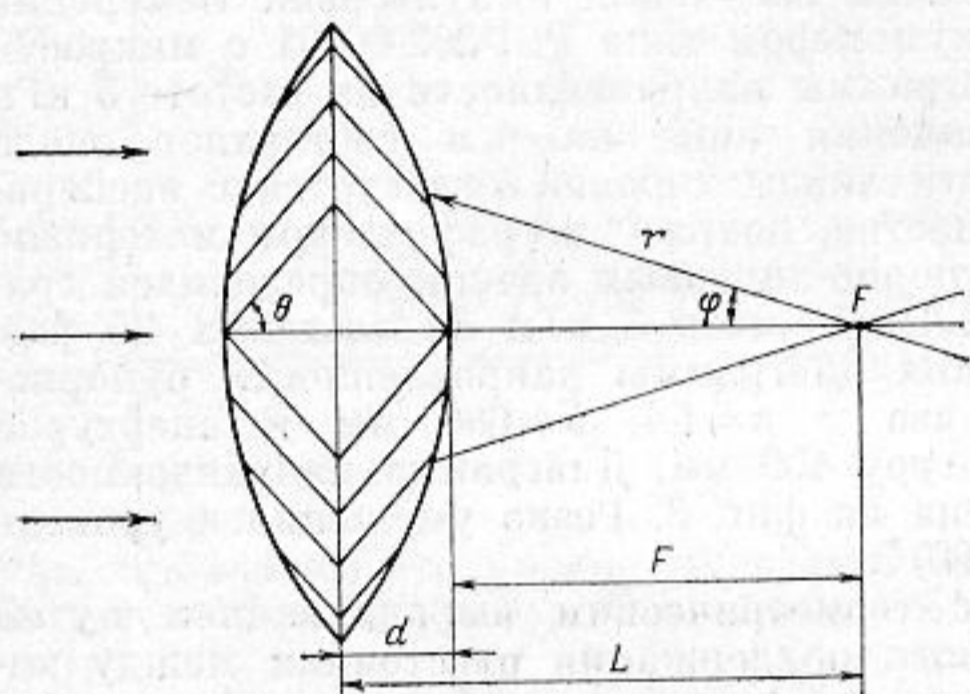


РУПОРНО-ЛИНЗОВЫЕ ПРИЕМНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ АНТЕННЫ

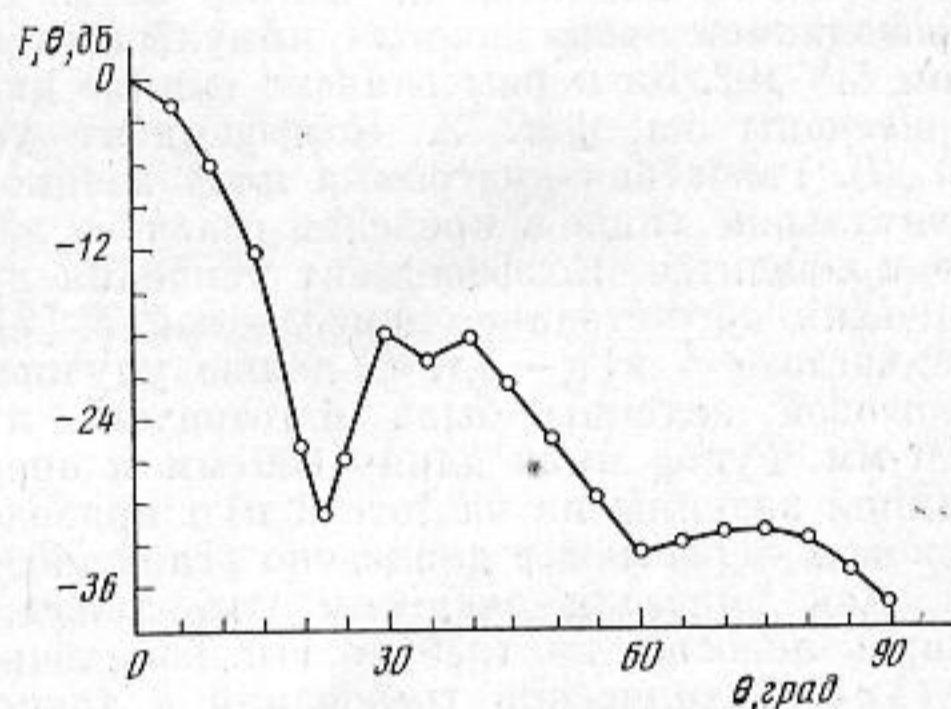
Веселовский Р. А., Дьяченко О. П., Ларин В. Л.,
Перкальские Б. Ш., Роот А. Г., Сотириади Г. Н.

Изготовить линзу обычного типа, эффективно фокусирующую акустические волны, распространяющиеся в воздухе, практически очень сложно. Дело в том, что большое различие акустических сопротивлений воздуха и любого материала, из которого изготовлена сама линза или ее стенки, приведет к тому, что почти вся энергия падающей волны будет отражена от поверхности линзы и усиления приема в фокусе наблюдаться не будет.

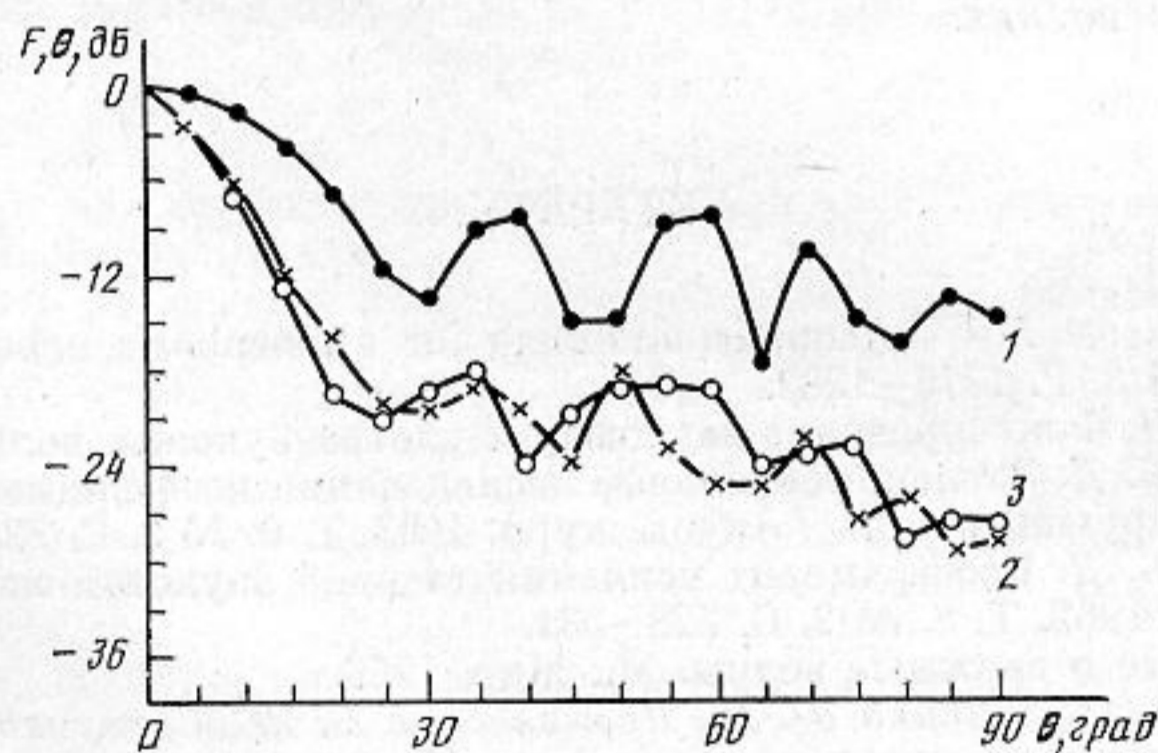
В настоящее время для фокусирования и формирования диаграмм направленности звуковых волн широко используются рефлекторы [1, 2]. Практически звуковые линзы используются лишь для фокусирования звуковых волн в гидроакустике [2-4], где волновые сопротивления среды и материала линз близки. Для изготовления линзы, эффективно фокусирующей звуковые волны в атмосфере, был использован принцип геометрического выравнивания длин путей звука в различных областях линзы. Впервые этот принцип был применен У. Коком [5]. Им была изготовлена линза из сегментов, расположенных к плоскости линзы под углом θ .



Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 2

Фиг. 1. Волноводная двояковыпуклая линза (схема)

Фиг. 2. Диаграмма направленности рупорно-линзовой антенны. $F=400$ мм, $f=3$ кГц:
1 — конический рупор, 2 — рупор с линзой $n=1,4$, 3 — рупор с линзой $n=2$

Фиг. 3. Диаграмма направленности рупора с линзой $n=1,4$, $F=600$ мм, $f=3$ кГц

Проходимый путь возрастает в $1/\cos \theta$ раз, что соответствует эффективному показателю преломления по отношению к распространению в свободном пространстве $n=1/\cos \theta$. Недостатком линзы Кока являются несимметричность амплитудного распределения и заметные фазовые искажения в раскрыве линзы, что приводит к росту боковых лепестков.

Из всего многообразия разработанных конструкций [6] наиболее эффективными оказались линзы, построенные на основе круговых волноводов. Осесимметричная

двойковыпуклая линза (фиг. 1) представляет собой набор закрепленных основаниями на несущей крестовине соосных правильных биконусов с углами при вершине. Профиль линзы рассчитан из условия таутохронизма $2(L-r \cos \varphi)n+r = F+2dn$, откуда получаем формулу для радиуса-вектора текущей координаты: $r(2n-1)F/2n \cos \varphi - 1$, где F — фокусное расстояние линзы, n — эффективный показатель преломления, r — текущее расстояние от поверхности до фокуса, φ — угол между направлением r и осью линзы.

Зазоры между образующими двух любых соседних конусов одинаковы и выбираются из условия, чтобы в волноводе могла распространяться нормальная волна нулевого порядка с длиной волны λ .

Расчет и опыт показывают, что для короткофокусных систем, когда отношение $F/D \sim 1 \div 1,5$, осесимметричные линзы обладают минимальной сферической аберрацией, если угол при вершине конусов приблизительно равен 100° . Такие линзы имеют хорошо сформированное фокальное пятно и довольно низкий уровень боковых лепестков, учитывая, что дискретное строение линзы не может обеспечить идеального таутохронизма. На основе разработанной линзы были изготовлены и исследованы рупорно-линзовые акустические антенны с осесимметричной диаграммой направленности. Антенна состоит из конического рупора высотой 400 м, в раскрытие которого расположена плосковыпуклая линза диаметром 400 мм с фокусным расстоянием 400 мм. Толщина линзы зависит от эффективного показателя преломления, для линзы с $n=2$ она составляет 60 мм, а с $n=1,4$ она равна 110 мм. Диаграмма направленности антенн снималась в режиме приема. Излучатель — электродинамическая головка с экспоненциальным рупором (синусоидальная электрическая мощность 75 ВА), укрепленная на мачте высотой 20 м на расстоянии 30 м от антенны, поднятой на высоту 20 м. Режим излучения импульсный. Измерения проводились прецизионным импульсным шумомером типа PSI-202-00001 с микрофоном MV-102. Экспериментально снятые диаграммы направленности на частоте 3 кГц приведены на фиг. 2. Коэффициент усиления линз на оси составляет около 16 дБ. Расчетная диаграмма направленности линзы хорошо согласуется с экспериментальной лишь в пределах главного лепестка, поэтому в графическом материале не приводится. Коэффициент усиления рупорно-линзовых антенн определялся графически по методике, приведенной в [7]. На частоте 3 кГц он составил 4,5 раз, на частоте 4 кГц — 5,1. С целью улучшения диаграммы направленности рупорно-линзовой антенны была изготовлена линза с $n=1,4$, $F=600$ мм и апертурой 400 мм. Рупор имел длину 600 мм и апертуру 400 мм. Диаграмма направленности данной антенны на частоте 3 кГц приведена на фиг. 3. Резко уменьшился уровень боковых лепестков в диапазоне углов $(60 \div 90)^\circ$.

Как показали эксперименты, линза с геометрическим выравниванием путей 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 широкое применение при различных акустических измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hall F. F., Wescott J. W. Acoustic antennas for atmospheric echo sounding // JASA. 1974. V. 56. № 5. P. 1376—1382.
2. Каневский И. Н. Фокусирование звуковых и ультразвуковых волн. М.: Наука, 1977.
3. Тартаковский Б. Д. Экспериментальное исследование коэффициента усиления звуковых фокусирующих линз // Акуст. журн. 1963. Т. 9. № 3. С. 336—339.
4. Тартаковский Б. Д. Коэффициент усиления твердой звуковой линзы с потерями // Акуст. журн. 1962. Т. 8. № 2. С. 228—231.
5. Кок У. Звуковые и световые волны. М.: Мир, 1966.
6. Ларин В. Л., Михайличенко Ю. П., Перкальскис Б. Ш., Сотириади Г. Н. Акустические устройства для локации атмосферы // 8 Всесоюз. симпоз. по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Ч. 2. Томск: ИОА ТФ СО АН СССР, 1984. С. 214—216.
7. Боббер Р. Д. Гидроакустические измерения. М.: Мир, 1974.

Поступило в редакцию
10.IV.1987