

## АДАПТИВНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НАВИГАЦИОННОГО ДИАПАЗОНА L1

**С.П. Алиева, ст. преподаватель кафедры энергетике и электроники**

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
Новополоцк, Беларусь*

*В статье рассмотрена проблема борьбы с преднамеренными помехами путем формирования адаптивной диаграммы направленности с помощью активной антенной решетки.*

**Ключевые слова:** *диаграмма направленности, полезный сигнал, помехи, угловые координаты, антенная решетка.*

В современных уровнях развитие беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и улучшения их характеристик выдвигает требования обеспечения безопасности важных государственных и народнохозяйственных объектов. Одним из способов является формирование зон безопасности путем формирования ложного навигационного поля, которое нейтрализует навигационную систему БЛА и предотвращает достижения заданной цели. Для обеспечения нормального функционирования навигационного оборудования необходимо иметь сложную навигационную антенную систему (решетку), которая позволило бы определить направление прихода помехи и селективно его задавить.

Исходными данными для моделирования:

- единичный излучатель с заданной диаграммой направленности;
- решетка: квадратная решетка  $2 \times 2$  элемента;
- расстояние между излучателями 48 мм;
- центральная частота несущей 1575.42 МГц (диапазон L1 GPS);
- полоса сигнала 2 МГц.

Был произведен предварительный анализ методов формирования диаграммы направленности антенной решетки для выбора наиболее эффективного способа и было решено использовать алгоритм адаптивного формирования диаграммы направленности, в частности MVDR адаптивный алгоритм. (Minimum variance distortionless response) из-за высокой эффективности подавления помехи.

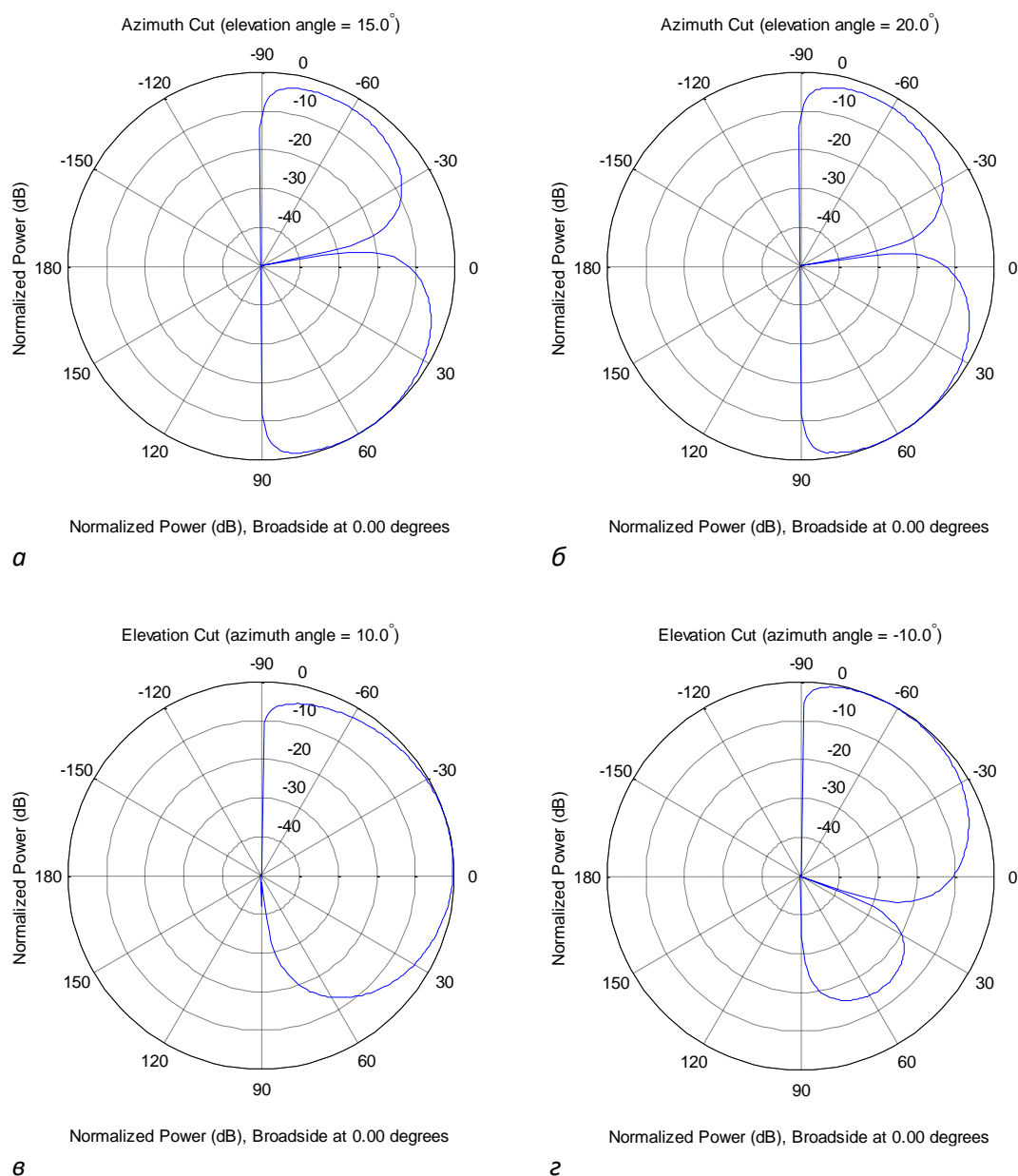
Моделирование выполним для случая с двумя сигналами, приходящими с разных направлений: полезный сигнал и помеха (интерференция). В диаграмме направленности антенной решетки по направлению полезного сигнала нужно сформировать максимум, а в направлении помехи – минимум (ноль) [1].

Угловые координаты полезного сигнала и помехи для 2 случаев приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Угловые координаты полезного сигнала и помехи

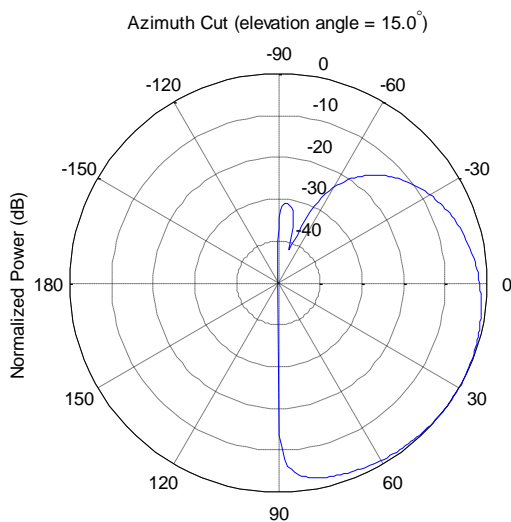
Случай	Полезный сигнал		Помеха	
	азимут, °	угол места, °	азимут, °	угол места, °
			-10	
			-50	

Результаты анализа выведены в полярной системе координат при заданных углах прихода сигнала и помехи на несущей частоте 1575.42 МГц (L1 GPS). На рисунках 1 и 2 для каждого случая изображены: *а*– сечения в угловых координатах полезного сигнала по азимуту, *б*– сечения в угловых координатах помехи по азимуту, *в*– сечения в угловых координатах полезного сигнала по углу места, *г*– сечения в угловых координатах помехи по углу места.



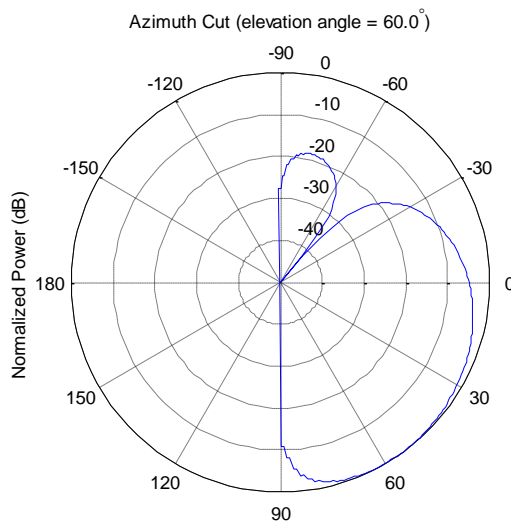
***а* – полезный сигнал по азимуту; *б* – помехи по азимуту;  
*в* – полезный сигнал по углу места; *г* – помехи по углу места**

**Рисунок 1. – Случай 1. Угловые координаты полезного сигнала 10°/15° и помеха: -10°/20°**



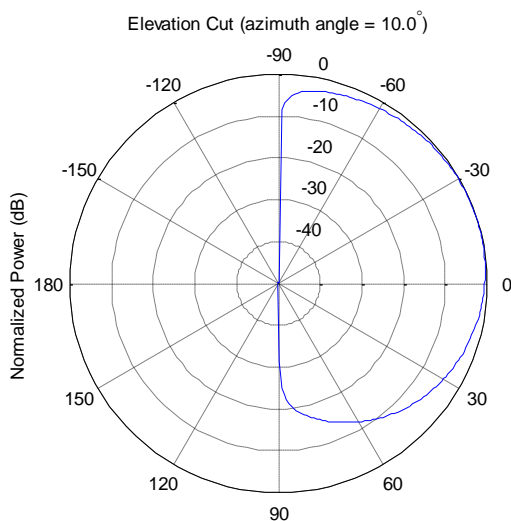
Normalized Power (dB), Broadside at 0.00 degrees

*a*



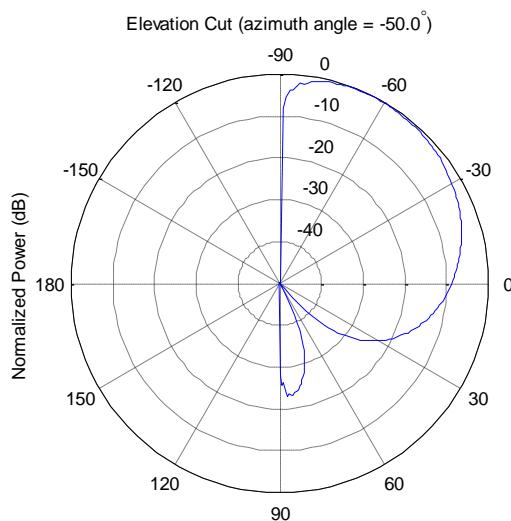
Normalized Power (dB), Broadside at 0.00 degrees

*б*



Normalized Power (dB), Broadside at 0.00 degrees

*в*



Normalized Power (dB), Broadside at 0.00 degrees

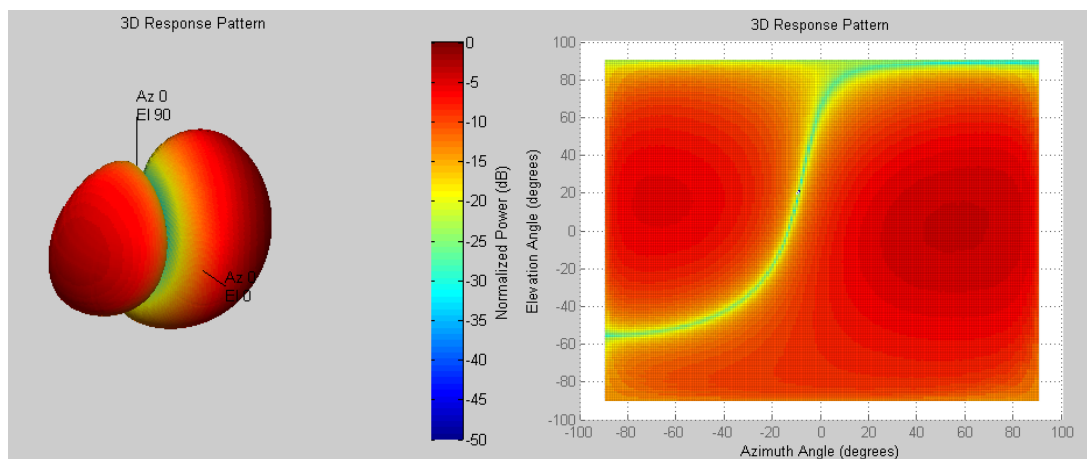
*г*

***a* – полезный сигнал по азимуту; *б* – помехи по азимуту;  
*в* – полезный сигнал по углу места; *г* – помехи по углу места**

**Рисунок 2. – Случай 2. Угловые координаты полезного сигнала  $10^\circ/15^\circ$ , и помеха:  $-50^\circ/60^\circ$**

Трёхмерные диаграммы направленности в полярных и линейных координатах представлены на рисунках 3 и 4 для каждого случая: *a*– угловые координаты полезного сигнала:  $10^\circ/15^\circ$  в полярной системе координат, *б*– угловые координаты помехи:  $-10^\circ/20^\circ$  в линейной системе координат.

Данные моделирование показывают эффективное подавление со стороны прихода помехи, при этом область свободной от помехи подавление сигнала отсутствует. Применение решетки из 4 элементов позволяет подавить помехи не менее 40–50 дБ, что может и обеспечивает нормальную работы навигационной аппаратуры в условиях преднамеренных помех [2].

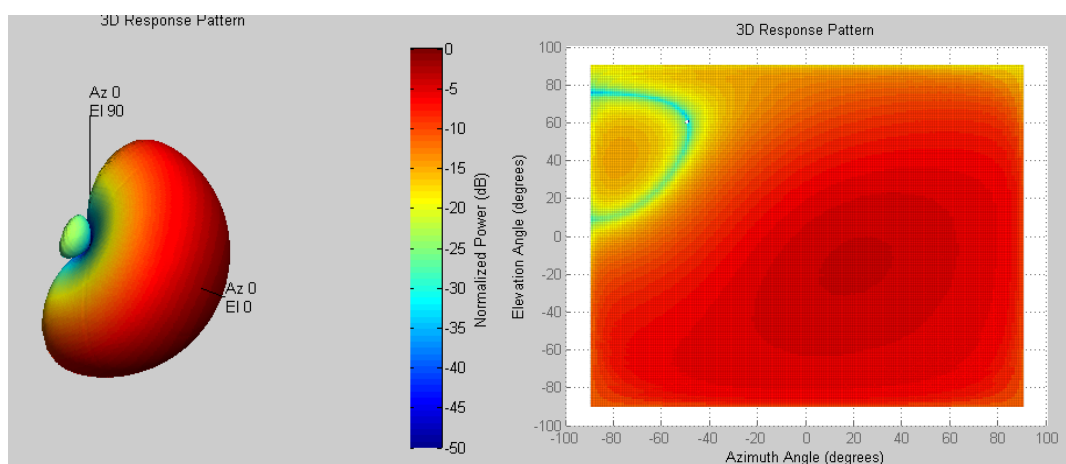


a

б

**a – полезный сигнал: 10°/15°; б – помеха: –10°/20°**

**Рисунок 3. – Случай 1. Угловые координаты**



a

б

**a – полезный сигнал: 10°/15°; б – помеха: –10°/20°**

**Рисунок 4. – Случай 2. Угловые координаты**

**Выводы.** Результаты проведенного анализа показывают, что адаптивный метод позволяет управлять нулями диаграммы направленности проектируемой антенной решетки. Это позволяет делать вывод, что данная антенная решетка может использоваться для приема навигационных сигналов систем GPS/Глонасс диапазонах L1, L2 сложной обстановки при наличие преднамеренных помех и может применяться в адаптивных цифровых антенных решетках. Алгоритм позволяет подавление помех трех различных направлений, что повышает вероятность безотказной работы навигационной аппаратуры.

Обработка принятых сигналов в адаптивных цифровых антенных решетках делится на два этапа: входение в связь и прием данных. В каждом из указанных режимов должны применяться свои алгоритмы обработки. В режиме входения в связь вначале анализируется окружающая обстановка. Антенна получает данные, обрабатывает их и выдает решение об источниках помех и желаемых сигналов, которых может

быть несколько. В режиме приема данных система вычисляет весовые коэффициенты, которые формируют желаемую диаграмму направленности с максимумами лучей в направлении требуемых источников и минимумами в направлении помех.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Phased Array System Toolbox™ User's Guide © COPYRIGHT 2011–2014 by The MathWorks, Inc.
2. Григорьев, Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках / Л.Н. Григорьев. – М.: Радиотехника, 2014. – 144 с.