

А.Г. Роот, Б.Ш. Перкальскис, Г.Н. Сотириади,
В.Л. Ларин, А.А. Азбукин

ЛИНЗОВЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ АНТЕННЫ

Описаны линзовые антенны с различными облучателями. Применяемые линзы на основе круговых волноводов имеют эффективные показатели преломления, равные 1,25; 1,4 и 2.

Приведены основные характеристики антенн.

К настоящему времени для фокусирования звука в атмосферной акустике используются в основном параболические зеркала (рефлекторы). Меньше используются зональные пластинки (дифракторы) из-за потери более половины энергии падающей волны. Теория рефлекторов и дифракторов хорошо освещена в [1]. Рупорные антенны, имеющие невысокую направленность и значительный уровень боковых лепестков, используются также довольно редко.

Звуковые линзы (рефракторы) практически используются лишь в гидроакустике, где волновые сопротивления среды и материала, из которого изготовлена линза, довольно близки [2]. В атмосфере прозрачность акустической линзы практически равна нулю из-за большого различия волновых сопротивлений воздуха и материала линзы. Для изготовления линзы, эффективно фокусирующей звуковые волны в атмосфере, нами был использован принцип геометрического выравнивания длин путей звука в различных областях линзы. Впервые этот принцип был применен У. Коком [3]. Им была изготовлена линза из сегментов, расположенных под углом Θ к фокальной плоскости. Проходимый путь возрастает в $1/\cos\Theta$ раз, что соответствует эффективному показателю преломления по отношению к распространению в свободном пространстве $n = 1/\cos\Theta$. Недостатками линзы Кока являются несимметричность амплитудного распределения и заметные фазовые искажения в раскрыве линзы, что приводит к росту уровня боковых лепестков. Для их устранения была предложена линза [4], в которой геометрическое выравнивание длин путей звука создавалось набором изогнутых звуководов. Однако экспериментальные исследования показали, что данная линза имеет высокий уровень боковых лепестков, низкий коэффициент усиления и т.д. Кроме того, она сложна в изготовлении.

Значительно лучшими характеристиками обладает линза на основе круговых волноводов, образованная набором соосных конусов [5]. Расчет и опыт показали, что короткофокусные системы (отношение фокусного расстояния F к диаметру апертуры $D \sim 1 \div 1,5$) с углом у вершины конусов $80 - 120^\circ$ имеют хорошо сформированное фокальное пятно. Диаграмма направленности линзы определяется амплитудно-фазовым распределением поля на ее «неосвещенной» поверхности [6], которая в нашем случае является круговой синфазной апертурой с аксиальным затенением. Как известно, диаграмма направленности таких апертур по сравнению с незатененными имеет более высокий уровень нечетных боковых лепестков и более низкий — четных [6]. Следовательно, подбирая угол у вершины конусов (регулируя затенение), можно минимизировать боковое излучение при малых углах места в диапазоне рабочих частот, где уровень шума наиболее высокий. Были изготовлены и испытаны три акустические линзы с эффективными показателями преломления 1,25; 1,41 и 2. Ширина диаграммы направленности совместно с рупором высотой 400 мм и раскрытием 450 мм (геометрические размеры равны соответственно фокусному расстоянию и диаметру апертуры линзы) на частоте 3 кГц по уровню 3 дБ составляет 15° . Наибольшее усиление на оси антенны у линзы с $n = 1,41$, которое на частоте 3 кГц составляет 20 дБ. Уровень боковых лепестков при малых углах места ($\sim 90^\circ$) около 32 дБ. Применяемый рупор имеет фазовый центр, положение которого зависит от частоты [6]. Следовательно, антенна эффективна лишь в узком диапазоне частот, когда фазовый центр рупора совмещен с фокальным пятном линзы. Для расширения диапазона рабочих частот был использован расфазированный рупор с изломом образующей, положение фазового центра которого не зависит от частоты и определяется только геометрическими размерами рупора.

Немаловажным преимуществом данного рупора является и более высокая, по сравнению с коническими рупорами, помехозащищенность [6]. При использовании линз, описанных выше, уровень боковых лепестков снизился в среднем на $3 \div 4$ дБ. Длина вспомогательного рупора составляла 350 мм, основного — 400 мм. Для уменьшения габаритных размеров данной антенны было предложено использовать в качестве вспомогательного конического рупора экспоненциальный, который имеет меньшую длину и более высокую помехозащищенность. Уровень боковых лепестков при малых углах места снизился еще на $3 - 5$ дБ и составил на частоте 3 кГц минус $36 \div 40$ дБ без защитной бленды.

Как показали эксперименты, линза с геометрическим выравниванием длин путей звука широкополосна, не требует высокой точности поддержания расстояния между конусами. Технические требования к точности выполнения профиля линзы определяются допустимыми фазовыми искажениями на верхней

рабочей частоте. Антенна имеет небольшие габариты и вес, проста в изготовлении, обладает неплохими техническими характеристиками, может найти применение при различных акустических измерениях.

1. Розенберг Л. Д. Звуковые фокусирующие системы. Изд. АН СССР. 1949. 111 с.
2. Каневский И. Н. Фокусирование звуковых и ультразвуковых волн. М.: Наука 1977. 336 с.
3. Кок У. Звуковые и световые волны. М.: Мир. 1966. 158 с.
4. Перкальскис Б. Ш. Волновые явления и демонстрации по курсу физики. Томск: Изд-во ТГУ. 1984. С. 11–12.
5. Перкальскис Б. Ш., Ларин В. Л., Сотириади Г. Н., Соткин В. А., Михайличенко Ю. П. //Изв. вузов СССР. Физика. 1975. № 2. С. 148–150.
6. Ямпольский В. Г., Фролов О. П. Антенны и ЭМС. М.: Радио и связь. 1983. 271 с.

СКВ НП «Оптика» СО АН СССР,
Томский госуниверситет
им. В.В. Куйбышева

Поступила в редакцию
1 августа 1988 г.

A. G. Root, B. Sh. Perkal'skis, V. L. Larin, A. A. Azbukin, G. N. Sotiriadi.
Acoustic Lens Antennas.

Lens aerials with different feeds are described. The main characteristics of the antennas are discussed. The effective indices of refraction for the circular waveguide lenses used are estimated to be 1.25, 1.4 and 2.