

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПЕЛЕНГА

В обозримом будущем радиолокационные станции (РЛС) будут оставаться главным средством измерения радиолокационного пеленга (РЛП), который является основным получаемым РЛС навигационным параметром, используемым для обеспечения работы систем автоматизированной радиолокационной прокладки (САРП). От точности определения пеленга зависит адекватность принимаемых решений судоводителем по безопасному расхождению судов.

В 2004 г. на сессии подкомитета по безопасности ИМО были приняты Резолюции MSC.191(79) и MSC.192(79) по новым общим стандартам радиолокационного оборудования, которые направлены на совершенствование требований, в том числе и к точности измеряемых навигационных параметров.

На точность влияют различного вида препятствия на пути распространения электромагнитной волны (ЭМВ), пренебрежение которыми может вызывать погрешность в определении РЛП до $2 - 3^\circ$ для разных типов РЛС [1, 2, 3, 4]. Вопросы влияния препятствий на работу радиолокационных систем в литературе исследованы, ограничиваясь только упоминанием о наличии негативного воздействия на характеристики принимаемого сигнала [4, 5, 6, 7].

В настоящих условиях, использования на судах информационных технологий в устройстве приборов наблюдения за окружающей обстановкой, появляется возможность рассчитать и ввести поправки, учитывающие отклонение максимума диаграммы направленности антенны в виде радиодевииации сигнала РЛС при выполнении наблюдений и расчетов, выполняемых САРП.

Основной проблемой точного определения РЛП является искажение сигнала РЛС из-за влияния внешней среды распространения и наличия препятствий на пути излученного высокочастотного сигнала, определяемого архитектурой судна.

В связи с этим возникает практическая задача разработки методологии коррекции измеренного навигационного параметра путем учета отклонений, вызванных конструктивными особенностями судна. Определение и учет корректуры возможно как на построенном судне, так и в процессе проектирования, постройки или переоборудования.

Для решения этой задачи предлагается определить закономерности

влияния препятствий на распространение ЭМВ и рассчитать области, сектора и высотные плоскости искривления электромагнитного поля. Это представляется возможным за счет создания карты областей и направлений изменения и отклонения измеряемых навигационных параметров, являющихся составными частями информации о распространении ЭМВ.

ЭМВ от приемо-передающей антенны можно считать плоской гармонической волной с определенным направлением поляризации [8]. В этом случае уравнения Максвелла, описывающие любые электромагнитные волны трансформируются в уравнения Гельмгольца

$$\begin{aligned} \nabla \times (\mu^{-1} \nabla \times \vec{E}) - \omega^2 \epsilon_c \vec{E} &= 0; \\ \nabla \times (\epsilon_c^{-1} \nabla \times \vec{H}) - \omega^2 \mu \vec{H} &= 0, \end{aligned}$$

где \vec{E} и \vec{H} – напряженности электрического и магнитного полей; ω – циклическая частота; μ – магнитная проницаемость среды; ϵ_c – комплексная диэлектрическая проницаемость,

$$\epsilon_c = \epsilon - i \frac{\sigma}{\omega};$$

σ – проводимость среды.

Уравнение (1) было решено в Partial Differential Equation Toolbox среды Matlab. Было рассчитано электромагнитное поле, излучаемое антенной шириной 2 м мощностью 10 кВт с длиной волны 9 см, в области радиусом 20 м при наличии объектов-помех. Схема расчетной области показана на рис. 1.

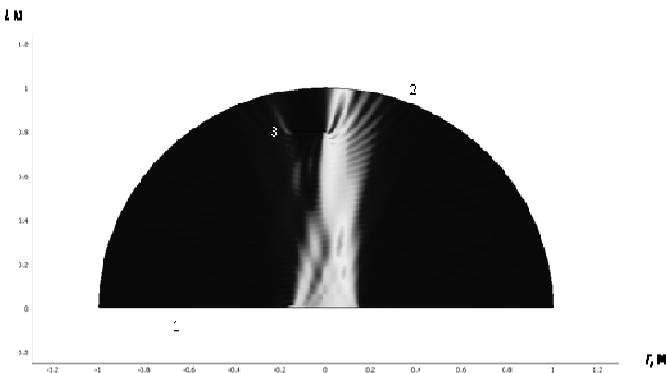


Рис. 1. Расчетная область в раскрыве антенны при наличии объекта-помехи

Граничные условия для решения уравнения (1) были выбраны такими: на границе 1 (рис. 1), которая соответствует ближней области излучения параболической антенны, напряженность и фаза электрического поля выбраны постоянными. Величина напряженности электрического поля составляла 19,3 В/м и рассчитана исходя из мощности сигнала излучаемого антенной. На остальных границах расчетной области применены так называемые рассеивающие граничные условия, которые соответствуют прохождению волны через такие границы без отражения, вне зависимости от угла распространения. При двумерных расчетах объект-помеха (например, мачта судна) смоделирован как поглощающая сфера 3, (рис. 1) с высокой электрической проводимостью (10 См/м). Положение и размер этой проводящей сферы в расчетах варьировался. Для определения отклонения главного максимума излучения антенны рассчитывалось угловое распределение дальнего поля по напряженности и фазе поля на границе 2 (рис. 1). Дальнее поле рассчитывалось по формуле Стреттона-Чу:

$$E_p = \frac{ik_0}{4\pi} r_0 \times \int \left[\vec{n} \times \vec{E} - \eta_0 \vec{r}_0 \times (\vec{n} \times \vec{H}) \right] \exp(ik_0 \vec{r} \cdot \vec{r}_0) dS,$$

где \vec{E} и \vec{H} – напряженности электрического и магнитного полей на определенной поверхности S вблизи антенны (на линии 2 рис. 1); \vec{r}_0 – единичный вектор, направленный в точку дальнего поля p ; \vec{n} – единичный вектор нормали к поверхности S ; \vec{r} – радиус-вектор (не единичный) к поверхности S ; k_0 – волновой вектор в свободном пространстве; $\eta_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$ – импеданс свободного пространства.

Антенна расположена в начале координат, в то время как точка дальнего поля p находится на бесконечности с определенным угловым положением. Характерная картина распределения дальнего поля излучения при наличии помехи показана на рис. 2.

Варьирование положения объекта-помехи проводилось следующим образом. Центр рассеивающей сферы последовательно помещался в различные точки сетки с ячейками 25 см по оси x и 1 м по оси y от центра антенны.

На рис. 3 показаны результаты расчетов углового отклонения центрального максимума излучения (f) в зависимости от расстояния от антенны до центра помехи.

Анализируя эти кривые, можно сделать следующие выводы.

1. Если центр помехи находится ближе 1 м от центра антенны по оси x , направление отклонения центрального максимума дальнего поля может хаотически меняться в зависимости от положения помехи по оси y (т.е., например, помеха, находящаяся слева от центра антенны

может создавать отклонения и в левую и в правую стороны). Однако, величины этих отклонений невелики и при линейных размерах помехи до 50 см не превышают $f = 0,15^\circ$.

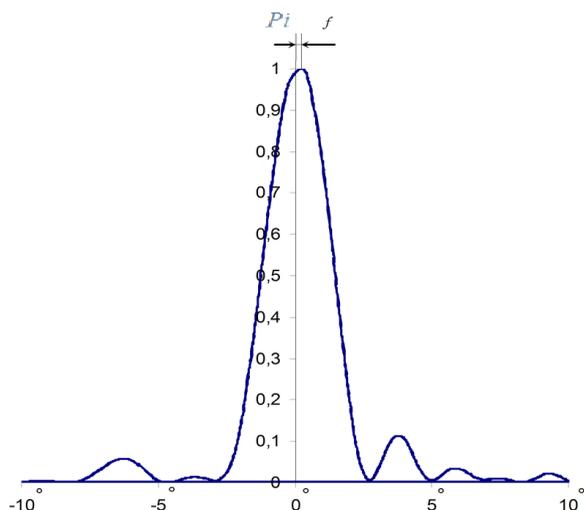


Рис. 2. Характерное распределение дальнего поля излучения антенны при размере помехи до 50 см: P_i – относительная величина излучаемой мощности антенны

2. Максимальные отклонения центрального максимума при наличии одной помехи размером до 52 см наблюдаются, когда помеха находится на расстояниях от 1 до 2 м от центра антенны по оси x (на рис. 3), т.е. на пути распространения одного из вторых лепестков распределения поля излучения. При этом энергия поля перераспределяется между лепестками таким образом, что отклонение центрального максимума может достигать $f = 0,5^\circ$. Направление такого отклонения в этом случае строго определено (если, например, помеха находится слева от оси антенны, то отклонение всегда будет вправо).

3. При наличии помех больших размеров или нескольких малых (до 50 см), высота центрального максимума становится меньше, чем высота одного из боковых, т.е. боковой максимум при приеме сигнала будет идентифицирован, как главный. При этом отклонение луча может достигать нескольких градусов. Характерное распределение дальнего поля в этом случае (при наличии двух объектов помех) показано на рис. 4.

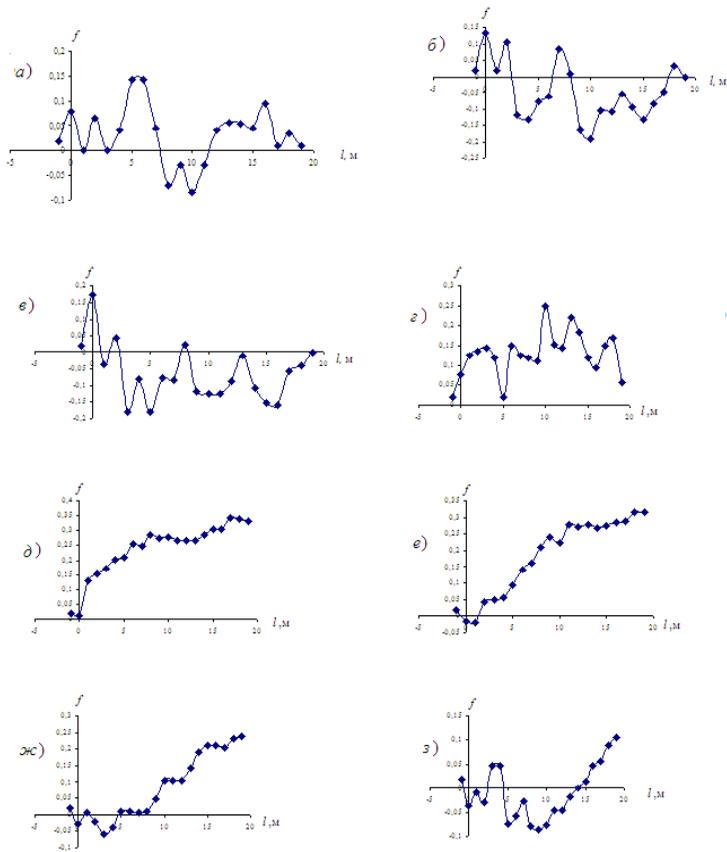


Рис. 3. Угловое отклонение центрального максимума излучения антенны в зависимости от расстояния от антенны до центра помехи: а) – 0,25м; б) – 0,5 м; в) – 0,75 м; г) – 1,0 м; д) – 1,25 м; е) – 1,5 м; ж) – 1,75 м; з) – 2,0 м (вдоль оси антенны)

Выявленные основные закономерности, описывающие влияние судовых препятствий на работу радиолокационных станций позволяют установить факторы, определяющие свойства изучаемого объекта. Измерения непосредственно на объекте возможны, но имеют тот существенный недостаток, что влекут за собой отрыв объекта от выполнения им его основных задач. Применение метода математического моделирования дало возможность выявить отклонение максимума

диаграммы направленности антенны РЛС при изменении ситуации расположения судовых препятствий на пути распространения ЭМВ с учетом различных искажений, создаваемых отдельными надстройками и мачтами. Учет факторов искажения сигнала позволит существенно повысить точность измеряемого навигационного параметра (РЛП).

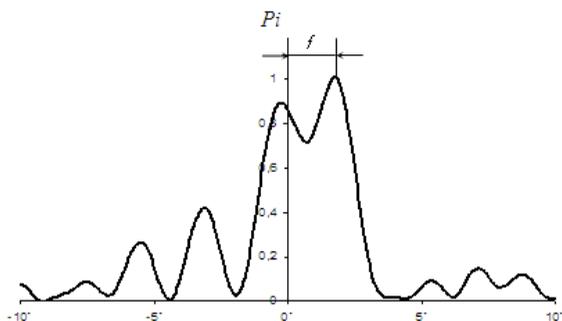


Рис. 4. Диаграмма направленности антенны

Перспективой дальнейших исследований является разработка карт областей отклонений навигационных параметров в зависимости от размеров и расположения судовых препятствий для действующих РЛС и определение рекомендованных мест установки радиолокационного оборудования при постройке или реконструкции судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данцевич В.А. Радиолокационная проводка судна в узкостях / В.А. Данцевич, А.И. Шевченко, Д.И. Коваленко. – М.: Транспорт, 1984. – 79 с.
2. Кондрашихин В.Т. Определение места судна – М.: Транспорт, 1981. – 208 с.
3. Орлов Е.О. Использование автоматической идентификационной системы для оценки погрешности измерения пеленгов судовыми РЛС // Судовождение : сборник научных трудов. – Одесса : ОНМА, 2007. – № 13. – С. 131–137.
4. Байрашевский А.М. Судовые радиолокационные системы / А.М. Байрашевский, Н.Т. Ничипоренко. – М.: Транспорт, 1982. – 311 с.
5. Латинский С.М. Девиация судовых радиолокационных станций / С.М. Латинский. – Л.: Судостроение, 1966. – 160 с.

6. Лобкова Л.М. Распространение радиоволн над морской поверхностью / Л.М. Лобкова – М.: Радио и связь, 1991. – 256 с.
7. Зурабов Ю.Г. Судовые средства автоматизации предупреждения столкновений судов / Ю.Г.Зурабов, Р.Н. Черняев, Е.В. Якшевич, В.Я. Яловенко. – М.: Транспорт, 1985. – 264 с.
8. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн – М.: Высшая школа, 1992. – 416 с.