

## Рекомендации по выбору оптимальной с точки зрения ТЗИ и ЭМС СКС

Безусловно, наилучшими параметрами обладает волоконно-оптическая кабельная система. Для медных кабельных систем с точки зрения ТЗИ и ЭМС предпочтение следует отдавать экранированным кабельным системам и при прочих равных условиях кабельным системам более высокой категории.

Перед выбором типа кабельной системы обязательно необходимо ответить на следующие вопросы.

- Какой уровень безопасности кабельной системы по ПЭМИН необходимо обеспечить?
- Какова ширина спектра сигналов, которые будут передаваться по кабельной системе?
- В каких диапазонах будут находиться источники электромагнитных помех?
- Каков будет уровень электромагнитных помех в течение всего срока эксплуатации системы?
- Насколько правильно и корректно будет выполнен монтаж? Особенно это касается разделения информационных и силовых цепей, качественного подсоединения экранов и реализации системы заземления в здании.

На большинство из поставленных вопросов довольно трудно ответить заранее, а на некоторые не возможно из-за наличия большого числа случайных влияющих факторов. Но необходимо помнить, что ответы на поставленные вопросы должны быть не только четко сформулированы, но и не должны меняться в течение всего срока эксплуатации СКС (иногда более 20 лет). Это необходимо учитывать при выборе уровня кабельной системы, а также начальной избыточности характеристик по ТЗИ и ЭМС.

При окончательном выборе типа кабельной системы, безусловно, необходимо руководствоваться требованиями национальных, европейских, международных и отраслевых стандартов.

На смену «Временным рекомендациям по технической защите информации от утечки по каналам побочных электромагнитных излучений и наводок» – ВР ТЗИ ПЭМИН-95 и ВР ЭВТ-95 пришел Государственный стандарт Украины – ДСТУ 3396.0-96, предписывающий правила использования экранированных кабелей, металлических коробов и труб. Все компоненты должны иметь правильно организованную систему заземления. Этот стандарт обязателен для органов государственной власти, предприятий всех форм собственности и организаций, которые распоряжаются информацией, подлежащей технической защите.

УДК 621.396.677

## УЗКОНАПРАВЛЕННАЯ ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ПРОСЛУШИВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

*Игорь Науменко, Владимир Кизима*

*ОКБ «Шторм» при НТУУ «КПИ»*

*Анотація:* Розглянуто акустичну систему для дистанційного прослуховування локальних джерел мовної інформації, що складається з фазованої антенної решітки, блоків первинної і вторинної обробки та засобів аудіо-відеоконтролю. Висвітлено окремі аспекти апаратної та програмної реалізації системи.

*Summary:* Acoustic system for remote hearing local sources of speech consisting of phased antenna array, units of primary and secondary information processing, audio & video terminals is discussed. Some aspects of its hardware and software realization are cleared up.

*Ключевые слова:* Фазированная антенная решетка, диаграмма направленности, синтез коэффициентов чувствительности.

### I Введение

Сложившаяся в настоящий момент международная политическая обстановка выдвигает особые требования к техническому обеспечению спецслужб. В настоящее время все большую актуальность приобретает проблема создания высокоэффективных антенных систем для дистанционного прослушивания источников речевой информации по акустическому каналу. К подобным системам, как правило, предъявляют следующие основные требования: высокая направленность в рабочем диапазоне частот (1,5...5 кГц); низкий уровень бокового поля; подавление мешающих локальных помех; оперативное управление пространственной диаграммой направленности (ДН) в широком секторе углов (сканирование); низкий уровень собственных помех; возможность прослушивания в реальном времени; мобильность, невысокая

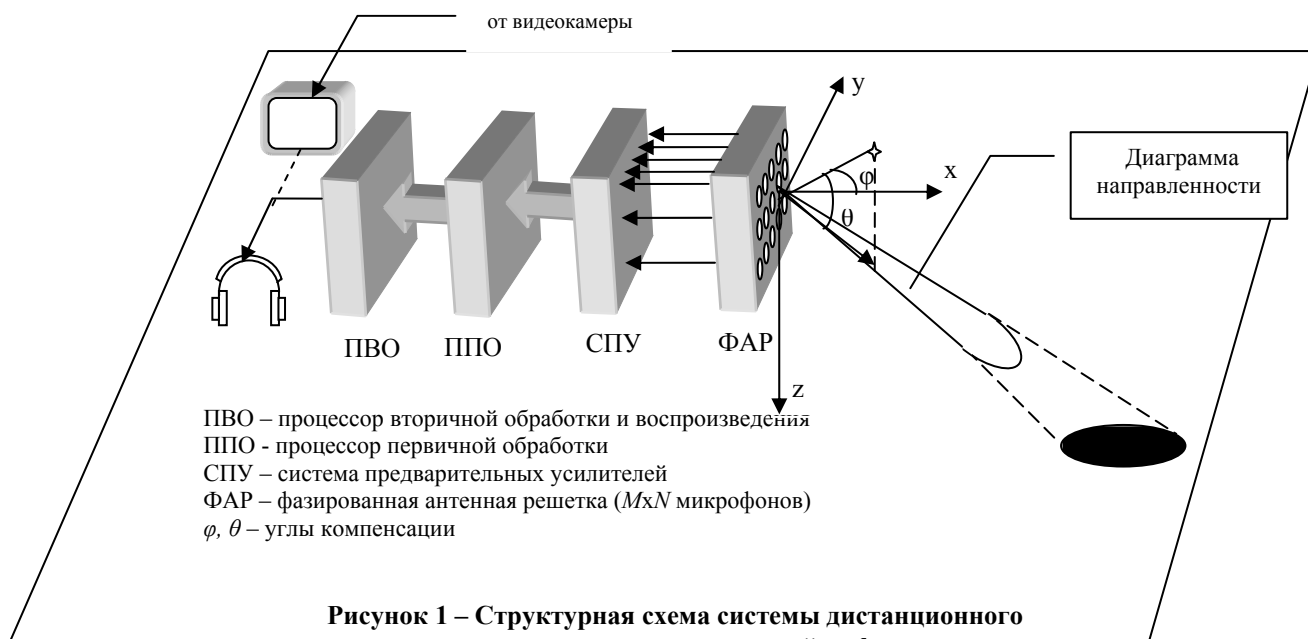
стоимость и др. Результаты акустического сканирования пространства по нашему мнению целесообразно совместить с данными средств видеонаблюдения, что позволит установить принадлежность снимаемой речевой информации тому или иному объекту.

## II Постановка задачи

Основной задачей при создании таких систем является формирование узкой диаграммы направленности (до  $2...5^\circ$ ) при минимально возможных габаритах антенны, поскольку эти два параметра по своей природе взаимно противоречивы. Так на средней частоте диапазона при ширине ДН на уровне 0,707 (по давлению)  $6...7^\circ$  апертура плоской дискретной антенны с равномерным возбуждением составляет весьма существенную величину (около 1 м), а число приемников достигает 200. При сужении ДН апертура антенны увеличивается по линейному, а число приемников по квадратичному закону. Кроме того, важнейшей характеристикой подобных антенных систем является наличие эффективных средств подавления мешающих локальных помех за пределами главного максимума ДН.

## III Основная часть

Структура узконаправленной акустической системы для прослушивания источников речевой информации представлена на рис. 1. Она включает плоскую прямоугольную фазированную антенную решетку (ФАР), состоящую из  $M \times N$  однонаправленных микрофонов, систему предварительных усилителей, процессор первичной обработки, процессор вторичной обработки, средства видеонаблюдения и аудиоконтроля. Антенная система может быть выполнена в стационарном, мобильном или портативном вариантах.



Рассмотрим основные параметры такой антенной системы на примере линейной эквидистантной ФАР с равномерным распределением коэффициентов возбуждения. Если в качестве приемников применить, например, однонаправленные конденсаторные микрофоны, то характеристика направленности такой антенны в дальнем поле может быть представлена выражением [1]

$$R(\varphi) = \frac{\left| \sin \left[ \frac{kdN}{2} (\sin \varphi - \sin \varphi_0) \right] \right|}{N \sin \left[ \frac{kd}{2} (\sin \varphi - \sin \varphi_0) \right]} \cdot R_0(\varphi), \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угол прихода сигнала в горизонтальной плоскости;  $\varphi_0$  – угол компенсации;  $k=2\pi/\lambda$  – волновое число;  $N$  – количество микрофонов в антенной решетке по горизонтали;  $R_0(\varphi)$  – характеристика направленности одиночного микрофона;  $d$  – расстояние между микрофонами, причем апертура антенны  $L = (N-1)d$ .

Ширина диаграммы направленности такой антенны на уровне 0,707 по давлению точно может быть определена из уравнения  $R(\varphi) = \sqrt{2}/2$ . При фиксированной апертуре  $L$  максимальная ширина ДН будет на нижней частоте диапазона (1,5 кГц), а минимальная – на верхней (5 кГц), причем волновое расстояние между элементами на верхней частоте диапазона в целях исключения дополнительных максимумов должно быть меньше 1 ( $d/\lambda < 1$ ). Ниже (см. табл. 1, 2 и рис. 2, 3) приведены результаты расчетов основных параметров линейной и прямоугольной ФАР согласно формуле (1), в которых в качестве исходного параметра задана апертура антенны  $L$ . Характеристика направленности одиночного микрофона аппроксимировалась выражением  $R_0(\varphi)=[(\cos \varphi+1)+0,3]/2,3$ , что соответствует ДН микрофона МК-12 [2].

Таблица 1 – Линейная антенная решетка

$f_0=3500$  Гц

Апертура $L$ , м	Число элементов $N$	Ширина ДН, град	Прирост отношения С/П, дБ	Ширина пятна на 100 м, м
0,3	7	14	8,5	24,9
1	18	4,5	12,6	7,9
2	33	2,2	15,2	3,8

Таблица 2 – Плоская антенная решетка

$f_0=3500$  Гц

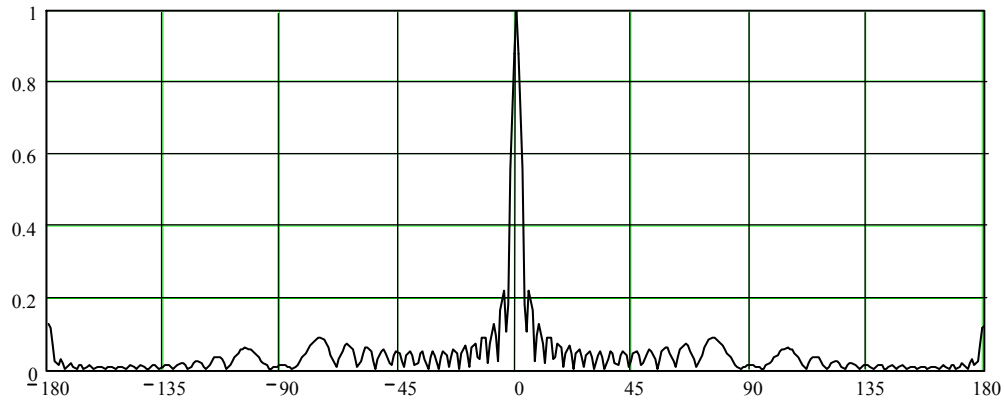
Апертура $L$ , мхм	Число элементов $M \times N$	Ширина ДН, град	Прирост отношения С/П, дБ	Диаметр пятна на 100 м, м
0,3х0,3	49	14	16,9	24,9
1х1	324	4,5	25,1	7,9
2х2	1089	2,2	30,4	3,8

С точки зрения помехоустойчивости рассмотренные выше антенны с равномерным амплитудным и фазовым распределением имеют существенное боковое поле и не являются оптимальными. Кроме того в реальной ситуации, как правило, имеется один или несколько источников локальной помехи (музыкальная программа, транспортное средство и другая техника), которая может существенно снизить помехоустойчивость такой системы. Поэтому антенная решетка должна быть адаптирована к окружающей акустической обстановке, а именно – формировать управляемую диаграмму направленности с заданным направлением главного максимума, минимальным боковым полем и минимумами чувствительности в направлении источников локальных помех. Такая адаптивная антенная система может быть реализована методами синтеза линейных и поверхностных дискретных антенн.

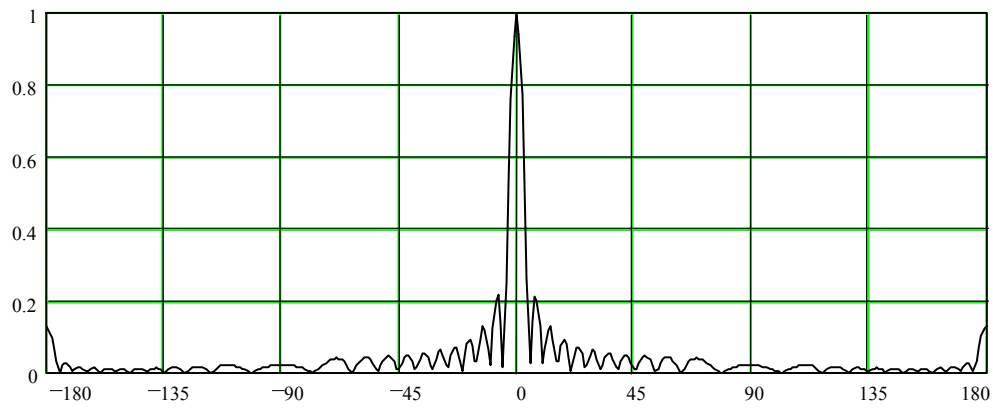
Поскольку чувствительности микрофонов и их соотношения – величины неизменные для конкретного типа микрофонов, то задача синтеза фактически состоит в нахождении распределения комплексных коэффициентов передачи  $A_q$  усилительного тракта каждого микрофона. Они связаны с характеристикой направленности соотношением [3]

$$D(\vec{u}) = \frac{\sum_{q=1}^N A_q U'_q(\vec{u})}{\sum_{q=1}^N A_q U'_q(\vec{u}_0)} = \frac{\sum_{q=1}^N A_q w_q(\vec{u})}{\sum_{q=1}^N A_q w_q(\vec{u}_0)}, \quad (2)$$

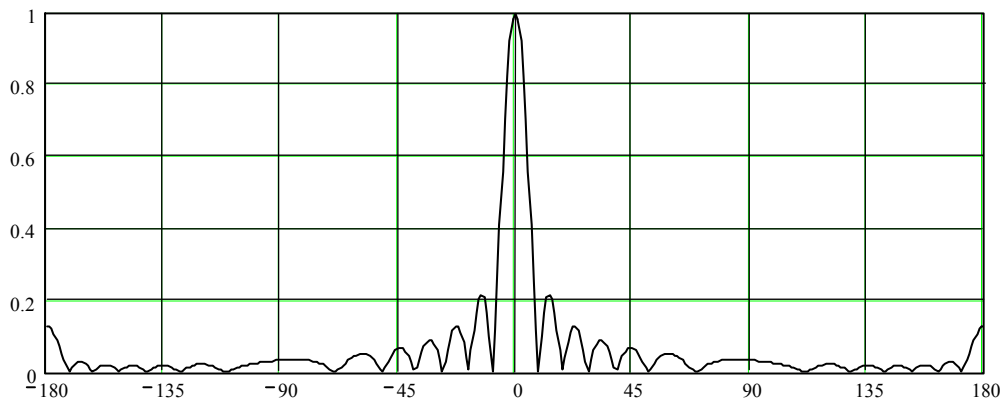
где  $w_q(\vec{u})$  – колебательная скорость активной поверхности микрофона с номером  $q$  при воздействии плоской волны с направлением прихода  $\vec{u}$ ;  $U'_q(\vec{u})$  – соответствующее напряжение на выходе микрофона с номером  $q$ .



а)  $L = 1 \text{ м}$ ,  $N = 18$ ,  $f = 5000 \text{ Гц}$ ,  $d/\lambda = 0,891$ ,  $\Delta\Theta_{0,7} \approx 3^\circ$

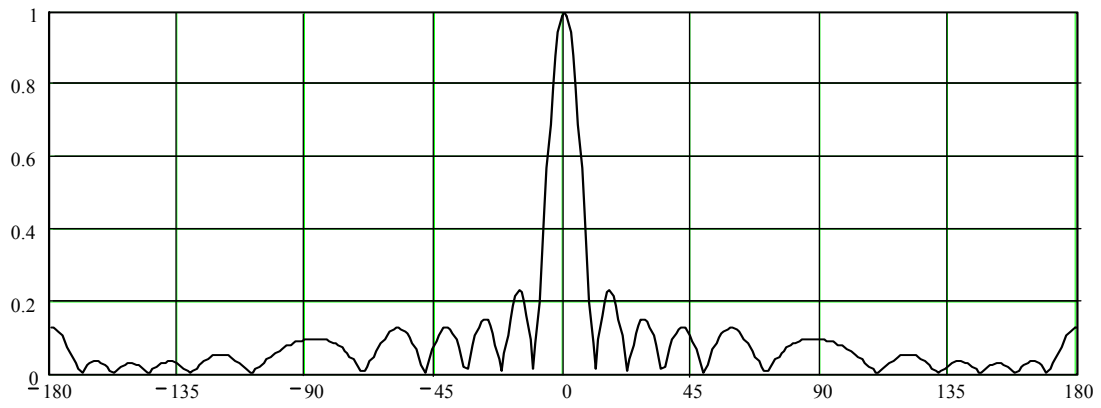


б)  $L = 1 \text{ м}$ ,  $N = 18$ ,  $f = 3500 \text{ Гц}$ ,  $d/\lambda = 0,624$ ,  $\Delta\Theta_{0,7} \approx 4,5^\circ$

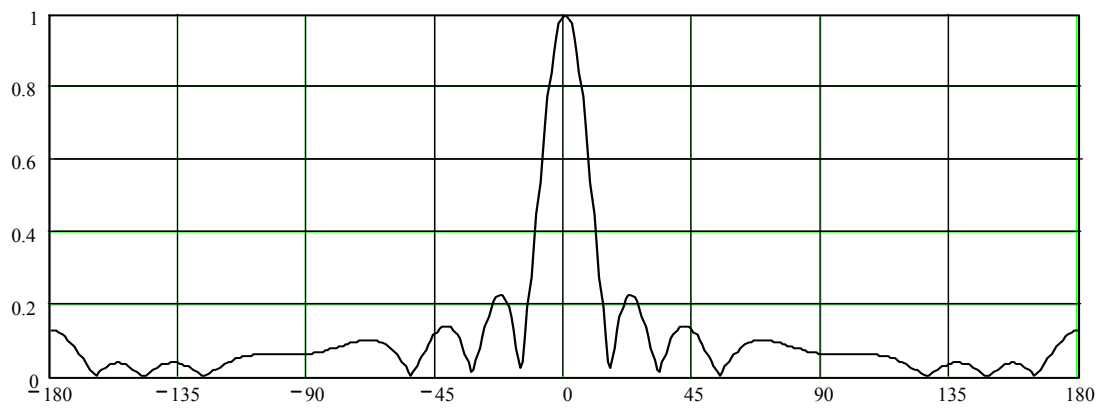


в)  $L = 1 \text{ м}$ ,  $N = 18$ ,  $f = 2000 \text{ Гц}$ ,  $d/\lambda = 0,357$ ,  $\Delta\Theta_{0,7} \approx 8^\circ$

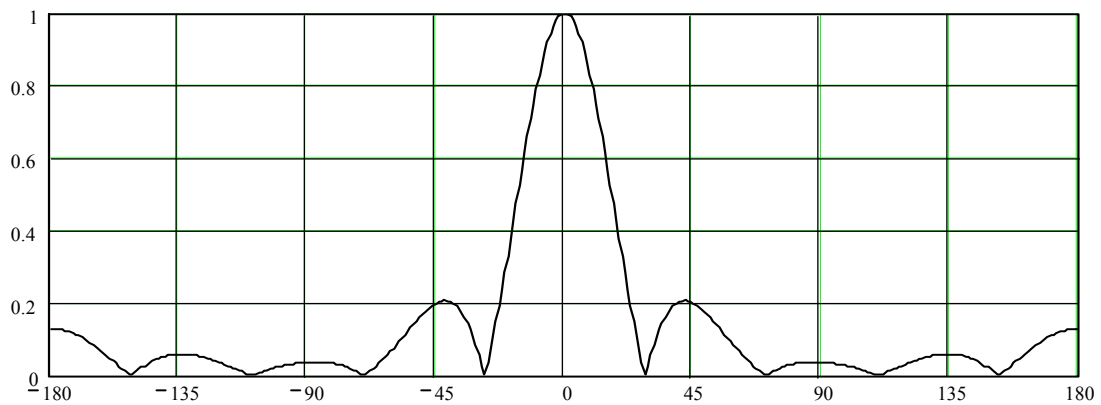
**Рисунок 2 – Диаграмма направленности линейной ФАР с однонаправленными микрофонами МК-12. Апертура антенны  $L=1 \text{ м}$**



а)  $L = 0,3 \text{ м}, N = 7, f = 5000 \text{ Гц}, d/\lambda = 0,758, \Delta\Theta_{0,7} \approx 10^\circ$



б)  $L = 0,3 \text{ м}, N = 7, f = 3500 \text{ Гц}, d/\lambda = 0,53, \Delta\Theta_{0,7} \approx 14^\circ$



в)  $L = 0,3 \text{ м}, N = 7, f = 2000 \text{ Гц}, d/\lambda = 0,303, \Delta\Theta_{0,7} \approx 24^\circ$

**Рисунок 3 – Диаграмма направленности линейной ФАР с однонаправленными микрофонами МК-12. Апертура антенны  $L=0,3 \text{ м}$**

Алгоритм синтеза коэффициентов возбуждения для излучающей плоской ФАР разработан в ОКБ «Шторм» доцентом НТУУ «КПИ» Пугачем В. П. Кроме реализации заданной формы и направления максимума ДН он учитывает весовую функцию точности реализации того или иного участка ДН, минимизирует реактивную мощность антенны, а также учитывает взаимное влияние элементов. Последний фактор имеет значение и для приемных антенн. Как известно в общем случае колебательная скорость элемента приемной антенны не пропорциональна силе давления падающей волны, а связана с ней следующим выражением [3]

$$w_q(\bar{u}) = \frac{Qp_q'(\bar{u})}{z_{mq} + z_{qq} + \sum_{\substack{g=1 \\ g \neq q}}^N \frac{w_g}{W_q} z_{qg}}, \quad (3)$$

где  $Q$  – производительность источника, расположенного в дальнем поле в направлении  $\bar{u}$ ;  $p_q'$  – давление, которое развивал бы в точке расположения источника  $q$ -й преобразователь, работая в режиме излучения с колебательной скоростью, равной 1;  $z_{mq}$  – сопротивление механических потерь;  $z_{qq}$  и  $z_{qg}$  – собственный и взаимные импедансы. Заметим, что в ОКБ «Шторм» разработан также метод измерения взаимных импедансов антенны с целью учета их в алгоритме синтеза [4].

Вышеупомянутый алгоритм нахождения коэффициентов возбуждения (для приемной антенны – коэффициентов чувствительности) разработан по критерию наименьшего среднеквадратического отклонения характеристики направленности антенны с синтезированным распределением колебательных скоростей от заданной функции ДН и сводится к нахождению этого распределения решением системы линейных алгебраических уравнений

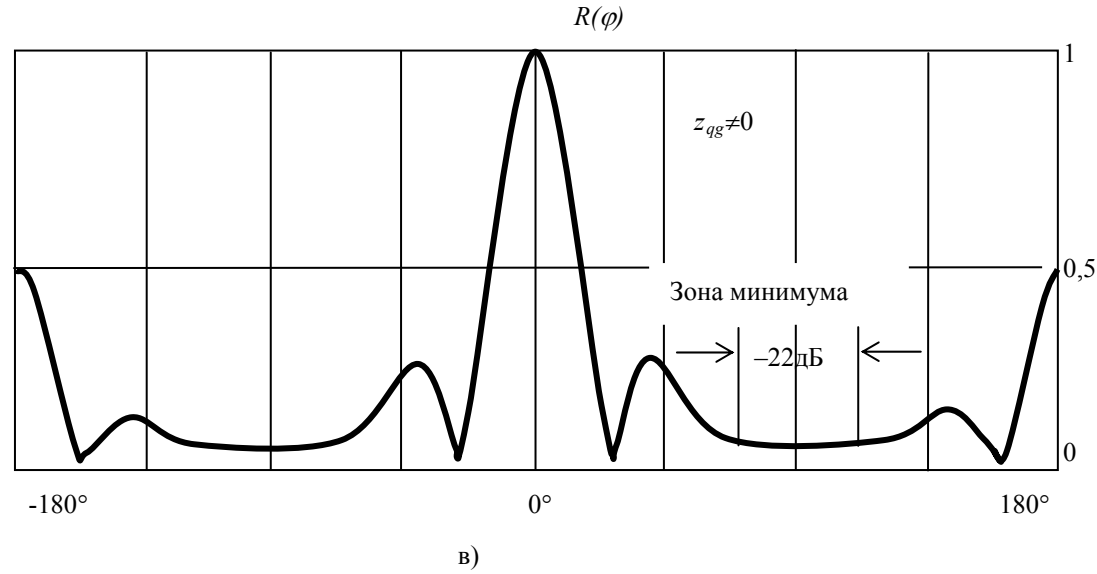
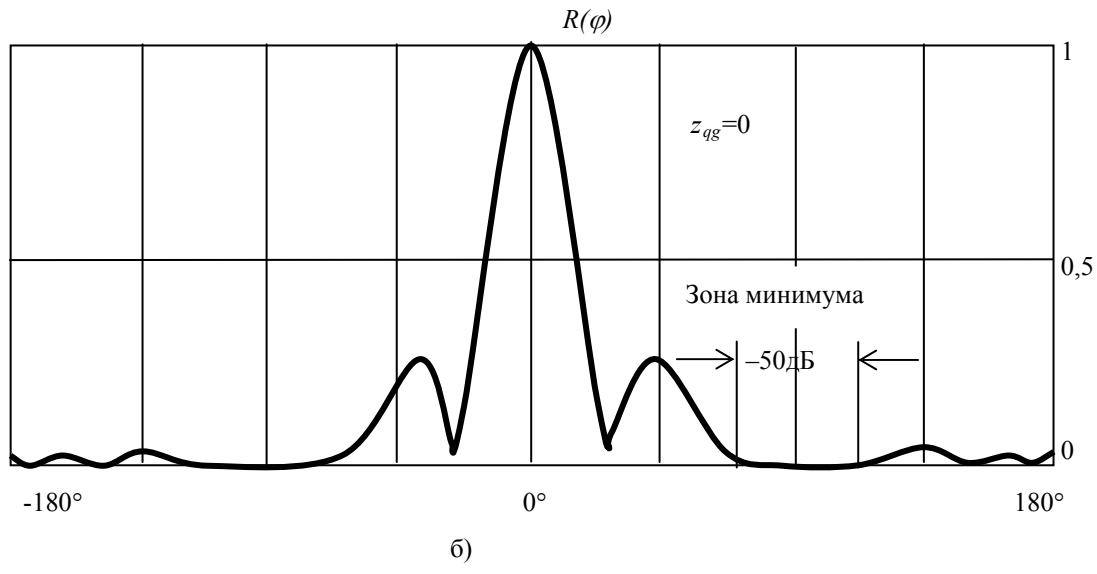
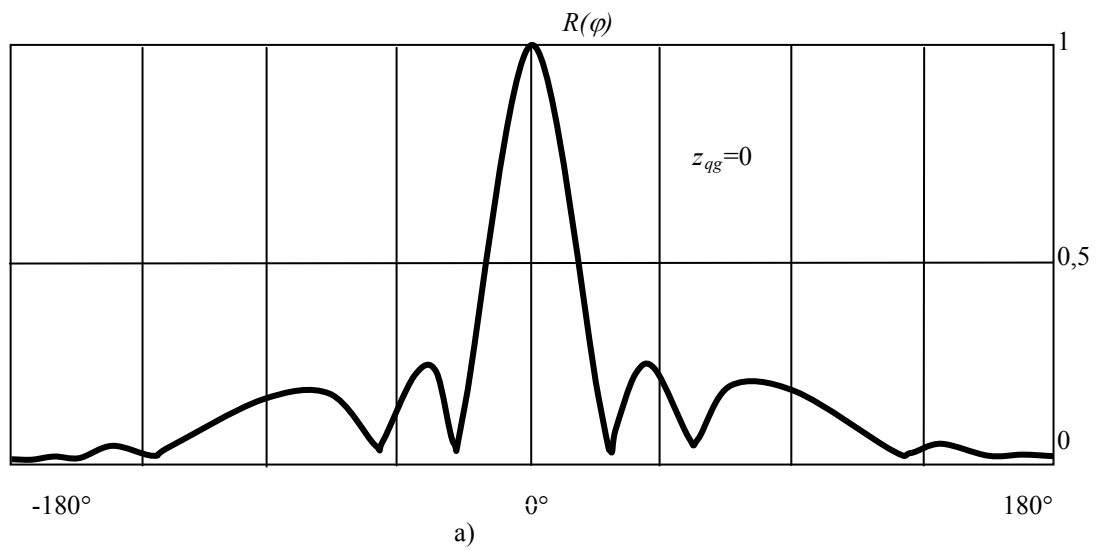
$$\left\{ \sum_{q=1}^N w_q \beta_{qg}^X = \alpha_g, \quad g=1, N \right. \quad (4)$$

где:

$$\begin{aligned} \beta_{qg}^X &= \beta_{qg}^0 + X_{qgg}, \\ \beta_{qg}^0 &= \int_{\Gamma} \Psi_q(\bar{u}) \Psi_g^*(\bar{u}) d\bar{u} + \sum_{\mu=1}^K (\zeta_{\mu} - 1) \int_{\Delta_{\mu}} \Psi_q(\bar{u}) \Psi_g^*(\bar{u}) d\bar{u}, \\ \alpha_g &= \int_{\Gamma} f(\bar{u}) \Psi_g^*(\bar{u}) d\bar{u} + \sum_{\mu=1}^K (\zeta_{\mu} - 1) \int_{\Delta_{\mu}} \Psi_q(\bar{u}) \Psi_g^*(\bar{u}) d\bar{u}, \\ \Psi(\bar{u}) &= \sum_{g=1}^n z_{gq} / \sigma_g e^{ikr_g \cos \theta_g}; \end{aligned}$$

$X_{qg}$  – реактивная составляющая сопротивления излучения  $q$ -элемента,  $f(\bar{u})$  – заданная функция направленности;  $\Gamma$  – общая область изменения  $\bar{u}$ ;  $\Delta_{\mu}$  –  $\mu$ -я область изменения  $\bar{u}$  с приоритетной точностью синтеза;  $\zeta_{\mu}$  – приоритетный коэффициент  $\mu$ -й области;  $K$  – число приоритетных областей синтеза;  $\sigma_g$  – активная поверхность  $g$ -го элемента;  $r_g$  и  $\theta_g$  – координаты  $g$ -го элемента.

В качестве примера на рис. 4 приведены графики синтезированных диаграмм направленности для двухрядной антенной решетки с количеством элементов  $2 \times 5$ , причем на рис. 4а показана ДН при равномерном распределении коэффициентов возбуждения, т. е. без подавления поля в каком-либо направлении. На рис. 4б и 4в показаны синтезированные согласно (4) ДН той же ФАР, но уже с подавлением поля в зоне  $90 \pm 45^\circ$ . Как видно при отсутствии погрешностей в задании коэффициентов возбуждения и  $z_{qg}=0$  в зоне формирования минимума можно получить подавление поля более 50 дБ. При наличии взаимодействия  $z_{qg} \neq 0$  глубина минимума существенно уменьшается (–22 дБ). На результативность синтеза наряду с взаимодействием приемников существенно влияют также погрешности коэффициентов их чувствительности, однако для приемной антенны в силу широкополосности микрофонов взаимодействием, как правило, можно



**Рисунок 4 – Иллюстрации синтеза диаграммы направленности двухрядной антенной решетки (2x5 элементов )**

пренебречь. Используя разработанную методику синтеза и программное обеспечение можно создать адаптивную ФАР, которая позволит автоматически управлять пространственной ориентацией максимума ДН и минимумов, минимизировав, таким образом, уровень изотропных и локальных помех. Заметим, что поскольку речевой сигнал не является монохроматическим, то для получения высоких качественных показателей системы синтез необходимо выполнять независимо на ряде частотных полос рабочего диапазона, суммируя после этого сигналы на выходе каждого частотного канала.

Методика использования такой системы может быть следующей. Оператор (или программа) сканирует главным лепестком антенны обследуемую область пространства на предмет выявления источников полезной речевой информации и возможных источников локальной помехи. То и другое он определяет с помощью средств аудиоконтроля, совмещая с видеокартинкой. Во время сканирования процессор в реальном времени выполняет процедуру синтеза нужного распределения коэффициентов чувствительности микрофонных каналов.

Если будет обнаружен локальный источник помехи, то в качестве параметров ДН для синтеза будет задаваться не только направление главного максимума, но и сектор подавления с заданным приоритетным коэффициентом.

#### IV Заключение

В работе проанализирована обобщенная структура системы дистанционного прослушивания, а также выполнены исследования и расчеты по синтезу коэффициентов чувствительности плоской прямоугольной антенной решетки, обеспечивающих заданную пространственную ДН с подавлением источников локальных помех.

По сравнению с одиночным приемником ФАР с апертурой 1 м и количеством приемников  $M \times N = 320$  позволяет при изотропной пространственной помехе увеличить отношение сигнал/помеха по выходу на 25...27 дБ и обеспечить прослушивание источников речевой информации на расстоянии до 150...200 м. При этом ширина ДН составляет 4,5°, а разрешение источников звука на расстоянии 100 м составит около 8 м.

При выборе той или иной геометрии антенны важен рациональный подход к ее использованию. Так громоздкую антенну размером 2 м и более целесообразно размещать стационарно на том или ином объекте, причем она позволит вести прослушивание на расстояниях до 300 и более метров. Такую стационарную систему должен обслуживать достаточно мощный компьютер. Антенна средних размеров (примерно 1 м) может использоваться в мобильном варианте, например, на автомобилях. Уменьшение ее пространственной избирательности компенсируется возможностью приблизиться к объекту. То же можно сказать и о самых малых антеннах (примерно 30 см), которые могут быть выполнены в портативном варианте. Несколько снизить апертуру системы при определенных потерях в помехоустойчивости и в качестве синтеза можно применяя антенну типа «Крест Милса» или мультипликативные антенны со сверхнаправленностью. Другим направлением совершенствования системы может быть применение нерегулярных антенных решеток, а также направленных микрофонов.

*Литература:* 1. М. И. Карновский, Е. С. Белоус, В. С. Горбенко, В. П. Пугач. Особенности проектирования гидроакустических антенн и преобразователей. – К.: Изд. Киевского политехнического института, 1976. – 64 с. 2. И. Н. Сидоров, А. А. Димитров. Микрофоны и телефоны – М.: Радио и связь, 1993. – 152 с. 3. М. Д. Смаришев. Направленность гидроакустических антенн. – Л.: Судостроение, 1973. – 280 с. 4. И. Я. Науменко, В. И. Кизима, О. П. Лысенко. Влияние погрешностей задания взаимных сопротивлений излучателей на диаграмму направленности ФАР // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Радиотехника. Вып. 32. – К., 1995. – С. 22–25.

УДК 534.232

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОМЕЩЕНИЙ ОТ УТЕЧКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

**Владимир Кизима, Игорь Науменко**  
ОКБ «Шторм» при НТУУ «КПИ»

*Анотація:* Розглянуто високоефективний ультразвуковий випромінювач для використання в системі захисту приміщень від витоку мовної інформації акустичним каналом. Подано результати