

Фазовое сканирование в цилиндрической антенной решетке

Приведены результаты численного моделирования антенной решетки с прямоугольным контуром раскрыва, расположенной на части поверхности цилиндра. Строки решетки расположены в плоскостях, перпендикулярных оси цилиндра, столбцы – по образующим цилиндра. Исследуются закономерности фазового сканирования в плоскости строк. Показано, что при сканировании за счет линейного фазового распределения в строках решетки диаграмма направленности становится асимметричной с существенным ростом боковых лепестков. Для устранения этого нежелательного эффекта необходимо помимо линейного фазового распределения в строках устанавливать кубическое фазовое распределение. Сравниваются при сканировании параметры цилиндрической и плоской решеток при одинаковых значениях числа излучателей и расстояниях между соседними излучателями.

Ключевые слова: антенная решетка, цилиндрическая поверхность раскрыва, фазовое сканирование.

Антенные решетки, расположенные на выпуклых поверхностях рассмотрены в ряде работ, например [1-4]. В известных работах цилиндрические решетки рассматриваются как антенны с конформным сканированием. Однако, в некоторых практических случаях решетка помещается на боковую поверхность цилиндрического объекта не для реализации конформного сканирования, а из конструктивных соображений. В этих случаях вся решетка задействована для формирования луча, и сканирование производится путем изменения параметров линейного фазового распределения возбуждения излучателей решетки. Закономерности фазового сканирования, насколько известно, в литературе не рассмотрены. Исследованию этих закономерностей посвящен настоящий доклад.

Исследуется цилиндрическая антенная решетка, схематически показанная на рис.1. Точками обозначены места расположения излучателей.

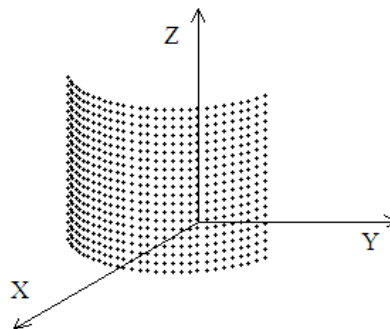


Рисунок 1.

Далее используются обозначения: R – радиус цилиндра решетки; D_s , D_z – расстояния между соседними излучателями в строках (кольцах) и в столбцах (вдоль оси Z); N_s , N_z – число излучателей в строках и в столбцах; A_{ns} , Ψ_{ns} – амплитудное и фазовое распределение возбуждения излучателей в строке с номером « n »; A_{mz} , Ψ_{mz} – амплитудное и фазовое распределение возбуждения излучателей в столбце с номером « m ». Амплитуда и фаза возбуждения излучателя, расположенного на пересечении строки с номером и столбца с номером « n » столбца с номером « m » определяются выражениями $A_{nm} = A_{ns} \cdot A_{mz}$,

$\Psi_{nm} = \Psi_{ns} \cdot \Psi_{mz}$. Амплитудное распределение в строках и в столбцах описывается косинусом в степени соответственно P_s, P_z и спадает от единицы в центре решетки до значений Δ_s, Δ_z соответственно на концах строки и столбца. Для сканирования на плоском эквивалентном раскрыве устанавливается линейное фазовое распределение, определяемое выражениями: $\Psi_{ns} = -\frac{2\pi}{\lambda}(n-1)D_s \cdot \sin \theta_{ms}$, $\Psi_{mz} = -\frac{2\pi}{\lambda}(m-1)D_z \cdot \sin \theta_{mz}$, где θ_{ms}, θ_{mz} – углы сканирования в плоскости строк и столбцов, отсчитываемые от нормали к поверхности цилиндра в центре решетки.

В качестве элементарного излучателя решетки использован гипотетический излучатель с задаваемой шириной главного лепестка диаграммы направленности (ДН) – $2\theta_{0,5}^1$ и задаваемым уровнем максимального бокового лепестка (УБЛ) – F_{bm}^1 . В частности, весь численный анализ сделан для случая $2\theta_{0,5}^1 = 90^\circ$ при отсутствии боковых лепестков в переднем полупространстве. Максимумы ДН элементарных излучателей ориентированы вдоль нормали к поверхности цилиндра в точках расположения излучателей. Поэтому амплитудное распределение возбуждения излучателей на эквивалентном плоском раскрыве получается спадающим к концам строк даже при равномерном возбуждении излучателей в строках ($\Delta_s = 1$). Чем меньше радиус цилиндра решетки, чем больше угловой размер решетки в плоскости XY и чем уже главный лепесток ДН одного излучателей в этой плоскости, тем до меньшего уровня спадает амплитудное распределение возбуждения излучателя в строке на эквивалентном плоском раскрыве ($Asne$). На рис.2 показана зависимость $Asne$ от номера излучателя в строке при двух значениях ширины главного лепестка ДН элементарного излучателя: при $2\theta_{0,5}^1 = 90^\circ$ (а) и $2\theta_{0,5}^1 = 50^\circ$ (б). Расчеты сделаны для решетки с параметрами $R = 10\lambda$, $D_s = D_z = 0,6\lambda$; $N_s = 30$, $N_z = 20$. Все последующие закономерности иллюстрируются так же, в основном, на такой решетке.

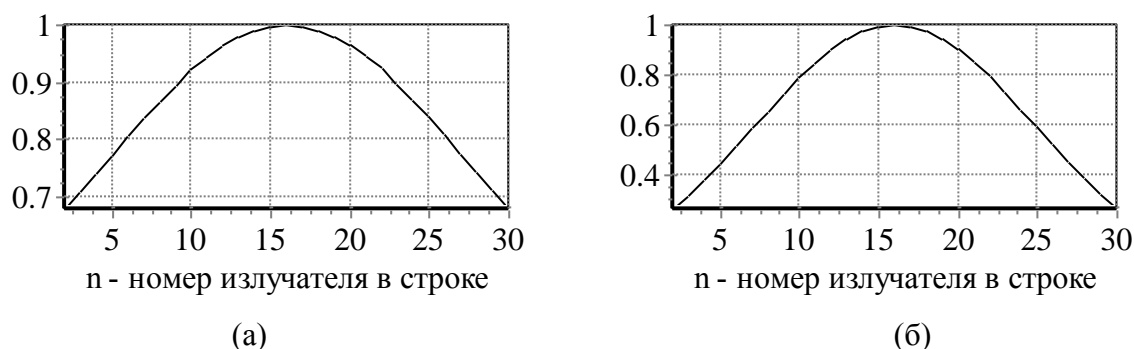


Рисунок 2.

Для иллюстрации изменения параметров ДН в плоскости колец при сканировании в этой плоскости на рис.3 показана эта ДН для двух углов сканирования $\theta_{ms} = 0$ и $\theta_{ms} = -30^\circ$.

Такое искажение ДН появляется при появлении на раскрыве кубического фазового распределения. Для устранения такого искажения ДН необходимо ввести дополнительное кубическое фазовое распределение на раскрыве, компенсирующее искажение ДН. На рис.4

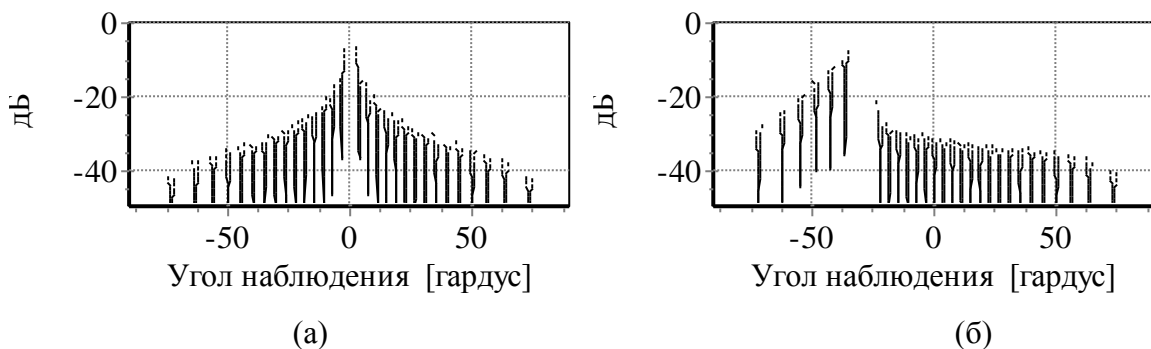


Рисунок 3.

показана серия ДН при разных углах сканирования θ_{ms} (а) и дополнительное фазовое распределение на раскрытие, которое компенсирует искажение ДН при сканировании (б) Расстояние $Ds = 0,53\lambda$, что обеспечивает выполнение условия единственности главного лепестка ДН в секторе сканирования $\pm 45^\circ$.

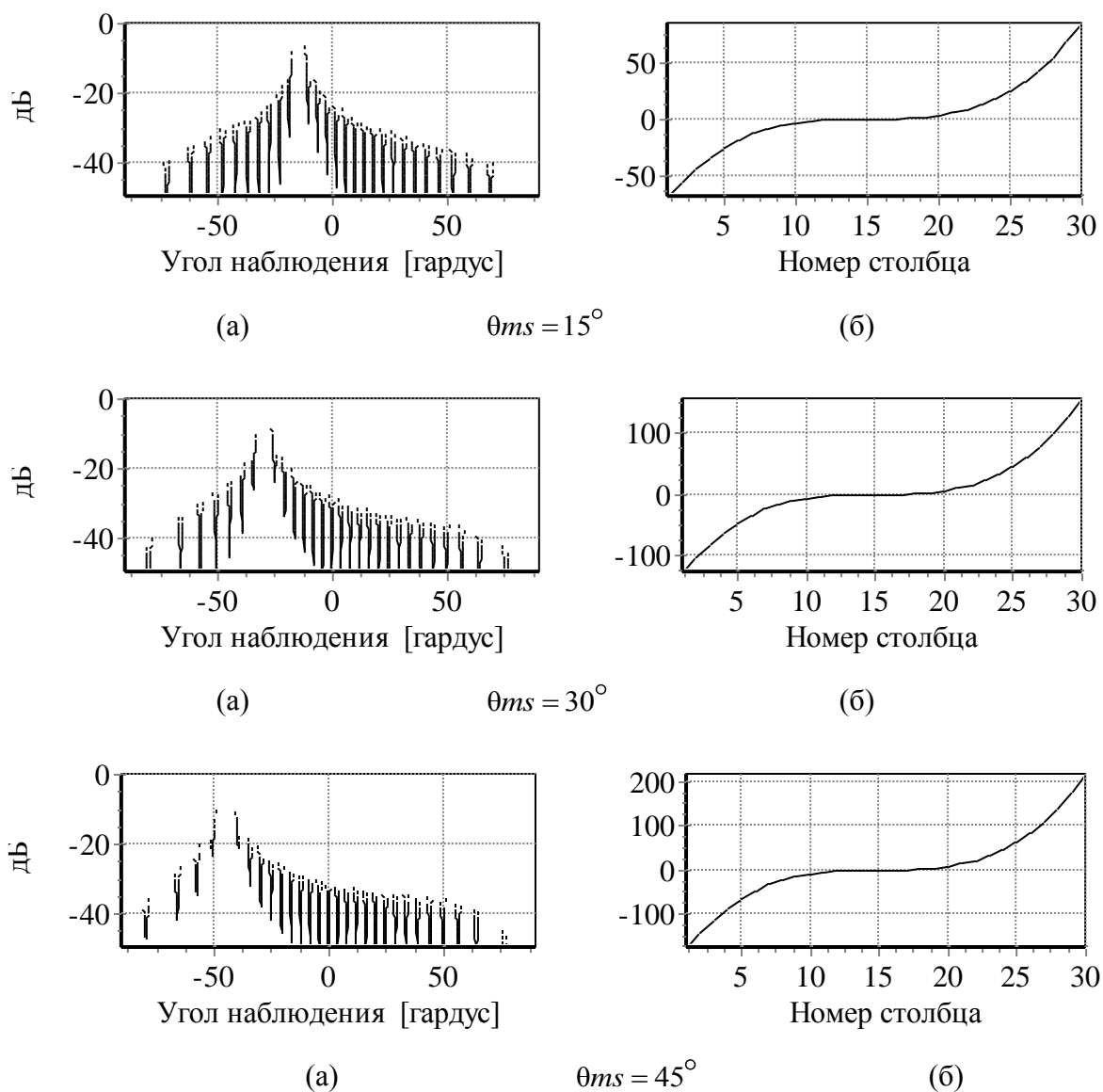


Рисунок 4.

Причем максимальное значение фазы на концах строк при дополнительном кубическом распределении (Ψ_{3max}) значительно больше максимального значения фазы при линейном фазовом распределении (Ψ_{1max}), обеспечивающим сканирование. Для иллюстрации этого на рис.5 показаны линейное (а) и суммарное (б) фазовые распределения, устанавливаемые при сканировании на угол $\theta_{ms} = 45^\circ$. Этот рисунок надо сравнить с рис.4 при $\theta_{ms} = 45^\circ$. Анализ показывает, что Ψ_{3max} зависит от угла сканирования, углового размера решетки в плоскости колец (β_s), радиуса цилиндра решетки R . На рис.6 показана зависимость Ψ_{3max} (а) и ширины главного лепестка ДН (б) решетки в плоскости строк от угла сканирования для двух значений радиуса решетки $R=10\lambda$ и $R=100\lambda$ для решетки с ранее указанными параметрами $D_s = D_z = 0,53\lambda$; $N_s = 30$, $N_z = 20$. Амплитудное распределение возбуждения излучателей в кольцах – равномерное. На рис.8 показаны зависимости УБЛ (а) и КНД (б) от угла сканирования. На всех графиках цифрой 1 обозначен случай $R=10\lambda$, цифрой 2 – случай $R=100\lambda$. При $R=100\lambda$ решетка становится практически плоской.

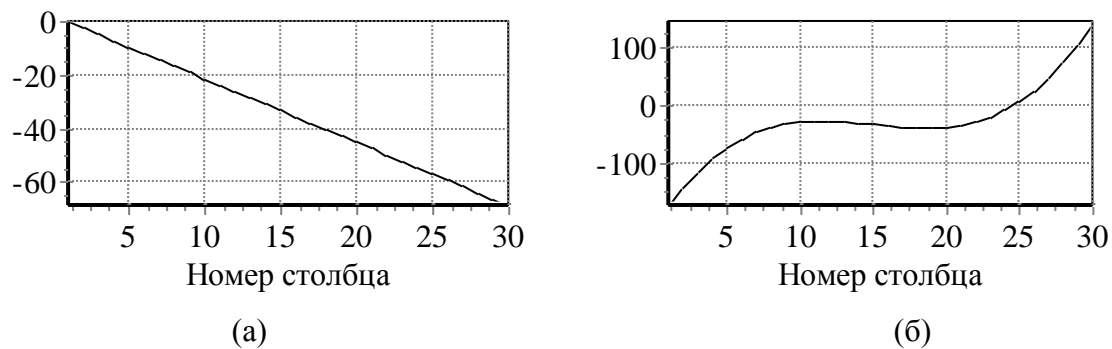


Рисунок 5.

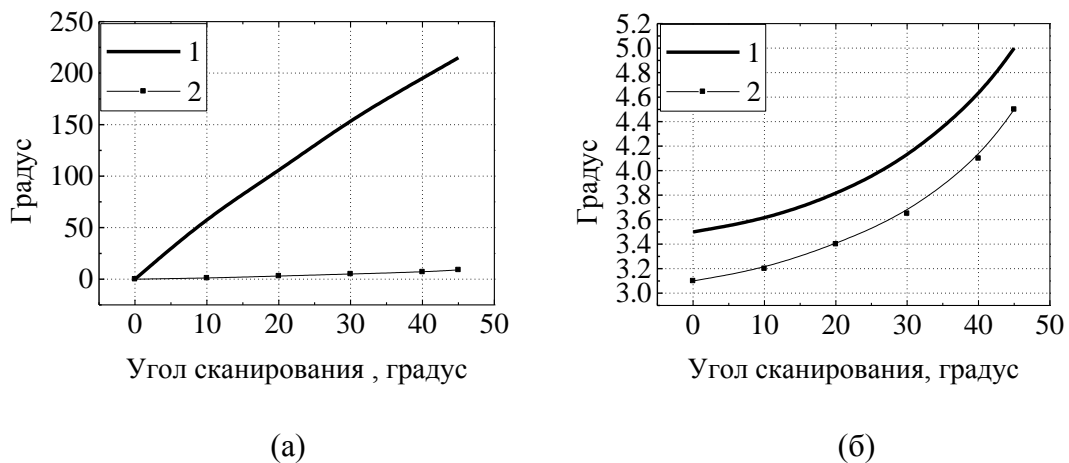
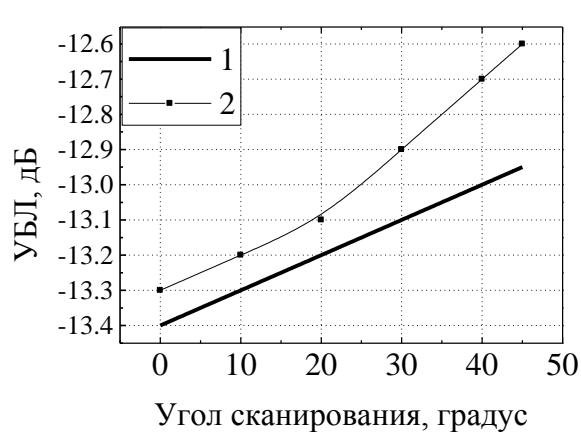
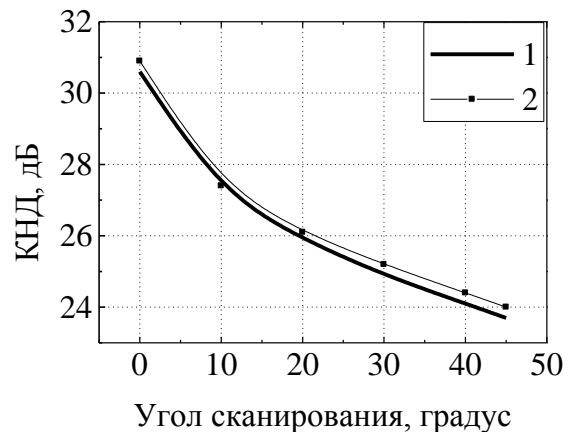


Рисунок 6.



(a)



(б)

Рисунок .7

Из приведенных результатов следует, что при компенсации кубической фазовой ошибки, появляющейся при фазовом сканировании в цилиндрической (кольцевой) решетке параметры ДН и КНД не сильно отличаются от параметров в плоской решетке при тех же значениях D_s , D_z , N_s , N_z , θ_{ms} . Уменьшение уровня боковых лепестков и увеличение ширины главного лепестка ДН происходит за счет того, что на эквивалентном плоском раскрыве амплитудное распределение становится более неравномерным в строках, уменьшается уровень возбуждения крайних излучателей. На КНД эти изменения влияют слабо.

Библиографический список

1. Воскресенский Д.И. Остронаправленное излучение с выпуклых поверхностей. //Известия Вузов СССР. Радиоэлектроника. –1964. –Т.7. –№3.
2. Воскресенский Д.И., Пономарев Л.И. Выпуклые сканирующие антенны// – М.: Сов. Радио. –1977. –207 с.
3. Antenna Theory/Second Edition C.F.Balanis//John Wiley and Sons, INC. – ISBN 0-471-59268-4. . –1997. –959 p.
4. Haupt R.L. Antenna Array//John Wiley & Sons, Inc. –ISBN 978-0-470-40775-2. –2010. 545 p/