

УДК 621.396.677.001.5

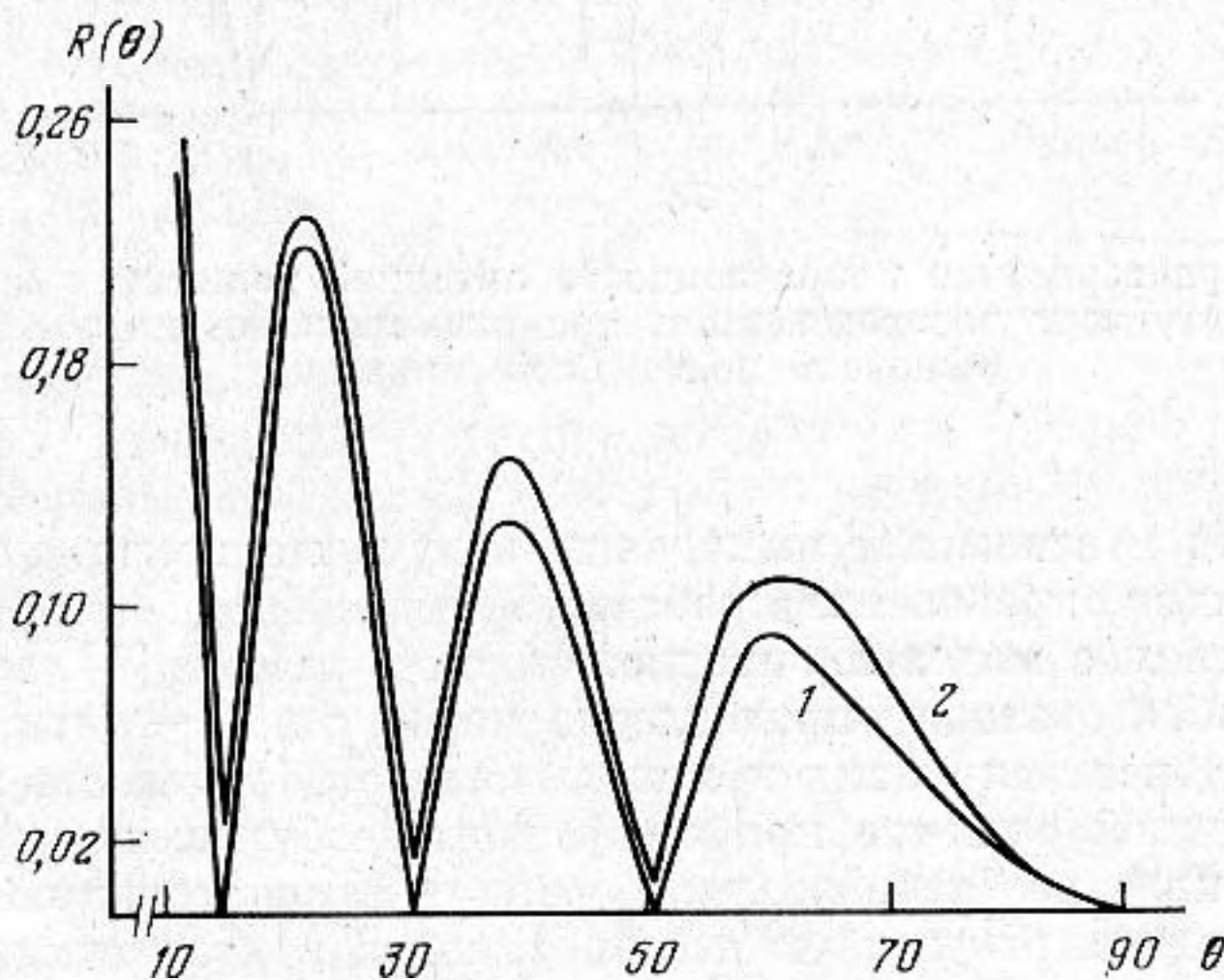
**О ВЛИЯНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РЕЗОНАНСНЫХ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
НА ХАРАКТЕРИСТИКУ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ
РЕШЕТКИ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫМ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ**

Рубанов И.Л.

На основе метода поэлементного перебора в терминах взаимных импедансов излучения исследуется влияние межэлементного взаимодействия на характеристику направленности антенной решетки.

Существующие в настоящее время методы синтеза акустических антенных решеток не учитывают сильного взаимодействия элементов по полю, что приводит к отличию истинного амплитудно-фазового распределения от расчетного. Влияние акустического взаимодействия на направленность приемных антенных решеток было рассмотрено в работах [1, 2], а приемных рефлекторных антенн — в работе [3].

В книге [4] показано, что при работе вдали от резонанса колебательной системы электроакустического преобразователя, при больших волновых размерах элементов и больших межцентровых расстояниях влиянием взаимодействия в анализе излучающей антенной решетки можно пренебречь.



Фиг. 1. Добавочные максимумы синфазной решетки с равномерным амплитудным распределением. 1 — без учета взаимодействия, 2 — с учетом взаимодействия

Рассмотрим влияние акустического взаимодействия на характеристику направленности излучающей антенной решетки, работающей в области резонанса механической колебательной системы электроакустического преобразователя при постоянстве подводимого электрического напряжения. Пусть решетка состоит из N колец радиуса a , высоты H , расположенных с периодом d на бесконечном абсолютно жестком цилиндре. К каждому из колец подведено электрическое напряжение u .

В пренебрежении направленностью отдельного элемента, характери-

стика направленности решетки определяется выражением [4]

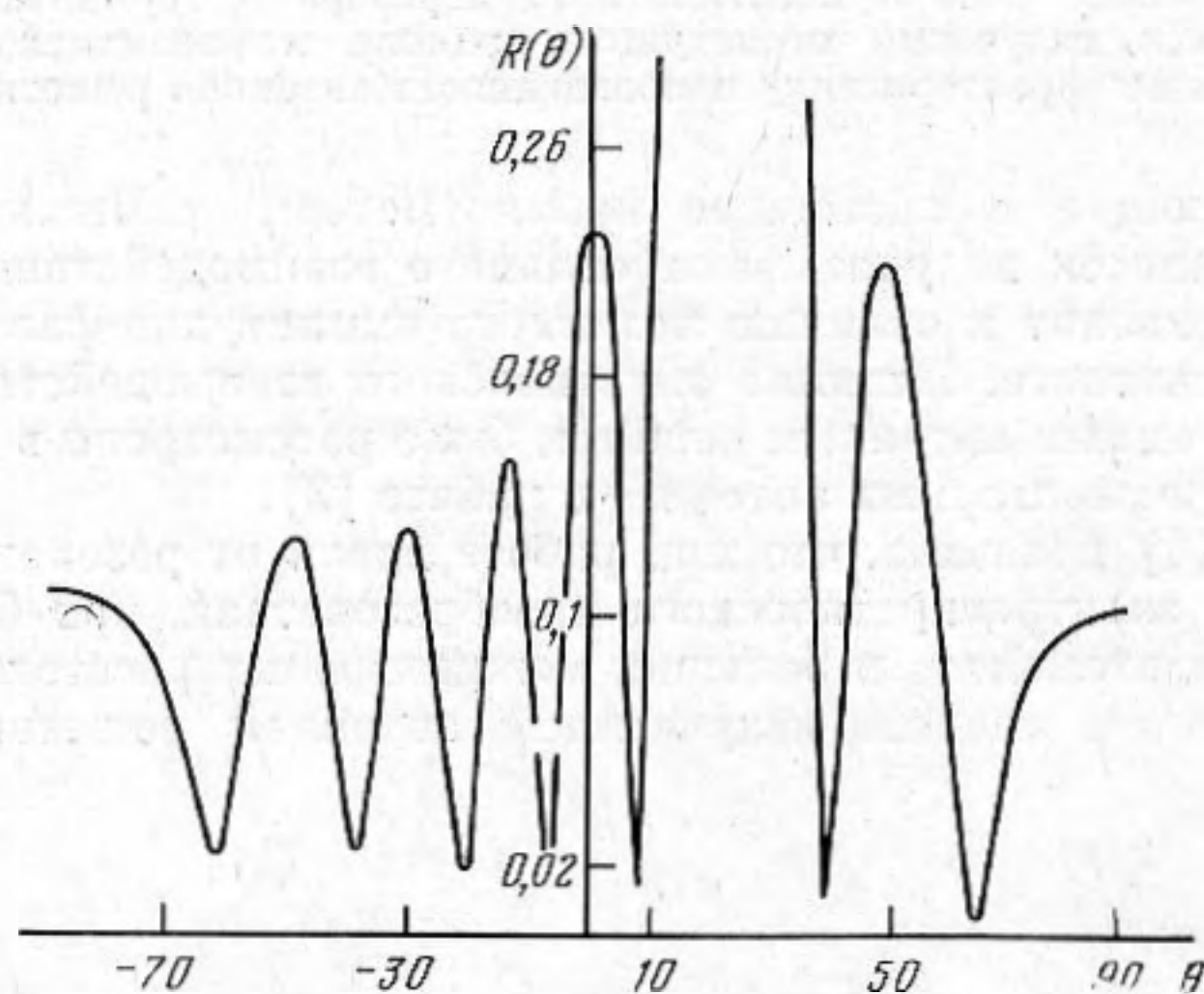
$$(1) \quad R(\theta) = \frac{1}{M} \left| \sum_{n=1}^N \xi_n e^{-ikd(n-1)\sin\theta} \right|,$$

где M — нормирующий множитель, ξ_n — колебательная скорость n -го кольца, k — волновое число.

Колебательные скорости определяются из следующей системы алгебраических уравнений [4]:

$$(2) \quad \sum_{m=1}^N z_{nm} \xi_m + z_{\text{мех}} \xi_n = \Omega u_n.$$

В системе (2) z_{nm} и z_{nn} — соответственно взаимный и собственный импедансы излучения; $z_{\text{мех}}$ — механический импеданс преобразователя; Ω — коэффициент электромеханической трансформации.



Фиг. 2. Характеристика направленности антенной решетки с равномерным амплитудным распределением при сканировании на угол $\theta_0 = 22^\circ$ (основной лепесток не показан)

Собственный и взаимный импедансы излучения колец на абсолютно жестком цилиндре определены в работе [5].

В соответствии с моделью, предложенной в работе [6], механический импеданс преобразователя определяется через r и Q — активную составляющую импеданса излучения и механическую добротность преобразователя в бесконечной решетке при синфазном возбуждении; η — акустико-механический КПД преобразователя; $F = \omega/\omega_p$ — относительную частоту.

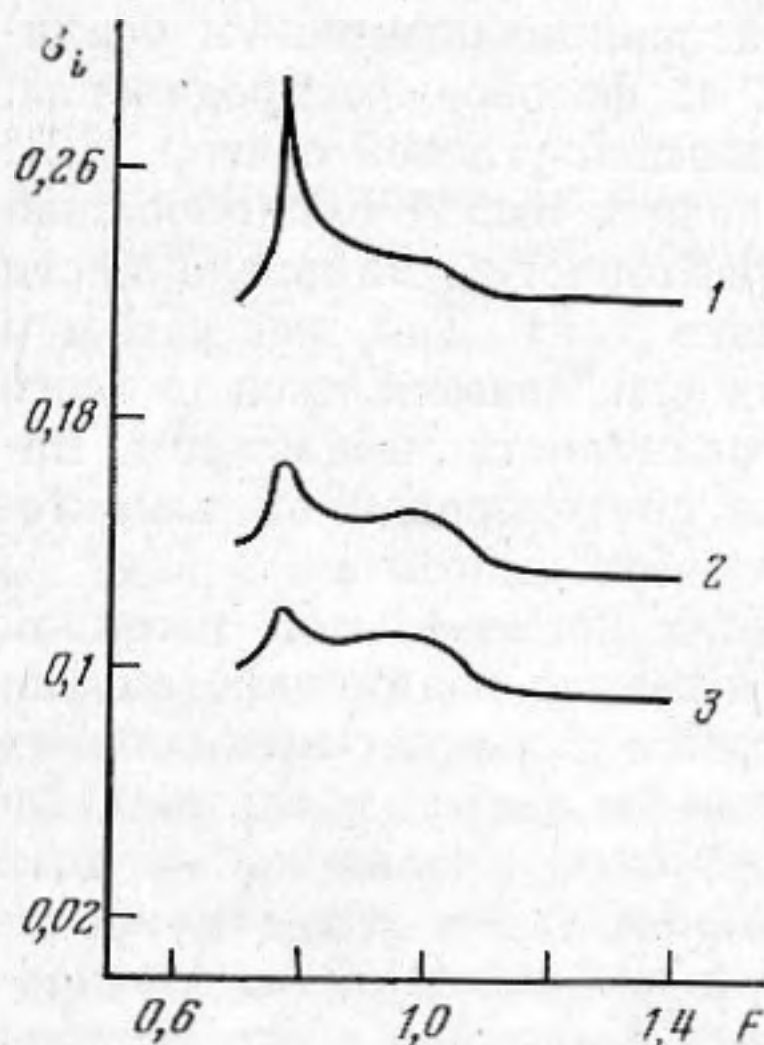
Ниже приведены результаты исследований характеристики направленности восьмиэлементной антенной решетки с периодом $d/\lambda = 0,5$; $a/\lambda = 0,25$; $H/\lambda = 0,45$. Все расчеты проводились для $Q = 0,9$, $\eta = 0,85$.

На фиг. 1 приведено расчетное распределение добавочных максимумов характеристики направленности антенной решетки при синфазном возбуждении с равномерным амплитудным распределением подводимых электрических напряжений на частоте механического резонанса $F = 1$. Взаимодействие приводит к увеличению уровня боковых лепестков и размыванию нулей характеристики направленности.

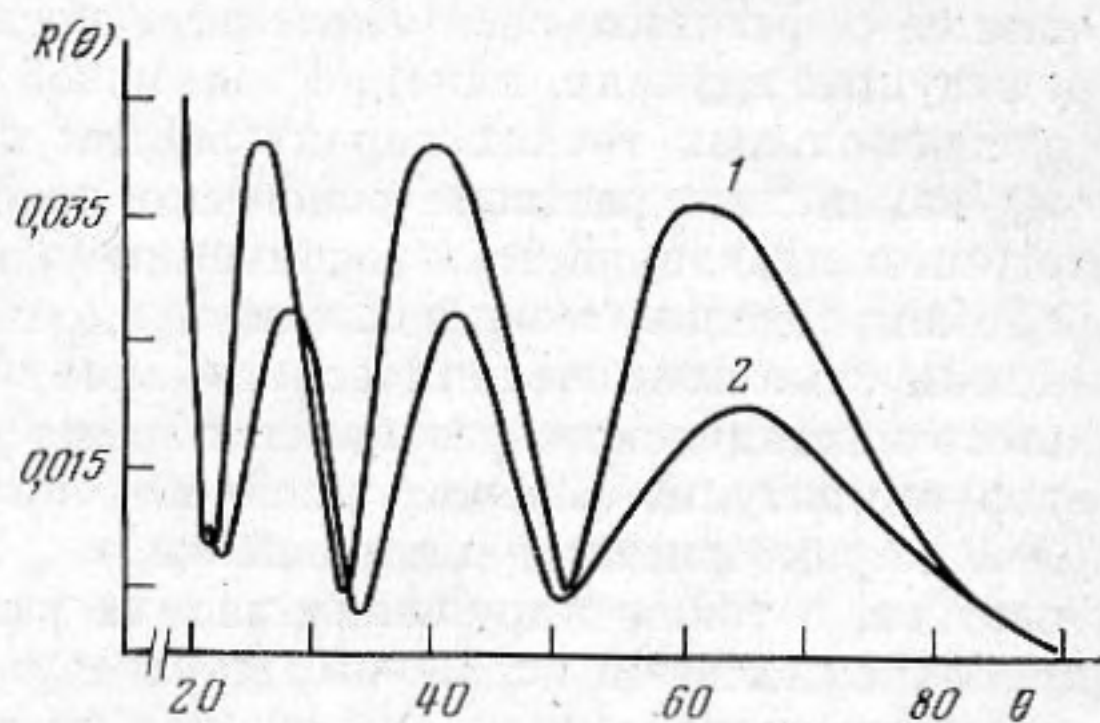
На фиг. 2 приведена расчетная характеристика направленности антенной решетки при равномерном амплитудном распределении подводимых электрических напряжений и постоянном фазовом сдвиге, обеспечивающем поворот первого интерференционного максимума характеристики направленности в направлении $\theta_0 = 22^\circ$. Так же как и в случае синфазного

возбуждения, взаимодействие приводит к «заплыванию» нулей и увеличению уровня боковых лепестков, причем уровень боковых лепестков, расположенных по разные стороны основного, становится различным. Это объясняется симметричным в данном случае распределением колебательной скорости.

Отметим здесь интересную особенность. На частотах ниже резонанса $F=0,75 \div 0,95$ при введении фазового распределения вида $(n-1)kd \sin \theta_0$ в ряде случаев наблюдалось несовпадение истинного положения максимума характеристики направленности и угла θ_0 , т. е. нарушение закона



Фиг. 3



Фиг. 4

Фиг. 3. Частотная зависимость уровня i -го добавочного максимума характеристики направленности. 1 - $i=1$, 2 - $i=2$, 3 - $i=3$

Фиг. 4. Характеристика направленности антенной решетки с дольф-чебышевским распределением подводимых электрических напряжений (основной лепесток не показан). 1 - заданный уровень бокового поля $\sigma=4\%$, 2 - заданный уровень бокового поля $\sigma=2,5\%$

управления лучом. Максимальная величина указанного несовпадения в наших расчетах достигла 3° .

На фиг. 3 приведена частотная зависимость уровней трех первых добавочных максимумов. Анализ приведенных кривых показывает, что на частотах выше резонанса влияние взаимодействия пренебрежимо мало. Максимальные искажения характеристики направленности происходят на частоте ниже резонанса ($F=0,78$). Эти искажения могут быть объяснены при помощи концепции вытекающих волн, отличающихся от истинных поверхностных волн тем, что они теряют часть своей энергии на излучение под некоторым углом [7]. Известно, что возникновение волн типа поверхностных возможно при наличии локально реагирующей границы, имеющей упругий импеданс [8]. Подобными свойствами на низких частотах обладает поверхность антенной решетки, состоящей из резонансных электроакустических преобразователей малых волновых размеров. Отметим, что впервые на возникновение подобных волн на поверхности акустической антенной решетки было указано в работе [9]. Частотам ниже резонансной соответствуют также отмеченные в работе [10] максимальные разбросы величин колебательных скоростей преобразователей по амплитуде и по фазе.

На фиг. 4 приведен расчетный уровень боковых лепестков антенной решетки на частоте механического резонанса $F=1$ при дольф-чебышевском распределении амплитуд электрических напряжений u_n . Так же, как и в предыдущем случае, следствием взаимодействия является заплывание нулей характеристики направленности. Кроме того, происходит перераспределение уровней различных боковых лепестков, в результате чего

первый и второй лепестки превышают заданный уровень σ , а третий становится несколько меньше. В отсутствие взаимодействия введение по элементам антенной решетки дольФ-чебышевского распределения приводит к равенству всех добавочных лепестков характеристики направленности [7].

Были проведены расчеты характеристики направленности антенной решетки на частоте механического резонанса $F=1$ при распределении фаз подводимых электрических напряжений, реализующих секторную характеристику направленности. В качестве фазовых распределений принимались: квадратичное фазовое распределение [4], фазовое распределение, минимизирующее функционал рассогласования заданной и реализуемой характеристик направленности [11], и фазовое распределение, максимизирующее энергию, излученную в заданный угловой сектор [12]. Сравнение результатов расчетов позволяет сделать вывод о наибольшей устойчивости к влиянию взаимодействия характеристик направленности решетки с фазовым распределением последнего типа. Так же, как и в предыдущих случаях, влияние взаимодействия сказывается прежде всего в экстремальных точках характеристик направленности, приводит к малому изменению раствора основного лепестка синтезированной характеристики направленности и увеличению уровня добавочного.

Таким образом, можно заключить, что для малоэлементной антенной решетки с малыми механическими потерями влияние взаимодействия на частоте механического резонанса и выше невелико даже для специальных видов амплитудно-фазового распределения и заключается в заплывании нулей характеристики направленности, увеличении уровня добавочных лепестков, а также нарушении закона управления лучом при сканировании. Максимальные искажения характеристики направленности, обусловленные взаимодействием, происходят на частоте несколько ниже частоты резонанса колебательной системы электроакустического преобразователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карновский М. И. Линейная теория акустических резонаторов.— Ж. техн. физ., 1943, т. 12, № 11–12, с. 667–683.
2. Маяцкий В. И. Оценка направленных свойств приемных антенн с учетом акустического взаимодействия их элементов.— Вестн. Киевс. политехн. ин-та. Сер. радиотехн., 1966, № 3, с. 119–125.
3. Вовк И. В., Гайдай В. А., Маяцкий В. И. К вопросу о влиянии акустического взаимодействия электроакустических преобразователей на направленные свойства приемных многолучевых антенн.— Акуст. ж., 1969, т. 15, № 1, с. 124–126.
4. Смаришев М. Д. Направленность гидроакустических антенн. Л.: Судостроение, 1973.
5. Robey D. H. On the radiation impedance of an array of finite cylinders.— J. Acoust. Soc. America, 1955, v. 27, № 4, p. 706–710.
6. Добровольский Ю. Ю. К определению параметров протяженных акустических антенн, состоящих из резонансных поршневых излучателей.— Акуст. ж., 1975, т. 21, № 4, с. 538–543.
7. Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г., Терешин О. Н. Антенны УКВ. Т. 2. М.: Связь, 1977.
8. Франк Ф., Мизес Р. Дифференциальные и интегральные уравнения математической физики. М.—Л.: Гостехиздат, 1937.
9. Добровольский Ю. Ю. О влиянии акустического взаимодействия на направленные свойства плоских антенных решеток.— В кн.: Акустические средства освоения океана. Владивосток: Изд-во ДВПИ, 1976, с. 33–35.
10. Бобровская И. В., Добровольский Ю. Ю. Влияние взаимодействия преобразователей на их параметры в малоэлементной антенной решетке.— Вопросы судостроения. Сер. общетехн., 1977, № 30, с. 62–70.
11. Иванов Н. М., Милославский Ю. К., Шишкин В. Н., Шукайло В. А. Некоторые вопросы фазового синтеза акустических антенных решеток.— В кн.: Акустические антенны и преобразователи. Владивосток: Изд-во ДВПИ, 1978, с. 46–49.
12. Рубанов И. Л. О возможном подходе к фазовому синтезу расширенных характеристик направленности малоэлементных антенных решеток.— Вопросы судостроения. Сер. общетехн., 1981, вып. 60, с. 16–23.

Поступила в редакцию
12.VII.1981