

УДК 681.884

© А. В. Гриненков, А. И. Машошин, Ю. В. Шафранюк
ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, Россия
aimashoshin@mail.ru

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПАССИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСТАНЦИИ ДО ЦЕЛИ ФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Целью работы является модельная оценка точности пассивного определения дистанции до цели при совместном использовании двух физических методов — энергетического, основанного на измерении абсолютного уровня сигнала цели на входе антенны, и динамического, базирующегося на измерении скорости изменения пеленга цели. Выбор этих методов обусловлен тем, что они не предъявляют специальных требований к приемной антенне. Моделирование осуществлялось с помощью алгоритма совместного использования названных методов, синтезированного по методу максимального правдоподобия, исходя из допущения о независимости ошибок измерения абсолютного уровня сигнала и скорости изменения пеленга. Результаты моделирования привели к следующим выводам: 1) точность определения дистанции с использованием синтезированного алгоритма в наибольшей степени зависит от правильности определения класса цели и точности оценки уровня сигнала цели на входе антенны; 2) при правильном определении класса цели среднеквадратическая ошибка определения дистанции до цели лежит в пределах 20—35 % при среднеквадратической ошибке определения уровня сигнала цели 1.5—5 дБ соответственно; 3) при неправильном определении класса цели ошибка определения дистанции до цели многократно возрастает и становится неприемлемой для практического использования.

Ключевые слова: пассивное определение дистанции до цели, физические методы определения дистанции до цели, метод максимального правдоподобия, уровень сигнала цели на входе антенны, скорость изменения пеленга цели.

A. V. Grinenkov, A. I. Mashoshin, Y. V. Shafranyuk
JSC «Electropribor», St. Petersburg, Russia

THE ACCURACY OF PASSIVE RANGING USING PHYSICAL METHODS

The purpose of the study is the modeling of the accuracy of passive ranging using 2 physical methods – the energy method based on the estimate of the absolute value of the signal level at the antenna input and the dynamic method based on the bearing velocity estimate. These methods had been chosen because they did not have special claims to the receiving antenna. The modeling was carried out using the algorithm of combined application of both methods, which was synthesized by the method of maximum likelihood. The independence of errors of measurement of the absolute level of signal and speed of bearing measurement was assumed. The results of the modeling are as follows: 1) the passive ranging accuracy mainly depends on the accuracy of target classification and accuracy of signal level estimate; 2) if the target class was determined correctly the passive ranging mean squared error lies in the bounds of 20—35 %; 3) if the target class was determined incorrectly the passive ranging mean squared error rises greatly.

Key words: passive ranging, physical methods of passive ranging, maximum likelihood algorithm.

Определение дистанции до цели (ОДЦ), наряду с ее обнаружением и классификацией, относится к основным задачам, решаемым гидроакустическими средствами (ГАС) [1]. Но если в активном режиме работы ГАС ОДЦ трудностей не представляет, то этого нельзя сказать о пассивных режимах.

ОДЦ в пассивных режимах осуществляется с использованием пассивных методов, которые условно разделяются на 2 группы: физические методы [1—8] и методы, базирующиеся на обработке массива пеленгов [9—13]. В настоящей работе рассматриваются только физические методы.

Гриненков А. И., Машошин А. И., Шафранюк Ю. В. Оценка точности пассивного определения дистанции до цели физическими методами // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2016. Т. 9, № 2. С. 81—87.

Grinenkov A. V., Mashoshin A. I., Shafranyuk Yu. V. The accuracy of passive ranging using physical methods. *Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika*. 2016, 9, 2, 81—87.

Краткая характеристика пассивных физических методов определения дистанции до цели по информации гидроакустических средств

Название метода	Измеряемый параметр сигнала цели
Энергетический	Абсолютный уровень сигнала на входе антенны
Динамический	Скорость изменения пеленга цели
Спектральный	Форма (наклон) широкополосного спектра сигнала
Триангуляционный	Пеленга цели с нескольких горизонтально разнесенных антенн
Горизонтальный разностно-дальномерный	Относительные запаздывания прихода сигнала на несколько горизонтально разнесенных антенн
Лучевой	Углы в вертикальной плоскости прихода лучей сигнала на антенну и относительное запаздывание между ними
Вертикальный разностно-дальномерный (временной)	Абсциссы максимумов в авто- либо взаимной корреляционной функции широкополосного сигнала

Известные пассивные физические методы ОДЦ в обобщенном виде приведены в таблице, заимствованной из работы [14]. Хотя эти методы хорошо известны, обеспечиваемая ими точность в различных условиях работы изучена не достаточно.

При этом следует заметить, что оценка точности совместного применения всех физических методов затруднительна, поскольку точность ОДЦ, обеспечиваемая ими, по-разному зависит от технических характеристик ГАС и от условий работы. В частности:

— для реализации триангуляционного и горизонтального разностно-дальномерного методов требуется наличие в ГАС нескольких горизонтально разнесенных антенн;

— лучевой и вертикальный разностно-дальномерный методы обеспечивают высокую точность ОДЦ в основном в условиях дальних зон акустической освещенности. Кроме того, для использования лучевого метода нужна вертикально развитая антенна;

— для реализации спектрального метода требуется достаточно широкая (не менее 3-х октав) полоса частот, причем лежать она должна в области оптимальных частот работы ГАС. Точность, обеспечиваемая спектральным методом, существенно падает в условиях интенсивного надводного судоходства, искажающего спектр принимаемого шума цели.

С учетом сделанных замечаний можно констатировать, что наиболее универсальными методами пассивного ОДЦ являются энергетический (ЭМ) и динамический (ДМ) методы.

Целью настоящей работы является оценка точности пассивного определения дистанции до цели при совместном использовании этих двух методов.

Точность пассивного ОДЦ будем оценивать относительной среднеквадратической ошибкой (СКО) ОДЦ в зависимости от истинного значения дистанции.

Синтез алгоритма пассивного определения дистанции до цели, основанного на совместном использовании энергетического и динамического методов. Синтезируем алгоритм совместного применения ЭМ и ДМ, воспользовавшись приведенной в работе [14] методикой, основанной на методе максимального правдоподобия (МП-методе).

Напомним, что ЭМ базируется на измерении абсолютного уровня сигнала на входе антенны, а ДМ — на измерении скорости изменения пеленга, которую принято называть величиной изменения пеленга (сокращенно ВИП) [13].

Для синтеза МП-алгоритма ОДЦ необходимо построить совместную условную (в зависимости от дистанции до цели) плотность распределения вероятностей (ПРВ) оценок уровня сигнала и ВИП. Займемся этим. Начнем с построения условных ПРВ каждой из оценок.

Для построения условной ПРВ оценки абсолютного уровня сигнала на входе антенны (далее просто уровня сигнала) запишем её стохастическую модель в виде:

$$\hat{X}_1 = \varphi_1(P_0, H, R) + \Delta X_1, \quad (1)$$

где \hat{X}_1 , X_1 — оценка уровня сигнала и его истинное значение; $\varphi_1(P_0, H, R)$ — неслучайная функ-

ция, связывающая истинное значение уровня сигнала с истинными значениями приведенной шумности цели P_0 , глубины цели H и дистанции до цели R в рассматриваемых гидроакустических условиях:

$$X_1 = \varphi_1(P_0, H, R);$$

ΔX_1 — ошибка оценки уровня сигнала, являющаяся суммой ошибки измерения уровня сигнала и ошибки расчета передаточной функции канала распространения сигнала, обусловленной неточным знанием гидроакустических условий в районе работы. Примем, что ΔX_1 распределена по нормальному закону с нулевым средним и СКО $\sigma_{\Delta X_1}$.

Если в правой части формулы (1) зафиксировать значения аргументов функции $\varphi_1(P_0, H, R)$, то единственной случайной величиной останется ошибка $\sigma_{\Delta X_1}$ и, как следствие этого, условная ПРВ левой части формулы (1) будет полностью определяться ПРВ этой ошибки:

$$\begin{aligned} g_{\hat{X}_1 // P_0, H, R}(x_1 // P_0, H, R) &= g_{\Delta X_1}(x_1 - \varphi_1(P_0, H, R)) = \\ &= \text{norm}(x_1 - \varphi_1(P_0, H, R) // 0; \sigma_{\Delta X_1}) \end{aligned} \quad (2)$$

где $g_{\hat{X}_1 // P_0, H, R}(x_1 // P_0, H, R)$ — условная (зависящая от P_0, H, R) ПРВ оценки уровня сигнала с неслучайным аргументом x_1 ; $g_{\Delta X_1}(y)$ — ПРВ ошибки оценки уровня сигнала; $\text{norm}(y // m_y; \sigma_y)$ — нормальная ПРВ аргумента y с параметрами m_y, σ_y .

Перейдем к построению условной ПРВ оценки ВИП.

Стохастическую модель оценки ВИП запишем в виде:

$$\hat{X}_2 = \varphi_2(V, K, R) + \Delta X_2, \quad (3)$$

где \hat{X}_2, X_2 — оценка ВИП и ее истинное значение; $\varphi_2(V, K, R)$ — неслучайная функция, связывающая истинное значение ВИП с истинными значениями скорости V , курса K и дистанции R цели:

$$\varphi_2(V, K, R) = \arctg \frac{V_\rho \cdot \sin(q_\rho)}{R};$$

V_ρ — относительная скорость цели:

$$V_\rho = \sqrt{V_{\rho x}^2 + V_{\rho y}^2};$$

q_ρ — относительный курсовой угол (КУ) цели:

$$q_\rho = \arctg \frac{V_{\rho y}}{V_{\rho x}};$$

$V_{\rho x}, V_{\rho y}$ — проекции относительной скорости цели на линию пеленга и перпендикуляр к ней соответственно:

$$V_{\rho x} = V_{\rho x} - V_{\rho x}; \quad V_{\rho y} = V_{\rho y} - V_{\rho y};$$

$V_{\rho x}, V_{\rho y}$ — проекции скорости цели на линию пеленга и перпендикуляр к ней соответственно:

$$V_{\rho x} = V \sin(q_\rho); \quad V_{\rho y} = V \cos(q_\rho);$$

$V_{\rho x}, V_{\rho y}$ — проекции скорости носителя на линию пеленга и перпендикуляр к ней соответственно:

$$V_{\rho x} = -V \sin(q_\rho); \quad V_{\rho y} = -V \cos(q_\rho);$$

K_H, V_H — курс и скорость носителя ГАС; q_ρ — КУ цели:

$$q_\rho = K_H + q_\rho - K \pm 180,$$

ΔX_2 — ошибка оценки ВИП, распределенная по нормальному закону с нулевым средним и СКО $\sigma_{\Delta X_2}$, вычисляемой по формуле:

$$\sigma_{\Delta X_2} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sigma_q}{\Delta t};$$

σ_q — СКО оценки КУ (пеленга) цели, вычисляемая по формуле [8, 15]:

$$\sigma_q = \frac{\sqrt{2} \cdot c}{\sqrt{N} \cdot \pi \cdot L \cdot \sin q \cdot f \cdot \sqrt{\Delta f} \cdot T} \cdot \frac{\sqrt{1+Q}}{Q};$$

L — ширина приемной антенны; $f, \Delta f$ — эквивалентная частота и полоса частот сигнала, используемая для измерения КУ; T — время когерентного накопления сигнала при измерении КУ; N — количество некогерентных накоплений сигнала при измерении КУ; Q — отношение сигнал/помеха (ОСП) по мощности на выходе линейной части приемного тракта (ЛЧПТ) в полосе Δf ; Δt — интервал времени, на котором измеряется ВИП.

Если зафиксировать в правой части формулы (3) значения аргументов функции $\varphi_2(V, K, R)$, то неслучайной останется только ошибка ΔX_2 . В результате условная ПРВ оценки ВИП будет полностью определяться ПРВ этой ошибки и может быть записана в виде:

$$g_{\hat{X}_2/V, K, R}(x_2//V, K, R) = g_{\Delta X_2}(x_2 - \varphi_2(V, K, R)) = \text{norm}(x_2 - \varphi_2(V, K, R) / \sigma_{\Delta X_2}). \quad (4)$$

Поскольку ошибки оценки (но не сами оценки!) уровня сигнала и ВИП взаимно не зависимы, совместная условная ПРВ оценок уровня сигнала и ВИП может быть вычислена как произведение правых частей формул (2) и (4):

$$g_{\hat{X}_1, \hat{X}_2/P_0, H, V, K, R}(x_1, x_2//P_0, H, V, K, R) = \text{norm}(x_1 - \varphi_1(P_0, H, R) / \sigma_{\Delta X_1}) \times \text{norm}(x_2 - \varphi_2(V, K, R) / \sigma_{\Delta X_2}). \quad (5)$$

Для вычисления совместной условной ПРВ оценок уровня сигнала и ВИП, зависящей только от дистанции до цели, условную ПРВ (5) необходимо проинтегрировать по совместной ПРВ случайных величин P_0, H, V, K . При этом надо иметь в виду, что эти случайные величины зависят от класса цели ω , а шумность цели P_0 , кроме того, зависит от скорости цели V . В результате искомая условная ПРВ будет иметь вид:

$$g_{\hat{X}_1, \hat{X}_2//\omega, R}(x_1, x_2 // \omega, R) = \int_V g_{V/\omega}(V/\omega) \int_K g_{K/\omega}(K/\omega) \int_H g_{H/\omega}(H/\omega) \int_{P_0} \{g_{P_0/\omega, V}(P_0/\omega, V) \times \text{norm}(x_1 - \varphi_1(P_0, H, R) / \sigma_{\Delta X_1}) \times \text{norm}(x_2 - \varphi_2(V, K, R) / \sigma_{\Delta X_2})\} dV \cdot dK \cdot dH \cdot dP_0. \quad (6)$$

При подстановке в формулу (6) вместо неслучайных аргументов x_1, x_2 оценок уровня сигнала \hat{X}_1 и ВИП \hat{X}_2 получим функцию правдоподобия (ФП) дистанции до цели (зависящую также от класса цели). Аргумент ФП, соответствующий ее максимуму, является оптимальной оценкой дистанции до цели по критерию максимального правдоподобия (МП-оценкой):

$$\hat{R}_{opt}(\hat{X}_1, \hat{X}_2//\omega) = \arg \max_R g_{\hat{X}_1, \hat{X}_2//\omega, R}(\hat{X}_1, \hat{X}_2//\omega, R). \quad (7)$$

Заметим, что МП-оценка дистанции до цели при совместном применении ЭМ и ДМ зависит от класса цели. То есть необходимым условием корректного ОДЦ является правильное определение класса наблюдаемой цели.

Точность синтезированного алгоритма можно оценить дисперсией МП-оценки дистанции до цели, вычисляемой по формуле:

$$\sigma_{\hat{R}_{opt} // \omega}^2 = \iint_{x_1, x_2} (\hat{R}_{opt}(x_1, x_2 // \omega) - R)^2 \cdot g'_{\hat{X}_1, \hat{X}_2//\omega, R}(x_1, x_2 // \omega, R) \cdot dx_1 \cdot dx_2, \quad (8)$$

где $\hat{R}_{opt}(x_1, x_2 // \omega)$ вычисляется по формуле (7) при замене в ней оценок \hat{X}_1 и \hat{X}_2 их неслучайными аналогами x_1 и x_2 , а $g'_{\hat{X}_1, \hat{X}_2//\omega, R}(x_1, x_2 // \omega, R)$ является истинной совместной условной ПРВ оценок уровня сигнала и ВИП (в отличие от одноименной ПРВ, используемой в формуле (7), вычисляемой с использованием оценок ПРВ случайных величин $P_0, H, V, K, \Delta X_1, \Delta X_2$, загружаемых из базы данных).

Следует заметить, что оценка дистанции до цели методом максимального правдоподобия не является нормально распределенной. Распределение этой оценки, как правило, является асимметричным с длинным хвостом в сторону больших значений дистанции, что объясняет возможность получения ошибок оценки дистанции, существенно превышающих истинное значение дистанции.

Подставляя формулу (6) в формулу (8) и изменив порядок интегрирования, получим:

$$\sigma_{\hat{R}_{opt} // \omega}^2 = \int_V g'_{V/\omega}(V/\omega) \int_K g'_{K/\omega}(K/\omega) \int_{\Delta X_2} g'_{\Delta X_2}(\Delta X_2) \int_H g'_{H/\omega}(H/\omega) \times \int_{P_0} g'_{P_0/\omega, V}(P_0/\omega, V) \int_{\Delta X_1} (\hat{R}_{opt}(\hat{X}_1, \hat{X}_2 // \omega) - R)^2 \cdot dV \cdot dK \cdot d\Delta X_2 \cdot dH \cdot dP_0 \cdot d\Delta X_1, \quad (9)$$

где \hat{X}_1 и \hat{X}_2 вычисляются по формулам (1) и (3) соответственно, а ПРВ в подынтегральном выражении являются истинными ПРВ соответствующих случайных величин в отличие от их оценок, используемых в формуле (7).

Оценка точности пассивного определения дистанции до цели с использованием синтезированного алгоритма. Результаты расчетов по формуле (9) приведены на рис. 1—4. Рис. 1 соответствует определению дистанции до сильно шумящей цели (СШ) в случае, когда класс цели ω определен правильно. Расчет графиков, представленных на рис. 1, осуществлялся при следующих исходных данных:

- истинная ПРВ скорости цели $g'_{V/\omega}(V/\omega)$ является нормальной с математическим ожиданием (МО) $m_V = 15$ уз и СКО $\sigma_V = 1.5$ уз;
- истинная ПРВ глубины цели $g'_{H/\omega}(H/\omega)$ является равномерной в интервале 5—10 м;
- истинная ПРВ курса цели $g'_{K/\omega}(K/\omega)$ является равномерной в интервале курсов, обеспечивающих сближение с носителем ГАС;
- истинная условная ПРВ шумности цели $g'_{P_0/\omega,V}(P_0/\omega,V)$ является нормальной с МО $m_{P_0} = 76 + 20 \lg(V_{\text{узд}})$ дБ и СКО $\sigma_{P_0} = 3$ дБ;
- используемые в алгоритме ОДЦ (7) оценки распределений скорости, глубины, курса и шумности цели совпадают с их истинными распределениями;
- гидроакустические условия — сплошная акустическая освещенность в мелком море, волнение моря 4 балла;
- СКО оценки уровня сигнала, учитывающая как ошибку измерения уровня сигнала, так и ошибку расчета передаточной функции канала распространения сигнала, обусловленную неточным знанием гидроакустических условий в районе работы [16], изменялась от 1.5 до 5 дБ (параметр графиков на рис. 1);
- СКО оценки КУ цели 0.3° ;
- время измерения ВИП 5 мин;
- курсовой угол носителя изменялся от 30 до 150° , однако было установлено, что результаты расчета от КУ носителя ГАС практически не зависят.

Анализ полученных результатов, представленных на рис. 1, показывает:

- на дистанциях до 20 км относительная СКО ОДЦ с ростом дистанции возрастает, а затем остается неизменной. Это объясняется совместным использованием ЭМ и ДМ. Относительная точность ОДЦ энергетическим методом на любой дистанции (при фиксированной СКО определения уровня сигнала цели) неизменна (что демонстрирует рис. 2), а точность ОДЦ динамическим методом существенно зависит от дистанции до цели: когда при увеличении дистанции истинное значение ВИП становится меньше СКО измерения ВИП, точность ОДЦ динамическим методом уменьшается, и в результате ДМ

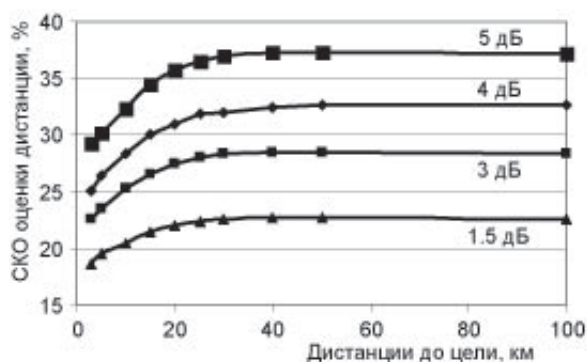


Рис. 1. СКО определения дистанции до сильно шумящей цели при совместном применении ЭМ и ДМ в случае, когда класс цели определен правильно. Параметром графиков является СКО оценки уровня сигнала в децибелах.

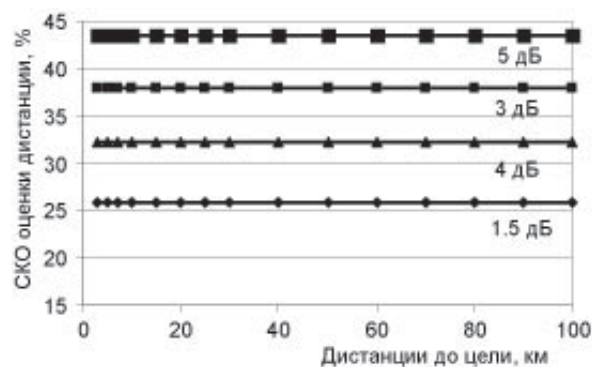


Рис. 2. СКО определения дистанции до сильно шумящей цели энергетическим методом в случае, когда класс цели определен правильно. Параметром графиков является СКО оценки уровня сигнала в децибелах.

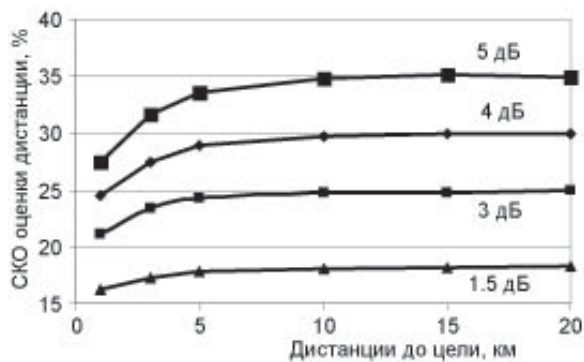


Рис. 3. СКО определения дистанции до малошумной цели при совместном применении ЭМ и ДМ в случае, когда класс цели определен правильно. Параметром графиков является СКО оценки уровня сигнала в децибелах.

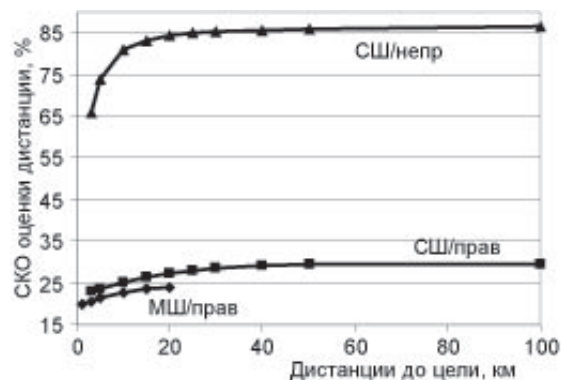


Рис. 4. СКО определения дистанции до сильно шумящей (СШ) и малошумной (МШ) целей в случаях правильного (СШ/прав и МШ/прав) и неправильного (СШ/непр) определения класса цели (СКО оценки уровня сигнала 3 дБ).

перестает вносить положительный вклад в точность совместной оценки двумя методами. При этом следует заметить, что СКО ошибки ОДЦ при использовании только ДМ превышает 100 % на любых дистанциях до цели;

— точность ОДЦ существенно зависит от СКО оценки уровня сигнала. Трудность состоит в том, что на сегодняшний день определить эту СКО для конкретных условий работы с приемлемой точностью не представляется возможным. Однако можно с большой долей уверенности предположить, что в любых условиях эта СКО лежит в интервале 1.5—5 дБ, для которого рассчитаны графики, приведенные на рис. 1.

Рис. 3 аналогичен рис. 1, за исключением того, что дистанция определяется до малошумной цели при правильно определенном классе цели.

Расчет графиков, представленных на рис. 3, осуществлялся при тех же исходных данных, за исключением:

- истинная ПРВ скорости цели $g'_{V/\omega}(V/\omega)$ является равномерной в интервале 4—8 уз;
- истинная ПРВ глубины цели $g'_{H/\omega}(H/\omega)$ является равномерной в интервале 30—150 м;
- истинная условная ПРВ шумности цели $g'_{P_0/\omega,V}(P_0/\omega,V)$ является нормальной с МО $m_{P_0} = 48 + 10 \lg(V_{\text{узд}})$ дБ и СКО $\sigma_{P_0} = 1.5$ дБ.

Оценки распределений, используемые при определении оптимальной оценки дистанции до цели по формуле (7), совпадают с истинными распределениями.

Графики, представленные на рис. 4, построенные при СКО определения уровня сигнала цели, равной 3 дБ, позволяют сравнить точность ОДЦ при правильном и неправильном определении класса цели. Анализ графиков, приведенных на рис. 4, показывает, что, если при правильном определении класса цели СКО определения дистанции не превышает 30 %, то при неправильном определении класса цели СКО возрастает до 65—85 % при определении дистанции до сильношумящей цели и до более чем 200 % при определении дистанции до малошумной цели (на графике не приведена, поскольку не вписывается в масштаб).

Целью данной работы являлось проведение моделирования в интересах оценки точности пассивного определения дистанции до цели физическими методами. Из всех известных физических методов оценки дистанции было выбрано два – энергетический (ЭМ), основанный на измерении абсолютного уровня сигнала цели на входе антенны, и динамический (ДМ), базирующийся на измерении скорости изменения пеленга цели.

Моделирование осуществлялось с использованием алгоритма совместного использования ЭМ и ДМ, синтезированного по методу максимального правдоподобия.

Результаты проведенного моделирования позволили сделать следующие выводы:

— точность определения дистанции с использованием синтезированного алгоритма в наибольшей степени зависит от правильности определения класса цели и точности оценки уровня сигнала цели на входе антенны;

— при правильном определении класса цели СКО определения дистанции до цели лежит в пределах 20—35 % в зависимости от СКО определения уровня сигнала цели;

— при неправильном определении класса цели ошибка определения дистанции до цели многократно возрастает и становится неприемлемой для практического использования.

Литература

1. *Корякин Ю. А., Смирнов С. А., Яковлев Г. В.* Корабельная гидроакустическая техника. Состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука, 2004.
2. *Carter G. C.* Passive Ranging Errors due to Receiving Hydrophone Position Uncertainty // *JASA*. 1979. V. 65, № 2. P. 528—530.
3. *Hassab I. C., Boucher R. E.* Passive Ranging Estimation from an Array of Sensors // *Journal of Sound and Vibration*. 1979. V. 67, № 2. P. 289—292.
4. *Hassab I. C.* Contact Localization and Motion Analysis in the Ocean Environment: a Perspective // *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 1983. V. OE-8, № 3. P. 136—147.
5. *Исак В. А.* Измерение дистанции пассивными методами // *Морской сборник*, 1987. № 5. С. 68—70.
6. *Картер Дж. К.* Обработка сигналов в пассивной гидролокации // *Подводная акустика и обработка сигналов*. М.: Мир, 1985. С. 415—421.
7. *Quazi A. H.* An Overview on the Time-Delay Estimate in Active and Passive Systems for Target Localization // *IEEE Transactions on ASSP*. 1987. V. 9, № 3. P. 527—533.
8. *Гамнер Л. Е.* О точности методов пассивной гидролокации с разнесенными бортовыми антеннами // *Гидроакустика*. 2009. Вып. 9. С. 34—42.
9. *Беляев Б. Л., Кузьменко Ю. А., Панкратьев В. В., Степанов Д. В.* Об ожидаемом качестве оценок определения координат и параметров движения цели методом «N-пеленгов» при выбранном варианте собственного маневрирования // *Сборник докладов научно-технической конференции «Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих комплексов»*. М.: 2011. С. 97—101.
10. *Кузьменко Ю. А.* Реализация планшетных методов определения координат и параметров движения цели в автоматизированных информационно-управляющих системах неатомных подводных лодок // *Сборник докладов научно-технической конференции «Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих комплексов»*. ОАО «Концерн «Моринформсистема-Агат», Москва, 2014, 2—3 апреля. С. 259—263.
11. *Benlian Xu B., Wang Z.* An adaptive tracking algorithm for bearings-only maneuvering target // *International Journal of Computer Science and Network Security*. 2007. V. 7, N 1. P. 304—312.
12. *Landelle B.* Robustness considerations for bearings-only tracking // *11th International Conference on Information Fusion*. France: Thales Optronique, Universite Paris-Sud. 2008. P. 8.
13. *Справочник штурмана* / Под ред. В. Д. Шандабылова. Москва: Воениздат, 1968.
14. *Машишин А. И.* Синтез оптимального алгоритма пассивного определения дистанции до цели // *Морская радиоэлектроника*. 2012. № 2 (40). С. 30—34.
15. *Мальшикин Г. С.* Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов. Т. 1. Оптимальные методы. ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009.
16. *Мальшикин Г. С.* Влияние рассеяния гидроакустических сигналов на эффективность адаптивных алгоритмов при разрешении слабых сигналов в присутствии сильных мешающих источников звука // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2013. Т. 6, № 1. С. 78—89.

Статья поступила в редакцию 09.03.2015 г.