

УДК 621 391.826; 681.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭХО-СИГНАЛОВ КОРАБЛЕЙ, НАБЛЮДАЕМЫХ ЛОКАТОРАМИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

А. П. Шепета,

доктор техн. наук, профессор

С. А. Бажин,

старший преподаватель

А. Г. Давидчук,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В работе рассматриваются имеющиеся в литературе экспериментальные характеристики эхо-сигналов кораблей. На основе этих характеристик определяются параметры многомерного закона распределения флуктуаций амплитуд и длительностей эхо-сигналов кораблей с учетом экспериментальных корреляционно-спектральных характеристик эхо-сигналов.

The experimental characteristics of echo - signals of the ships available in the scientific literature are considered in the paper. On the basis of these characteristics, parameters of the multidimensional law of distribution of amplitudes' fluctuations and duration of ships echo - signals are defined with consideration of experimental correlation and spectral characteristics of echo - signals.

Исследование сложных нелинейных систем обработки информации при одновременном действии на их входах информационных сигналов, пассивных и активных помех возможно, фактически, только методами математического моделирования. Результаты моделирования будут соответствовать практике при условии определения параметров моделей по экспериментальным данным. В работе рассматриваются, имеющиеся в литературе экспериментальные характеристики эхо-сигналов кораблей и производится их «привязка» к параметрам математических моделей этих сигналов.

Математическая модель эхо-сигнала корабля

Под математической моделью эхо-сигнала корабля в данной работе понимается статистическая модель – многомерная совместная плотность распределения $f(\mathbf{A}_N, \tau_N)$ параметров сигналов (амплитуд A_j и длительностей τ_j), наблюдаемых на выходе приемного устройства бортового лоатора [1]

$$f_{2N}(\mathbf{A}_N, \tau_N) = \frac{1}{(2\pi)^N \sqrt{D_{2N}} \prod_{i=1}^N A_i \sigma_{A_i} \tau_i \sigma_{\tau_i}} \exp \left\{ -\frac{1}{2D_{2N}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{D_{ij}}{\sigma_{A_i} \sigma_{A_j}} \ln \frac{A_i}{\bar{A}_i} \ln \frac{A_j}{\bar{A}_j} + \frac{D_{i,N+j}}{\sigma_{A_i} \sigma_{\tau_j}} \ln \frac{\tau_j}{\bar{\tau}_j} + \frac{D_{N+i,j}}{\sigma_{\tau_i} \sigma_{A_j}} \ln \frac{\tau_i}{\bar{\tau}_i} \ln \frac{A_j}{\bar{A}_j} + \frac{D_{N+i,N+j}}{\sigma_{\tau_i} \sigma_{\tau_j}} \ln \frac{\tau_i}{\bar{\tau}_i} \ln \frac{\tau_j}{\bar{\tau}_j} \ln \frac{A_j}{\bar{A}_j} \right\} \quad (1)$$

где определитель D_{2N} является определителем четырехблочной матрицы D_{2N} :

$$D_{2N} = \begin{vmatrix} D_N^{(A)} & D_N^{(A,\tau)} \\ D_N^{(\tau,A)} & D_N^{(\tau)} \end{vmatrix} \quad (2)$$

элементы блочных матриц $D_N^{(A)}$, $D_N^{(\tau)}$, $D_N^{(A,\tau)}$, $D_N^{(\tau,A)}$ представляют собой коэффициенты корреляции ло-

гарифмов амплитуд $r_{A_i j}$, логарифмов длительностей $r_{\tau_i j}$, логарифмов амплитуд и логарифмов длительностей $r_{A_i \tau_j}$, логарифмов длительностей и логарифмов амплитуд $r_{\tau_i A_j}$, $i, j = 1, 2, \dots, N$ соответственно, а $D_{i, M}$ – алгебраические дополнения соответствующих элементов определителя D_{2N} . Векторы $\bar{A}_N = (A_1, A_2, \dots, A_N)$, $\bar{\tau}_N = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N)$, $\sigma_A = (\sigma_{A_1}, \sigma_{A_2}, \dots, \sigma_{A_N})$ и $\sigma_\tau = (\sigma_{\tau_1}, \sigma_{\tau_2}, \dots, \sigma_{\tau_N})$ являются векторами логарифмов средних значений амплитуд, логарифмов средних значений длительностей, среднеквадратических отклонений логарифмов амплитуд и среднеквадратических отклонений логарифмов длительностей соответственно.

Таким образом, многомерная плотность распределения зависит от четырех векторных – $\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau$ и четырех матричных $D_N^{(A)}, D_N^{(\tau)}, D_N^{(A, \tau)}, D_N^{(\tau, A)}$ параметров, численные значения которых и необходимо определять по экспериментальным данным для конкретных условий наблюдения корабля. Элементы векторов $\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau$ представляют собой энергетические параметры эхо-сигналов кораблей и определяют параметры маргинальных (одномерных) плотностей распределения амплитуд и длительностей, а элементы матриц $D_N^{(A)}, D_N^{(\tau)}, D_N^{(A, \tau)}, D_N^{(\tau, A)}$ зависят от корреляционно-спектральных характеристик отраженных от кораблей сигналов и определяют параметры двумерных плотностей распределения амплитуд, длительностей, амплитуд и длительностей, длительностей и амплитуд.

Основные эмпирические зависимости между параметрами маргинальных законов распределения эхо-сигналов кораблей

В литературе по экспериментальным исследованиям характеристик кораблей приводятся сведения о среднем значении эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) кораблей \bar{S} , коэффициентах вариации амплитуд K_A и среднем значении длительности импульсов $\bar{\tau}$. Обобщим эти сведения и представим их в форме, удобной для практического определения параметров маргинальных плотностей распределения, т. е. определим через известные эмпирические зависимости вектор $(\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau)$. При этом вектор $(A_N, \sigma_A, \tau_N, \sigma_\tau)$ необходимо связать с типом корабля и условиями его наблюдения: состоянием морской поверхности, параметрами тракта распространения сигналов и параметрами бортового комплекса

Элементы вектора $(\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau)$ связаны с $\bar{P}_i, K_{A_i}, \bar{\tau}_i, K_{\tau_i}$, где \bar{P}_i – средняя мощность принимаемого сигнала, соотношениями [2, 3]:

$$\begin{cases} \bar{A}_i = \bar{A}_i / \sqrt{1 + K_{A_i}^2} = \sqrt{2\bar{P}_i} / (1 + K_{A_i}^2); \\ \sigma_{A_i}^2 = \ln(1 + K_{A_i}^2); \\ \bar{\tau}_i = \bar{\tau}_i / \sqrt{1 + K_{\tau_i}^2}; \\ \sigma_{\tau_i}^2 = \ln(1 + K_{\tau_i}^2). \end{cases} \quad (3)$$

Теперь необходимо определить эмпирические выражения для $\bar{P}_i, K_{A_i}, \bar{\tau}_i, K_{\tau_i}$. Ниже опущены несущественные для данного рассмотрения индексы i и j . Средняя мощность принимаемого сигнала \bar{P} связана с ЭПР объекта \bar{S} известной зависимостью

$$\bar{P} = \frac{G^2 \lambda^2 \bar{S}}{(4\pi)^3 L^4} 10^{0,1\eta}, \quad (4)$$

где G^2 – коэффициент усиления приемно-передающей антенны (при приеме и передаче на одну антенну); λ – длина волны несущей; L – расстояние до корабля; η – коэффициент потерь, дБ.

Параметры G, λ, L и η относятся к условиям наблюдения, а \bar{S} характеризует сам объект. При проведении теоретических расчетов и математического моделирования вместо значения \bar{P} , рассчитанного по формуле (4), удобнее использовать значение \bar{P} , выраженное в единицах мощности собственного шума приемного устройства. Если принять мощность собственных шумов за единицу, то во всех выражениях можно вместо \bar{P} использовать отношение сигнал/шум $\bar{\rho}$.

Результаты экспериментальных исследований ЭПР крупных надводных объектов изложены в работах многих известных авторов – В. В. Барскова, А. Ф. Пашевского, А. В. Смирнова, О. К. Озерянского. Наиболее приемлемой представляется следующая эмпирическая зависимость ЭПР от типа корабля и условий его наблюдения:

$$\bar{S} = \exp\left\{\left(C_1 - \frac{C_2}{W} \sin |180| - C_3 W + C_4 \sin |\phi|\right) \ln 10\right\}, \quad (5)$$

где θ и ϕ – угол места и ракурс корабля, соответственно (в градусах); W – волнение моря (в баллах), $C = (C_1, C_2, C_3, C_4)$ – вектор, характеризующий сам корабль; для некоторых типов кораблей значения вектора приведены в табл. 1. При ограничениях ($0 \leq \theta \leq 15^\circ, 0 \leq \phi \leq 180^\circ, 1 \text{ балл} \leq W \leq 6 \text{ баллов}$) формула (5) достаточно точно (для отечественных кораблей

■ Таблица 1

Тип корабля	C_1	C_2	C_3	C_4
Крейсер	4,0	0,3	0,10	0,3
Эсминец	3,2	0,3	0,13	0,3
Авианосец типа «Фаррестол»	4,8	0,4	0,07	0,5
Авианосец типа «Шангра-Ли»	4,3	0,3	-	0,4
Авианосец типа «Гермес»	4,0	0,3	-	0,4

погрешность не превышает 1 дБ) описывает зависимость ЭПР кораблей в сантиметровом диапазоне радиоволн, в котором зависимость ЭПР кораблей от поляризации отсутствует.

В выражении (5) не рассматривается зависимость ЭПР от частоты излучения или длины волны λ , но эта зависимость исследована экспериментально в работах Л. Н. Гриненко и В. Д. Плахотникова для $0,4 \text{ см} \leq \lambda \leq 3,2 \text{ см}$. Показано, что значение \tilde{S}_i , измеренное для λ_i , и \tilde{S}_0 , измеренное для λ_0 , связаны соотношением

$$\tilde{S}_i = \frac{q_i}{q_0} \tilde{S}_0, \quad (6)$$

где q_i и q_0 – коэффициенты, зависящие от λ_i и λ_0 по выражению (λ_i – в сантиметрах, аргумент косинуса – в радианах)

$$q_i = 12,4 \lambda_i^{-0,36} \left[1 - 0,56 \lambda_i^{-0,64} \cos(0,15 \lambda_i + 0,48) \right] - 1,63. \quad (7)$$

Расчет по этому выражению показывает, что для $1,0 \text{ см} \leq \lambda_i \leq 3,2 \text{ см}$ относительное изменение средней ЭПР кораблей при перестройке частоты не превышает 8 %. Изменение ЭПР кораблей при перестройке частоты от импульса к импульсу для указанного диапазона можно не учитывать и, считая, что ЭПР не зависит от λ_i , пользоваться для расчета выражением (4). Приведенные выражения позволяют определить параметр \bar{d} .

Экспериментальные зависимости для K_A приведены в работах многих авторов (Ю. М. Стрыгина, О. К. Озерянского и др.), где констатируется, что значение коэффициента вариации зависит в основном от типа корабля, волнения моря и достаточно сильно – от ракурса ϕ . Эмпирическая зависимость K_A от ϕ в явном виде может быть определена как

$$K_A = \bar{K}_A + \Delta K_A \sin|\phi| = \frac{K_{A \max} + K_{A \min}}{2} + \frac{K_{A \max} - K_{A \min}}{2} \sin|\phi|, \quad (8)$$

■ Таблица 2

Тип корабля	$K_{A \max}$	$K_{A \min}$
Крейсер	0,580	0,391
Эсминец	0,425	0,188
Тральщик	0,442	0,20
Катер	0,680	0,099
Подводная лодка в надводном положении	0,650	0,303
Уголки на плавучестях	0,360	0,188
Надувные уголки	0,721	0,312
Облака дипольных отражателей	0,560	0,480

где \bar{K}_A и ΔK_A – среднее значение и вариация коэффициента K_A , численные значения $K_{A \max}$ и $K_{A \min}$ соответственно.

Значения коэффициентов вариации для некоторых типов надводных объектов приведены в табл.2.

Экспериментальные данные по статистическим характеристикам длительностей сигналов кораблей приведены в работах И. Е. Кузнецова, М. Н. Курепкина, Б. И. Костина, Ю. М. Стрыгина, О. К. Озерянского и др. В них предлагается для аппроксимации огибающей, отраженного импульса использовать гауссову кривую, которую мы и примем при описании математической модели корабля. Для аппроксимации средней длительности τ при $0,8 \text{ см} \leq \lambda \leq 3,2 \text{ см}$ предложено выражение

$$\tau = \left[\tau_0 + \frac{16 \ln 2}{9c^2} (l_d |\cos \phi| + l_w |\sin \phi|)^2 \cos^2 \theta \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

где c – скорость света; l_d, l_w – геометрические размеры корабля, равные его длине и ширине соответственно; θ – угол визирования в вертикальной плоскости.

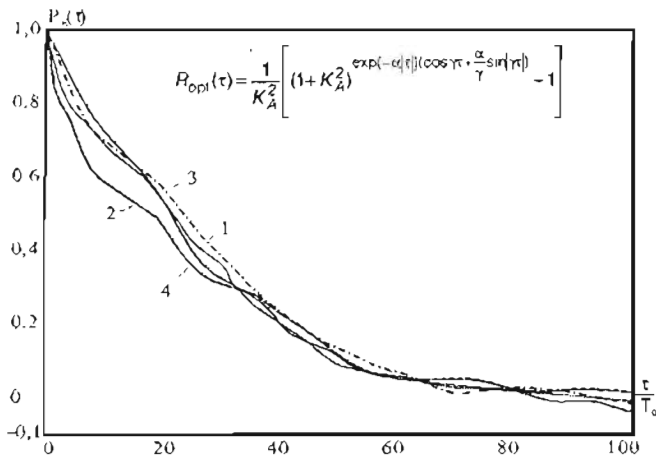
Коэффициенты вариации длительностей K_τ имеют практически ту же зависимость от условий наблюдения, что и коэффициенты вариации амплитуд. Поэтому, если значения K_τ не заданы, то можно считать $K_\tau = K_A$, тем более, что это равенство существенно упрощает многомерную модель.

Экспериментальные функции корреляции амплитуд и длительностей информационных сигналов

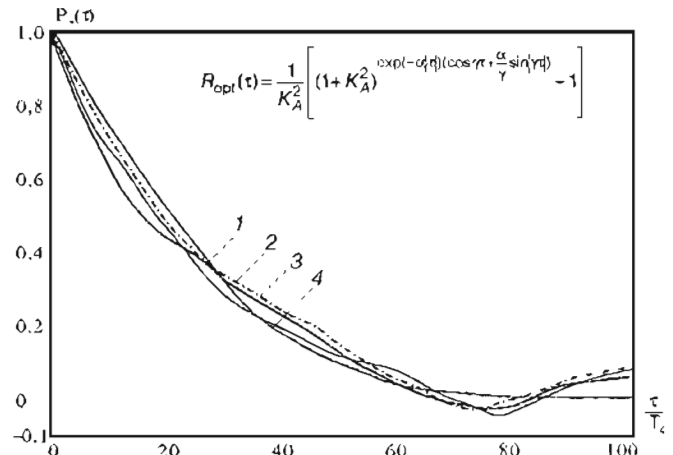
В работах [1, 2] показано, что для информационного сигнала можно положить $D_N^{(A)} = D_N^{(A)T}$, $D_N^{(\tau)} = D_N^{(\tau)T}$, где $(\cdot)^T$ – знак транспонирования. Экспериментальные данные по корреляционным функциям эхо-сигналов крупных морских объектов, приведенные в работах В. В. Барскова, А. Ф. Пашевского, А. В. Смирнова, позволяют положить $R_A(\tau) = R_\tau(\tau) = R_{A,\tau}(\tau) / R_{A,\tau}(\tau=0)$ (рис. 1, 2). Из двух последних матричных равенств и экспериментальных исследований следует, что матрицы $D_N^{(A)}$, $D_N^{(\tau)}$, $D_N^{(A,\tau)}$, $D_N^{(\tau,A)}$ являются симметричными теплоцевыми матрицами. Если при этом равенство корреляционных функций перенести на матрицы $D_N^{(A)} = D_N^{(\tau)}$, $D_N^{(A,\tau)} = D_N^{(\tau,A)} = R_{A,\tau}(\tau=0) D_N^{(A)}$, что верно с точностью до погрешности эксперимента, то получим

$$D_{2N} = \begin{vmatrix} D_N^{(A)} & D_N^{(A,\tau)} \\ D_N^{(\tau,A)} & D_N^{(\tau)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} D_N^{(A)} & R_{A,\tau}(\tau=0) D_N^{(A)} \\ R_{A,\tau}(\tau=0) D_N^{(A)} & D_N^{(A)} \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Следует особо подчеркнуть, что равенство (10) распространяется лишь на нормированные корреляционные характеристики сигналов, не влияя при этом на векторы средних и дисперсий. Это позволяет использовать данную модель не только для описания конечных выборок, но и, при предельном



■ Рис. 1. Корреляционные функции $R_{A_t}(0) = 0,6$; $\alpha = 54c^{-1}$; $\gamma = 27c^{-1}$; $K_A = 0,66$:
1 – $R_A(\tau)$; 2 – $R_t(\tau)$; 3 – $R_{A_t}(\tau)/R_{A_t}(0)$; 4 – $R_{opt}(\tau)$



■ Рис. 2. Корреляционные функции $R_{A_t}(0) = 0,6$; $\alpha = 62c^{-1}$; $\gamma = 26c^{-1}$; $K_A = 0,84$:
1 – $R_A(\tau)$; 2 – $R_t(\tau)$; 3 – $R_{A_t}(\tau)/R_{A_t}(0)$; 4 – $R_{opt}(\tau)$

переходе, для описания нестационарного процесса флуктуаций параметров информационных сигналов при приближении летательного аппарата к кораблю [4–6].

Многомерная плотность распределения зависит от четырех векторных $\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau$ и четырех матричных $D_N^{(A)}, D_N^{(\tau)}, D_N^{(A,\tau)}, D_N^{(\tau,A)}$ параметров. В силу симметричности теплицевых матриц каждая из них определяется N -мерным вектором. Из равенства (10) следует, что для определения матричных параметров достаточно задать вектор с элементами, определяемыми по $R_A(\tau)$ и скаляр $R_{A,\tau}(\tau=0)$. Экспериментально установленное равенство $R_A(\tau) = R_\tau(\tau)$ для логарифмически-нормальной модели приводит к равенству коэффициентов вариации $K_A = K_\tau$. Таким образом, для определения параметров математической модели по экспериментальным данным достаточно задать элементы векторов $\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N$, скаляр $R_{A,\tau}(\tau=0)$ и корреляционную функцию $R_A(\tau)$, точнее $N-1$ ее отсчетов, так как первый отсчет в силу нормировки равен единице $R_A(0) = 1$.

Экспериментальные $R_A(\tau)$ приведены во многих работах, в частности, кривые, приведенные на рис 1–2, взяты из работ В. В. Барскова, А. Ф. Пашевского, А. В. Смирнова. Для аппроксимации $R_A(\tau)$ в работе [3] предлагается экспоненциально-косинусная кривая

$$R_A(\tau) = \exp(-\mu|\tau|) \cos(\gamma\tau). \quad (11)$$

где μ, γ – параметры кривой, по физическому смыслу определяющие скорость затухания и моду энергетического спектра сигнала соответственно.

Однако корреляционная функция вида (11) удобна лишь для аппроксимации корреляционных функций нормальных процессов, так как она соответствует нормальному марковскому процессу второго порядка. Что же касается амплитуд – неотрицательно определенных случайных величин, то простота аналитической записи $R_A(\tau)$ в виде (11) в этом случае кажущаяся, так как точно воспроизвести характери-

стики процесса флуктуаций амплитуд (даже в простейшем случае для распределения Рэлея) с такой $R_A(\tau)$ на ЦВМ невозможно [7].

В работе [8] показано, что в качестве $R_A(\tau)$ целесообразно выбрать кривую вида

$$R_A(\tau) = \frac{1}{K_A^2} \left[\exp(r_A(\tau) \ln(1 + K_A^2)) - 1 \right], \quad (12)$$

где

$$r_A(\tau) = \exp(-\mu|\tau|) \cos(\gamma\tau), \quad (13)$$

т. е. экспоненциально-косинусной кривой нужно аппроксимировать не корреляционную функцию $R_A(\tau)$, а корреляционную функцию логарифмов амплитуд $r_A(\tau)$. При этом для реальных значений коэффициентов вариации K_A с высокой точностью выполняется равенство $R_A(\tau) = r_A(\tau)$, т. е. аппроксимация вида (12), так же как и кривая вида (10), хорошо согласуется с экспериментальными данными. В случае аппроксимации вида (12) последовательность амплитуд будет представлять собой дискретный логарифмически-нормальный марковский процесс второго порядка. Если экспоненциально-косинусную кривую $r_A(\tau)$ в выражении (13) заменить на кривую вида [2, 4, 9]

$$r_A(\tau) = \exp(-\mu|\tau|) \left[\cos(\gamma\tau) + \frac{\mu}{\gamma} \sin|\gamma\tau| \right], \quad (14)$$

то логарифмически-нормальный процесс будет дифференцируемым.

Для некоторых типов кораблей при определенных условиях их наблюдения колебательный характер $R_A(\tau)$ выражен слабо. В этом случае функцию $r_A(\tau)$ удобно считать экспоненциальной. Тогда

$$\begin{aligned} R_A(\tau) &= \frac{1}{K_A^2} \left[\exp(r_A(\tau) \ln(1 + K_A^2)) - 1 \right] = \\ &= \frac{1}{K_A^2} \left[\exp(e^{-\mu|\tau|} \ln(1 + K_A^2)) - 1 \right], \end{aligned} \quad (15)$$

а последовательность амплитуд будет простой цепью Маркова.

В работах О. К. Озерянского приведена эмпирическая формула для интервала корреляции $\tau_{0,5}^{(A)}$, определенного по ширине $R_A(\tau)$ на уровне 0,5, которой можно пользоваться для дальней зоны при $W \geq 3$ бал. Зависимость $\tau_{0,5}^{(A)}$ как функция C – параметра, определяющего тип корабля и имеющего размерность секунда, ракурса ϕ и волнения моря W (в баллах), выражается формулой

$$\tau_{0,5}^{(A)} = \frac{0,3C}{W} [1 + 0,75 \cos(2\phi)] \quad (16)$$

Для крупных кораблей можно считать $C = 1$ с. Отсюда значение μ , которое и определяет в основном $\tau_{0,5}^{(A)}$, равно

$$\mu = \frac{1}{\tau_{0,5}^{(A)}} \ln \frac{\ln(1 + K_A^2)}{\ln(1 + 0,5K_A^2)} = \frac{\ln 2}{\tau_{0,5}^{(A)}} \quad (17)$$

Для кривой вида (15) это равенство точное, а для двух других аппроксимаций – приближенное, но его точность вполне достаточна для использования в практических расчетах. Параметр γ можно определить только по экспериментальной $R_A(\tau)$ (см. рис. 1, 2).

В общем случае значения $R_A(\tau)$, известные для корабля при одних условиях наблюдения, определяемых параметрами ϕ и W , не могут быть пересчитаны в параметры $R_A(\tau)$ для других условий, определяемых ϕ и W . Однако приближенная такая оценка (для одного и того же корабля и одного и того же бортового комплекса) все же может быть получена [2].

Пусть известна $R_A^{(a)}(\tau)$ для ϕ и W (в дальней зоне $\theta = 0^\circ$), т. е. известны $\tau_{0,5}^{(A)}$, μ , γ и K_A . Тогда для других условий ϕ' и W' (в дальней зоне) из выражений (14) и (15) следует

$$\tau_{0,5}^{(A')} = \tau_{0,5}^{(A)} \frac{W [1 + 0,75 \cos(2\phi')]}{W [1 + 0,75 \cos(2\phi)]} \quad (18)$$

Полагая $\gamma' = \gamma \tau_{0,5}^{(A)} / \tau_{0,5}^{(A')}$, для μ' получим

$$\mu' = \frac{1}{\tau_{0,5}^{(A')}} \ln \frac{\ln(1 + K_A'^2)}{\ln(1 + 0,5K_A'^2)} \left[\cos(\gamma' \tau_{0,5}^{(A)}) + \frac{\mu}{\gamma} \sin(\gamma \tau_{0,5}^{(A)}) \right] \quad (19)$$

где значение K_A' определяется по выражению (8).

Влияние перестройки частоты несущей на $R_A(\tau)$ изучалось в работах Л. Н. Гриненко и В. Д. Плахотникова. Авторами было получено выражение

$$R_A(\tau, \nu) = R_A(\tau) \psi(\nu), \quad (20)$$

где $R_A(\tau)$ – функция корреляции амплитуд сигналов корабля без перестройки частоты [$R_A(\tau)$ не зависит от частоты излучения]; $R_A(\tau, \nu)$ – функция корреляции амплитуд при линейной перестройке частоты несущей со скоростью ν ; $\psi(\nu)$ – функция вида $(\sin x/x)^2$.

Зависимость (20) носит приближенный характер и лишь подтверждает тот экспериментальный факт, что с увеличением скорости перестройки частоты происходит декорреляция эхо-сигналов. Поэтому учитывать перестройку частоты следует лишь путем эквивалентного уменьшения $\tau_{0,5}^{(A)}$ при сохранении функционального вида $R_A(\tau)$. Для корабля значение $\tau_{0,5}^{(A)}$ с учетом перестройки частоты со скоростью ν определяется из трансцендентного уравнения

$$R_A(\tau_{0,5}^{(A)}) = \left[\frac{\sin(2\pi \nu h \sin \theta \tau_{0,5}^{(A)} / c)}{(2\pi \nu h \sin \theta \tau_{0,5}^{(A)} / c)} \right]^2 = \frac{1}{2}, \quad (21)$$

где h – высота корабля, м (для крейсера 15 м, для эсминца – 12 м), θ – угол визирования корабля в вертикальной плоскости, рад; $\tau_{0,5}^{(A)}$, мс.; c – скорость света.

Теперь все параметры корреляционных функций определены. Спектр флюктуаций амплитуд легко можно найти путем разложения $R_A(\tau)$ в ряд по степеням τ с последующим двусторонним преобразованием Фурье

Выводы

Экспериментальные характеристики связывают основные параметры математических моделей эхо-сигналов кораблей для маргинальных законов распределения, а также показывают эмпирические зависимости параметров корреляционных и взаимных корреляционных функций амплитуд и длительностей сигналов.

Приведенные характеристики были получены при определенных условиях наблюдения кораблей, что позволяет использовать их непосредственно при моделировании именно этих ситуаций наблюдения сигналов. При этом в эмпирических зависимостях учтены условия наблюдения эхо-сигналов, которые в процессе моделирования можно изменять.

Для условий эксперимента, отличного от условий, при которых были получены приведенные эмпирические зависимости, предложена методика приближенного пересчета характеристик эхо-сигналов, что позволяет использовать приведенные зависимости и для других условий эксперимента. Это, в свою очередь, дает возможность исследователям и проектировщикам бортовой аппаратуры проводить математическое моделирование работы проектируемых устройств в условиях функционирования, максимально приближенных к реальным условиям.

Математическое моделирование с использованием приведенных зависимостей фактически является машинным экспериментом, практически адекватным реальному эксперименту, проведенному по реальным объектам, наблюдаемым на фоне моря, что повышает достоверность полученных характеристик качества проектируемых систем обработки информации.

Литература

1. **О вероятности выбора главной цели** / И. С. Локтюков, А. А. Оводенко, А. П. Шепета и др. // Межвуз. сб. – Л.: ЛЭТИ, 1977. Вып. 118. – С.122–125.
2. **Оводенко А. А., Култышев Е. И., Шепета А. П.** Бортовая радиоэлектронная аппаратура. – М.: Изд-во МПИ, 1989. – 335 с.
3. **Тверской Г. Н., Терентьев Г. К., Харченко И. П.** Имитаторы эхо-сигналов судовых радиолокационных станций. – Л.: Судостроение, 1973. – 228 с.
4. **Левин Б. Р., Шварц В.** Вероятностные модели и методы в системах связи и управления. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.
5. **Обнаружение радиосигналов** / П. С. Акимов, Ф. Ф. Евстратов, И. С. Захаров и др.; Под ред. А. А. Колосова. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.
6. **Управление движущимися объектами** / А. А. Елисеев, А. А. Оводенко, А. П. Шепета и др.; Подред. А. А. Елисева и А. А. Оводенко. – М.: Изд-во МГАП «Мир книги», 1994. – 425 с.
7. **Шелухин О. И., Беляков И. В.** Негауссовские процессы. – СПб.: Политехника, 1992. – 312 с.
8. **Шепета А. П.** Синтез нелинейных формирующих фильтров для моделирования входных сигналов локационных систем // Тр. международной научно-технич. конф. (доклады), май 1994. – Киев: АН Украины; НПО Квант. – Вып. 1. – С. 81–85.
9. **Селекция и распознавание на основе локационной информации** / А. Л. Горелик, Ю. Л. Барабаш, О. В. Кривошеев, С. С. Элштейн; Подред. А. Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.

При наличии положительной рецензии статья редактируется и рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи, а также фотографию и краткое изложение сведений о себе.

Процедуры согласования текста статьи, предоставления фото (размером 4x5,5 см) и сведений об авторе могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (электронный вариант фото в виде файла *.tif, *.jpg с разрешением 300 dpi).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию. При необходимости доработать статью — рецензию.

Редакция журнала напоминает, что ответственность за подбор, достоверность и точность фактов, экономико-статистических и технических показателей, собственных имен и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится сведений, не подлежащих открытой публикации, несут авторы публикуемых в журнале материалов и рекламодатели.