

УДК 621.396.96: 621.371.3

А.И. КРАВЧЕНКО

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина***СИНТЕЗ ЛИНЕЙНОЙ ДАЛЬНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТРАЖЕНИЙ, СОЗДАВАЕМЫХ ПРОТЯЖЕННЫМ МОРСКИМ ОБЪЕКТОМ**

На основе радиофизических представлений о формировании рассеянного электромагнитного поля, создаваемого протяженным по дальности морским объектом, синтезирована цифровая линейная модель сигнала на выходе аналого-цифрового преобразователя автоматизированной радиотехнической системы определения координат объекта. Выполнен анализ возможности ее практического применения. Рассмотрены варианты упрощенной реализации в конкретных условиях применения синтезированной модели.

Ключевые слова: объект, координата, дальность, измерения, радиолокатор, поверхность, обработка, модель, отражения, интенсивность, эффект, точка, видеосигнал, импульс.

Введение

Одной из основных задач, решаемых в процессе разработки автоматизированных радиотехнических систем определения местоположения морского судна при его движении в прибрежной зоне, является задача формирования цифрового радиолокационного изображения в плоскости дальномерно-азимутальной координатной системы.

Решение сформулированной задачи, удовлетворяющей требованиям безопасности и точности движения судна в прибрежной зоне, и ее конкретные результаты зависят от ряда факторов, таких, например, как геометрические параметры и форма профиля судна по линейной координате – дальности, условия распространения радиоволн, влияние пассивных помех, дальномерный шум, создаваемый самим судном и т.д.

При этом необходимо принимать во внимание конкретные методы обработки сигналов и помех, параметры радиотехнической системы, генерирующей и принимающей радиолокационный сигнал, рассеиваемый протяженным морским объектом в направлении дальномерной координаты, без чего вообще бессмысленно осуществлять какие-либо расчеты и оценки. Существующие теоретические методики оценки точности координатных измерений [1, 2] базируются на статистическом подходе, основанном на радиофизическом представлении рассеянного электромагнитного поля в виде локальных источников вторичного рассеяния или «светящихся» точек, что в принципе одно и то же. Существуют разновидности многоточечных моделей [3, 4], таких как модель со стабильной светящейся точкой. Такая модель в ряде случаев лучше отображает условия и объекты радиолокационного наблюдения.

Анализ теоретических моделей на уровне «све-

тящихся» точек рассеянного электромагнитного поля, создаваемого протяженным объектом [4], не учитывает ряд факторов, таких, например, как конкретизацию технических средств (радиолокаторы), вид облучения и наблюдения рассеянного электромагнитного поля, конструктивные особенности объекта и т.д.

Проводимые ниже результаты исследований в определенной степени, по мнению автора, позволяют учесть особенности радиолокационного поля рассеяния объектом, связанные с его конструктивными характеристиками, параметрами сигнала излучения и наблюдаемым радиолокационным полем, использованием цифровых схем преобразования наблюдаемого аналогового поля и другие особенности.

Цель работы: синтезировать реализуемую многоточечную модель радиолокационных отражений, создаваемых протяженным морским объектом, ограниченным геометрическими размерами (длиной L и шириной B), обладающим сложным произвольным геометрическим профилем по дальномерной координате, который облучается импульсной радиотехнической системой (радиолокатором) с известными техническими характеристиками. Условия зондирования объекта и эффект влияния морской подстилающей поверхности могут учитываться в частных случаях, когда данные факторы оказывают влияние на точность оценки дальномерной координаты.

Основная часть

Выберем в качестве источника зондирующего сигнала некогерентный импульсный радиолокатор СВЧ диапазона с заданными тактико-техническими характеристиками:

P_e – импульсная мощность излучения;

G – коэффициент усиления антенны;

$\tau_{\text{э}}$ – длительность зондирующего импульса;
 $\theta_{\text{а}}$ – ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости;
 \dot{O}_i – период повторения зондирующих импульсов;
 R_{max} – максимальная дальность действия;
 $\varphi_{\text{В}}$ – угол облучения плоской поверхности судна размерами $L \times B$;

ΔU – шаг квантования аналого-цифрового преобразователя видеосигнала по амплитуде;

Δt – шаг временного квантования видеосигнала.

Предположим, что поверхность судна размерами $L \times B$ заполнена отражателями различной геометрической конфигурации, создающими дискретный набор блестящих точек.

Выходным эффектом радиолокационных отражений, наблюдаемых на выходе АЦП, будем считать уровень интенсивности видеосигнала в точках отсчетов Δt [4]. Поясним это подробнее. Известно, что выходной величиной в некогерентной РЛС является амплитуда $a(t)$ видеосигнала, т.е. на входе АЦП. По известной сквозной амплитудно-частотной характеристике приемного тракта РЛС значение $a(t)$ может быть пересчитано в значение интенсивности отраженного сигнала $I(t)$ на выходе приемной антенны

$$a(t) = \int_0^T I(t)P(t-\tau)dt, \quad (1)$$

где $P(t-\tau)$ – импульсная характеристика приемного тракта.

Для упрощения дальнейших выкладок рассмотрим ситуацию, когда линия визирования РЛС совпадает с продольной осью морского судна, угол скольжения диаграммы направленности $\varphi_{\text{В}} \approx 1 \div 3^\circ$, ширина азимутального пятна диаграммы направленности при $\theta_{\text{а}} = \theta_{\text{В}}$ в области нахождения объекта $A_{\text{R}} < B$, т.е. все светящиеся точки, находящиеся в области $L \times B$, создают радиолокационное поле в направлении РЛС.

При заданной длительности зондирующего импульса $\tau_{\text{э}}$ разрешающая способность РЛС по дальности составит $\Delta D = C\tau_{\text{э}}/2$, что позволяет разбить всю длину L судна на некоторое конечное число подинтервалов

$$N_{\tau_{\text{э}}} = L/\Delta D \quad (2)$$

и считать, что любое произвольное число блестящих точек, попавших в каждый интервал, воспринимается РЛС как точечный объект, т.е. одной статистиче-

ской «светящейся точкой, создающей на выходе антенны» РЛС дискретную последовательность интенсивностей, отстоящих от точки наблюдения на временном интервале τ_i :

$$I_i = \frac{P_{\text{э}} \cdot G}{(4\pi)^2 \cdot R_i^4} \sigma_i^2; i \in 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

Здесь σ_i^2 – ЭПР_i точечного статистического объекта, находящегося в области ΔD_i .

$$\sigma_i^2 = \bar{\sigma}_i^2 - \tilde{\sigma}_i^2, \quad (4)$$

где $\bar{\sigma}_i^2$ – средняя ЭПР_i в ΔD_i локальной области;

$\tilde{\sigma}_i^2$ – флуктуации ЭПР_i.

Флуктуации $\tilde{\sigma}_i^2$ возникают при изменении курса движения судна относительно зондирующей РЛС, т.е. в динамике, когда положение продольной оси и линии визирования в плоскости не параллельны. Кроме того, причиной возникновения $\tilde{\sigma}_i^2$ может быть качание судна при сильном морском волнении.

Отметим еще одно важное обстоятельство, существенно влияющее на конкретное значение σ_i^2 . Поскольку σ_i^2 формируется блестящими точками, находящимися внутри интервала разрешения ΔD_i , путем суммирования парциальных радиопульсов со случайными начальными фазами, то возможен случай когда $\sigma_i^2 = 0$, т.е. образуется провал в упорядоченной последовательности интенсивностей P_i .

Таким образом, форма огибающей результирующего рассеянного сигнала может иметь и провалы.

С учетом вышеизложенного линейная модель радиолокационных отражений, создаваемых протяженным морским объектом, может быть представлена как

$$I(t) = \sum_{i=1}^N I_i(t-t_i). \quad (5)$$

Здесь N – случайная, но конечная последовательность локальных источников рассеяния, причем $N \leq N_{\tau_{\text{э}}}$; t_i – текущий момент времени наблюдения интенсивности I_i .

Соотношение (5) можно записать и через дискретные амплитуды на основе соотношения (1):

$$S^*(t) = \sum_{i=1}^N A_i(t-t_i); I_i = A_i^2. \quad (6)$$

Из рассмотрения соотношения (6) следует, что информационным параметром координаты дальности линейного протяженного объекта являются моменты времени $\bar{t} = t_1, t_2, \dots, t_N$. Амплитуда $\bar{A} = A_1, A_2, \dots, A_N$ является энергетическим пара-

метром, определяющим характеристики обнаружения рассеянного объектом сигнала и в общем случае также содержащую информацию о дальномерной координате.

В силу статистического характера выборки \bar{t} возникает дальномерный шум [1], т.е. флуктуации моментов времени задержек t_1, t_2, \dots, t_N , что приводит к изменениям времени запаздывания суммарно-го отраженного сигнала (6).

Геометрическое представление радиофизических эффектов формирования одномерной модели дальномерных радиолокационных отражений иллюстрирует рис. 1.

Все приведенные на рис. 1 обозначения не требуют особых пояснений, поскольку они соответствуют вышеизложенному тексту.

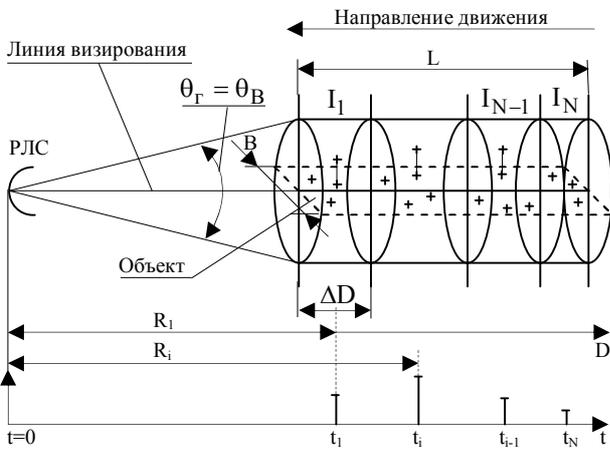


Рис. 1. Геометрическая интерпретация радиофизических эффектов формирования одномерной модели дальномерных радиолокационных отражений

Реально-наблюдаемый одномерный временной сигнал на входе АЦП представляет собой флуктуирующий по амплитуде видеоимпульс, длительность которого больше длительности зондирующего радиоимпульса. Это различие тем больше, чем больше $N_{\tau_{\hat{e}}}$. Физически такой видеосигнал можно сформировать путем воздействия на тракт аналоговой обработки очень коротких по длительности радиоимпульсов (δ -импульсов) в точках \bar{t} .

Используемая в дальнейшем для координатных измерений цифровая модель видеосигнала представляет собой упорядоченный набор квантованных по времени цифровых отсчетов амплитуды видеосигнала. Выбор параметров квантования при аналого-цифровом преобразовании достаточно подробно излагается в соответствующих технических информационных источниках [5, 6] и др.

Для точного представления формы огибающей видеосигнала необходимо знать динамический диа-

пазон изменения амплитуды. Обычно ориентируются на использование стандартных двоичных 14-разрядных АЦП.

Для точного представления временного положения переднего фронта видеосигнала необходимо обеспечить требуемую ширину полосы пропускания аналогового тракта радиолокатора. Поскольку его временное положение определяет расстояние между РЛС и ближайшими элементами конструкции протяженного объекта, формирующими первую «блестящую» точку. Обычно при существующих и используемых практически длительностях импульсного излучения частота дискретизации выбирается из условия

$$f_g^* \geq (2 \div 4) \Delta S^*, \quad (7)$$

где $\Delta S^* = \Delta S / (1,4 \div 1,6)$, $(\Delta S = 1/\tau_{\hat{e}})$;

$\tau_{\hat{e}}$ – длительность излучаемого радиоимпульса.

Реально используемая при аналого-цифровом преобразовании видеосигнала частота дискретизации лежит в диапазоне 18÷28 МГц.

С учетом операций, выполняемых АЦП, реальную модель линейно протяженного объекта можно представить как

$$S^*(t) = \sum_{i=1}^K \hat{A}_i [t - (\tau_{\min} + \Delta t_i)], \quad (8)$$

где \hat{A}_i – цифровые отсчеты амплитуды в тактовых точках временной дискретизации;

$\Delta t = 1/f_g^*$ – шаг временной дискретизации;

$\tau_{\min} = 2R_1/C$ – минимальная временная задержка отраженного сигнала от ближайших элементов конструкции морского судна;

$$K \geq N_{\tau}.$$

Общая длительность квантуемого по времени отраженного сигнала сосредоточена в интервале

$$\Delta \tau_S = \tau_0 + (\tau_{\max} - \tau_{\min}), \quad (9)$$

где τ_0 – длительность зондирующего радиоимпульса;

τ_{\max} – временная задержка заднего фронта квантованного видеоимпульса.

При этом конечная длительность может быть определена как

$$\Delta \tau_S^* = K \cdot \Delta t, \quad (10)$$

т.е. конечная длительность будет равна числу временных интервалов, укладывающихся в наблюдаемой длительности импульса $\Delta \tau_S$.

Из рассмотрения соотношения (8) следует, что в зависимости от линейных размеров морского судна, особенностей геометрической структуры, состава обслуживаемых судов (их количества и геомет-

рических размеров) в зоне ответственности автоматизированной радиотехнической системы возможны упрощения модели.

Так для судов минимальной линейной протяженности $L \approx 20 \div 50$ м, морских буев, створных знаков можно использовать простейшую двухэлементную линейную модель $K = 2 \div 4$, а координатную оценку местоположения судна осуществлять по ближайшей «блестящей» точке.

Второй достойной практического применения линейной моделью можно считать бинарную модель

$$\overline{S^*}(t) = \sum_{i=1}^K [t - (\tau_{\min} + \Delta t_i)]. \quad (11)$$

Данная модель позволяет уменьшить влияние конструктивных особенностей протяженных объектов с большими геометрическими размерами ($L \approx 150 \div 300$ м, $B \approx 20 \div 40$ м).

Выводы

Разработана простая линейная модель протяженного по дальности морского объекта, учитывающая радиофизические особенности рассеяния электромагнитного излучения и амплитудно-временную структуру видеосигнала, наблюдаемую на выходе аналого-цифрового преобразователя автома-

тизированной радиотехнической системы. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при обработке сигналов в дистанционных системах зондирования земной поверхности, радиолокационных системах обнаружения гидromетеообразований и многих других системах.

Литература

1. Островитянов Р.В. Статистическая теория радиолокации протяженных целей / Р.В. Островитянов, Ф.А. Бакалов. – М.: Радио и связь, 1982. – 231 с.
2. Кулемин Г.П. Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью Земли под малыми углами / Г.П. Кулемин, В.Б. Разказовский. – К.: Наукова думка, 1987. – 232 с.
3. Кулемин Г.П. Статистические характеристики радиолокационных целей / Г.П. Кулемин, В.Б. Разказовский // Препринт 92-2. – X., 1992. – 32 с.
4. Штагер Е.А. Рассеяние волн на телах сложной формы / Е.А. Штагер. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.
5. Атамаян Е.Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Е.Г. Атамаян. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
6. Мирский Г.Я. Электрические измерения / Г.Я. Мирский. – М.: Радио и связь, 1986. – 310 с.

Поступила в редакцию 29.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Проектирование радиоэлектронных систем летательных аппаратов» И.В. Барышев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

СИНТЕЗ ЛІНІЙНОЇ ДАЛЕКОМІРНОЇ МОДЕЛІ РАДІОЛОКАЦІЙ ВІДДЗЕРКАЛЕНЬ, ЩО СТВОРЮЮТЬСЯ ПРОТЯЖНИМ МОРСЬКИМ ОБ'ЄКТОМ

О.І. Кравченко

На основі радіофізичних уявлень про формування розсіяного електромагнітного поля, що створюється протяжним по дальності морським об'єктом, синтезована цифрова лінійна модель сигналу на виході аналого-цифрового перетворювача автоматизованої радіотехнічної системи визначення координат об'єкту. Виконаний аналіз можливості її практичного застосування. Розглянуті варіанти спрощеної реалізації в конкретних умовах застосування синтезованої моделі.

Ключові слова: об'єкт, координата, дальність, виміри, радіолокатор, поверхня, обробка, модель, віддзеркалення, інтенсивність, ефект, точка, видеосигнал, імпульс.

SYNTHESIS OF LINEAR RANGE-FINDER MODEL OF RADIO-LOCATION REFLECTIONS, CREATED BY EXTENSIVE MARINE OBJECT

A.I. Kravchenko

On the basis of radiophysical pictures of forming of the dissipated electromagnetic field, created by an extensive on distance marine object, the digital linear model of signal is synthesized on the output of ADC of radio engineering CAS of determination of co-ordinates of object. The analysis of possibility of her practical application is executed. The variants of the simplified realization are considered in the concrete terms of application of the synthesized model.

Key words: object, coordinate, distance, measuring, radio-locator, surface, treatment, model, reflections, intensity, effect, point, videosignal, impulse.

Кравченко Александр Иванович – канд. техн. наук, докторант кафедры «Проектирование радиоэлектронных систем летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.