

## КОРРЕКЦИЯ ЧАСТОТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ В АДАПТИВНОЙ МИКРОФОННОЙ РЕШЕТКЕ

**Орлов В. В., к. т. н.; Лысенко В. Е.**

*Национальный университет «Одесская морская академия»,  
г. Одесса, Украина*

Совершенствование высокоэффективных микрофонных решеток (МР) обусловлено возрастающими требованиями к качественным характеристикам телеконференций, дистанционному прослушиванию речевой информации, технической диагностики механизмов, акустической артиллерийской разведки при устранении террористических угроз, навигационных систем приема внешних звуковых сигналов на водном транспорте и др.

В настоящее время применение высокоскоростных сигнальных процессоров позволяет реализовать малогабаритные многоканальные адаптивные системы пространственно-временной обработки с применением обработки сигналов в частотной области. При этом вопросы уменьшения искажений широкополосных сигналов, связанных с частотными деформациями диаграмм направленности МР, адаптацией к помехам в системах пространственно-временной обработки, исследованы недостаточно.

В работе предлагается метод коррекции частотных искажений широкополосных сигналов, возникающих в адаптивных МР. Обеспечение равномерной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) на выходе МР достигается выбором конфигурации датчиков и нормировки АЧХ при адаптации в частотной области. На рис. 1 представлена схема обработки широкополосных процессов  $X_1, \dots, X_N$ , поступающих от  $N$  датчиков, где в каждом частотном канале  $f_1, \dots, f_M$  проводится весовая обработка. В канале временной обработки осуществляется дальнейшая фильтрация пространственно некоррелированных помех. На вход  $i$ -ого датчика поступает процесс  $X_i = S_i + Z_i$ , содержащий аддитивную смесь сигналов и помех. После дискретного преобразования Фурье (ДПФ) проводится оценивание выборочной ковариационной матрицы помех  $\hat{R}(f) = \sum_{k=1}^K Z_k(f) Z_k^{*T}(f)$  в каждом из частотных каналов, затем линейная фильтрация с весовым вектором  $\hat{W}(f) = \hat{R}^{-1}(f) S(f)$ , коррекция АЧХ нормирователями  $H_1, \dots, H_M$  и переход во временную область с помощью обратного ДПФ. Для сигнала, принимаемого с направления  $\vartheta_0$  на  $i$ -ом датчике имеет место временная задержка  $t_i = d_i \sin \vartheta_0 / c$ , где  $d_i = \sum_{i=1}^{N-1} \Delta d_i$  — расстояние между первым и  $i$ -ым датчиками;  $\Delta d_i$  — расстояние между  $i$ -ым и  $i+1$ -ым датчиками;  $c$  — скорость распространения звуковой волны;  $S_{0i}(f) = \exp\{j2\pi f t_i\} = \exp\{j\omega d_i \sin \vartheta_0 / c\} = \exp\{j\omega T_i \varphi_0\}$  —  $i$ -ый элемент вектора размера  $N$  опорного сигнала, принимаемого с углового направления в диа-

пазоні  $\vartheta_0 = -90^\circ, \dots, 90^\circ$ ;  $\omega = 2\pi f$  — циклическа частота сигналу,  $T_i = d_i/c$  — максимальна часова затримка сигналу (достигається при  $\vartheta_0 = 90^\circ$ ) на  $i$ -ом датчику,  $\varphi_0 = \sin \vartheta_0$  — нормована кутова координата  $\varphi_0 = -1, \dots, 1$ .

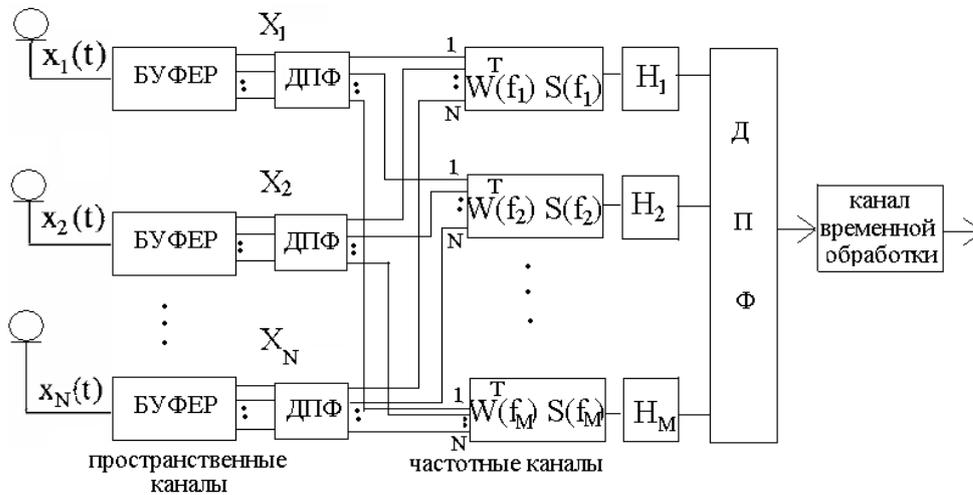


Рисунок 1. Схема весової обробки в частотній області

Для всенаправленого прийому сигналів з адаптивною компенсацією шумів застосовується критерій середньквадратичної помилки (СКО) або мінімізації потужності шумів з вихода  $i$ -ого датчика при лінійному обмеженні на ваговий вектор  $\min_{S_0^T W = 1} W^T R_{II} W$ . При виділенні сигналу на пер-

шому датчику ваговий вектор визначається першим стовпцем оберненої коваріаційної матриці  $W = R_{II}^{-1} S_0 / S_0^T R_{II}^{-1} S_0$ ,  $S_0^T = E_1 = [1, 0, \dots, 0]$ . Нормуючі множники  $H_1, \dots, H_M$  визначаються ваговими векторами в частотних каналах. Проведен аналіз діаграми направленості (ДН) еквадистантної МР, призначеної для виділення широкополосних сигналів в діапазоні частот з перекриттям  $f_{\max} / f_{\min} = 10$ , де відстань між сусідніми датчиками однакова  $\Delta d_i = \Delta d$  і узгоджено  $\Delta d = 2\pi / \lambda = 2\pi f_{\min} / c$  з метою однозначного охоплення напрямків  $\vartheta_0 = -90^\circ, \dots, 90^\circ$  на мінімальній частоті.

Розраховані ДН для МФ розміра  $N = 2$ , приведені на рис.2 для  $f_{\min} = 200$  Гц штриховою лінією і  $f_{\max} = 8000$  Гц сплошною лінією. З аналізу просторово-частотних ДН випливає, що при обробці широкополосних сигналів на високих частотах в деяких напрямках, відрізняючись від головного, має місце розмноження (неоднозначність) основного пика. Ложні нулі призводять до спотворень і придушення корисних сигналів в цих напрямках, а ложні піки виключають можливість придушення шумів. Пропонується метод обробки широкополосних сигналів в умовах широкополосних шумів, що дозволяє забезпечити рівномірність амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) для мікрофонної решітки з числом датчиків  $N = 3$  і більше. Усунення неоднозначності досягається застосуванням нееквадистантної решітки за рахунок вибору відповідних

расстояний между датчиками. Для неэквидистантной адаптивной МФ размера  $N=3$  рассчитаны АЧХ  $A(f)$  при адаптации в 32 частотных каналах, приведенные на рис.3 при угловом разнесе сигнала и точечной широкополосной помехи  $\varphi_n - \varphi_0 = 0,12$  штриховой линией и  $\varphi_n - \varphi_0 = 0,9$  сплошной линией.

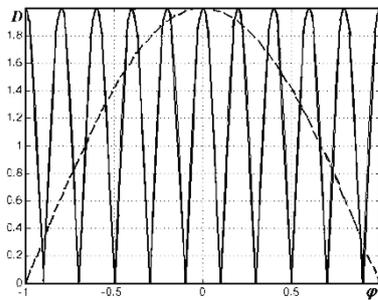


Рисунок 2.

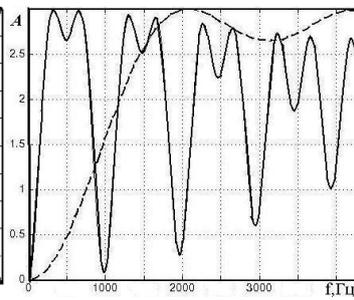


Рисунок 3.

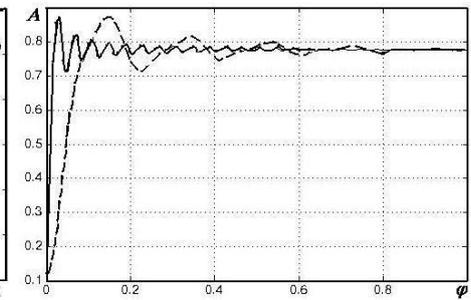


Рисунок 4.

Исследование МФ размера  $N=3, \dots, 10$  показало, что устранение неоднозначности ДН при малых  $N=3$  приводит к существенному возрастанию боковых пиков, уровень которых снижается с увеличением числа датчиков. При этом, с уменьшением углового разнеса сигнала и помехи уменьшается полоса пропускания и снижается неравномерность АЧХ.

Коррекция АЧХ с применением нормировки в частотных каналах (рис.4) обеспечивает уменьшение искажений АЧХ до 4% и подавление точечной широкополосной помехи до уровня шумов при незначительных потерях в отношении сигнал/шум около 3 дБ .

*Робота виконана при фінансовій підтримці госбюджетної НІР 110-Б, проводимої в Одеській морській академії по державному замовленню на науково-технічну продукцію.*

#### **Анотація**

Досліджено спотворення ширококугових сигналів, пов'язаних з частотними деформаціями діаграм спрямованості мікрофонної решітки, адаптацією до перешкод в системах просторово-часової обробки.

**Ключові слова:** адаптація, мікрофонна решітка, ширококуговий сигнал.

#### **Аннотация**

Исследованы искажения широкополосных сигналов, связанные с частотными деформациями диаграмм направленности микрофонной решетки, адаптацией к помехам в системах пространственно-временной обработки.

**Ключевые слова:** адаптация, микрофонная решетка, широкополосный сигнал.

#### **Abstract**

Investigated distortion of broadband signals associated with frequency deformations of directivity patterns of microphone array, adapting to disturbances in space-time processing systems.

**Keywords:** adaptation, microphone array, wideband signal.