

МОДЕЛЬ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ СУДОВ

Как отмечено в работах [1, 2], в настоящее время все большее распространение получает использование аппаратно - программных комплексов для испытаний радиолокационных систем различного назначения. В связи с этим важное значение приобретает разработка математических моделей сигналов, имеющих место для тех или иных условий функционирования радиолокационной системы, и алгоритмов для их реализации на ЭВМ. В частности, одной из задач, возникающей при моделировании радиолокационных сигналов, является задача построения математической модели сигнала, отраженного от подстилающей поверхности. В качестве такой поверхности может выступать поверхность суши или моря. На некотором этапе построения данной модели возникает задача расчета мощности сигнала, отраженного от некоторого элементарного участка поверхности. При этом особенностью модели для морской поверхности является то, что в диаграмму направленности антенны (ДНА) РЛС могут попадать крупногабаритные суда, которые будут создавать участки морской поверхности, недоступные для электромагнитной волны, излученной антенной РЛС, – участки тени. Это в свою очередь приведет к уменьшению мощности отраженного от поверхности сигнала, что должно быть учтено при построении модели.

Как показано в [1, 2], модель входного сигнала антенны РЛС, отраженного от подстилающей поверхности, может быть представлена как сумма сигналов, отраженных от некоторого числа элементарных участков, составляющих эту поверхность:

$$s(t) = e^{j(\omega_0 t + \varphi_0)} \sum_{i=0}^{N-1} A_i(t) U(t - \tau_E^i), \quad (1)$$

где

$$D_i = M[|A_i(t)|^2] = \frac{H_A^2 P_0 S_A G_{APi}}{16\pi^2 r_i^6} r_i \Delta\Theta_\beta \Delta r \alpha_0^S = \frac{H_A^2 P_0 S_A G_{APi}}{16\pi^2 r_i^6} \Delta S_i \alpha_0^S \quad (2)$$

мощность сигнала, отраженного от i -го участка поверхности; $\Delta S_i = r_i \Delta\Theta_\beta \Delta r$ – площадь i -го участка поверхности; ω_0 – частота зондирующего сигнала РЛС; φ_0 – начальная фаза зондирующего сигнала

РЛС; $A_i(t)$ – амплитуда сигнала, отраженного от i -го участка поверхности $U(t)$ – закон модуляции зондирующего сигнала; τ_E^i – задержка сигнала на входе антенны РЛС при отражении от i -го участка поверхности по отношению к моменту посылки зондирующего импульса,

$$r_i = R_{\min} + \frac{\Delta r}{2} + i\Delta r - \quad (3)$$

горизонтальная дальность до центра i -го участка поверхности; Δr – протяженность элементарного участка поверхности по радиальной дальности; P_0 – мощность зондирующего сигнала; H_A – высота антенны; S_A – эффективная площадь раскрытия приемной антенны; G_A – коэффициент усиления антенны РЛС; p_i – коэффициент (случайное число из $[0, 1]$), статистически моделирующий колебания значения площади видимой части (со стороны антенны РЛС) i -го участка поверхности в результате волнение моря; α_0^S – среднее значение удельной эффективной площади рассеивания (ЭПР) элемента морской поверхности.

Пусть L_{sh} – длина надводного судна, D_{sh} – ширина надводного судна, H_{sh} – средняя высота надводного судна, β_{sh}^L – азимут продольной оси судна (может совпадать с азимутом скорости судна при его движении), \vec{e}_{sh}^β – единичный вектор вдоль направления азимута судна β_{sh} (азимута центра масс), \vec{e}_{sh}^L – единичный вектор, направленный вдоль продольной оси судна. Будем рассматривать судно как параллелепипед длиной L_{sh} , шириной D_{sh} и высотой H_{sh} , ориентированный относительно своего азимута под углом $\Delta\beta_{sh}$, где $\Delta\beta_{sh}$ – угол между векторами \vec{e}_{sh}^β и \vec{e}_{sh}^L (Рис.1), $\Delta\beta_{sh} = \beta_{sh}^L - \beta_{sh}$.

Очевидно, что степень затенения водной поверхности судном будет зависеть от его ориентации относительно РЛС и определяться длиной отрезка $AB = L_{sh}^\perp$ – размер судна, видимый со стороны антенны РЛС (рис.1).

$$L_{sh}^\perp = L_{sh} \left| \sin(\beta_{sh}^L - \beta_{sh}) \right| + D_{sh} \left| \cos(\beta_{sh}^L - \beta_{sh}) \right| \quad (4)$$

Пусть R_{sh} – горизонтальная дальность до судна.

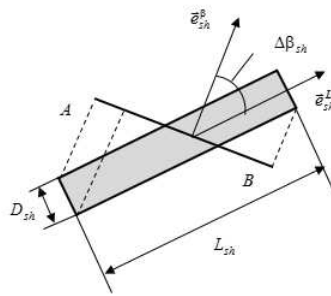


Рисунок 1 – Условное изображения морского судна

Тогда

$$\delta\beta_{sh} = 2\arctg \frac{L_{sh}^{\perp}}{2R_{sh}} - \quad (5)$$

угловой размер судна. Если оказывается, что $\delta\beta_{sh} \ll \Delta\Theta_{\beta}$, где $\Delta\Theta_{\beta}$ – ширина ДНА антенны РЛС по азимуту, то рассматривать затенение не имеет смысла. В противном случае вычислим длину ΔR_{sh} затенённого участка морской поверхности.

Составим пропорцию (рис.2):

$$\frac{\Delta R_{sh}}{R_{sh} + \Delta R_{sh}} = \frac{H_{sh}}{H_A} \quad (6)$$

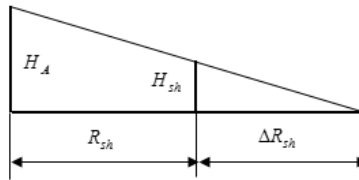


Рис. 2. Схема для расчета протяженности области затенения

Из (6) получаем выражение для определения протяженности зоны затенения

$$\Delta R_{sh} = \frac{R_{sh}}{H_A/H_{sh} - 1}. \quad (7)$$

Полученное выражение имеет смысл при $H_A > H_{sh}$. При этом область тени определяется фигурой BCDE (рис. 3). При $H_A \leq H_{sh}$ будем полагать, что

$$\Delta R_{sh} = R_{\max} - R_{sh} \quad (8)$$

где R_{\max} – максимальная дальность, с которой с которой собирается отраженный от морской поверхности сигнал. В этом случае область затенения будет определяется фигурой BCD'E' (рис. 3).

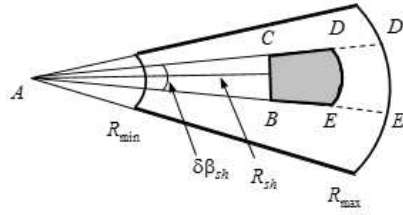


Рисунок 3 – Схема для вычисления площади тени

Вычислим площадь поверхности, с которой собирается отраженный от морской поверхности сигнал в отсутствии надводного судна.

$$\Delta S = \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \int_0^{\Delta\Theta_\beta} r dr d\beta = \left(R_{\min} + \frac{\Delta R}{2} \right) \Delta R \Delta\Theta_\beta, \quad (9)$$

где R_{\min} – минимальная дальность, с которой с которой собирается отраженный от морской поверхности сигнал, $\Delta R = R_{\max} - R_{\min}$.

Вычислим теперь площадь поверхности затененной надводным судном.

$$\Delta S_{sh} = \int_{R_{sh}}^{R_{sh} + \Delta R_{sh}} \int_0^{\delta\beta_{sh}} r dr d\beta = \left(R_{sh} + \frac{\Delta R_{sh}}{2} \right) \Delta R_{sh} \delta\beta_{sh}. \quad (10)$$

Определим площадь морской поверхности, формирующей отраженный сигнал, при наличии затенения части поверхности надводным судном.

$$\Delta S_x = \Delta S - \Delta S_{sh} = \Delta S(1 - ks), \quad (11)$$

где $ks = \frac{\Delta S_{sh}}{\Delta S} = \frac{\left(R_{sh} + \frac{\Delta R_{sh}}{2} \right) \Delta R_{sh} \delta\beta_{sh}}{\left(R_{\min} + \frac{\Delta R}{2} \right) \Delta R \Delta\beta}$ – коэффициент затенения.

затенения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дятко А.А., Костромицкий С.М., Шумский П.Н. Математическая модель сигнала, отраженного от земной поверхности, при сопровождении РЛС низколетящей цели // Доклады БГУИР. 2015. №8(94). С. 17 – 23.

2. Дятко А.А., Костромицкий С.М., Шумский П.Н. Математическая модель радиолокационного сигнала, отраженного от земной поверхности // Труды БГТУ. 2012. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 127 – 130.