

## АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ В АПЕРТУРЕ АНТЕННЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА

Н.В. Бархударян, к.т.н. А.З. Сазонов, д.т.н., проф. О.И. Сухаревский

*На основе анализа амплитудно-фазового распределения поля в апертуре приемной антенны, находящейся в ближней зоне рассеивающего аэродинамического объекта, дано объяснение одной из причин возникновения импульсных возмущений в канале углового сопровождения, приводящих к увеличению ошибок определения угловых координат.*

В современных РЛС широкое распространение имеют различные виды моноимпульсных угловых координаторов. Наибольшее применение они нашли в РЛС военного назначения, в частности, в бортовых самолетных системах и системах радиоуправляемого оружия, что связано в первую очередь с присущей им высокой помехозащищенностью.

**Постановка проблемы.** Разработка и применение моноимпульсных систем пеленгации основаны в основном на анализе их функционирования в случаях, когда фазовый фронт попадающей в апертуру приемной антенны электромагнитной волны является локально плоским [1]. Между тем, возможны ситуации, при которых измерение угловых координат необходимо осуществлять в ближней зоне объекта. Пространственная протяженность, сложность формы и большие электрические размеры являются причиной неоднородности рассеянного объектом поля, и, соответственно, поля в апертуре пеленгационной антенны. Непрерывное взаимное перемещение пеленгатора и объекта приводит к изменению в определенных пределах измеренных координат по случайному закону. Это затрудняет формирование сигналов управления и может привести к срыву процесса автоматического слежения за объектом [2]. Проблема стала особенно актуальной, когда повышение точности измерителей привело к тому, что ошибки, вызванные протяженностью объекта и мало зависящие от методов измерений, стали определяющими при оценке точности измерений.

**Анализ литературы.** Исследованию теоретических и практических задач возникновения и снижения влияния угловых ошибок на точность измерения угловых координат посвящен ряд работ [3 – 5]. Например, в [5] предлагается устройство, в котором обеспечивается стробирование

сигнала углового отклонения. Считывание его производится только при условии достижения суммарным сигналом своего максимального или близкого к максимальному значения. Ввиду этого отклонения, величина которых превышает определенный порог, автоматически исключаются.

В [6] исследуется влияние радиопрозрачного обтекателя на выходной сигнал антенной системы. Показано, что в определенных условиях, когда антенна расположена в дальней зоне источника рассеянного поля, амплитудная несимметрия, вносимая обтекателем, может изменить знак крутизны фазовой пеленгационной характеристики, что является основной причиной появления импульсных возмущений в канале углового сопровождения (УС) в момент прохождения равносигнальным направлением диаграммы направленности (ДН) направления «геометрический центр антенны – нос обтекателя». Действительно, подобный эффект имеет место. Однако надо иметь в виду, что большую часть времени при движении в дальней зоне ось обтекателя образует некоторый угол с электрической осью антенны (рис. 1). Поэтому возникновение импульсных возмущений в канале УС только лишь по этой причине маловероятно.

Поле, рассеянное объектом, в ближней зоне представляет собой неоднородную волну с неплоским фронтом, что неизбежно приводит к ошибке в определении угловой координаты [7]. Точность сопровождения объекта при этом зависит от вида и крутизны пеленгационной характеристики (ПХ), формируемой угловым дискриминатором. Однако истинное поведение ПХ в неоднородном поле неизвестно. Расчет ее в этих условиях требует нахождения ближнезонных полей и представляет определенные сложности. Задача является весьма актуальной с точки зрения повышения реальной точности измерений параметров объектов. В связи с вышесказанным, **целью статьи** является исследование распределений амплитуд и фаз (АФР) рассеянного поля в апертуре приемной антенны в ближней зоне сложного аэродинамического объекта и их влияния на формирование пеленгацион-

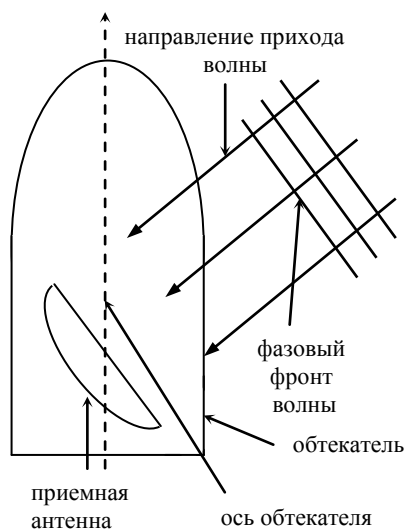


Рис. 1. Геометрия задачи пеленгации в дальней зоне объекта

ной характеристики углового дискриминатора, а также обоснование возможности возникновения импульсных возмущений в канале углового сопровождения в условиях неоднородного электромагнитного поля.

При расположении антенны в дальней зоне рассеивателя характерной является неизменность амплитуд и фаз поля по раскрытию, при этом ошибка определения направления обуславливается в основном приборной точностью радиотехнического координатора. Случай пеленгации в ближней зоне рассеивателя иллюстрируют рис. 2, 3, на которых хорошо

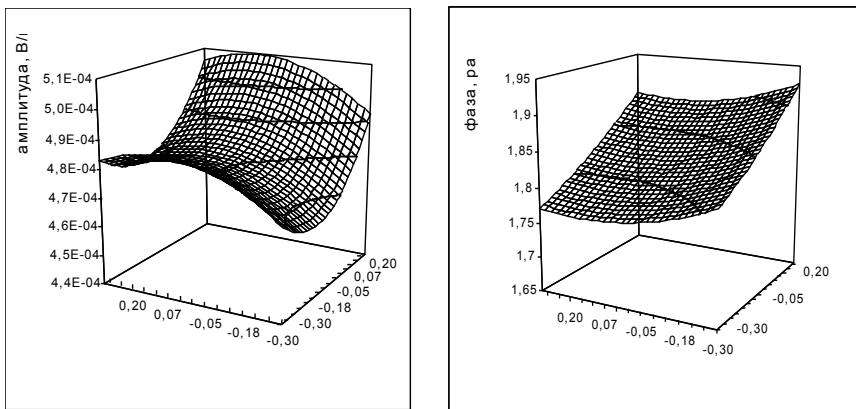


Рис. 2. Распределения амплитуд и фаз поля в апертуре антенны в ближней зоне, дальность до объекта 600 м

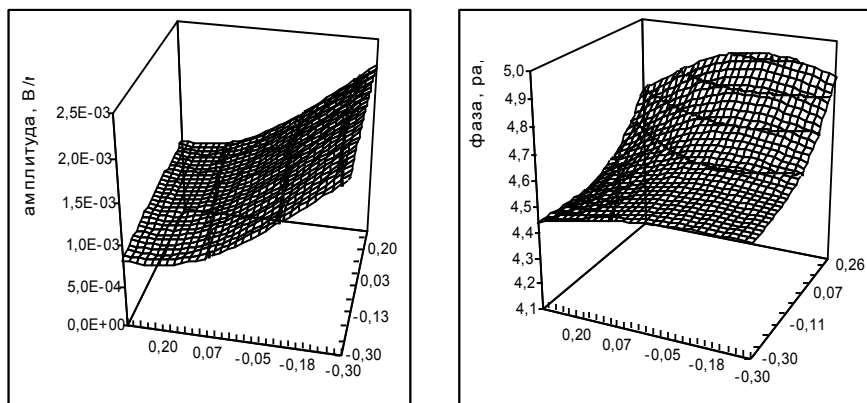


Рис. 3. Распределение амплитуд и фаз поля в апертуре антенны в ближней зоне, расстояние до объекта 200 м

заметна неоднородность падающего поля и нелинейный характер АФР (ось антенны направлена точно на геометрический центр объекта). Рас-

четыре показывают, что с приближением антенны к объекту степень неоднородности поля возрастает, вариации отношений уровней амплитуд по апертуре достигают 0,3 – 3, разности фаз – до 0,5 – 0,6 радиан. Вычисления проводились в приближении физической оптики на модели самолета с максимальным поперечным размером 20 м путем численного интегрирования плотностей токов, наведенных падающей волной на поверхности объекта, образованной из участков трехосных эллипсоидов [8]. Диаметр апертуры антенны  $L = 0,6$  м.

На основе полученных АФР поля в ближней зоне рассчитаны парциальные диаграммы направленности (ДН) и пеленгационная характеристика антенны пеленгатора (рис. 4, 5).

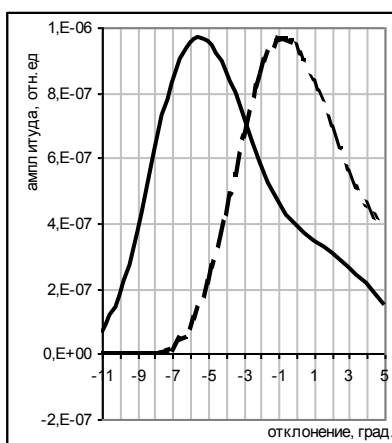


Рис. 4. Парциальные диаграммы направленности при амплитудном методе пеленгации, в условиях ближней зоны

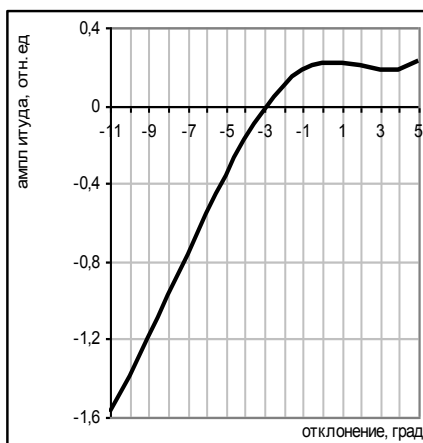


Рис. 5. Пеленгационная характеристика антенны в ближней зоне (100 м)

Анализ показывает, что с уменьшением расстояния до объекта ошибка определения угловой координаты возрастает. Диаграммы направленности искажаются по сравнению с ДН в дальней зоне, что объясняется приемом с определенных направлений более интенсивного излучения. Все это приводит к деформации ПХ, сдвигу «нуля» (на рис. 5 –  $3^\circ$ ) и уменьшению ее крутизны. Заметим, что именно сдвиг «нуля» и характеризует ошибку пеленга, а уменьшение угла наклона ПХ указывает на снижение пеленгационной чувствительности антенны по угловым координатам.

Однако все указанные выше явления имеют место в стационарном случае. В динамике на работу пеленгатора оказывают влияние и другие факторы. Чтобы показать это, рассмотрим, к примеру, работу фазовой

суммарно-разностной системы пеленгации. Предположим для определенности, что для формирования диаграмм направленности используются половины полной апертуры антенны (рис. 2). Комплексные амплитуды напряжений сигналов с выходов «первой» и «второй» половин (каналов) запишутся в виде

$$\dot{U}_{1,2} = \int_{S_a/2} \vec{E}_{1,2}^r(x, y) \cdot \vec{A}_{1,2}(x, y) ds,$$

где  $\vec{E}_{1,2}^r(x, y)$  – амплитудно-фазовое распределение рассеянного поля в апертуре (индексы 1, 2 нумеруют каналы обработки сигналов),  $\vec{A}_{1,2}(x, y)$  – амплитудно-фазовое распределение поля антенн,  $x, y$  – координаты точки в плоскости апертуры,  $S_a$  – апертура антенны. В общем виде сигналы с выходов антенн после интегрирования можно представить как

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= U_1 \cdot \exp(j\varphi_1); \\ \dot{U}_2 &= U_2 \cdot \exp(j\varphi_2). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $U_1, U_2$  – вещественные амплитуды сигналов;  $\varphi_1, \varphi_2$  – соответственно фазы сигналов.

Пеленгационная характеристика формируется угловым дискриминатором после образования суммарного  $\dot{U}_\Sigma = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$  и разностного  $\dot{U}_\Delta = \dot{U}_2 - \dot{U}_1$  сигналов. На выходе фазового детектора (ФД) после нормировки по суммарному сигналу будем иметь

$$U_{\text{выхФД}} = k_{\text{ФД}} \cdot \text{Re} \left[ \frac{\dot{U}_2 - \dot{U}_1}{\dot{U}_1 + \dot{U}_2} \exp \left( j \frac{\pi}{2} \right) \right], \quad (2)$$

где  $k_{\text{ФД}}$  – коэффициент передачи ФД по напряжению.

Подставим выражения (1) в (2), сделав следующие обозначения:  $g = U_2/U_1$ ,  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ ,  $k_{\text{ФД}} = 1$ . После несложных преобразований получим следующее выражение

$$U_{\text{выхФД}} = \sqrt{\frac{g^2 - 1 - 2g \cos \Delta\varphi}{g^2 + 1 + 2g \cos \Delta\varphi}} \sin \left[ \arctg \left( \frac{2g \sin \Delta\varphi}{1 - g^2} \right) \right]. \quad (3)$$

Формула (3) выражает зависимость выходного сигнала пеленгационной антенны при фазовом суммарно-разностном методе пеленгации от

амплитудной и фазовой несимметрии в каналах. Принимая во внимание, что линейный участок дискриминационной характеристики ФД имеет область определения от  $-\pi/2$  до  $\pi/2$ , преобразуем аргумент  $\sin$  и окончательно выражение (3) примет вид

$$U_{\text{выхФД}} = \sqrt{\frac{g^2 - 1 - 2g \cos \Delta\varphi}{g^2 + 1 + 2g \cos \Delta\varphi}} \frac{2g \sin \Delta\varphi}{\sqrt{(g^2 - 1)^2 + 4g^2 \sin^2 \Delta\varphi}} \text{sign}(1 - g^2), \quad (4)$$

где  $\text{sign}(\cdot)$  – функция знака. Поскольку отношение амплитуд сигнала в каналах (величина  $g$ ) при нахождении пеленгатора в ближней зоне рассеивателя, как было показано выше, может варьироваться в достаточно широких пределах, отношение  $1 - g^2$  при сближении антенны пеленгатора с объектом может менять знак, вызывая «переброс» фазы, который и приводит к импульсным возмущениям в канале углового сопровождения пеленгатора. Для иллюстрации, на рис. 6. показаны рассчитанные по формуле (4) кривые изменения фазы для диапазона  $g = 0.1 \dots 3$  при фиксированных  $\Delta\varphi = 1^\circ, 5^\circ, 30^\circ$ .

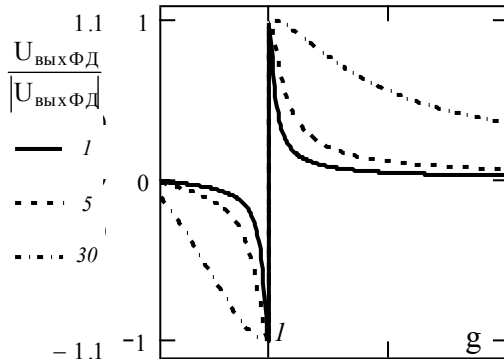


Рис. 6. Иллюстрация «скачка» фазы при амплитудной несимметрии

**Выводы.** В статье рассмотрена проблема появления ошибок измерения угловых координат при пеленгации аэродинамических объектов сложной формы в ближней зоне. Показано, что информация о величине ошибки содержится в амплитудно-фазовом распределении рассеянного поля, попадающего в апертуру приемной антенны. В момент выравнивания амплитуд выходных сигналов происходит «скачок» фазы пеленгаци-

онной характеристики, приводящий к появлению паразитного импульсного воздействия на систему. Получение априорной информации о механизмах возникновения и проявления этих явлений даст возможность снизить их влияние на процессы измерения угловых координат и автоматического сопровождения объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. – М.: Сов. радио, 1970. – 392 с.*
2. *Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. – М.: Военное издательство, 1991. – 344 с.*
3. *Теоретические основы радиолокации / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.*
4. *Данн Дж., Ховард Д., Кинг А. Влияние флуктуаций эхо-сигнала на работу радиолокационных станций сопровождения цели // Радиотехника и электроника за рубежом. – 1959. – № 6 (54). – С. 96 – 113.*
5. *Плохих А.П., Комаров В.М. Бортовые моноимпульсные радиолокационные системы // Зарубежная радиоэлектроника. – 1993. – № 1. – С. 19 – 36.*
6. *Минокин Л.М. Упрощенный метод расчета системы антенна – обтекатель // Радиотехника. – 1999. – № 7. – С. 35 – 39.*
7. *Островитянов Р.В., Басалов Ф.А. Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.*
8. *Бархударян Н.В., Важинский С.Э., Василец В.А., Сазонов А.З., Сухаревский О.И. Математическое моделирование процесса пеленгации в ближней зоне сложного протяженного объекта // Радиофизика и радиоастрономия. – 2003. – Т. 8. – № 2. – С. 86 – 93.*

*Поступила 18.04.2003*

**БАРХУДАРЯН Николай Витальевич**, адъюнкт ХВУ. В 1988 году окончил Киевское ВЗРИУ им. С.М. Кирова, в 1999 году – факультет подготовки командно-штабного и руководящего инженерного состава ХВУ. Область научных интересов – радиофизика.

**САЗОНОВ Александр Захарович**, директор завода агрегатных станков. В 1985 году окончил МФТИ (Москва). Область научных интересов – математические методы в электродинамике.

**СУХАРЕВСКИЙ Олег Ильич**, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1972 году окончил ХГУ им. В.Н. Каразина. Область научных интересов – математические методы теории дифракции и теории антенн, радиолокационные характеристики объектов.

---