

DIFFRACTION PROBLEM SOLUTION FOR BISTATIC ZONE OF RADIO ACOUSTIC SOUNDING SYSTEMS

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

¹Bayi Agricultural University

5, SinFon Str., 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 — Meteorological parameters measurement on the lower route segment of sounding with modern radio acoustic systems is hampered due to a significant procedure error. The problem solution conditions are presented, the possibility to use Fresnel approximation is substantiated, the sequence of derivation of the analytical expression derivation of the signal being received is shown, the algorithm of numerical definition of the procedure additions to the amplitude and Doppler frequency shift stipulated by the sounding system bistatic nature, is described.

РЕШЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ БИСТАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИСТЕМ РАДИОАКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

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

¹Хейлунзянский Бауи ангарный университет

ул. СинФон 5, Дацин, Хейлунзян, 163319, КНР

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, Харьков, 141190, Украина

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

Аннотация — Измерение метеопараметров на нижнем участке трассы зондирования современными радиоакустическими системами затруднено из-за существенной методической погрешности. Представлены условия решения задачи, обоснована возможность использования приближения Френеля, показана последовательность получения аналитического выражения для принимаемого сигнала, описан алгоритм численного определения методических добавок к амплитуде и доплеровскому сдвигу частоты, которые обусловлены бистатичностью систем зондирования.

I. Введение

Современные системы радиоакустического зондирования (Radio Acoustic Sounding System – RASS) построены, в основном, по бистатической схеме, с разнесенными приемной и передающей радиоантеннами и акустическим излучателем, расположенным между ними. В работе [1] были показаны особенности дифракционной задачи бистатических RASS.

Задача дифракции электромагнитных волн на неоднородностях диэлектрической проницаемости воздуха $\Delta\varepsilon_a(\vec{r}, t)$, образовавшихся при прохождении акустической посылки, особенно при учете реальных апертур антенн, весьма сложна и громоздка. На дистанциях зондирования, которые значительно превышают размеры антенного устройства RASS, решение упрощается. Можно использовать выражения для дальней зоны антенн, распределений волновых полей вблизи фокальной плоскости. Но на нижнем участке эти упрощения недопустимы. Поэтому потребовался поэтапный подход.

II. Основная часть

Строгое решение может быть основано на расположении полей всех излучателей по спектрам пространственных гармоник. Но такое решение оказалось чрезвычайно громоздким, и не позволило достичь конечного результата, который бы имел необходимую для практики точность.

Чтобы определить пути упрощения задачи был проведен анализ физических особенностей метода, технических возможностей современных RASS, а также известных методик ее решения [2]. Предварительные расчеты изменений оптической длины лучей, поведения амплитуды принимаемого сигнала на

качественном уровне совпали с имеющимися экспериментальными данными. Это показало возможность использования принципов волновой оптики.

На следующем этапе была проведена численная оценка возможных приближений [3]. Схема дифракционной задачи приведена на рис. 1.

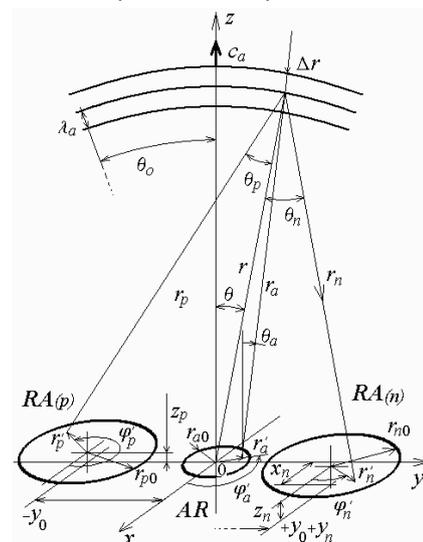


Рис. 1. Схема задачи бистатических RASS:

AR — акустический излучатель;

RA(p) — передающая радиоантенна;

RA(n) — приемная радиоантенна.

Fig. 1. Scheme of bistatic RASS problems:

AR is an acoustic radiator;

RA(p) is a transmitting radio aerial;

RA(n) is a receiving radio aerial.

Штрихом обозначаются переменные, по которым идет интегрирование, индексы a относятся к акустическим волнам, e — к электромагнитным.

Анализ показал, что зона нечувствительности, в которой прием сигнала невозможен, простирается до нижней границы зоны Френеля радиоантенн. Но при использовании приближений, необходимо учитывать размеры всей антенной системы RASS. В наибольшей степени особенности, присущие бистатической зоне, проявляются вследствие влияния фазовых добавок в плоскости, в которой антенная система имеет наибольшие размеры — в плоскости yOz .

На основании трех методик расчета фазовых добавок в r_p и r_n сделана оценка относительных значений амплитуды (E) и фазы (ψ) принятого сигнала при перемещении приемной антенны вблизи фокуса (рис. 2).

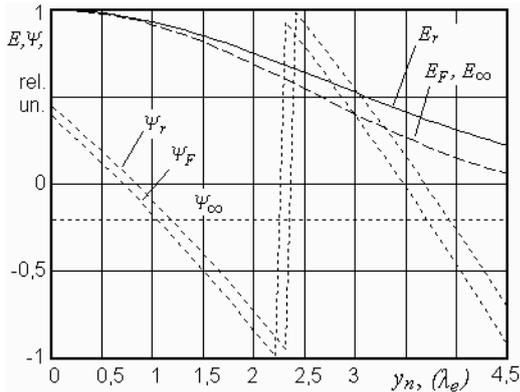


Рис. 2. Сравнение расчетных значений параметров поля в области приемной антенны:

ψ_r, E_r — при точных значениях r_p и r_n ;
 ψ_∞, E_∞ — r_p и r_n в приближении Фраунгофера;
 ψ_F, E_F — r_p и r_n в приближении Френеля.

Fig. 2. Comparison of the field estimated values in the region of the receiving aerial:

ψ_r, E_r — with precise values of r_p and r_n ;
 ψ_∞, E_∞ — r_p and r_n in Fraunhofer approximation;
 ψ_F, E_F — r_p and r_n in Fresnel approximation.

При смещении в направлении оси x изменения слабее, а поведение фазы квадратичная добавка описывает еще точнее.

Таким образом, с учетом квадратичной добавки структура конечного выражения сигнала в бистатической зоне будет совпадать со структурой выражения для моностатической зоны:

$$\dot{U} = \int_{S_a} \int_{S_p} \int_{S_n} \int_{V_0} \bar{K}_e(r_0, \theta, \varphi) \dot{G}(r_p, r_n) \times \\ \times \dot{f}_a(\vec{r}'_a) \dot{f}_p(\vec{r}'_p) \dot{f}_n(\vec{r}'_n) g_\Sigma(\theta) ds_a ds_p ds_n dv_0, \quad (1)$$

где $\bar{K}_e(r_0, \theta, \varphi)$ — коэффициент отражения электромагнитных волн от неоднородностей $\Delta \varepsilon_a(\vec{r}, t)$;

$$\dot{G}(r_p, r_n) = \exp[-ik_e r_n] \exp[-ik_e r_p] r_p^{-1} r_n^{-1};$$

$g_\Sigma(\theta)$ — функция, включающая диаграммы направленности элементов Гюйенса всех антенн;

$\dot{f}_a(\vec{r}'_a), \dot{f}_p(\vec{r}'_p), \dot{f}_n(\vec{r}'_n)$ — распределения полей на апертурах.

Прямое интегрирование (1) затруднительно. Поэтому алгоритм численного интегрирования содержал сопоставление расчета пространственных амплитудно-фазовых распределений в зоне Френеля с результатами, полученными на основании разложе-

ния полей по пространственным гармоникам. Далее определялись аппроксимирующие функции волновых полей в этой зоне. Они учитывали отличие фазовой скорости в ближней зоне излучателей и изменение фаз в боковых лепестках. Благодаря этому в (1) осталось только интегрирование по объему, занятому зондирующей акустической посылкой. Обоснование этих этапов и основные результаты представлены в [4].

На рис.3 показаны расчетная зависимость относительной добавки к доплеровскому сдвигу частоты принятого сигнала — $\Delta f_D = [f_d(z) - f_d(\infty)] / f_d(\infty)$ при $r_{0a} = 5\lambda_a$, $r_{0e} = 5\lambda_e$ и $y_0 = 1,8r_{0e}$ и идеализированная при точечных антеннах и точечном отражателе.

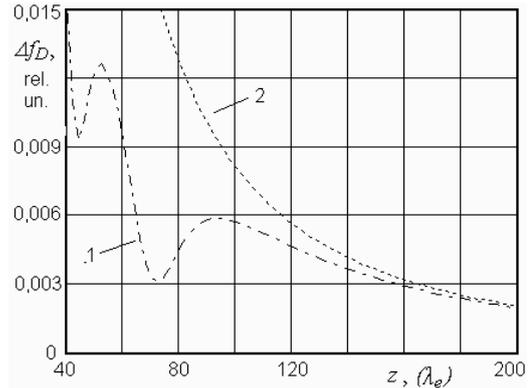


Рис. 3. Результирующая (1) и идеализированная (2) зависимости.

Fig. 3. Resulting (1) and idealized (2) dependencies

Первый минимум обусловлен постепенным вхождением пакета акустических волн в область взаимодействия диаграмм направленности радиоантенн второй — изменением фазы между главными и первыми боковыми лепестками радиоантенн.

Результирующее поведение амплитуды принимаемого сигнала, качественно совпало с результатами, представленными в [1].

III. Заключение

1. Приближения Френеля достаточно для определения физических факторов, влияющих на изменение принимаемого сигнала в бистатической зоне.

2. Это приближение может обеспечить компенсацию методической погрешности измерения метеопараметров на нижнем участке трассы зондирования бистатическими RASS. Но для обоснованного использования в реальных системах необходима экспериментальная проверка.

IV. References

- [1] Slipchenko N.I., Liu Chang, Panchenko A.Yu. On the issue of solving the diffraction problem of radioacoustic atmospheric sounding by bistatic systems. *21st Int. Crimean Conf. "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2011)*. Sevastopol, 2011, pp. 1075-1076.
- [2] Slipchenko N.I., Liu Chang, Panchenko A.Yu. About statement of the diffraction problem for bistatic zone of radio acoustic atmospheric sounding. *Radiotekhnika*, 2011, No 166, pp. 228-232.
- [3] Panchenko A.Yu., Slipchenko N.I., Liu Chang. Representation of the signal being received at bi-static RAS in Fresnel approach. *Radiotekhnika*, 2011, No 167, pp. 59-65.
- [4] Panchenko A.Yu. Parameters of the signal being received at the low level part of the RAS bistatic systems path. *Radiotekhnika*, 2012, No 170, pp. 84-88.