

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ СВОЙСТВ АНТЕННЫ РЛС П-37 ДЛЯ ИМИТАЦИИ СИГНАЛЬНО-ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ

к.т.н. М.Р. Арасланов, М.П. Батурицкий, к.т.н. В.Г. Гартованов
(представил д.т.н., проф. О.И. Сухаревский)

Предложен способ моделирования результирующих направленных свойств зеркальных антенн обзорных радиолокаторов. Приведены примеры имитации сигнально-помеховой обстановки с использованием полученных моделей диаграммы направленности антенны РЛС П-37.

Постановка проблемы и анализ литературы. Возросшие за последнее время возможности вычислительных средств позволяют методом моделирования исследовать сложные процессы и явления в реальном масштабе времени. Для средств радиолокации появляется возможность оценивать эффективность образца вооружения на различных этапах его разработки и эксплуатации, для чего необходимо иметь модели эхо-сигналов целей и помех, а также модели самих средств радиолокации. Следует отметить, что при составлении таких моделей особое значение имеет описание результирующей диаграммы направленности антенны (ДНА) РЛС с учетом влияния подстилающей поверхности.

Одним из распространенных радиолокационных средств является РЛС П-37. На ее примере проводилось моделирование направленных свойств антенны и сигнально-помеховой обстановки.

Обычно в имитационном моделировании диаграммы направленности антенны РЛС в вертикальной и горизонтальной плоскостях аппроксимируют только главным лепестком [1]. Боковые лепестки или вообще не учитывают (их уровень равен нулю), или задают их постоянный уровень для всех углов. Названные способы не позволяют корректно моделировать некоторые ситуации, например, воздействие постановщика активных шумовых помех (АШП) на РЛС. В большей степени реальной диаграмме направленности антенны соответствует модель, полученная путем Фурье преобразования амплитудно-фазового распределения поля (АФР) в раскрыте антенны с дальнейшим использованием только главного и ближних боковых лепестков, ввиду существенного значения ошбок при расчете дальних лепестков [2].

Целью статьи является изложение способа моделирования результирующей ДНА на примере РЛС П-37 и метода имитации сигнально-помеховой обстановки.

Исходные условия. При использовании предложенного способа задания ДНА РЛС принимаются следующие допущения:

- диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости для свободного пространства находится путем одномерного пространственного Фурье преобразования от АФР поля, наведенного облучателями в раскрыве антенны, т.е. в плоскости сечения, которое проходит через фокальную ось перпендикулярно поверхности Земли;

- для описания ДНА в горизонтальной плоскости в качестве раскрыва антенны используется горизонтальное сечение отражателя, также проходящее через фокальную ось;

- отражатель антенны представляет собой несимметричную вырезку из идеально проводящего параболоида вращения;

- неточности изготовления отражателей и влияние на них различных факторов (деформации, действие метеофакторов и т.п.) учитывается в среднеквадратическом отклонении амплитуды и фазы поля в раскрыве антенны δ_v , δ_ϕ от расчетного, а также радиусом корреляции ошибок амплитуды и фазы ρ_v , ρ_ϕ с коэффициентом корреляции $r_v(x, x_1)$ $r_\phi(x, x_1)$, где x и x_1 – координаты точек в раскрыве антенны;

- закон распределения ошибок квадратурных составляющих АФР поля в точках раскрыва антенны принимается нормальным с нулевым математическим ожиданием;

- амплитудно-фазовое распределение поля в раскрыве антенны находится методом геометрической оптики;

- калибровка модели проводится по данным технического описания на образец вооружения;

- время облучения цели считается достаточно малым, в течение которого АФР не меняется;

- двумерная ДНА находится путем перемножения соответствующих составляющих для горизонтальной и вертикальной плоскостей.

Учет влияния различных внешних факторов на антенну проводится путем добавления к рассчитанной регулярной составляющей АФР в раскрыве антенны случайной составляющей с заданными характеристиками распределения. При формировании сигнала на выходе линейной части приемного тракта РЛС, помимо модуляции его диаграммы направленности антенны, добавляется шумовая составляющая, имитирующая шумы антенны и приемного тракта.

Модель результирующей ДНА РЛС П-37. Расчет ДНА в горизонтальной плоскости проводится вкруговую с шагом $\Delta\beta$. В вертикальной плоскости расчет осуществляется также вкруговую, но с учетом отраженных и рассеянных Землей электромагнитных волн, приводящих к искажениям ДНА. Учет влияния Земли производится с использованием фасетно-рассеивающего метода [3].

Диаграмма направленности антенны в окрестности главного луча для каждой плоскости находится апертурным методом [4]. Цифровое моделирование подразумевает переход от непрерывных сигналов и процессов к дискретным. Шаг дискретизации Δl АФР выбирается исходя из условия

$$\Delta l \leq \frac{\lambda}{2} \quad (\text{теорема Котельникова}).$$

Коэффициент корреляции амплитудных и фазовых ошибок принимается независимым от положения точек раскрыва x и x_1 , а зависит

$$\text{только от расстояния между ними } r_B = e^{-\frac{(x-x_1)^2}{\rho_B^2}}, \quad r_\varphi = e^{-\frac{(x-x_1)^2}{\rho_\varphi^2}}.$$

Для нахождения амплитуды поля в точке В (рис. 1) учитывается ДН облучателя, его положение и ориентация, а также координаты точки раскрыва.

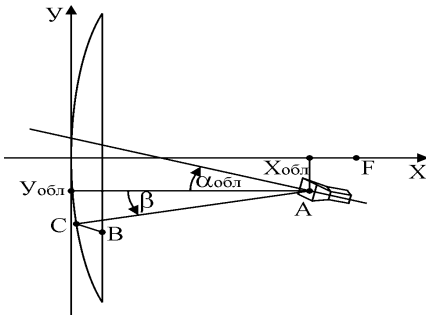


Рис. 1. Расчет АФР антенны

Фаза поля в точке В определяется соотношением $\varphi = kd$, где k – волновое число, а $d = AC + CB$ – длина пути, пройденного электромагнитной волной от облучателя до точки, находящейся в раскрыве отражателя. Амплитуда поля в точке В принимается пропорциональной $\frac{1}{d}$.

По значению амплитуды и фазы поля в каждой точке раскрыва согласно апертурному методу расчета находится ДНА по полю.

Калибровка модели проводится путем обеспечения соответствия полученной модели паспортным данным, приведенным в техническом описании на РЛС П-37 (в предположении развертывания РЛС на ровной шероховатой местности). В рассмотренном случае полученные нормированные ДНА для 1 – 4 приемо-передающих каналов (ППК) соответствуют паспортным данным. Для обеспечения аналогичного соответствия нормированной ДНА 5-го ППК осуществлялся подбор распределения мощности между излучателями.

На рис. 2 приведен пример модели ДНА П-37 в вертикальной плоскости с учетом влияния шумов антенны, линейной части приемного тракта и отражений от Земли.

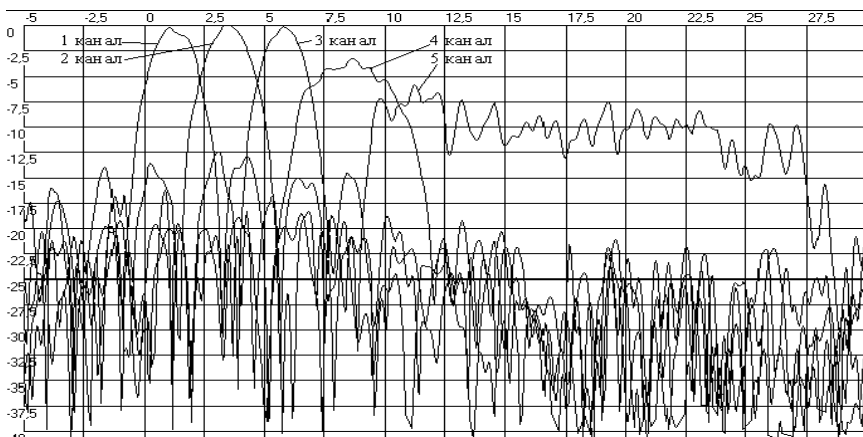


Рис. 2. Модель ДНА П-37 в вертикальной плоскости

На рис. 3 представлена одна из реализаций модели ДНА П-37 в горизонтальной плоскости с учетом влияния шумов.

Данные, приведенные на рисунках, хорошо согласуются с соответствующими данными, представленными в техническом описании на образец вооружения в пределах главных лучей и ближних боковых.

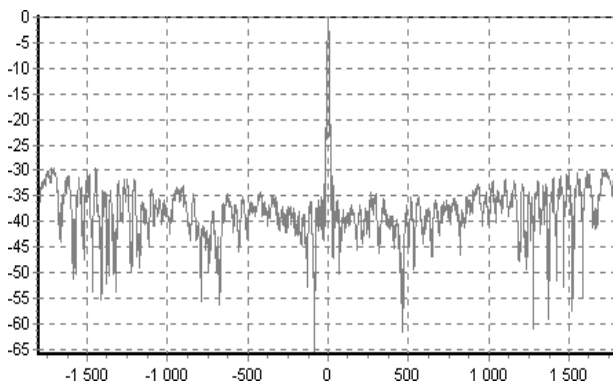


Рис. 3. Модель ДНА П-37 в горизонтальной плоскости

При описании ДНА представляется в виде дискретных выборок в горизонтальной плоскости вкруговую с шагом $\Delta\beta$, определяемым темпом обзора пространства и периодом посылки зондирующих сигналов РЛС, а в вертикальной плоскости в верхней полусфере – с шагом, равным потенциальной точности измерения угла визирования точечного объекта, но не более половины ширины луча.

Из-за невозможности простыми методами без измерения парамет-

ров ближнего поля получать достоверные результаты расчетов дальних боковых лепестков ДНА, они задавались в виде случайных реализаций с учетом специфики пространственного спектра антенны РЛС. В этом случае можно, в принципе, обеспечить формирование модели сигналов и помех, адекватных реальным в среднестатистическом смысле. Другими словами, не будет обеспечено точное совпадение пространственных и энергетических параметров модели с реальными параметрами сигналов и помех, обусловленными дальними боковыми лепестками ДНА данной РЛС, но будет обеспечен учет влияния пространственных и энергетических параметров моделей сигналов и помех в виде случайных реализаций, похожих на реальные.

Модель сигнально-помеховой обстановки. Разработанная модель ДНА использована при имитации сигнально-помеховой обстановки. Мощность сигнала $P_{\text{пр}}$, отраженного от цели, на входе приемника каждого приемного канала находится согласно формуле радиолокации из соотношения [5]:

$$P_{\text{пр}} = \frac{15 P_{\text{пер}} D_{\text{max}}^2 F^4(\Theta, \varphi) \sigma \lambda^2}{8 Z_c \pi^2 r^4}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пер}}$ – мощность передатчика соответствующего канала; $F(\Theta, \varphi)$ – нормированное значение ДНА по полю для соответствующего ла; σ – значение эффективной поверхности рассеяния цели; r – расстояние до цели; Z_c – сопротивление свободного пространства; D_{max} – максимальное значение коэффициента направленного действия антенны, которое находится из соотношения [2]

$$D_{\text{max}} = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} F^2(\Theta, \varphi) \sin \Theta d\Theta d\varphi}. \quad (2)$$

Уровень воздействующей АШП на входе приемника РЛС находится из соотношения [5]

$$P_{\text{ПРАШП}} = \frac{P_{\text{пом}}}{4\pi r^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} D_{\text{max}} F^2(\theta, \varphi), \quad (3)$$

где $P_{\text{пом}}$ – мощность источника АШП.

При расчете по формулам (1), (2) и (3) использовались значения ДНА, которые рассчитывались согласно приведенному выше способу.

Для наглядности представления результатов была разработана модель индикатора кругового обзора (ИКО). При создании модели ИКО

РЛС П-37 реализованы основные органы управления ИКО и режимы работы станции. Для повышения скорости отображения графической информации предлагается использовать высокопроизводительную графическую библиотеку OpenGL.

В качестве примера на рис. 4, а приведен вид экрана ИКО РЛС П-37 с отметками от целей, а также пассивными помехами в виде отражений от местных предметов. Правдоподобность обусловлена пространственным совпадением параметров модели отражений от местных предметов с географическим положением отражателей, а близость к реальным уровням отражений обеспечена соответствующей калибровкой с использованием экспериментальных данных, приведенных в [6].

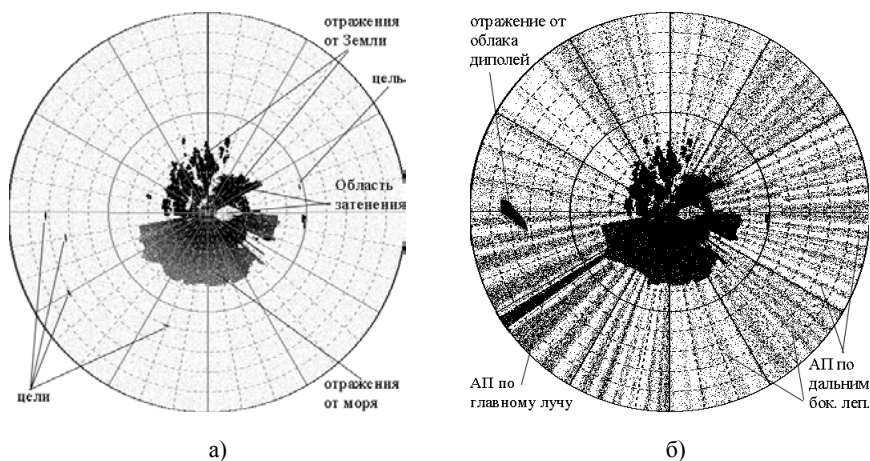


Рис. 4. Примеры моделей сигнально-помеховой обстановки для РЛС П-37

Межпериодная декорреляция модели мешающих отражений обеспечена взвешенным суммированием реализаций эхо-колебаний от точечных отражателей в элементе разрешения на заданной дальности в круговую для каждого периода посылок с учетом перемещения ДНА в процессе обзора. Декорреляция по дальности обеспечена использованием независимых квадратурных выборок из случайного процесса с нормальным законом распределения в каждом элементе разрешения.

На рис. 4, б показан вид экрана ИКО при наличии АШП и облака дипольных отражателей. Эффект от действия АШП наблюдается не только с направления постановщика, но и других, что обусловлено боковыми лепестками ДНА РЛС.

Характерной особенностью представленных примеров моделей яв-

ляется то, что в них обеспечена пространственно-временная доплеровская модуляция отражений и их декорреляция, обусловленная движением объектов и влиянием боковых (дальних и ближних) лепестков ДНА. Ближние к реальным обеспечиваются и корреляционные свойства моделей активных маскирующих помех.

Выводы. Таким образом, предложенный способ моделирования результирующих направленных свойств антенны на примере РЛС П-37 позволяет обеспечить правдоподобность ее параметров не только в пределах главного луча и ближних боковых, но и дальних, структуру которых можно изменять случайным образом. Изложенный метод имитации сигнально-помеховой обстановки может быть полезен при определении параметров зон обнаружения РЛС, при решении задачи выбора позиции РЛС и при испытаниях новых систем и узлов радиолокаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Громов Г.Н., Иванов Ю.В., Савельев Т.Г., Синецын Е.А. *Адаптивная пространственно-доплеровская обработка эхо-сигналов в РЛС управления воздушным движением.* – С.-Пб., 2002.
2. Шифрин Я.С. *Антенны.* – Х.: ВИРТА, 1976.
3. Арасланов М.Р., Бабак Э.Н., Гартованов В.Г., Колесник А.Н. *Фацетно-рассеивающий метод определения результирующих направленных свойств антенны обзорной РЛС в вертикальной плоскости при неровностях окружающей земной поверхности // Збірник наукових праць.* – Х.: ХВУ. – 2001. – Вип. 7(37). – С. 51 – 54.
4. Никольский В.В., Никольская Т.И. *Электродинамика и распространение радиоволн.* – М.: Наука, 1989.
5. Дулевич В.Е., Коростелев А.А. и др. *Теоретические основы радиолокации.* – М.: Сов. радио, 1964.
6. Кулемин Г.П., Разказовский В.Б. *Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью Земли под малыми углами.* – К.: Наук. думка, 1987.

Поступила 4.08.2003

АРАСЛАНОВ Михаил Римович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1985 году окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище ПВО. Область научных интересов – радиолокация, вооружение радиотехнических войск.

БАТУРИНСКИЙ Мирослав Павлович, адъюнкт ХВУ. В 2000 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – имитационное цифровое моделирование в радиолокации.

ГАРТОВАНОВ Владимир Григорьевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1967 году окончил АРТА. Область научных интересов – радиолокация, радионавигация, вооружение и военная техника.