

Позиционирование объектов в гидроакустической навигационной системе с ультракороткой базой

В. Г. Арсентьев, Г. И. Криволапов

Предложена алгоритмическая база позиционирования подводных объектов для навигационно-информационной системы с ультракороткой базой расположения приёмных гидрофонов. Получены оценки максимальных погрешностей позиционирования применительно к двум вариантам её технической реализации.

Ключевые слова: гидроакустическая навигационная система, алгоритм и погрешности позиционирования.

1. Введение

Среди многообразия гидроакустических навигационных систем различного назначения системы с ультракороткой базой позиционирования (USBL-системы) занимают особое место в силу известных преимуществ, таких как отсутствие специальных донных маяков-ответчиков в зоне обслуживания, самая низкая цена среди известных типов навигационных систем, возможность размещения систем на любых судах-носителях.

Принципы построения, особенности эксплуатации, основные технические характеристики и тенденции развития современных USBL-систем представлены, например, в аналитическом обзоре научно-технического отчёта [1].

Для большинства USBL-систем алгоритмическая база позиционирования подводных объектов предполагает использование от 4 до 8 пеленгационных каналов приёма, однозначную привязку геометрии пеленгационной антенны к алгоритму позиционирования, исключающую возможность его оперативной адаптации к другой конфигурации антенны.

Кроме того, используемые алгоритмы имеют узкоспециализированную направленность: ориентированы при позиционировании на измерения либо только фазовых, либо только временных параметров навигационного сигнала без возможности использования одного универсального алгоритма для разных случаев функционального применения системы и её технической реализации.

Немаловажным обстоятельством является также необходимость выполнения в большинстве алгоритмов измерений скорости распространения звука для расчёта параметров местоположения подводного объекта в акватории наблюдения, что приводит к появлению дополнительной погрешности позиционирования.

Наиболее показательным примером использования USBL-систем различной конфигурации является одна из разновидностей системы мониторинга подводных объектов. Мониторинг подразумевает позиционирование подводных объектов (определение их относительных или абсолютных географических координат) и передачу от них, при необходимости, на надводное судно функционально заданных информационных сообщений, например, глубины погружения, скорости, параметров водной среды, геофизических возмущений, характеристик объектов наблюдения и др.

Схематичное представление одного из возможных сценариев практического применения такой системы мониторинга показано на рис. 1.

Надводное судно, носитель гидроакустических приёмного и передающего антенных модулей, а также соответствующего навигационно-информационного оборудования, позиционируется, если необходимо, с помощью спутниковых навигационных систем GPS или ГЛОНАСС.

Подводные объекты позиционирования (АДС, ДСМ, ПДС, АНПА, ПР) получают с надводного судна по гидроакустическому каналу, преимущественно с кодовым разделением сигналов, запросные сообщения.

Запрашиваемый подводный объект передаёт на надводное судно комбинированный сигнал, в общем случае состоящий из навигационного и информационного блоков. Соответствующая обработка этого сигнала позволяет с достаточной точностью определять координаты местоположения подводного объекта (азимут, угол места, дальность, наклонное расстояние) относительно места расположения приёмного антенного модуля на надводном судне и получать от объекта необходимые информационные сообщения.

В отдельных случаях относительные координаты позиционируемых объектов могут быть пересчитаны в абсолютные географические.

В статье рассматривается алгоритм позиционирования подводных объектов, ориентированный на приёмные антенные модули с ультракороткой базой расположения гидрофонов, позволяющий при достаточно высокой точности определения координат объектов минимизировать массогабаритные характеристики приёмных антенн.

К совокупным отличительным особенностям разработанного алгоритма следует отнести минимальное количество пеленгационных каналов приёма и измеряемых параметров навигационного сигнала, сочетание в одном алгоритме возможностей позиционирования подводного объекта по результатам измерений как фазовых, так и временных параметров навигационного сигнала с гибкостью выбора геометрических параметров пеленгационной антенны для разных надводных носителей и условий применения, отсутствие необходимости измерения скорости распространения звука в акватории наблюдения при расчётах параметров местоположения подводного объекта.

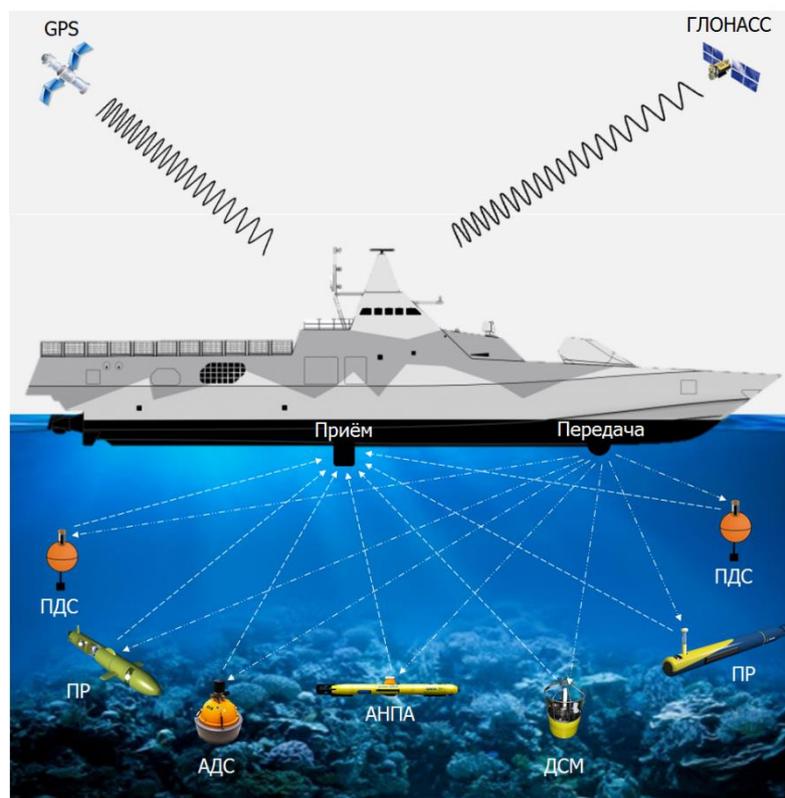


Рис. 1. Сценарий применения системы мониторинга: АДС – автономная донная сейсмостанция, ДСМ – донная станция мониторинга, ПДС – подвсплывающая донная станция, АНПА – автономный необитаемый подводный аппарат, ПР – подводный робот

2. Алгоритм позиционирования подводных объектов

С точки зрения минимизации количества приёмных трактов пеленгации и погрешностей измерения угловых координат позиционируемых объектов по пространству наблюдения геометрию расположения гидрофонов приёмных антенн в навигационной системе с ультракороткой базой целесообразно выбирать «диаметрально-ортогональной». Размещение гидрофонов в такой геометрии антенного модуля системы проиллюстрировано на рис. 2.

Пространством наблюдения для рассматриваемой геометрии антенного модуля считается область нижнего полупространства, ограниченная координатными полуосями: $X, -X, Y, -Y, -Z$.

Предлагаемый алгоритм позиционирования базируется на прямолинейности траекторий распространения акустических волн в гидроакустических каналах наклонной ориентации с отклонениями от вертикали до 80° [2].

В основе алгоритма лежит система четырёх нелинейных уравнений, которая позволяет определять координаты подводного объекта в трёхмерном пространстве:

$$\begin{cases} C^2\tau_{10}^2 = (X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2 + (Z_1 - Z_0)^2 \\ C^2\tau_{20}^2 = (X_2 - X_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 + (Z_2 - Z_0)^2 \\ C^2\tau_{30}^2 = (X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2 + (Z_3 - Z_0)^2 \\ C^2\tau_{40}^2 = (X_4 - X_0)^2 + (Y_4 - Y_0)^2 + (Z_4 - Z_0)^2 \end{cases} \quad (1)$$

где $X_1, Y_1, Z_1; X_2, Y_2, Z_2; X_3, Y_3, Z_3; X_4, Y_4, Z_4$ – декартовы координаты четырёх гидрофонов приёмной антенны; $X_0, Y_0, Z_0; \tau_{10}, \tau_{20}, \tau_{30}, \tau_{40}$ – декартовы координаты подводного объекта и времена распространения навигационного сигнала от антенны подводного объекта до соответствующего гидрофона приёмной антенны; C – средневзвешенная по глубине скорость распространения звука в акватории наблюдаемого подводного объекта.

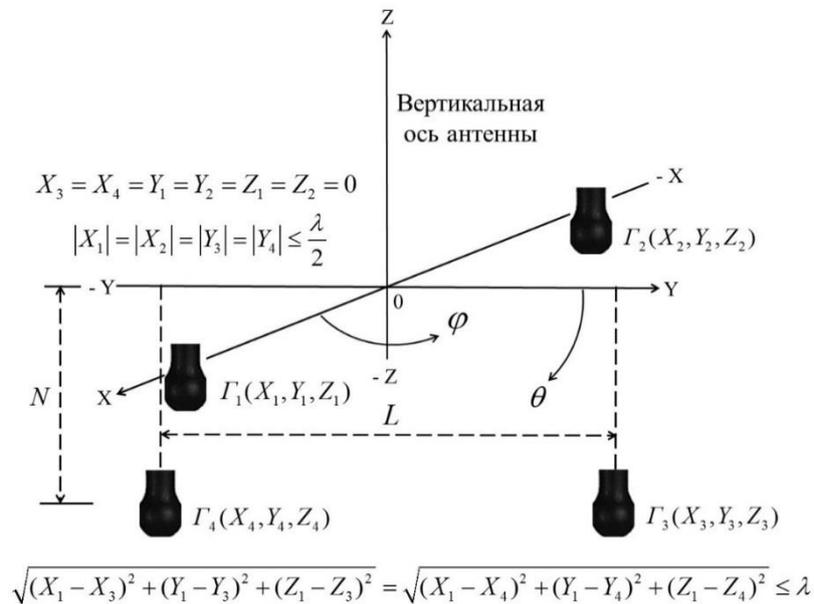


Рис. 2. Координаты гидрофонов в «диаметрально-ортогональной» геометрии антенного модуля:
 φ – азимутальный угол; θ – угол места; λ – длина волны навигационного сигнала;
 L, N – расстояния между гидрофонами в горизонтальной и вертикальной плоскостях

Общее решение системы уравнений (1) относительно координат X_0, Y_0, Z_0 представлено в публикации [3]. После соответствующих преобразований, связанных с переходом в сферическую систему координат, авторами получен эффективный, универсальный, практически реализуемый алгоритм с двухступенчатой процедурой позиционирования.

Вначале по формулам (2) вычисляют постоянные коэффициенты, которые связаны только с измеренными декартовыми координатами гидрофонов приёмной антенны. Эту одnorазовую операцию выполняют на стадии изготовления модуля приёмной антенны, а полученные результаты сохраняют в памяти микроконтроллера вычислителя координат и используют в дальнейших расчётах.

Соотношения для расчётов указанных коэффициентов имеют следующий вид

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= X_2^* - X_1^*; & A_{12} &= Y_2^* - Y_1^*; & A_{13} &= Z_2^* - Z_1^*; \\
 A_{21} &= X_3^* - X_1^*; & A_{22} &= Y_3^* - Y_1^*; & A_{23} &= Z_3^* - Z_1^*; \\
 A_{31} &= X_4^* - X_1^*; & A_{32} &= Y_4^* - Y_1^*; & A_{33} &= Z_4^* - Z_1^*; \\
 K_1 &= A_{22} \cdot A_{33} - A_{23} \cdot A_{32}; & K_2 &= A_{13} \cdot A_{32} - A_{12} \cdot A_{33}; & K_3 &= A_{12} \cdot A_{23} - A_{13} \cdot A_{22}; \\
 K_4 &= A_{23} \cdot A_{31} - A_{21} \cdot A_{33}; & K_5 &= A_{11} \cdot A_{33} - A_{13} \cdot A_{31}; & K_6 &= A_{13} \cdot A_{21} - A_{11} \cdot A_{23}; \\
 K_7 &= A_{21} \cdot A_{32} - A_{22} \cdot A_{31}; & K_8 &= A_{12} \cdot A_{31} - A_{11} \cdot A_{32}; & K_9 &= A_{11} \cdot A_{22} - A_{12} \cdot A_{21}; \\
 E &= A_{11} \cdot (A_{22} \cdot A_{33} - A_{23} \cdot A_{32}) + A_{12} \cdot (A_{23} \cdot A_{31} - A_{21} \cdot A_{33}) + A_{13} \cdot (A_{21} \cdot A_{32} - A_{22} \cdot A_{31}),
 \end{aligned} \tag{2}$$

где X_1^*, Y_1^*, Z_1^* ; X_2^*, Y_2^*, Z_2^* ; X_3^*, Y_3^*, Z_3^* ; X_4^*, Y_4^*, Z_4^* – инструментально измеренные (м) декартовы координаты четырёх гидрофонов приёмной антенны (см. рис. 2).

Затем в вычислителе координат по формулам (3) – (6) рассчитывают навигационные характеристики подводного объекта – азимут, угол места, дальность, наклонное расстояние:

$$\left. \begin{aligned}
 & \left\{ B_1 = \frac{m \cdot (\Delta\psi_{12} + \Delta\nu)}{360 \cdot f}, B_2 = \frac{m \cdot (\Delta\psi_{13} + \Delta\nu)}{360 \cdot f}, B_3 = \frac{m \cdot (\Delta\psi_{14} + \Delta\nu)}{360 \cdot f}, \right. \\
 & \left. \begin{array}{l} \text{при измерениях фазовых параметров навигационного сигнала.} \\ B_1 = m \cdot (\Delta t_{12} + \Delta\tau), \quad B_2 = m \cdot (\Delta t_{13} + \Delta\tau), \quad B_3 = m \cdot (\Delta t_{14} + \Delta\tau), \\ \text{при измерениях временных параметров навигационного сигнала.} \end{array} \right\}; \tag{3} \\
 & m - \text{единичный коэффициент размерности } \frac{m^2}{c}.
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{B_1 \cdot K_1 + B_2 \cdot K_2 + B_3 \cdot K_3}{E}; \quad \beta = \frac{B_1 \cdot K_4 + B_2 \cdot K_5 + B_3 \cdot K_6}{E}; \quad \gamma = \frac{B_1 \cdot K_7 + B_2 \cdot K_8 + B_3 \cdot K_9}{E}; \tag{4}$$

$$\varphi = \left\{ \begin{array}{l} \frac{180}{\pi} \cdot \arccos\left(\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}\right), \beta \geq 0 \\ 180 + \frac{180}{\pi} \cdot \arccos\left(\frac{-\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}\right), \beta < 0 \end{array} \right\} [0^\circ \leq \varphi \leq 359^\circ]; \tag{5}$$

$$\theta = \left\{ \frac{180}{\pi} \cdot \arccos\left(\frac{\gamma}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}\right) - 90 \right\} [0^\circ < \theta < 90^\circ];$$

$$D = \frac{H}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi \cdot \theta}{180}\right)}; \quad R = \sqrt{H^2 + D^2}, \tag{6}$$

где $\Delta\psi_{12}, \Delta\psi_{13}, \Delta\psi_{14}$ – разности фаз колебаний (град) навигационного сигнала на выходах трёх пар гидрофонов приёмной антенны; $\Delta t_{12}, \Delta t_{13}, \Delta t_{14}$ – относительные задержки принимаемого сигнала (с) на выходах соответствующих пар приёмных гидрофонов; $\Delta\nu$ – абсолютная погрешность инструментального измерения разностей фаз (град); $\Delta\tau$ – абсолютная погрешность

инструментального измерения относительных задержек (c); f – частота колебаний (Гц) навигационного сигнала; φ – азимут (град) подводного объекта в системе координат приёмной антенны; θ – угол места (град) подводного объекта, отсчитываемый от горизонтали, соответствующей водной поверхности (при вертикальной стабилизации приёмной антенны); D – дальность (м) подводного объекта; H – глубина погружения (м) подводного объекта, переданная на надводное судно в информационном блоке комбинированного сигнала; R – наклонное расстояние (м) до подводного объекта.

Соотношения (3) алгоритма позиционирования как раз и свидетельствуют о возможности вычислений навигационных характеристик подводного объекта с использованием измерений как относительных задержек, так и разностей фаз колебаний навигационного сигнала на выходах соответствующих пар гидрофонов приёмной антенны. Выбор варианта вычислений зависит от особенностей технической реализации навигационно-информационной системы и требуемой точности позиционирования подводных объектов.

Совокупные погрешности позиционирования USBL-систем условно можно разделить на две группы: алгоритмические, присущие используемому алгоритму позиционирования, и установочные, возникающие в процессе технической реализации и эксплуатации системы.

К первой группе можно отнести погрешности измерений разностей фаз или временных задержек навигационного сигнала в пеленгационных трактах приёма, наклонного расстояния до подводного объекта или глубины его погружения, скорости распространения звука в наблюдаемой акватории, а также погрешности, связанные с энергетическими характеристиками гидроакустического канала.

Во вторую группу входят погрешности калибровки пеленгационных трактов приёма, погрешности влияния шумов надводного судна, погрешности вертикальной стабилизации пеленгационной антенны, вызванные волнением моря и качкой надводного судна.

В данной статье оценивается влияние только двух погрешностей первой группы, связанных с измерениями фазовых и временных параметров навигационного сигнала. Алгоритмические погрешности от изменения геометрических параметров пеленгационной антенны рассмотрены в отдельной публикации.

Оценки погрешностей второй группы требуют знания особенностей технической реализации алгоритма позиционирования и не менее специфических условий эксплуатации, поэтому являются предметом для самостоятельного рассмотрения.

3. Погрешности алгоритма позиционирования при измерениях фазовых параметров навигационного сигнала

Погрешности алгоритма позиционирования, определяющие его эффективность (точность оценки пространственных координат подводного объекта) при измерениях фазовых параметров ($\Delta\psi_{12}, \Delta\psi_{13}, \Delta\psi_{14}$) навигационного сигнала, зависят от абсолютных погрешностей Δv инструментального измерения разностей фаз колебаний на выходах трёх пар гидрофонов.

Поскольку абсолютные погрешности при инструментальных измерениях могут иметь ещё и разные знаки, то при количественных оценках навигационных характеристик корректно рассматривать нижний и верхний пределы изменения погрешностей, но с точки зрения практического использования обычно важна оценка максимальной погрешности, характеризующая наихудшие условия применимости алгоритма.

Современные алгоритмические и аппаратные методы измерения разности фаз колебаний, используемые, например, в стандартных измерительных приборах [4], позволяют обеспечить абсолютную погрешность измерений на уровне $\pm 0.2^\circ$. Этот порядок величины Δv и принимаем в качестве базового при выполнении дальнейших расчётов.

Из практических соображений предположим, что в наиболее вероятных сценариях позиционирования углы места наблюдаемых подводных объектов, отсчитываемые от поверхности

водной акватории, находятся в диапазоне значений от 10 до 70 градусов. При этом, как показывают расчёты, погрешности позиционирования увеличиваются с ростом угла места наблюдаемого объекта.

Погрешности оценок азимута $\Delta\phi$ и угла места $\Delta\theta$ подводного объекта удобно рассматривать как функции от φ ($\varphi = 0^0 \dots 359^0$) – всех возможных азимутов наблюдаемого объекта.

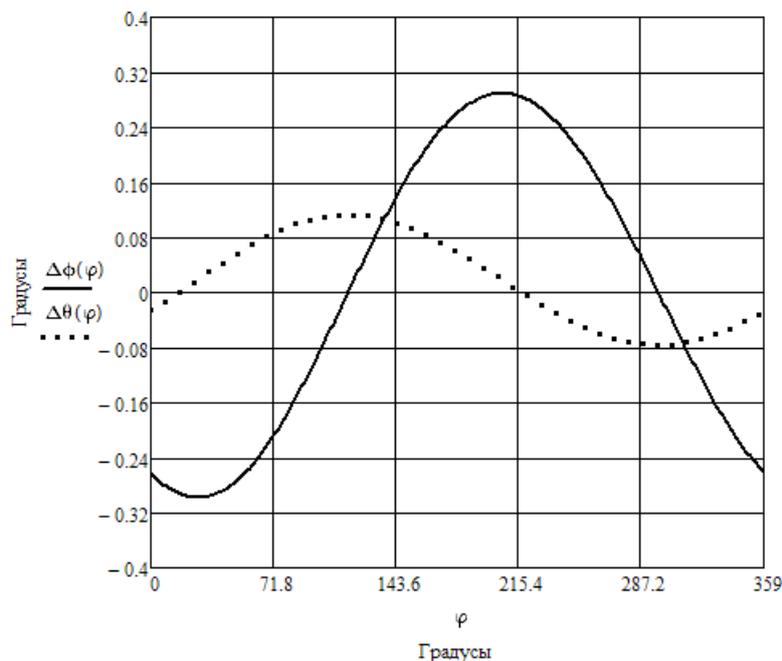


Рис. 3. Погрешности позиционирования подводного объекта при измерениях фазовых параметров навигационного сигнала

На рис. 3 представлены графики характерных зависимостей максимальных абсолютных погрешностей оценок азимута $\Delta\phi$ и угла места $\Delta\theta$ подводного объекта, рассчитанные в математической среде Mathcad 15 на основе соотношений (2) – (5) предложенного алгоритма позиционирования, для следующих, практически приемлемых, исходных данных:

- параметры приёмной антенны «диаметрально-ортогональной» геометрии $L = 20$ см, $N = 10$ см – интересны с точки зрения минимизации размеров антенны с индивидуальной конструкцией каждого гидрофона и возможности размещения антенны на неспециализированных надводных носителях;

- частота навигационного сигнала $f = 5$ кГц – выбрана из условия упрощения аппаратной и программной составляющих оборудования USBL-системы, ограничивающего максимальные расстояния между каждой парой гидрофонов в вышеуказанной геометрии антенного модуля длиной волны используемого навигационного сигнала;

- наклонные расстояния до подводного объекта $R \geq 500$ м – показательны для оценки погрешностей позиционирования в режимах дальнего наблюдения подводного объекта;

- угол места подводного объекта $\theta = 70^0$ – характерен с точки зрения оценки максимальных погрешностей определения угловых координат подводного объекта и ограничен наиболее вероятными сценариями позиционирования;

- абсолютная погрешность $\Delta\nu$ инструментального измерения разностей фаз колебаний составляет $\pm 0.2^0$ – задана на основании практически достижимых погрешностей современных алгоритмических и аппаратных методов измерения разности фаз.

Представленные зависимости показывают, что для больших наклонных расстояний максимальные абсолютные погрешности оценок азимутов при изменении углов места подводного объекта от 10 до 70 градусов не превышают величины 0.3^0 , а максимальные абсолютные погрешности оценок углов места объекта не превосходят значения 0.12^0 .

На основе выполненных расчётов в табл. 1 приведены максимальные значения максимальных абсолютных погрешностей ($\Delta\phi_{\max\max}$ и $\Delta\theta_{\max\max}$) определения угловых координат подводного объекта для трёх значений его наклонного расстояния и четырёх значений угла места.

Таблица 1. Максимальные значения максимальных абсолютных погрешностей определения угловых координат подводного объекта

θ , град		10	30	50	70
$R = 20$ м	$ \Delta\phi_{\max\max} $, град	0.12	0.18	0.26	0.42
	$ \Delta\theta_{\max\max} $, град	0.19	0.21	0.25	0.32
$R = 200$ м	$ \Delta\phi_{\max\max} $, град	0.1	0.12	0.16	0.3
	$ \Delta\theta_{\max\max} $, град	0.1	0.1	0.12	0.12
$R = 2000$ м	$ \Delta\phi_{\max\max} $, град	0.1	0.12	0.16	0.3
	$ \Delta\theta_{\max\max} $, град	0.1	0.1	0.12	0.12

Полученные результаты свидетельствуют об ощутимом росте погрешностей определения азимута объекта с увеличением угла места его расположения в выбранной системе координат и независимости погрешностей оценок угловых координат от наклонного расстояния при больших наклонных расстояниях до подводного объекта.

Представляет интерес зависимость относительной погрешности определения дальности подводного объекта от угла места и абсолютной погрешности его вычисления с помощью предложенного алгоритма позиционирования. Указанная зависимость выражается следующей тригонометрической формулой:

$$\delta D = \left| \frac{100 \cdot \left\{ \operatorname{tg} \left[\frac{\pi \cdot (\theta + \Delta\theta)}{180} \right] - \operatorname{tg} \left(\frac{\pi \cdot \theta}{180} \right) \right\}}{\operatorname{tg} \left[\frac{\pi \cdot (\theta + \Delta\theta)}{180} \right]} \right| [\%], \quad (7)$$

где θ – угол места подводного объекта, $\Delta\theta$ – абсолютная погрешность его вычисления в алгоритме позиционирования.

В табл. 2 показаны максимальные значения максимальных относительных погрешностей ($\delta D_{\max\max}$) определения дальности подводного объекта для представленных в табл. 1 параметров позиционирования объекта, полученные с использованием зависимости (7).

При больших наклонных расстояниях соблюдается постоянство относительной погрешности определения дальности с ростом наклонного расстояния, максимальная величина максимальной погрешности при этом не превышает 1 %.

Таблица 2. Максимальные значения максимальных относительных погрешностей определения дальности подводного объекта

θ , град		10	30	50	70
$R = 20$ м	$\delta D_{\max\max}$, %	1.9	0.8	0.9	1.7
$R = 200$ м	$\delta D_{\max\max}$, %	1.0	0.4	0.4	0.7
$R = 2000$ м	$\delta D_{\max\max}$, %	1.0	0.4	0.4	0.7

4. Погрешности алгоритма позиционирования при измерениях временных параметров навигационного сигнала

В этом случае для выполнения расчётов погрешностей позиционирования необходимо оценить порядок величины погрешности измерения относительных задержек ($\Delta t_{12}, \Delta t_{13}, \Delta t_{14}$) навигационного сигнала на выходах соответствующих пар гидрофонов приёмной антенны навигационной системы.

Воспользуемся результатами работы [5], где показано, что среднеквадратическое отклонение ошибки определения разности времён (относительной задержки сигналов двух трактов приёма) будет равно

$$\sigma_{\Delta t} = \frac{1}{\Delta f \cdot \sqrt{2 \cdot h^2}} [h^2 \gg 1], \quad (8)$$

где Δf – полоса частот приёмных трактов, h^2 – отношение сигнал/шум в приёмных трактах.

Допустим, что в системе позиционирования используются широкополосные гидрофоны и такие же функциональные элементы линейных трактов приёма, а отношение сигнал/шум в трактах приёма достаточно велико. Реально достижимые значения полосы частот и отношения сигнал/шум могут составлять: $\Delta f \approx 10^5$ Гц, $h^2 \approx 100$. Тогда в соответствии с зависимостью (8) погрешность определения относительной задержки сигналов будет иметь величину в пределах 1 мкс.

Принимая во внимание этот порядок погрешности и необходимость сравнения с погрешностями при измерениях фазовых параметров навигационного сигнала, выбираем для расчётов аналогичные вышеупомянутым исходные данные: частота навигационного сигнала $f = 5$ кГц; геометрические параметры гидрофонов приёмной антенны «диаметрально-ортогональной» геометрии $L = 20$ см, $N = 10$ см; наклонное расстояние до подводного объекта $R \geq 500$ м; угол места подводного объекта $\theta = 70^\circ$. Абсолютную погрешность $\Delta \tau$ оценок относительных задержек навигационных сигналов принимаем равной ± 1 мкс.

На рис. 4 представлены графики зависимостей максимальных абсолютных погрешностей оценок азимута $\Delta \phi$ и угла места $\Delta \theta$ подводного объекта, рассчитанные для указанных исходных данных.

Полученные зависимости показывают, что для больших наклонных расстояний максимальные абсолютные погрешности оценок азимутов при изменении углов места подводного объекта от 10 до 70 градусов достигают величины 2.6° , а максимальные погрешности оценок углов места – 1° .

Сравнивая расчётные значения погрешностей предложенного алгоритма позиционирования при измерениях фазовых и временных параметров навигационного сигнала, можно утверждать, что точность определения угловых координат подводного объекта в случае фазоразностных измерений как минимум в восемь раз выше точности позиционирования с использованием в алгоритме относительных временных параметров.

Кроме того, важно отметить, что при использовании широкополосных гидрофонов и согласованных с ними трактов приёма достижение больших отношений сигнал/шум в существующих гидроакустических каналах мониторинга может оказаться не всегда выполнимой задачей вследствие наличия немалых шумов среды и необходимости увеличения мощности излучаемого с позиционируемого объекта навигационного сигнала, а это при ограниченных энергетических ресурсах автономных подводных аппаратов не всегда возможно.

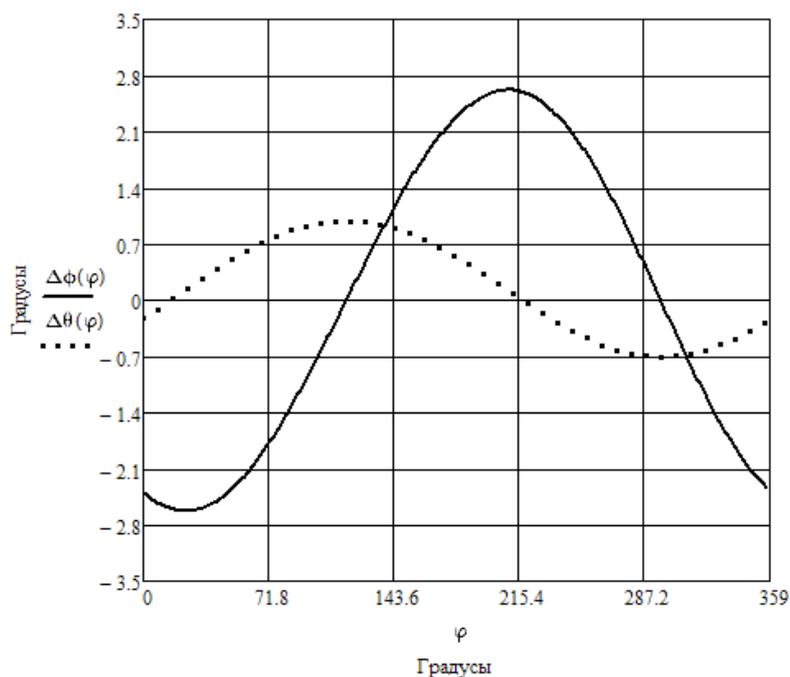


Рис. 4. Погрешности позиционирования подводного объекта при измерениях временных параметров навигационного сигнала

В этой связи использование в предлагаемом алгоритме позиционирования фазоразностных параметров может оказаться единственным, безальтернативным, вариантом технической реализации высокоточного пеленгатора системы гидроакустического мониторинга.

5. Заключение

Разработанная универсальная алгоритмическая база USBL-системы позиционирования подводных объектов с выявленными элементами новизны позволяет осуществлять её техническую реализацию в двух вариантах исполнения: с измерениями фазовых или временных параметров навигационного сигнала и использованием малогабаритного антенного модуля эффективной «диаметрально-ортогональной» геометрии расположения приёмных гидрофонов.

К дополнительным положительным свойствам разработанного алгоритма позиционирования следует также отнести инвариантность к доплеровскому смещению частоты навигационного сигнала, достаточно высокую точность определения угловых координат позиционируемых объектов при малых размерах пеленгационной антенны, соответствующую техническим характеристикам лучших современных систем аналогичного назначения.

Литература

1. Исследование методов и технологий определения местоположения подводных источников акустических сигналов: отчёт о НИР // Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики; научный руководитель Г. И. Криволапов; ответственный исполнитель В. Г. Арсентьев. Новосибирск, 2016. 246 с. Инв. № 084-00003-16-00/5-1/16.
2. Матвиенко В. Н., Тарасюк Ю. Ф. Дальность действия гидроакустических средств. Л.: Судостроение, 1981. 205 с.

3. *Арсентьев В. Г.* О многопозиционной гидроакустической навигационной системе // Сб. докл. 2-й Всерос. конф. «Научное и техническое обеспечение исследований и освоения шельфа Северного Ледовитого океана». Новосибирск: «ВЕДИ», 2012. С. 143–150.
4. Фазометр Ф2-34. Основные технические характеристики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pribor-i.ru/f2-34-izmeritel-raznosti-faz?yclid=6421049607832489827> (дата обращения: 01.11.2018).
5. *Авроров С. А., Хайретдинов М. С.* Распределённая обработка данных в мониторинговых системах и сетях // Научный вестник НГТУ. 2010. № 2 (39). С. 3–12.

Статья поступила в редакцию 04.10.2018.

Арсентьев Виктор Георгиевич

к.т.н., ведущий научный сотрудник научно-технического центра специализированных информационных систем СибГУТИ (630008, Новосибирск, ул. Бориса Богаткова, 51), тел. (383) 269-39-38, e-mail: viktor.arsentev.51@mail.ru.

Криволапов Геннадий Илларионович

к.т.н., доцент, заведующий лабораторией, руководитель научно-технического центра специализированных информационных систем СибГУТИ, тел. (383) 269-39-42, e-mail: krivolapov@sibsutis.ru.

Positioning of objects in hydroacoustic navigation system with ultrashort base

V. Arsent'ev, G. Krivolapov

The algorithmic base of underwater objects positioning for navigation and information system with ultrashort base of receiving hydrophones layout is offered. Estimates of the maximum positioning errors in relation to two options of its technical implementation are obtained.

Keywords: hydroacoustic navigation system, algorithm and errors of positioning.