

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF PAA APPLICATION TO REDUCING OF LOWER BOUNDARY OF SOUNDING WITH RASS

Liu Chang¹, Panchenko A. Yu.², Slipchenko N. I.²

¹Heilongjiang Bayi Agricultural University,
Daqing city, Heilongjiang, 163319, China

²Kharkov National University of Radioelectronics
14, Lenin ave., Kharkov, 61166, Ukraine

Ph.: (098) 9816727, e-mail: panchenko-a-yu@yandex.ru

Abstract — The present paper concerns possibility to swing beams of the transmitting and receiving radio antennas of bistatic systems for atmosphere radio acoustic sounding at the acoustic sounding pulse tracking at its movement over the path. The paper presents the ways of solving the diffraction problem for defining the corrective functions when measuring temperature and speed of wind at the lower part of the sounding path with a considerable slope of beams. It is shown that the modern elemental base makes the technical realization of the RASS systems with economically justified PAA.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФАР ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ЗОНДИРОВАНИЯ СИСТЕМАМИ РАЗ

Лю Чан¹, Панченко А. Ю.², Слипенченко Н. И.²

¹Хейлунзянский Бауи аграрный университет,
ул. СинФон, 5, Дацин, Хейлунзян, 163319, КНР

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина

тел.: (098) 9816727, e-mail: panchenko-a-yu@yandex.ru

Аннотация — Рассматривается возможность качания лучей передающей и приемной радиоантенн бистатических систем радиоакустического зондирования атмосферы для слежения за акустическим зондирующим импульсом при его движении по трассе. Представлены пути решения дифракционной задачи для определения корректирующих функций при измерении температуры и скорости ветра на нижнем участке трассы зондирования при существенном наклоне лучей. Показано, что современная элементная база делает техническую реализацию систем РАЗ с ФАР экономически оправданной.

I. Введение

В настоящее время при создании систем радиоакустического зондирования (Radio Acoustic Sounding System — RASS) преимущественно используют бистатическую схему с разнесенными приемной и передающей радиоантеннами и акустическим излучателем (АИ), расположенным между ними. При использовании этой схемы в нижней части трассы зондирования лучи радиоантенн и АИ не пересекаются. Вследствие этого возникает зона нечувствительности. Наиболее просто исключить данный недостаток можно слежением лучами радиоантенн (РА) за движением акустического зондирующего импульса на этом участке трассы. Однако механическое качание РА снижает надежность системы. Современная элементная база позволяет при доступных экономических затратах использовать фазированные антенные решетки (ФАР). Но известные особенности дифракционной задачи RASS требуют развития специальных подходов для определения функций связи между параметрами принимаемого сигнала и метеопараметрами на нижнем участке.

II. Основная часть

При традиционном подходе к решению дифракционных задач для сложных систем в свободном пространстве на первом этапе определяется поле каждого устройства, после этого — параметры всей системы. Такой подход для дифракционной задачи RASS неоднократно приводил к ошибочным результатам [1]. Особенности задачи для RASS в том, что дифракция электромагнитных волн (ЭМВ) происходит на пространственной структуре неоднородностей диэлектрической проницаемости воздуха, возникнувшей при прохожде-

нии акустических волн. Образовавшийся искусственный отражатель имеет сферическую форму, поэтому фокусирует отраженные ЭМВ. Размеры пятна, «освещенного» отраженным полем ЭМВ, соизмеримы с размерами РА и АИ, а его структура определяется всеми факторами и особенностями излучаемых полей [2]. Поэтому недопустимо без детального анализа использовать приближения и упрощения при решении.

Интегрируемым элементом в задаче является совокупность участка сферического отражателя с центром в точке излучения акустических волн и точек излучения и приема ЭМВ (рис. 1)

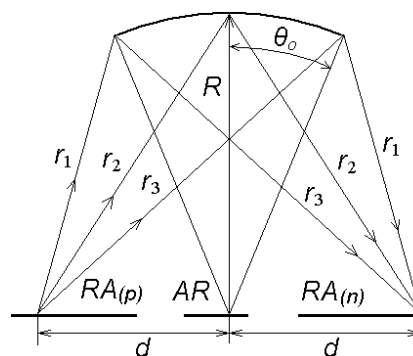


Рис. 1. Схема задачи RASS:

AR — акустический излучатель;
RA(p) — передающая радиоантенна;
RA(n) — приемная радиоантенна.

Fig. 1. Scheme of RASS problems:

AR — acoustic radiator;
RA(p) — transmitting radio aerial;
RA(n) — receiving radio aerial

Синфазно отражающая область акустического пакета соответствует ширине главных лепестков ДН АИ и АИ, которые целесообразно выбирать одинаковыми (θ_0) [2]. Точки излучения — это любые точки на апертурах излучателей. Последующее интегрирование производится по апертурам всех антенн и по длине зондирующего пакета [3]. Длины лучей падающих и отраженных волн располагаются симметрично, поэтому на схеме лучи с одинаковой длиной обозначены одинаковыми индексами.

В самом интегрируемом элементе данной задачи суммируется поле, отраженное участком сферы с угловым размером θ_0 , который соответствует ширине главного лепестка ДН АИ. Суммирование проводится по азимуту (φ) и углу места (θ):

$$U = \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_0} \dot{u}_p \dot{u}_n g(R, \varphi, \theta) \frac{\exp[-ikr(R, \varphi, \theta)]}{r(R, \varphi, \theta)} W d\theta d\varphi, \quad (1)$$

где $\dot{u}_p, \dot{u}_n$ — комплексные множители элементов передающей и приемной ФАР;

$g(R, \varphi, \theta)$ — коэффициент отражения;

$r(R, \varphi, \theta)$ — суммарная длина луча;

W — функция криволинейной системы координат.

Не смотря на то, что в соответствии с принципом Гюйгенса-Френеля каждая точка излучателя формирует сферическую волну, поле ЭМВ отраженное за пределами главного лепестка АИ складывается не синфазно. Поэтому в данном случае интегрирование по углу места можно ограничить величиной θ_0 . Это обстоятельство позволяет определить минимальное расстояние $R_{\min}$, начиная с которого действует приближение лучевой оптики и для представления решения можно использовать функцию Грина свободного пространства: $\exp(-ikr)r^{-1}$.

Расстояние $R_{\min}$, определяется по фазовому критерию. Разность хода лучей отраженных от центральной области отражателя и от крайних его участков, согласно схеме (рис. 1), составит:

$$r_1 + r_3 - 2r_2 \approx R \left(\sin^2 \theta_0 + \frac{d^4}{4R^4} + \frac{15d^2}{R^2} \sin^2 \theta_0 + \dots \right). \quad (2)$$

Слагаемые, содержащие азимутальный угол, имеют более высокий порядок малости, чем представленные в (2). При сравнительно небольших апертурах, оптимальных для использования в RASS ($r_a \approx 2,5 \dots 5\lambda$), ширина главного лепестка ДН составит $5 \dots 10^\circ$. Поэтому наибольший вклад вносит второе слагаемое. При допустимой разности оптической длины лучей равной $\pi/4$ для оценки $R_{\min}$ получим следующее условие:

$$R_{\min} > d \cdot \sqrt[3]{\frac{2d}{\lambda}}. \quad (3)$$

Так как даже для ближних точек апертур $r_1 + r_3 > r_{e0}$, где r_{e0} — радиус апертур РА, то амплитудным критерием можно пренебречь.

Дальняя зона антенн при данных апертурах начинается с расстояний $R_\infty \approx 20 \dots 80\lambda$. Но принцип Гюйгенса-Френеля справедлив и для описания поля антенн на более близких расстояниях. Поэтому $R_{\min}$ может быть меньше R_∞ . Как показано ранее, расстоя-

ние между центрами АИ и РА могут быть около $18r_{e0}$ [3]. Тогда при $r_{e0} = 2,5\lambda$ для ближних точек апертур РА минимальное расстояние будет равно: $R_{\min} = 5,3\lambda$. Для дальних — оно увеличится до $12,5\lambda$. Но при решении задачи можно использовать меньшее значение, так как техническими средствами не сложно ограничить на нижних участках излучение ЭМВ только ближними к центру системы элементами ФАР. Таким образом, при рабочей частоте звука $2 \dots 3$ кГц, и, соответственно длине ЭМВ $\lambda = 20$ см, $R_{\min}$ может быть около $1 \dots 1,5$ м. Уменьшение мощности сигнала за счет отключения дальних элементов ФАР не приведет к дополнительным ограничениям. В самом деле, для покрытия апертур РА потребуется около 100 элементов. Как известно сферическая расходимость при радиоакустическом зондировании уменьшает уровень сигнала пропорционально R^{-1} [1]. Поскольку высота зондирования RASS обычно больше, чем $100 \dots 150$ м, то уровень сигнала при $R_{\min}$ будет достаточный для уверенной регистрации его параметров.

Коэффициент отражения $g(R, \varphi, \theta)$ определяется градиентом диэлектрической проницаемости воздуха. В свою очередь она зависит от интенсивности звукового излучения и расстояния R . Кроме того, $g(R, \varphi, \theta)$ определяется углом падения ЭМВ, который в свою очередь выражается через R , φ и θ . Несложные геометрические построения позволяют уверенно сказать, что при сделанных выше ограничениях изменением $g(R, \varphi, \theta)$ по выделенному участку сферы также можно пренебречь. Еще в меньшей степени на амплитуду сигнала будут влиять поляризационные эффекты.

III. Заключение

1. Проведен детальный анализ условий решения дифракционной задачи, который показал возможность использовать разработанную ранее методику решения дифракционной задачи для RASS в случае качания ДН радиоантенн

2. Использование представленного пути позволит разработать методику получения метеоданных с нижних уровней, а современная элементная база реализовать устройство зондирования и управления при доступных материальных затратах.

3. Применение небольших ФАР в системах RASS позволит получать метеоинформацию с уровней, непосредственно прилегающих к поверхности земли. Это позволит полностью исключить необходимость дополнять высотные данные RASS данными с метеомачт для построения профилей метеовеличин по всей высоте атмосферного пограничного слоя.

IV. References

- [1] Kallistratova, M.A., Kon, A.I. *Radioakusticheskoe zondirovanie atmosfery* [Radio acoustic sounding of the atmosphere]. Moscow, Nauka, 1985, 198p.
- [2] Panchenko A.Yu. *Difraktsiya elektromagnitnykh voln na akusticheskikh pri radioakusticheskom zondirovanii atmosfery* [Diffraction of electromagnetic waves on acoustic at radio acoustic sounding of the atmosphere]. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy*, 1997, vol.2, No 5, pp. 37-42.
- [3] Slipchenko N.I., Liu Chang, Panchenko A.Yu. *Diffraction problem solution for bistatic zone of radio acoustic sounding systems. 2013 23rd Int. Crimean Conf. "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2013)*. Sevastopol, 2013, pp. 1134-1135.