Приведен сравнительный анализ качественных и количественных характеристик различных алгоритмов измерения координат с целью определения оптимального алгоритма для обработки информации в средствах автоматической радиолокационной прокладки.*

*Ключевые слова:* Радиолокация, измерение координат, обучение.

С пополнением морского флота судами возросли требования к безопасности движения, тесно связанной с проблемой предупреждения столкновений судов. Предупреждение столкновений осуществляется, в частности, посредством автоматизированной радиолокационной прокладки. Внедрение средств автоматизированной радиолокационной прокладки (САРП) является мощным фактором технико-экономической эффективности морского флота как отрасли народного хозяйства.

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе не достаточно полно освещены вопросы теории и практики построения САРП, в частности, измерения координат сигналов. В настоящей работе рассматриваются особенности измерения координат сигналов судовых навигационных радиолокационных станций для решения задачи предупреждения столкновений судов.

**Цель работы.** Разработка и исследование алгоритмов цифровой обработки радиолокационного сигнала при решении задач измерения координат объекта.

**Постановка задачи.** Для достижения поставленной цели необходимо провести сравнительный анализ качественных и количественных характеристик различных алгоритмов измерения координат.

**Алгоритмы измерения координат сигнала в условиях помех**

Число импульсов реального сигнала, отраженного от судна, не постоянно, а изменяется в зависимости от дальности до объекта, ракурса облучения, воздействия помех и т.д. В связи с этим в САРП применяется безвесовая обработка, не требующая информации о форме пачек.

Пусть сигнал поступает с выхода логического обнаружителя с фиксацией границ пачки  $f/m-k$ , в этом случае решение об обнаружении пачки принимается при поступлении на вход не менее  $f$  импульсов, находящихся на  $m$  смежных позициях.

Конец пачки фиксируется по наличию серии из  $k$  пропусков подряд. Тогда оценка пеленга сигнала может осуществляться путем определения положения середины пачки импульсов по следующим алгоритмам:

- 1) по пеленгу сигналов, фиксирующих начало и конец пачки

$$\hat{\Pi} = \frac{\Pi_n + \Pi_k}{2}, \tag{1}$$

где  $\hat{\Pi}$  – оценка пеленга объекта;

$\Pi_n$  – пеленг начального импульса пачки;

$\Pi_k$  – пеленг конечного импульса пачки.

- 2) по пеленгу конечного импульса пачки  $\Pi_k$  и ширине пачки  $\Delta\Pi$

$$\hat{\Pi} = \Pi_k - \left( \frac{N_{\Pi} - k + 1}{2} \right) \Delta\Pi, \tag{2}$$

где  $N_{\Pi}$  – число позиций, соответствующее ширине обнаруженной пачки;

$\Delta\Pi$  – цена дискрета по пеленгу.

- 3) по пеленгу сигналов, фиксирующих начало и конец пачки с учетом суммарной систематической ошибки в оценке середины пачки

$$\hat{\Pi} = \frac{\Pi_n + \Pi_k}{2} - \frac{f + k - 1}{2} \Delta\Pi. \tag{3}$$

Второй член разности определяет систематическую ошибку, обусловленную тем, что существует постоянное смещение вправо момента фиксации начала пачки, равное  $f-1$  позиций, и смещение в ту же сторону момента фиксации конца пачки, равное  $k$  позиций.

Дальность сигнала равна значению дискрета дальности, в котором обнаружена пачка.

Пусть сигнал поступает с выхода обнаружителя связной зоны [1]. Тогда вычисление пеленга и дальности заключается в усреднении координат импульсов связной зоны

$$\hat{\Pi} = \frac{1}{K} \sum_{f,m} \Pi_{fm}, \tag{4}$$

где  $K$  – число импульсов связной зоны;

$\Pi_{fm}$  – пеленг импульса, расположенного на  $f$  позиции зоны дальности и  $m$  позиции по пеленгу

$$\hat{D} = \frac{1}{K} \sum_{f,m} D_{fm}, \tag{5}$$

где  $D_{fm}$  – дальность импульса, расположенного на  $f$  позиции зоны по дальности и  $m$  позиции по пеленгу.

Длительность отраженного сигнала по дальности зависит от размеров, ракурса облучения судна и расположения отражающих элементов (блестящих точек) по длине судна. Поэтому в стробе может существовать несколько пачек или связанных зон сигнала, отраженные от судна. В этом случае координаты объекта, определяются как среднее значение координат отдельных пачек (связных зон)

$$\bar{P} = \frac{1}{I} \sum_{j=1}^I \hat{P}_j ; \quad (6)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{I} \sum_{j=1}^I \hat{D}_j , \quad (7)$$

где  $\bar{P}_j$  и  $\bar{D}_j$  – оценки пеленга и дальности соответственно;

$I$  – число пачек (связных зон) обнаруженных в стробе;

$\hat{P}$  и  $\hat{D}$  – оценки пеленга и дальности пачки (связной зоны) соответственно.

### **Особенности алгоритмов измерения координат в средствах автоматизированной радиолокационной прокладки**

Уровень сигнала на выходе радиолокационного приемника в САРП автоматически изменяется с помощью обучающегося обнаружителя [2], поддерживаясь на определенном значении, исходя из заданного критерия оптимальности. Так как порог квантования фиксирован, то изменение амплитуды сигнала вызывает флюктуацию импульсов в пачке или связанной зоне после бинарного амплитудного квантования. Поэтому число импульсов реального сигнала, отраженного от судна, зависит в САРП не только от перечисленных в предыдущем разделе факторов, но и от того, насколько превышает амплитуда сигнала на выходе приемника порог квантования. В связи с этим для исследования алгоритмов измерения координат сигнала в САРП используется метод статистического моделирования, позволяющий в отличие от аналитических методов, произвести оценку координат с учетом влияния обучающегося обнаружителя на измерения.

Рассмотрим некоторые алгоритмы совместного обнаружения - измерения, применяемые в САРП.

*Алгоритм № 1.* Обнаружение производится по алгоритму обучающегося приемника [3].

Оценка координат по алгоритмам (1, 6,7)

*Алгоритм № 2.* Обнаружение производится так же, как в алгоритме № 1, измерение координат - по алгоритмам (2, 6, 7).

*Алгоритм № 3.* Обнаружение осуществляется так же, как в алгоритме №1, измерение координат - по алгоритмам (3, 6, 7).

*Алгоритм № 4.* Обнаружение производится так же, как в алгоритме №1, измерение координат - по алгоритмам (3, 6, 7) с тем отличием от алгоритма № 3, что значение  $I$  - это число пачек на  $n$  обороте антенны, каждая из которых совпадает по координатам с соответствующей пачкой в  $n-1$  обороте. Критерий совпадения по дальности

$$|\Delta D_j[n, n-1]| \leq \Delta D , \quad (8)$$

где  $\Delta D_j[n, n-1]$  – разность значений дальности пачки, обнаруженной на  $n$  обороте антенны, и пачки, обнаруженной на  $n-1$  обороте;

$\Delta D$  – цена дискрета строга по дальности.

Критерий совпадения по пеленгу

$$|\Delta \Pi_j [n, n - 1]| \leq 6 \Delta \Pi, \quad (9)$$

где  $\Delta \Pi_j [n, n - 1]$  – разность значений пеленга пачки, обнаруженной на  $n$  обороте антенны, и пачки, обнаруженной на  $n-1$  обороте;  
 $\Delta \Pi$  – цена дискрета строба по пеленгу.

*Алгоритм № 5.* Обнаружение производится по алгоритму обучающегося приемника [3] в котором функция  $F$  реализует обнаружение связной зоны, содержащей не менее пяти угловых позиций между крайним левым и крайним правым по пеленгу элементами связной зоны. При этом два дискрета строба считается связными, если разность их дальности не более одного дискрета дальности, а разность пеленгов - не более одного дискрета пеленга, т.е. не допускается пропуск импульсов в пределах строба по дальности и пеленгу. Оценка координат осуществляется по алгоритмам (4...7).

Для исследования алгоритмов выбираются наиболее характерные комбинации расположения блестящих точек [4]:

- 1) сигнал А - одна блестящая точка;
- 2) сигнал Б - три блестящих точки на соседних дальностях, симметричные относительно средней (ракурс судна приблизительно равен  $45^\circ$ );
- 3) сигнал В - две блестящие точки в одном дискрете дальности, разнесенные на двадцать дискретов по пеленгу (ракурс судна приблизительно равен  $90^\circ$ );
- 4) сигнал Г - две блестящие точки на одном пеленге, разнесенные на один дискрет по дальности (ракурс судна приблизительно равен  $0^\circ$ ).

Координаты сигнала совпадают с координатами центра сигнального строба с размерами  $700 \text{ м} \times 5^\circ$ . Цена дискрета по дальности равна  $45 \text{ м}$ , по пеленгу –  $5'$ .

Моделирование входного процесса производится так же, как и при исследовании обнаружителя с тем отличием, что для учета флюктуации сигнала по дальности пачки сигнала заносятся в один из двух смежных дискретов дальности с вероятностью  $0,5$ .

#### **Исследование алгоритмов измерения координат**

В процессе статистического моделирования алгоритмов измерения определяются следующие характеристики:

- 1) среднеквадратическая ошибка оценки пеленга сигнала

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\bar{\Pi}_{[n]} - \mu_{\bar{\Pi}})^2}; \quad (10)$$

$$\mu_{\bar{\Pi}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \bar{\Pi}_{[n]}, \quad (11)$$

где  $N$  – число оборотов антенны, равное  $100$ ;

$\bar{\Pi}_{[n]}$  – среднее значение пеленга пачек (связных зон) в стробе на  $n$  обороте антенны, вычисленное по формуле (6).

- 2) среднеквадратическая ошибка оценки дальности сигнала

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\bar{D}_{[n]} - \mu_{\bar{D}})^2}, \quad (12)$$

где  $\bar{D}_{[n]}$  – среднее значение дальности пачек (связных зон) в стробе на  $n$  обороте антенны, вычисленное по формуле (7),

$$\mu_{\bar{D}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \bar{D}_{[n]} \cdot \quad (13)$$

3) смещение оценок пеленга и дальности

$$\sigma_{\Pi} = |m_{\Pi} - \mu_{\Pi}|; \quad (14)$$

$$\sigma_{D} = |m_{D} - \mu_{D}|, \quad (15)$$

где  $m_{\Pi}$  и  $m_{D}$  – средние значения соответственно пеленга и дальности отдельных пачек (связных зон), вычисленные до моделирования.

Моделирование алгоритмов 1 - 5 для сигналов А, Б, В, Г при воздействии помехи, распределение которой подчиняется закону Релея, показало следующие результаты :

1. При достаточно больших отношениях  $a_0$  сигнала к помехе алгоритмы 3-5 мало отличаются по точности оценки пеленга.

В зависимости от вида сигнала СКО оценки пеленга для этих алгоритмов лежат в пределах

$$\begin{aligned} \sigma_{\Pi N3} &= 2' \div 5'; \\ \sigma_{\Pi N4} &= 3' \div 6'; \\ \sigma_{\Pi N5} &= 1' \div 5'. \end{aligned}$$

При тех же условиях СКО оценка пеленга по алгоритмам 1,2 в несколько раз больше, чем по алгоритмам 3-5.

2. При отношении сигнала к помехе

$$a_0 = 1$$

алгоритмы 1 – 3 не являются лучшими с точки зрения наименьшей ошибки оценки пеленга сигнала. С этой точки зрения предпочтительней алгоритмы 4, 5, имеющие наиболее жесткую логику обнаружения. В алгоритме №4 для измерения отбираются только пачки, совпавшие по координатам на двух смежных оборотах антенны, а в алгоритме №5 не допускается ни одного пропуска импульса в пределах размера связной зоны по пеленгу.

3. С точки зрения наименьшего смещения оценки пеленга лучшим является алгоритм № 5. Если в алгоритмах 1 - 4 смещение лежит в пределах от 2' до 12', то в алгоритме № 5 смещение оценки пеленга не превышает одной угловой минуты.

4. Оценка измерения дальности показывает, что с точки зрения наименьшего СКО, лучшим является алгоритм № 4. При больших значениях отношения сигнала к помехе в зависимости от типа сигнала

$$\delta_D = 20 \text{ м} \div 22 \text{ м}.$$

При отношении сигнала к помехе, равном единице,

$$\delta_D = 12 \text{ м} \div 120 \text{ м}.$$

С точки зрения наименьшего смещения оценки дальности предпочтительнее алгоритмы 4, 5.

**Выводы** Анализ алгоритмов измерения координат показал, что обучающийся обнаружитель [2], в котором функция  $F(\bullet)$  реализует обнаружение связной зоны, а оценка координат осуществляется путем усреднения координат импульсов связной зоны, является наилучшим,

обеспечивая СКО оценки пеленга в 2 -3 раза меньше по сравнению с известными. При этом СКО оценки дальности в предложенном алгоритме на 30 – 40 (м) меньше, чем в известных.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Судовые средства автоматизации предупреждения столкновения судов /Ю.Г Зурабов, Р.Н. Черняев, Е.В.Якшевич, В.Л. Яловенко /М: Транспорт.-264 с
2. Воробей В.І., Михайлов В.С. Виявлення сигналу у засобах автоматизованої радіолокаційної прокладки.//Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту. – К.: КДАВТ., – К: КДАВТ, 2000. – №1. – С. 5-9.
3. Воробей В.І., Михайлов В.С., Носовський А.М Исследование стоимостей ошибок обучающегося приемника.//Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту. – К: КДАВТ, 2005. – №5. – С. 5-11.
4. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. - М.: Сов. радио, 1974. - 432 с.

**Воробей В.І.****ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ СИГНАЛУ В ЗАСОБАХ АВТОМАТИЧНОЇ РАДІОЛАКАЦІЙНОЇ ПРОКЛАДКИ**

*Розглянуто особливості вимірювання координат сигналів судових навігаційних радіолокаційних станцій для виконання завдання попередження зіткнення суден. Наведено порівняльний аналіз якісних та кількісних характеристик різних алгоритмів вимірювання координат з метою визначення оптимального алгоритму для обробки інформації в засобах автоматичної радіолокаційної прокладки.*

**Ключові слова:** радіолокація, вимірювання координат, навчання.

**Vorobei V.I.****SIGNAL COORDINATE MEASURING FOR AUTOMATIC RADAR PLOTTING AIDS**

*The characteristics of radar signals coordinate measuring for solving problems for ships collision avoidance are considered. The comparative analysis of qualitative and quantitative characteristics of the different algorithms of coordinates measuring is conducted in order to determine the optimal algorithm for processing automatic radar plotting aids data processing.*

**Keywords:** radar, coordinate measuring, learning.

УДК 656.61.052.4

*Тихонов И.В.***ПОДГОТОВКА СУДОВОДИТЕЛЕЙ ДЛЯ РАБОТЫ НА АППАРАТУРЕ ЭКНИС В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

*Приведены рекомендации по вопросам подготовки и компетентности судоводителей для использования электронной картографии на судах, а также по изготовлению аппаратуры ЭКНИС и ознакомлению с ней.*

**Ключевые слова:** электронная картография, безопасность, навигация, подготовка персонала

Электронно-картографические навигационные информационные системы (ЭКНИС – англ.- Electronic Chart Display and Information System - ECDIS) – одно из наиболее эффективных навигационных средств, автоматизирующих процесс судовождения, обеспечивая судо-