

УДК 621.396.677.49

## ВЛИЯНИЕ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ИЗЛУЧАЮЩИХ КАНАЛОВ НА ПАРАМЕТРЫ ЛИНЕЙНОЙ ЭКВИДИСТАНТНОЙ РЕШЕТКИ

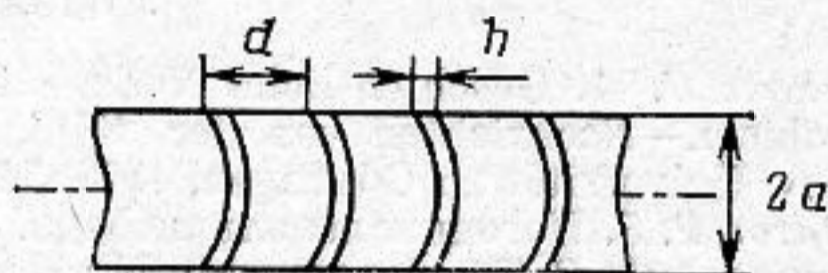
*Рубанов И. Л., Свердлов Г. М.*

Исследовано влияние выхода из строя излучающих каналов линейной эквидистантной антенной решетки на ее параметры — колебательную скорость, входное электрическое сопротивление, характеристику направленности.

В процессе проектирования и эксплуатации антенных решеток возникает ряд вопросов, связанных с выходом из строя элементов решетки — электроакустических преобразователей, а также возбуждающих генераторов или усилительных устройств, цепей коммутации и т. д. В работах [1, 2] было исследовано влияние выхода из строя преобразователей на характеристику направленности антенной решетки без учета межэлементного взаимодействия. В работе [3] получены параметры распределения характеристики направленности антенны при наличии случайного разброса и отказа элементов с учетом их акустического взаимодействия. Значительный практический интерес представляет исследование влияния выхода из строя элементов антенной решетки и возбуждающих генераторов на параметры, характеризующие режим работы электроакустических преобразо-



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Излучающий канал. 1 — задающий генератор; 2 — цепь фазовой компенсации; 3 — усилитель мощности; 4 — электроакустический преобразователь

Фиг. 2. Геометрия антенной решетки

вателей и их согласование с выходными цепями генераторного устройства — величину колебательной скорости  $v$ , входное электрическое сопротивление преобразователя  $R$ ,  $\cos \varphi$  ( $\varphi$  — сдвиг по фазе между подводимым напряжением и током, протекающим через преобразователь). Существенным фактором является зависимость этих параметров антенн от взаимодействия элементов по полю, например для линейных решеток, состоящих из цилиндрических преобразователей малой высоты [4, 5].

Под излучающим каналом будем понимать последовательно соединенные задающий генератор, цепи фазовой компенсации, усилитель мощности, электроакустический преобразователь (фиг. 1) [6]. Выход из строя любого элемента излучающего канала приводит к неработоспособности канала. При этом различают два вида выхода из строя канала. Первый характеризуется отсутствием колебаний рабочей поверхности оконечного устройства излучающего канала — электроакустического преобразователя, например, вследствие механического разрушения его колебательной системы. Для второго вида характерно отсутствие на электрическом входе преобразователя напряжения, подводимого к нему с выходного каскада усилителя мощности, например, из-за затекания преобразователя при нарушении его герметичности, вследствие выхода из строя задающего генератора, усилителя мощности или короткого замыкания в цепях коммуникации.

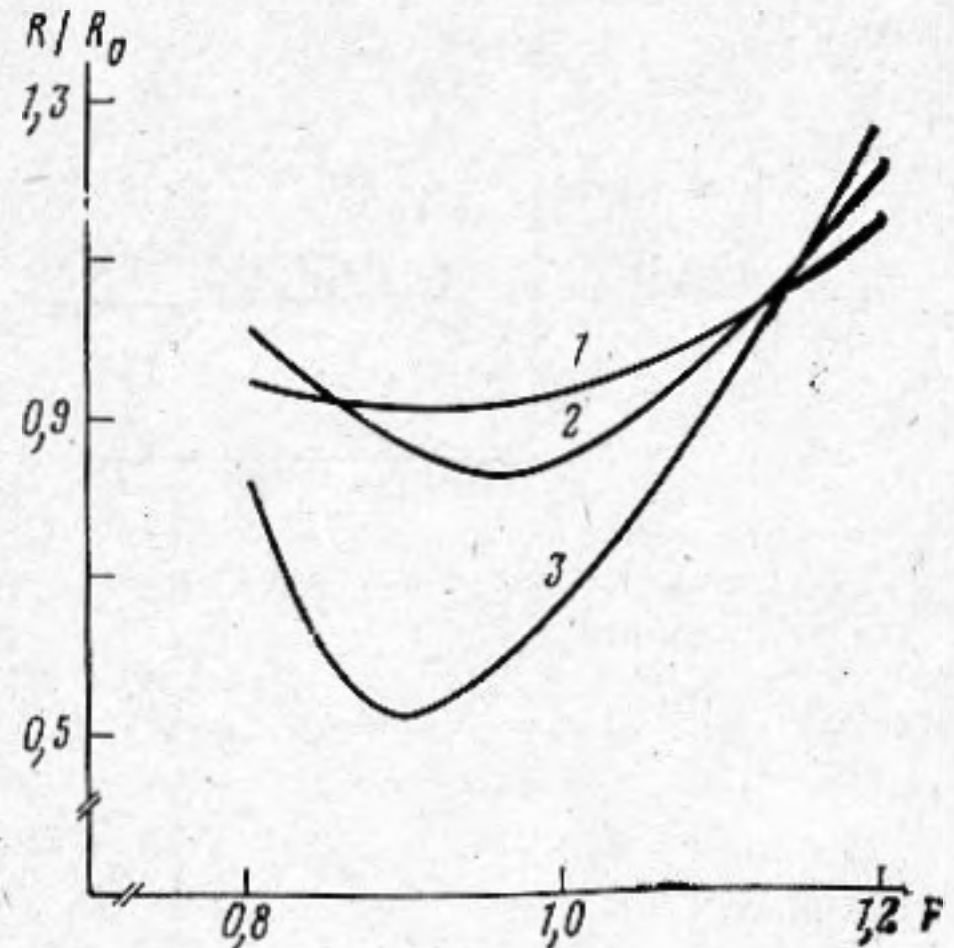
Рассмотрим линейную эквидистантную антенную решетку, состоящую из  $N$  колец высоты  $h$ , расположенных с периодом  $d$  на бесконечном абсо-

лютно жестком цилиндре радиусом  $a$  (фиг. 2). Каждое кольцо возбуждается электрическим напряжением  $U$ . Анализ выхода из строя излучающего канала проведем по методике определения параметров антенных решеток с учетом акустического взаимодействия, изложенной в работах [4, 5] и использующей разработанный М. И. Карновским метод поэлементного перебора в терминах взаимных импедансов излучения [7] и модель электроакустического преобразователя как резонансного преобразователя энергии [8].

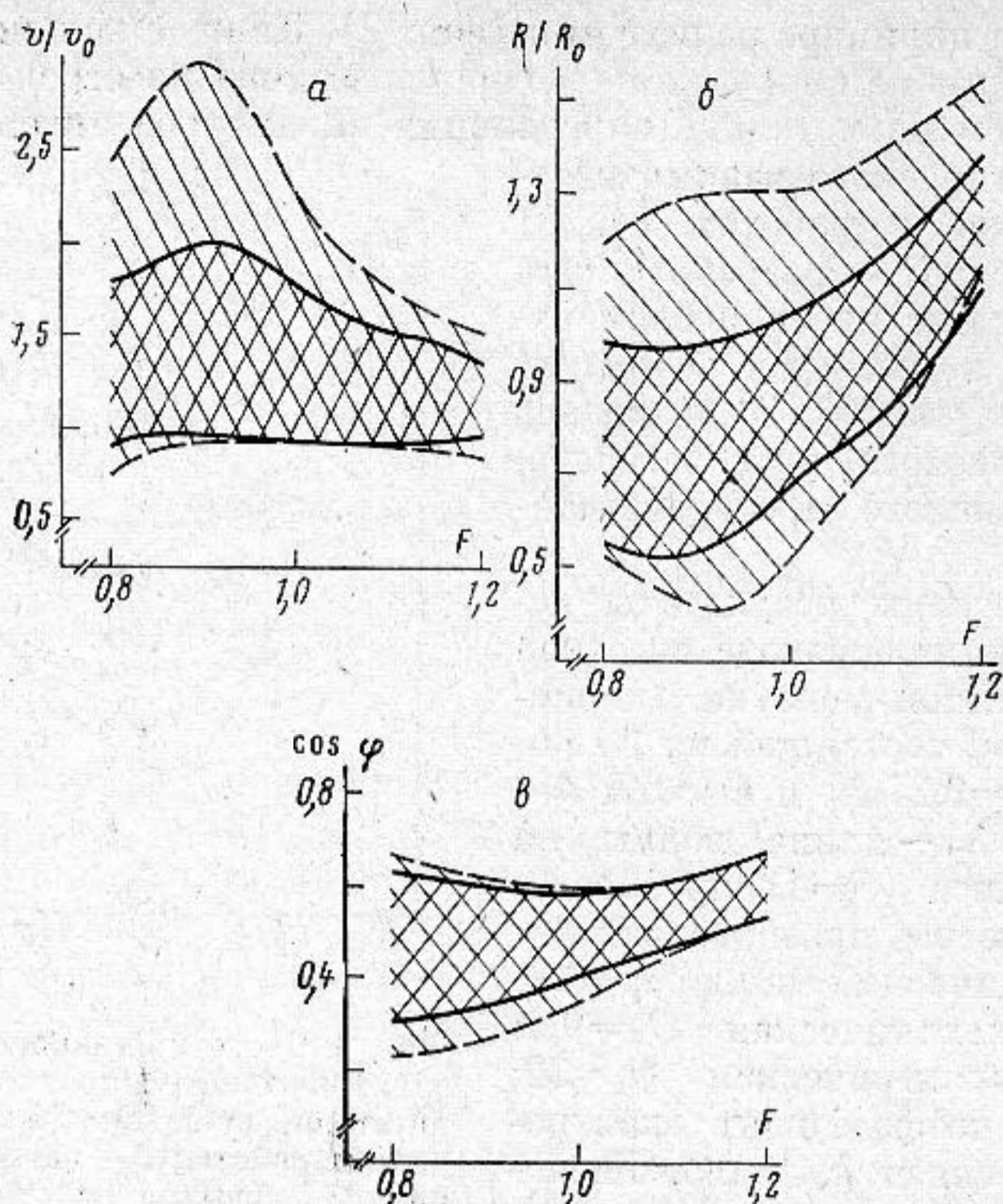
Ниже приведены результаты исследования влияния выхода из строя элементов антенной решетки с периодом  $d=0,125 \lambda_p$ , состоящей из 20 колец радиуса  $a=0,27 \lambda_p$  и высоты  $h=0,1 \lambda_p$ , где  $\lambda_p$  — длина волны на частоте резонанса ( $F=1$ ) преобразователя. Параметры преобразователя: акустико-механический к.п.д.  $\eta=0,8$ ; добротность механическая  $Q_m=0,9$ ; добротность электрическая  $Q_e=30$ ; эффективный коэффициент электро-механической связи  $k_{эф}^2=0,3$ . Расчеты проведены для случая равномерного синфазного возбуждения элементов решетки.

Результаты численного эксперимента показывают, что наибольшее влияние на исследуемые параметры оказывает выход из строя соседнего излучающего канала второго вида. На фиг. 3 приведена частотная зависимость входного электрического сопротивления  $R$  преобразователя № 3 при штатном режиме работы — все излучающие каналы работоспособны — и при выходе из строя канала № 2. Видно, что в данном случае выход из строя соседнего канала оказывает малое (примерно 10%) влияние на величину  $R$  на частотах выше резонанса ( $F=1,1 \div 1,2$ ). В диапазоне  $F=0,8 \div 1,0$  влияние выхода из строя этого канала первого вида также мало — 10–12%. Значительное влияние оказывает выход из строя соседнего излучающего канала второго вида: на частоте  $F=0,8$  входное электрическое сопротивление преобразователя уменьшается на 13%, на частоте  $F=0,9$  — на 40%.

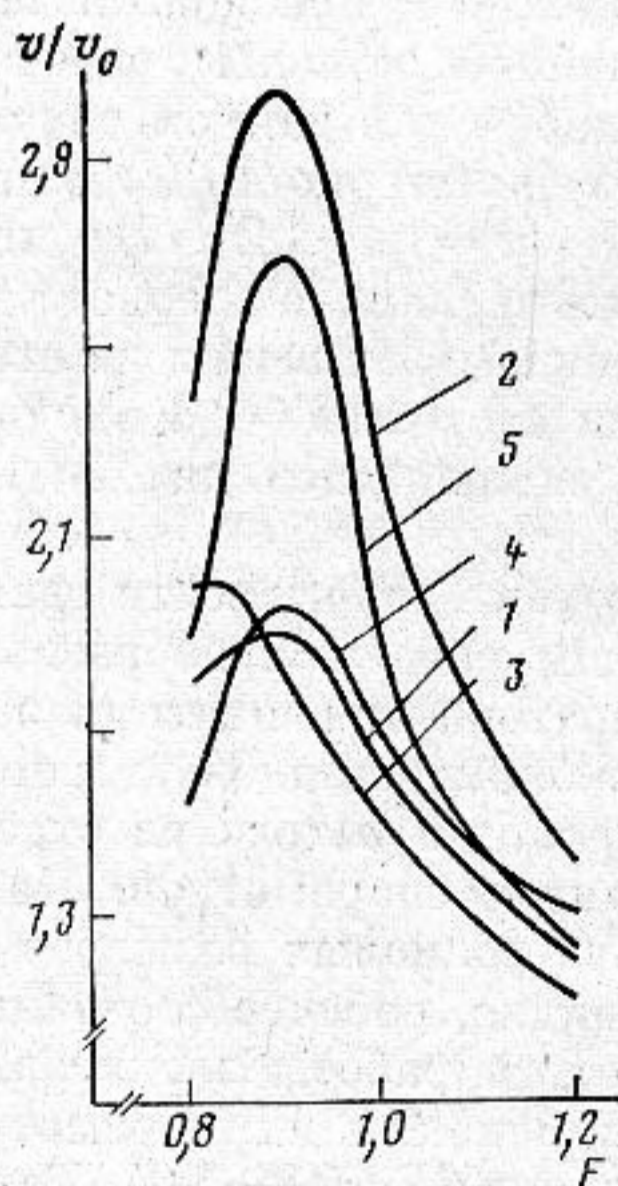
На фиг. 4 приведены расчетные частотные зависимости границ изменения параметров, характеризующих режим работы преобразователя и его согласования с выходными цепями генератора при штатном режиме работы и выходе из строя одного из излучающих каналов второго вида; при этом на каждой частоте выбирались варианты выхода из строя, приводящие к максимальным разбросам указанных параметров. Параметры  $R_0$  и  $v_0$  относятся к преобразователю тех же волновых размеров в бесконечной синфазной антенной решетке. Как видно, рабочее состояние излучающих каналов существенно влияет на режим работы электроакустических преобразователей, расширяя границы изменения их параметров, причем наиболее сильно на частотах ниже резонанса ( $F=0,8 \div 1,0$ ). Так, при штатном режиме работы величина  $v$  изменяется на частоте  $F=0,8$  в 1,8 раза, при  $F=0,9$  — в 2, при  $F=1$  — в 1,8, при  $F=1,1$  — в 1,6, при  $F=1,2$  — в 1,4 раза; при выходе из строя одного излучающего канала соответственно на тех же частотах изменение  $v$  составляет 3,4; 3,1; 2,5; 2,2; 1,6, и абсолютная максимальная величина колебательной скорости преобразователя возрастает в 1,5 раза. Величина входного электрического сопротивления в тех же условиях изменяется на частоте  $F=0,8$  — в 1,8 и 2,2 раза, при  $F=0,9$  — в 1,8 и 3, при  $F=1,0$  — в 1,6 и 2,5; при  $F=1,1$  — в 1,7 и 2,5; при  $F=1,2$  — в 1,3 и 1,4 раза.



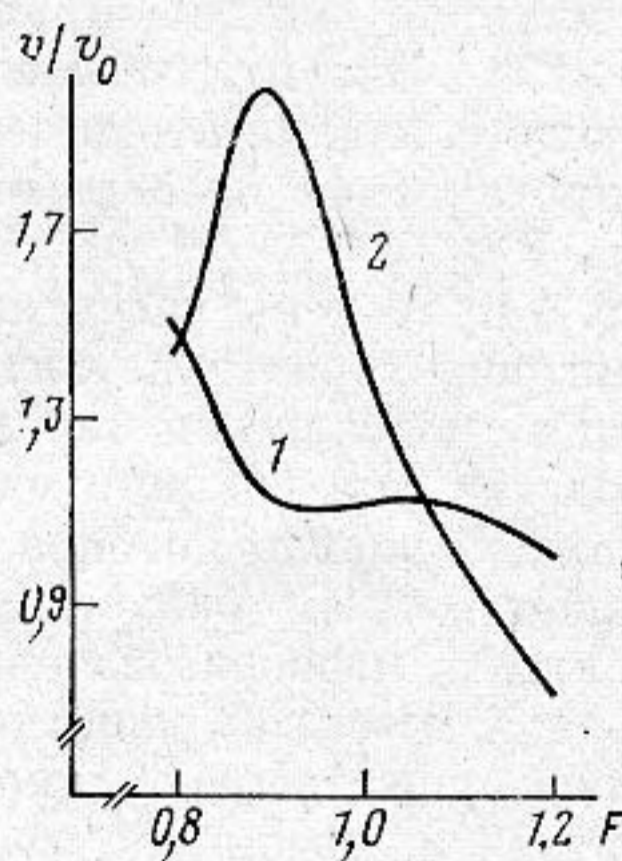
Фиг. 3. Частотная зависимость входного электрического сопротивления элемента антенной решетки № 3. 1 — штатный режим работы; 2 — вышел из строя канал № 2 (выход из строя первого вида); 3 — вышел из строя канал № 2 (выход из строя второго вида)



Фиг. 4. Частотная зависимость границ изменения параметров элементов антенной решетки: *a* — колебательная скорость, *б* — входное электрическое сопротивление, *в* —  $\cos \varphi$  — штатный режим; — — — вышел из строя один излучающий канал



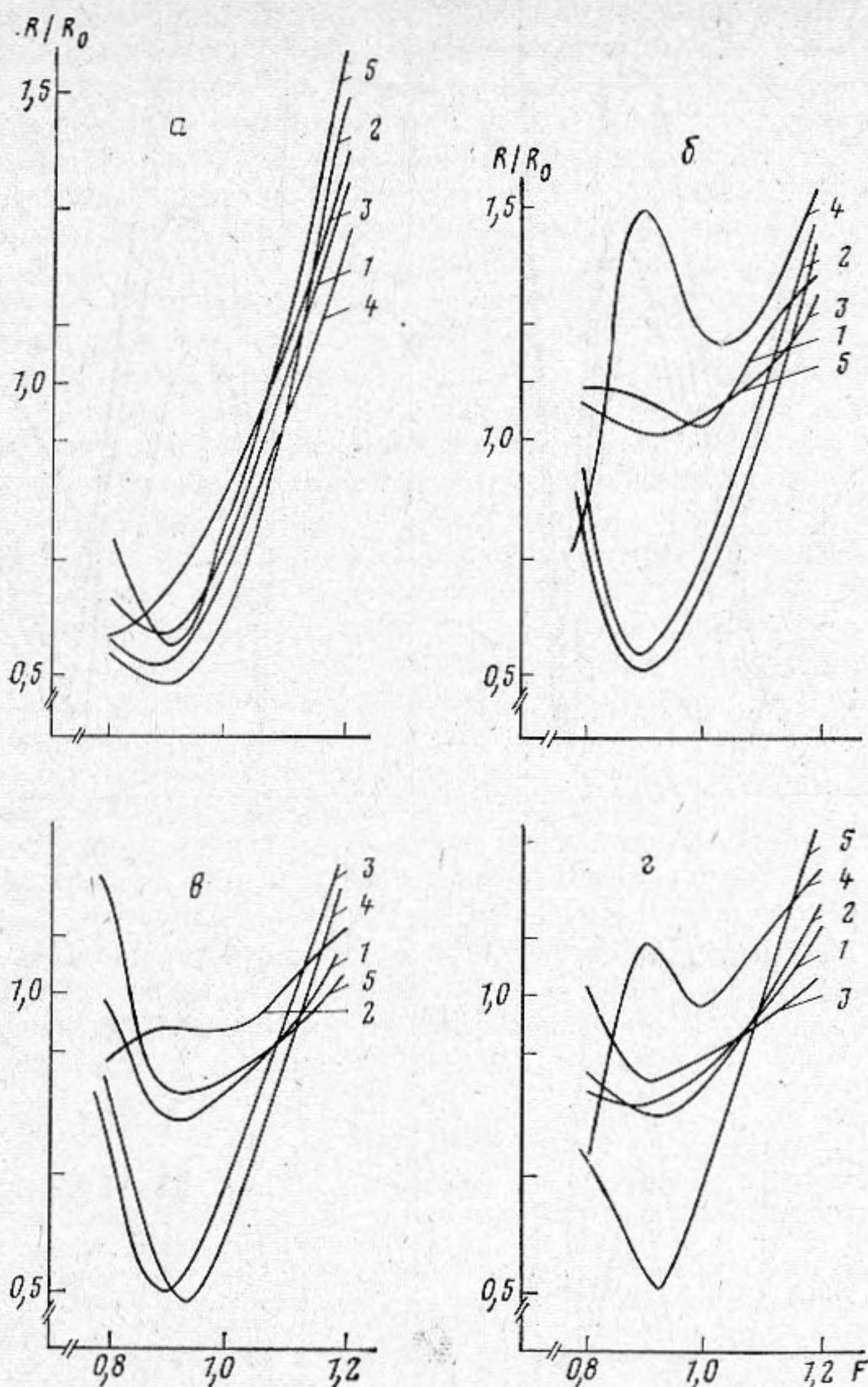
Фиг. 5



Фиг. 6

Фиг. 5. Частотная зависимость модуля колебательной скорости крайнего элемента антенной решетки (№ 1). 1 — штатный режим; 2 — вышел из строя канал № 2; 3 — вышел из строя канал № 4; 4 — вышел из строя канал № 6; 5 — вышел из строя канал № 9

Фиг. 6. Частотная зависимость модуля колебательной скорости элемента антенной решетки (№ 2). 1 — штатный режим, 2 — вышел из строя канал № 2

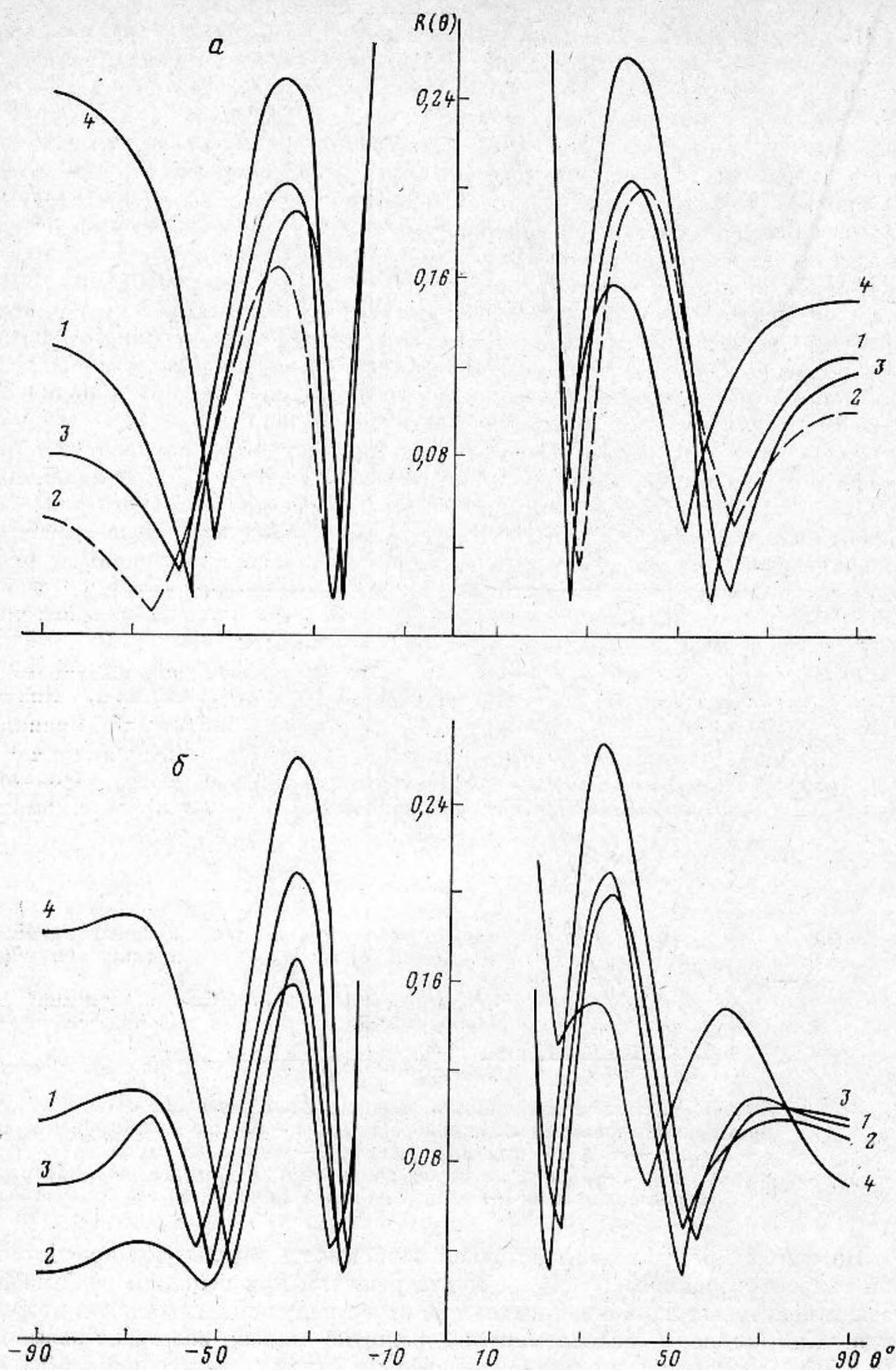


Фиг. 7. Частотная зависимость входного электрического сопротивления элемента антенной решетки. а — № 1; б — № 3; в — № 5; г — № 9. 1 — штатный режим; 2 — вышел из строя канал № 2; 3 — вышел из строя канал № 4; 4 — вышел из строя канал № 6; 5 — вышел из строя канал № 10

На фиг. 5 представлена частотная зависимость амплитуды колебательной скорости крайнего (№ 1) элемента решетки при штатном режиме работы и некоторых вариантах выхода из строя излучающих каналов второго вида. Как видно, в малоэлементной решетке малых волновых размеров ( $l \sim 2,5 \lambda$ ), состоящей из элементов весьма малых размеров ( $h = 0,1 \lambda$ ), рабочее состояние центральных излучающих каналов оказывает значительное влияние на параметры крайнего элемента антенны.

Численные эксперименты показали, что колебательная скорость электроакустического преобразователя, являющегося оконечным устройством вышедшего из строя излучающего канала второго вида, вследствие акустического взаимодействия может существенно — до 2 раз — превосходить колебательную скорость того же преобразователя при штатном режиме работы. В качестве примера на фиг. 6 изображена частотная зависимость скорости колебаний второго от края (№ 2) преобразователя.

Частотные зависимости входных электрических сопротивлений некоторых элементов антенной решетки при различных режимах работы излучающих каналов приведены на фиг. 7. В решетке малых волновых



Фиг. 8. Характеристика направленности антенной решетки:  $a - F=0,8$ ;  $b - F=0,9$ .  
 1 — штатный режим; 2 — вышел из строя канал № 2; 3 — вышел из строя канал № 10;  
 4 — вышли из строя каналы № 4 и № 5

размеров, состоящей из малых преобразователей с высоким к.п.д., выход из строя любого излучающего канала второго вида оказывает влияние на параметры всех преобразователей, причем сильнее это влияние сказывается на параметрах ближайших преобразователей. Следует отметить, что в отношении зависимости величины  $R$  от рабочего состояния излучающих каналов в рассматриваемом диапазоне частот наиболее устойчив крайний (№ 1) элемент антенной решетки.

Численный эксперимент по установлению влияния выхода из строя излучающих каналов второго вида на характеристику направленности линейной дискретной антенны проводился на частотах ниже резонанса  $F = 0,8 \div 0,9$ , где влияние взаимодействия по полю особенно сильно [9]. Результаты расчетов представлены на фиг. 8. Из графиков видно, что выход из строя второго вида одного излучающего канала независимо от положения в решетке приводит к увеличению уровня побочных максимумов характеристики направленности, не перераспределяя их в пространстве, и не вызывает заметного искажения основного лепестка. Максимальные искажения характеристики направленности наблюдаются при выходе из строя одного из центральных излучающих каналов (№ 10). Выход из строя двух излучающих каналов также не приводит к деформации основного лепестка, при этом возможно превышение уровня второго побочного максимума над первым. При выходе из строя двух соседних излучающих каналов искажения характеристики направленности максимальны.

Расчет для различных линейных антенных решеток показал, что при синфазном равномерном возбуждении выход из строя до 15% излучающих каналов (по второму виду) не приводит к искажению основного лепестка характеристики направленности. Дальнейшее увеличение числа неработоспособных каналов вызывает изменение ширины основного лепестка, появление в нем провалов. Аналогичные выводы сделаны в работе [2], где исследовалось влияние неработоспособности элементов первого вида без учета взаимодействия на характеристику направленности.

Таким образом, можно заключить, что выход из строя излучающих каналов второго вида при наличии взаимодействия по полю может оказывать существенное влияние на параметры антенной решетки; для правильного определения эксплуатационных параметров антенны, особенно в части величины колебательных скоростей элементов и параметров согласования с генераторным устройством, необходимо учитывать их возможное изменение вследствие выхода из строя излучающих каналов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кангур А. Г., Лухт Р. А. Влияние выхода из строя излучающих элементов линейной решетки на характеристики излучения. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. общетехническая, 1977, вып. 8, с. 104–114.
2. Ramsdale D., Howerton R. Effect of failure and random errors in amplitude and phase on sidelobe level attainable with linear array. — J. Acoust. Soc. Amer., 1980, v. 68, pt. 3, p. 901–906.
3. Жуков В. Б., Островский Д. Б. Параметрическая надежность гидроакустических антенн. Л.: Судостроение, 1980.
4. Кудашева О. А., Рубанов И. Л. О влиянии объединения электроакустических преобразователей в группы на параметры излучающей линейной антенной решетки. — Акуст. журн., 1983, т. 29, № 1, с. 69–73.
5. Добровольский Ю. Ю., Кудашева О. А., Рубанов И. Л. О влиянии взаимодействия резонансных электроакустических преобразователей на параметры излучающей линейной антенной решетки. — Акуст. журн., 1983, т. 29, № 3, с. 341–346.
6. Орлов Л. В., Шабров А. А. Расчет и проектирование антенн гидроакустических рыбопоисковых станций. М.: Пищевая промышленность, 1974.
7. Карновский М. И. К расчету взаимных акустических импеданцев. — Сб. тр. Киевского ин-та киноинженеров, 1948, вып. 1, с. 95–113.
8. Добровольский Ю. Ю. К определению параметров протяженных акустических антенн, состоящих из резонансных поршневых излучателей. — Акуст. журн., 1975, т. 21, № 4, с. 538–543.
9. Рубанов И. Л. О влиянии взаимодействия резонансных электроакустических преобразователей на характеристику направленности антенной решетки с произвольным амплитудно-фазовым распределением. — Акуст. журн., 1982, т. 28, № 5, с. 681–684.

Ленинградский кораблестроительный институт

Поступила в редакцию  
2.VII.1984