

Влияние случайных ошибок возбуждения излучателей на суммарно-разностную диаграмму направленности цилиндрической антенной решетки

Представлены результаты численных исследований влияния случайных ошибок возбуждения излучателей по амплитуде и фазе на диаграмму направленности по суммарному и разностному каналам цилиндрической антенной решетки.

Ключевые слова: Цилиндрическая решетка, случайные ошибки возбуждения излучателей, суммарная и разностная диаграмма направленности, точность установки луча, глубина нуля, численное моделирование.

Цилиндрические антенные решетки применяются в обзорных радиолокаторах путем использования конформного и частично фазового сканирования в горизонтальной плоскости. Примером такого радиолокатора является радиолокатор X-диапазона «Роса_РБ» [1]. В литературе случайные ошибки возбуждения излучателей в цилиндрической антенной решетке рассмотрены частично и только при формировании однолепестковой диаграммы направленности (ДН) [2]. В настоящей статье исследуется влияние случайных ошибок возбуждения излучателей по амплитуде и фазе в цилиндрической решетке при формировании суммарной и разностной ДН. Цилиндрическая решетка показана на рис. 1-а. На рис. 1-б показан фрагмент решетки, в котором в режиме передачи возбуждены излучатели с заданным законом распределения амплитуды и фазы, обеспечивающим фокусировку решетки в заданном направлении и формирование ДН с заданными параметрами. Точки на рисунках обозначают места расположения излучателей. Один столбец и одна строка (кольцо) излучателей выделены для наглядности.

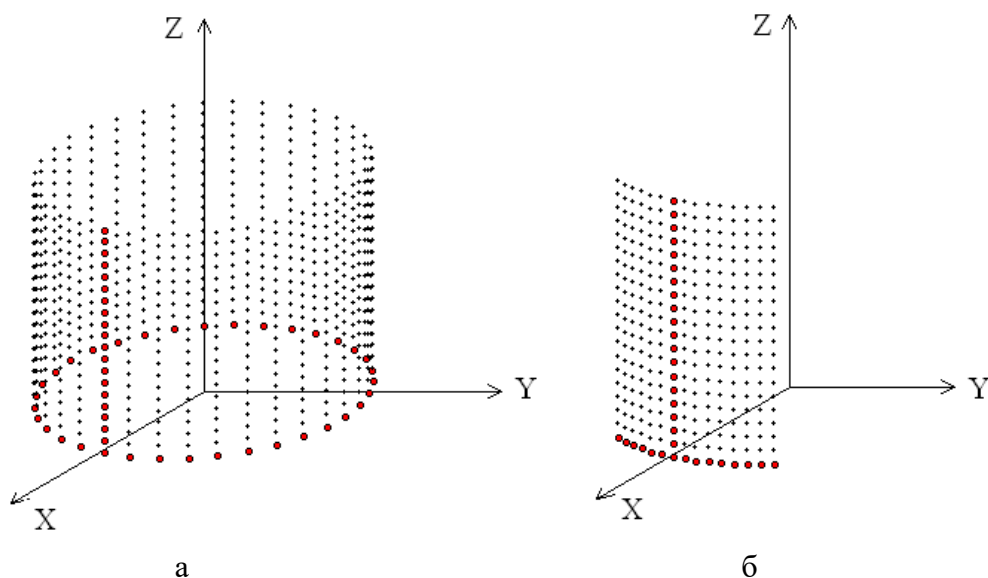


Рис.1. Цилиндрическая решетка (а) и фрагмент ее (б)

В режиме приема сигналы снимаются и обрабатываются только активной зоны. При конформном сканировании активная зона перемещается по поверхности решетки в плоскости XU .

Далее используются следующие обозначения:

- Nn – число колец в решетке;
- Nm – число столбцов в активной зоне;
- R – радиус решетки;
- Sk – шаг расположения излучателей в кольцах;
- Sc – шаг расположения излучателей в столбцах;
- Amn – амплитуда возбуждения излучателя, стоящего на пересечении строки с номером n и столбца с номером m ; в качестве закона амплитудного распределения возбуждения излучателей используется комбинированное амплитудное распределение, спадающее от центра фрагмента к его краям по закону косинуса в степени Pa от 1 – в центре фрагмента до уровня Da – в крайних излучателях;
- DA – случайная ошибка возбуждения излучателей по амплитуде, принимающая случайное значение в интервале $0 < DA < DAm$ для каждого излучателя, где DAm – максимальная случайная ошибка, задаваемая в % от детерминированного значения Amn ;
- детерминированное фазовое распределение возбуждения излучателей задается таким, при котором главный лепесток ДН фрагмента ориентирован вдоль оси X на рис. 1. К детерминированному фазовому распределению добавляется случайная ошибка DF , принимающая в каждом излучателе значение в интервале $0 < DF < DFm$, где DFm – максимальная ошибка, задаваемая в градусах;
- Qm – угловая ошибка в установке максимума ДН по суммарному каналу (нуля по разностному каналу), обусловленная случайными ошибками возбуждения излучателей;
- $FRmin$ – глубина нуля ДН по разностному каналу.

Влияние случайных ошибок возбуждения излучателей по амплитуде (DAm) и фазе (DFm) далее иллюстрируется на фрагменте решетки с параметрами $Nn=30$, $Nm=30$, $R=10\lambda$, $Sk=Sc=0,7\lambda$. На рис. 2 показаны ДН в плоскости XU по суммарному и разностному каналу фрагмента при равномерном амплитудно-фазовом распределении возбуждения излучателей ($Da=1$) без случайных ошибок.

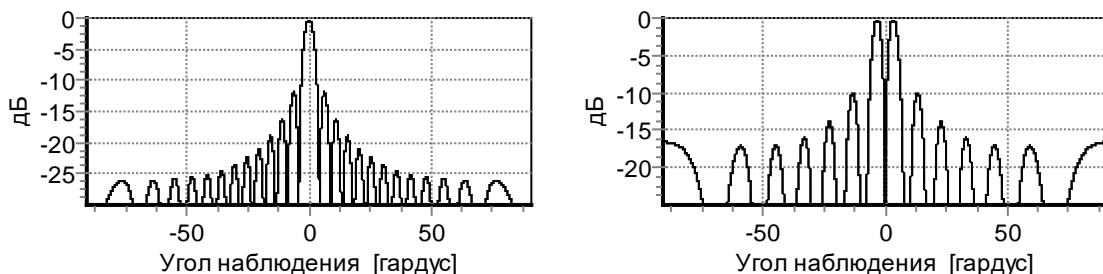


Рис.2. ДН в плоскости XU по суммарному и разностному каналу фрагмента

Анализ показывает, что случайная ошибка по амплитуде не влияет на положение максимума главного лепестка суммарной ДН и положение нуля разностной ДН. Глубина нуля разностной ДН зависит от ошибки DAm . На рис. 3 слева показано нормированное к максимуму амплитудное распределение (A/A_{max}), соответствующее одной из случайных реализаций, и справа зависимость глубины нуля ($FRmin$) от номера k случайной реализации при двух значениях DAm .

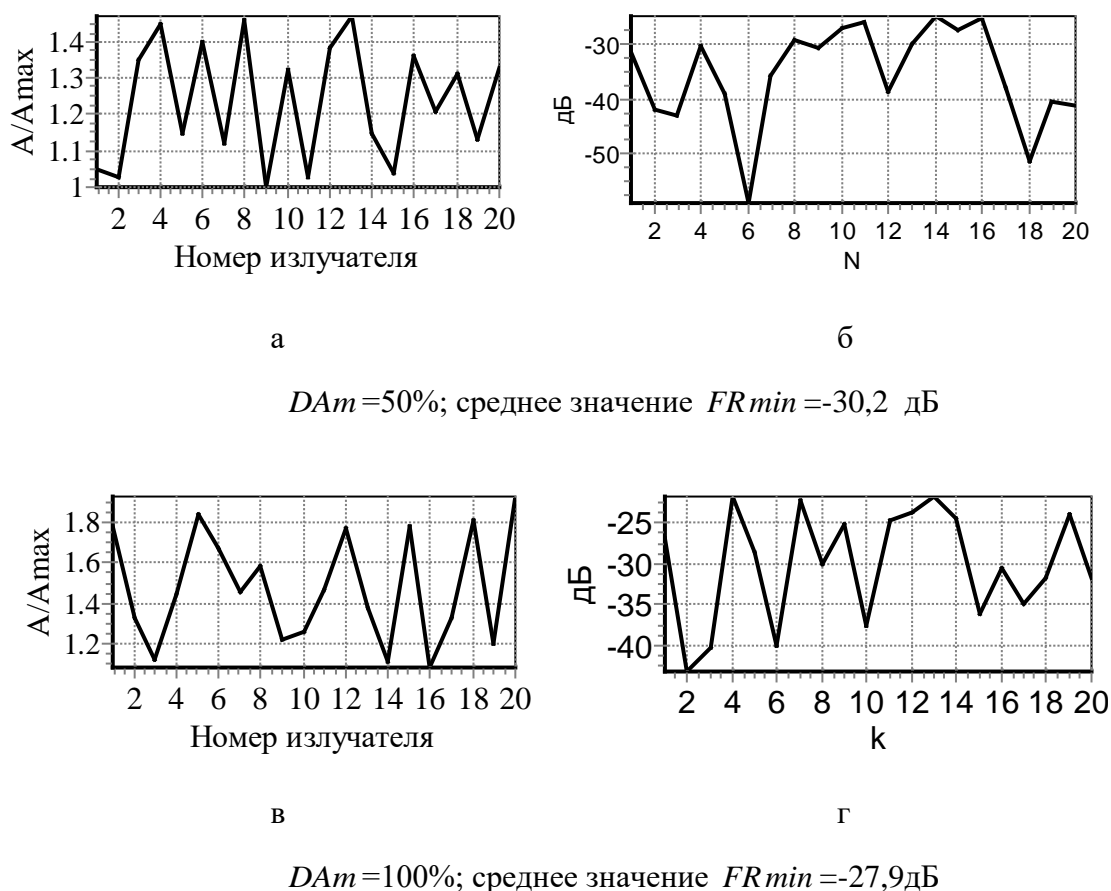
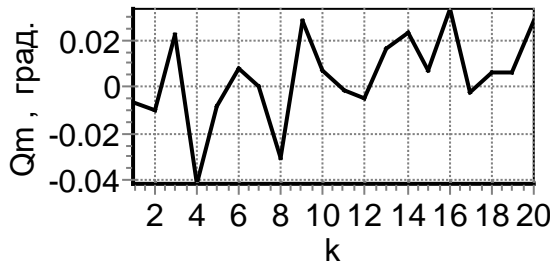


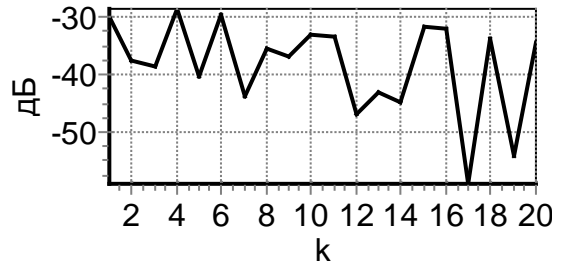
Рис.3. Нормированное к максимуму амплитудное распределение (A/A_{max}), соответствующее одной из случайных реализаций (а, в), и зависимость глубины нуля ($FRmin$) от номера k случайной реализации (б, г) при двух значениях DAm

Случайная ошибка по фазе влияет и на точность установки луча, и на глубину нуля разностной ДН. Влияние случайной ошибки по фазе иллюстрируют графики на рис.4.

Совместное влияние случайных ошибок по амплитуде и фазе иллюстрируют графики на рис.5. На рисунке показаны случайные реализации амплитудного распределения (а) при максимальной амплитудной ошибке $DAm = 20\%$, случайная реализация фазового распределения (б) при максимальной ошибке $DFm = 20^\circ$ (б), зависимости ошибки установки луча (Qm) и глубины нуля ($FRmin$) от номера реализации при этих ошибках.

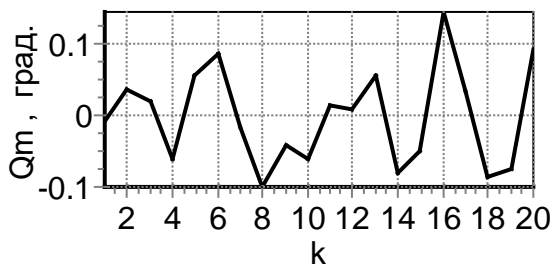


а

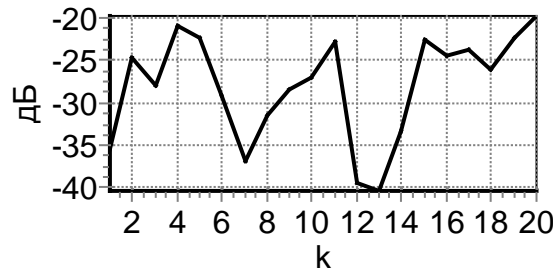


б

$DFm = 10^\circ$; среднее значение $FRmin = -39,2$ дБ

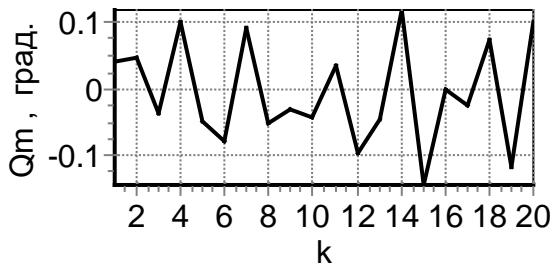


в

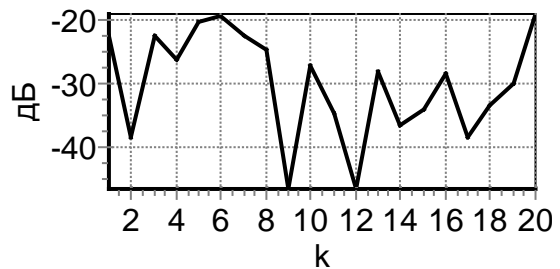


г

$DFm = 20^\circ$; среднее значение $FRmin = -31,9$ дБ



е

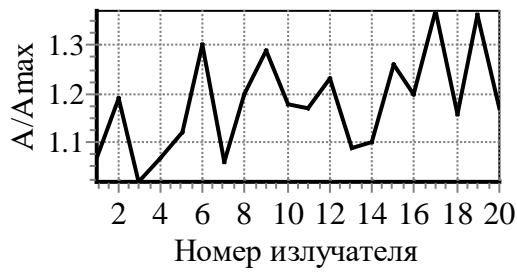


ж

$DFm = 30^\circ$; среднее значение $FRmin = -29,7$ дБ

Рис.4. Ошибка установки луча, соответствующая одной из случайных реализаций ДН (а, в, е), и зависимость глубины нуля ($FRmin$) от номера k случайной реализации (б, г, ж) при трех значениях DFm

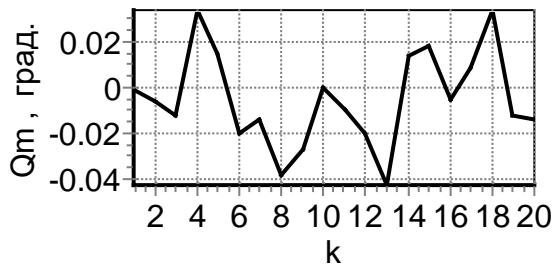
Средняя ДН во всех предыдущих случаях рассчитывалась путем усреднения 100 случайных реализаций. Параметры средней ДН по суммарному и разностному каналам при $DAm = 20\%$ и $DFm = 20^\circ$ равны: $Qm = -0.017^\circ$, $FRmin = 35,7$ дБ.



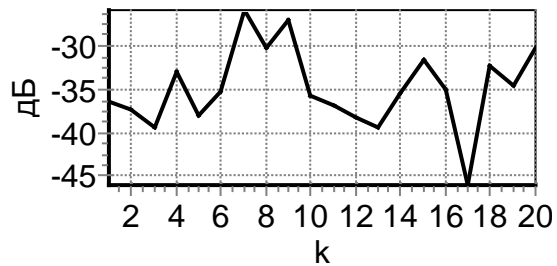
а



б



в



г

Рис.5. Случайные реализации амплитудного распределения (а) при максимальной амплитудной ошибке $DAm=20\%$, случайная реализация фазового распределения (б) при максимальной ошибке $DFm=20^\circ$, зависимость ошибки установки луча (в) и глубины нуля разностной ДН (г) от номера (k) случайной реализации ДН реализации

Полученные результаты позволяют предъявить требования к максимальным случайным ошибкам по амплитуде и фазе для обеспечения требуемой точности установки луча и глубины нуля разностной ДН в цилиндрической антенной решетке

Библиографический список

1. «КБ Радар». Радиолокатор «Роса-РБ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kbradar.by/products/radiolokatsiya/radiolokatsionnye-stantsii/85>, свободный (дата обращения: 27.04.2018).
2. Москалёв Д.В. Параметры кольцевой и многоугольной антенных решеток при конформном и фазовом сканированиях / Доклады БГУИР, №2(56). –2011. –С. 16 - 21.