

# УГЛОЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АДАПТИВНЫХ МНОГОЛУЧЕВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК СРЕДСТВ РАДИОМОНИТОРИНГА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Каурхан Ш.

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Методом математического моделирования исследованы углочастотные характеристики каналов и точность пеленгования полезных сигналов в адаптивных многолучевых антенных решетках (АМЛАР) с пространственной компенсацией помех и суммарно-разностной обработкой. Показано, что требуемое число формируемых пространственных каналов для АМЛАР в два-три раза больше, чем в МЛАР без адаптивной обработки. Получены оценки вероятности пропуска сигналов и точности пеленгования при функционировании АМЛАР в составе средства радиомониторинга в условиях сложной радиоэлектронной обстановки.

В современных условиях перед средствами радиомониторинга (РМ) ставится задача обнаружения и определения параметров импульсных, квазинепрерывных и непрерывных сигналов источников радиозлучения (ИРИ) с шириной спектра от единиц кГц до сотен МГц при динамическом диапазоне 50...60 дБ и плотности потока сигналов до  $10^6$  импульсов в секунду [1]. Используемый ранее [1] вариант построения средств радиомониторинга, включающий МЛАР, многоканальное по частоте приемное устройство и набор подключаемых при обнаружении сигнала на выходе канала приемника измерителей, не обеспечивает требуемое качество функционирования. Направлением совершенствования средств РМ на базе МЛАР является повышение ее пространственной избирательности за счет реализации методов адаптивной пространственной компенсации помех. Алгоритмы функционирования и характеристики адаптивных МЛАР исследованы недостаточно. С позиций применения АМЛАР в средствах РМ наименее исследованным являются углочастотные характеристики АМЛАР, что и определяет актуальность настоящей работы.

Цель работы – исследование углочастотных характеристик адаптивных МЛАР с пространственной компенсацией помех и суммарно-разностной обработкой.

Структурная схема исследуемой адаптивной МЛАР приведена на рис.1. МЛАР является цифровой, малоэлементной (число элементов  $N=8...32$ ) с амплитудной суммарно-разностной пеленгацией в одной плоскости.

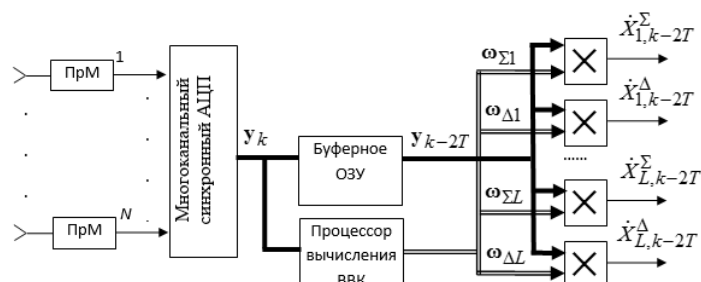


Рис. 1 – Структурная схема адаптивной МЛАР с суммарно-разностной обработкой

В АМЛАР в качестве базового используется известный [2] алгоритм функционирования, предусматривающий формирование выборочной корреляционной матрицы процессов на выходах приемных каналов, вычисление векторов весовых коэффициентов (ВВК) лучей (каналов) МЛАР с учетом накладываемых на адаптированную ДН луча ограничений, и весовую обработку сигналов приемных каналов. В отличие от [2] в настоящей работе обосновывается и исследуется одноэтапный алгоритм пеленгации с коррекцией, когда после обнаружения сигнала в  $\ell$ -ом луче, оценивания центральной частоты  $\hat{f}_\ell$  его спектра и пеленгации оценки пеленга  $\hat{\alpha}_\ell^{(0)}$  корректируются как

$$\hat{\alpha}_\ell = \hat{\alpha}_\ell^{(0)} - \Delta\alpha_f(\hat{f}_\ell - f_0), \quad (1)$$

где  $\Delta\alpha_f(\hat{f}_\ell - f_0)$  - зависимость корректирующего слагаемого от разности оценки частоты ИРИ и опорной частоты.

На основе анализа результатов математического моделирования установлены следующие закономерности угловых и углочастотных характеристик АМЛАР:

смещение  $\Delta\alpha_f$  лучей и результатов пеленгации АМЛАР при отклонении частоты ИРИ от опорной определяется выражением

$$\Delta\alpha_f = \gamma_f \operatorname{tg} \alpha \left( 1 - \gamma_f \left( 1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \alpha \right) \right) \quad (2)$$

где  $\gamma_f = f_{\text{ири}} / f_0 - 1$  - нормированное отклонения частоты  $f_{\text{ири}}$  ИРИ от опорной;  $\alpha$  - угловое положение луча; для практически важных случаев имеет место практически линейная зависимость ошибки оценивания угловых координат ИРИ от отклонения его частоты от опорной, обусловленная пространственным разномом и соответствующим фазовыми диаграммами направленности приемных элементов АМЛАР;

эффективная ширина луча АМЛАР в два-три раза меньше, чем ширина луча МЛАР с той же геометрией; в АМЛАР для перекрытия заданного углового сектора требуется, как минимум, удвоение числа формируемых лучей в сравнении с МЛАР без адаптивной обработки;

широкополосность АМЛАР фактически ограничивается величиной отклонения частоты, при которой происходят существенные изменения амплитудной диаграммы направленности приемных элементов АМЛАР.

Таким образом, для обеспечения точной пеленгации полезных сигналов в АМЛАР целесообразно использовать комбинированный алгоритм обработки, при котором окончательные оценки угловых координат ИРИ формируются после оценки частоты ИРИ для каждого из лучей с учетом выявленных функциональных зависимостей. Установленные закономерности являются достаточными для обоснования рациональных вариантов применения и характеристик АМЛАР в составе средства РМ.

Исследование эффективности применения АМЛАР с предлагаемым алгоритмом функционирования в составе средств РМ в условиях сложной радиоэлектронной обстановки проводилось методом имитационного моделирования. Рассматривался случай работы АМЛАР в условиях насыщенной РЭО при наличии на цикле адаптации сигналов от двух до пяти ИРИ. Мощности ИРИ были распределены по логарифмически нормальному закону с математическим ожиданием 40 дБ и среднеквадратическим отклонением 10 дБ, угловые положения ИРИ имели равномерное распределение в секторе  $\pm 60^\circ$ . При моделировании для каждой реализации осуществлялся розыгрыш параметров РЭО и воспроизведение алгоритма адаптации МЛАР. Если в процессе адаптации по ИРИ в каком-либо из лучей АМЛАР достигнуто отношение сигнал/мешающие источники+шум не менее 10 дБ, то считалось, что ИРИ обнаружен и определялись оценки его частоты и азимута. В противном случае фиксировался пропуск сигнала ИРИ. Результаты оценки вероятности пропуска сигнала источника радиоизлучения и среднеквадратических ошибок определения азимута ИРИ приведены на рис. 3.

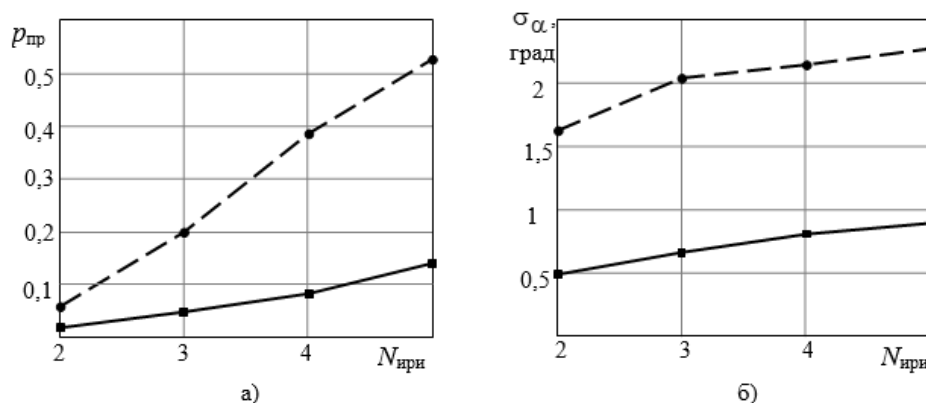


Рис.3 -Зависимости вероятности пропуска сигналов ИРИ (а) и среднеквадратической ошибки определения азимута ИРИ (б) от числа ИРИ на интервале наблюдения для неадаптивной (пунктирные кривые) и адаптивной (сплошные кривые) МЛАР

Как следует из результатов моделирования, адаптивная МЛАР обеспечивает существенное, примерно в четыре раза, уменьшение вероятности пропуска сигнала ИРИ. Так, для наиболее вероятной ситуации наличия на интервале наблюдения трех сигналов ИРИ вероятность пропуска уменьшается с уровня 0,2 для неадаптивной МЛАР до уровня 0,05 для АМЛАР. Кроме того, для адаптивной МЛАР будет наблюдаться существенное, в 3...3,5 раза уменьшение среднеквадратической ошибки пеленгования с уровня 1,5°...2,5° до уровня 0,5°...0,8°.

Полученные результаты могут быть использованы для обоснования облика средств РМ с адаптивными МЛАР, функционирующими в условиях сложной радиоэлектронной обстановки.

Список использованных источников:

1. Куприянов А.И., Сахаров А.В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: учеб. пособие. – М.: Вузовская книга. 2007. 356 с.
2. Козлов С. В., Гриб В.Н. Технические и алгоритмические решения по созданию адаптивных приемных многолучевых антенных решеток средств радиомониторинга // Радиотехника, 2015, № 12. – С. 80–88.