

У Д К 623.438.3

А.В. Ченыкаев, Г.В. Ермаков, И.Н. Майборода

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков

## МЕТОД РАСЧЕТА НАПРАВЛЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СФЕРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В статье приводится метод расчета направленных характеристик сферической антенной решетки. В основу метода положена возможность фокусировки электромагнитного излучения при формировании многочастотного пространственно-временного сигнала, для которого получены основные расчетные соотношения для расчета поля в дальней зоне.

**Ключевые слова:** сферическая антенная решетка, многочастотный пространственно-временной сигнал, дальняя зона, рупорный излучатель.

### Введение

**Анализ литературы.** Одним из возможных путей создания специализированных РТС для функционального подавления и поражения (ФПП) комплексов активной защиты (КАЗ) бронетехники является разработка антенных систем с использованием фокусировки электромагнитного излучения (ЭМИ) в зоне Фраунгофера [1, 2].

В [3 – 5] рассмотрены методы фокусировки ЭМИ на основе взаимосогласованного пространственно-фазо-частотного (ПФЧ) управления излучаемыми сигналами в передающих плоских, цилиндрических антенных решетках (АР) и многопозиционных системах излучателей. Отмечается, что фокусировка ЭМИ может быть достигнута за счет дополнительных степеней свободы при управлении, что дает возможность не только формировать в пространстве мощные короткие пространственно-временные радиоимпульсы, но и сканировать сфокусированным потоком электромагнитного излучения вдоль заданных отрезков прямых.

Одним из известных методов фокусировки ЭМИ на основе взаимосогласованного ПФЧ управления излучаемыми сигналами является метод, предусматривающий одноступенчатое V-образное распределения частот по апертуре передающих плоских АР [3, 4], которые, как известно, имеют ряд недостатков по сравнению с выпуклыми (конформными) АР. Поэтому *целью* данной статьи является анализ возможностей фокусировки сферической АР (САР) с ПФЧ управлением ЭМИ при использовании равнодискретного V-образного закона распределения частот по ее апертуре.

### Основной материал

Антенная система средства ФП КАЗ должна быть обзорной по азимуту и углу места. Применение плоских ФАР в этом случае вызывает необходимость предусмотреть механическое вращение решетки по

аналогии с антенными системами разведки и целеуказания. Однако при вращении решетки происходит "лишнее" излучение энергии в направлениях, отличных от направления фокусировки. Существенным достоинством сферической АР является возможность ФП одновременно нескольких единиц бронетехники, находящихся на разных азимутах.

Известно [7], что при сканировании возникают искажения диаграммы направленности (ДН), что приводит к снижению коэффициента направленного действия (КНД). Например, при сканировании на угол более  $45^\circ$  в плоской АР наблюдается значительное увеличение боковых лепестков, а при угле  $60^\circ$  использование сканирования вообще теряет смысл. При сканировании лучом в плоской АР возникают искажения и в угломестной, и в азимутальной плоскостях. При использовании САР искажения в ДН не возникают в силу конформности АР.

Еще одним важным достоинством САР является более слабая по сравнению с плоскими антенными решетками взаимная связь излучателей из-за пространственного разворота их осей, зависящего от радиуса САР. В соответствии с этим уменьшается уровень боковых лепестков ДН антенны, что приводит к увеличению КНД по сравнению с плоской АР.

Известно также, что для отсутствия дифракционных максимумов необходимо, чтобы расстояние между излучателями в плоской АР было бы меньше рабочей длины волны. Для САР имеется возможность уменьшения количества элементов в решетке путем увеличения шага размещения до  $d \leq 1,1 \lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны за счет кривизны поверхности, что приводит к уменьшению ее габаритных размеров.

Еще одним параметром, существенно влияющим на выбор типа антенной системы, является полоса пропускания АР. Рассмотрим частотные свойства, связанные с построением АР, в предположении, что элементная база (фазовращатель, излучатель, линия передачи и т. д.) не ограничивает полосу пропускания. В АР с параллельным питанием линиями рав-

ной электрической длины начальное фазовое распределение не зависит от частоты и может быть равномерным. Широкополосные (диапазонные) фазовращатели создают фазовые сдвиги, также не зависящие от частоты. При отклонении луча от нормали с плоской решеткой по азимуту на угол  $\beta_{СК}$  необходим фазовый сдвиг  $\varphi$  между двумя произвольными излучателями, отстоящими друг от друга на шаг  $d$  в плоскости сканирования, определяемый по формуле:

$$\varphi = \frac{2\pi d \sin \beta_{СК}}{\lambda}$$

Изменение длины волны  $\lambda$ , на величину  $\Delta\lambda$  приведет к отклонению луча на  $\Delta\beta_{СК}$ , определяемому из условия:

$$\varphi = \frac{2\pi d \sin \beta_{СК}}{\lambda} = \frac{2\pi d \sin(\beta_{СК} + \Delta\beta_{СК})}{\lambda + \Delta\lambda}$$

Отсюда можно определить частотный ход луча:

$$\Delta\beta_{СК} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \operatorname{tg} \beta_{СК},$$

который не зависит от размера антенны и растет с отклонением луча  $\beta_{СК}$ . В результате этого изменяется направленность действия: растет уровень боковых лепестков (УБЛ) и падает КНД. Задавшись допустимым изменением характеристик, можно найти рабочую полосу. Если принять, что смещение луча не должно превышать половины его ширины, то:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \operatorname{tg} \beta_{СК} \approx \frac{\lambda}{4L \cos \beta}$$

Если задаться допустимым падением КНД на 1 дБ в секторе  $55^\circ$ , то расчеты позволяют установить простую связь между рабочей полосой частот в процентах и шириной диаграммы направленности антенны в градусах:

$$\frac{\Delta f}{f} (\%) \approx 2\beta_{0,7E}$$

В качестве критерия рабочей полосы может быть принято изменение уровня боковых лепестков. При определении полосы необходимо также учитывать характеристики сигналов (очень короткие импульсы, длинные импульсы с меняющейся частотой и т. д.). Переход к пространственному или последовательному возбуждению элементов АР мало изменяет полосу пропускания. Незначительная рабочая полоса и уменьшение ее с ростом направленности является существенным недостатком плоской ФАР.

Известны два способа построения широкополосных АР. В первом случае фазовращатели в АР заменяют управляемыми линиями задержки: отрезками линий с волной типа Т, плавно (дискретно) изменяющими длину в пределах половины длины раскрытия антенны ("тромбонными" фазовращателями). В такой антенне разность хода лучей компенсируется длиной питающих линий. Такие устройства реализуются в КВ-диапазоне и мало пригодны в СВЧ-диапазоне.

Второй способ основан на использовании выпуклых АР. Как следует из приведенных выше соотношений, расширение полосы пропускания достигается уменьшением  $\beta_{СК}$ . В таких АР широкоугольное сканирование обеспечивается коммутацией излучающей части антенны, а формирование луча происходит в условиях, близких к излучению по нормали в плоских АР. В осесимметричных выпуклых АР удастся не только ослабить или устранить частотный ход луча в широкой полосе частот, но и уменьшить частотное изменение ширины ДН. Однако конструкция таких антенн значительно усложняется по сравнению с конструкцией плоских антенн, так как кроме фазовращателей необходима система коммутаторов, управляющая излучающим сектором, и растет число управляемых элементов АР.

Для определения рабочей зоны САР определимся, что под рабочей зоной АР будем понимать количество излучателей, принимающих участие в формировании поля в дальней зоне при конформном сканировании. Учитывая, что наименьший шаг антенной решетки  $d=0,8\lambda=2,4$  см, а наличие круговой поляризации обеспечивается в случае равенства линейных размеров раскрытия рупора, как излучателя САР, найдем, что линейный размер раскрытия рупорного излучателя составляет величину  $L_E=L_H=2,4$  см. При определении количества излучателей учтем, что ширина ДН пирамидального рупора при  $L_H=2,4$  см составляет величину  $2\Theta_{0,5P}=76^\circ$ , ближняя граница дальней зоны (Фраунгофера) – 400 м,  $R_{\max}=5000$  м.

На рис. 1 представлена геометрия задачи для определения рабочей зоны САР.

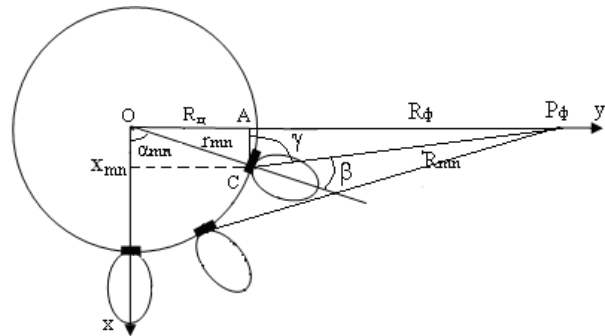


Рис. 1. Геометрия задачи для определения рабочей зоны САР

На рис. 1 представлены следующие обозначения:  $R_\phi=400\div 5000$  м – расстояние до точки фокусировки;  $AC=x_{mn}$  – абсцисса  $mn$ -го излучателя;  $OA=y_{mn}$  – ордината  $mn$ -го излучателя;  $R_{сф}=1,25$  м – радиус сферы;  $\beta$  – угол между направлением главного максимума ДН излучателя и отрезком АС.

С учетом геометрии задачи рабочей будем считать такую зону САР, для излучателей которой угол  $\beta \leq 35^\circ$ . С учетом рис. 1:

$$x_{mn} = R_{сф} \cos \alpha_{mn} = \frac{R_\phi}{\operatorname{tg} \gamma}$$

где  $\gamma = \pi - \alpha_{mn} - 35^\circ = 145^\circ - \alpha_{mn}$ .

После несложных преобразований получим:

$$\frac{\operatorname{tg}145^\circ \cdot R_{\text{сф}} \cos^2 \alpha_{mn} + R_{\text{сф}} \sin^2 \alpha_{mn}}{\cos \alpha_{mn}} - R_{\phi} \left( 1 + \operatorname{tg}145^\circ \operatorname{tg} \alpha_{mn} \right) = 0.$$

Решение такого трансцендентного уравнения аналитическим путем невозможно. Расчеты численными методами показали, что при  $R_{\phi} = 5000$  м величина  $\alpha_{mn} = \pm 60^\circ$ . Предположим, что общее количество излучателей равно 260. Тогда получим, что рабочую зону САР для конформного сканирования составляет  $N_p = 88$  излучателей.

При вертикальной поляризации коэффициент рассогласования по поляризации можно принять  $K_{\text{пол}} = 0,5$ . С целью разработки практических рекомендаций по созданию многочастотного средства ФП рассмотрим САР с излучателями в виде пирамидальных рупоров. Круговая поляризация может быть обеспечена путем добавления в питающий прямоугольный волновод фазосдвигающей секции и разворотом горловины рупора на угол  $45^\circ$  по отношению к питающему волноводу.

Известно [6], что рупорные излучатели имеют равномерное амплитудное распределение в вертикальной и спадающее к краям амплитудное распределение в горизонтальной плоскости. Эскиз сферической АР с рупорными излучающими элементами и расчетные системы координат представлены на рис. 2.

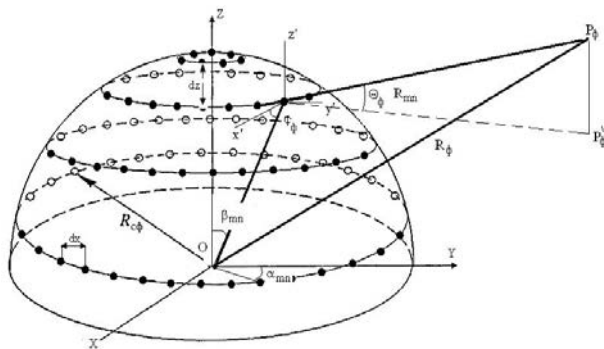


Рис. 2. Рабочая зона САР в общей системе координат OXYZ, излучатель в местной системе координат  $ox'y'z'$

Как отмечалось выше, к основным конструктивным особенностям САР, которые должны учитываться при анализе пространственных, временных и энергетических характеристик сфокусированных ЭМИ, относятся следующие:

- излучающие элементы располагаются на выпуклой поверхности, форму которой необходимо задавать в принятой при расчётах системе координат;
- оси излучающих элементов расположены по нормали к выпуклой поверхности и не параллельны друг другу.

Напряженность электрического поля  $E_{0m}$  в направлении главного максимума определяется в виде [6]:

$$E_{0m} = \frac{\sqrt{60PG}}{R_{\phi}}, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность, подводимая к антенне;  $G$  – коэффициент усиления антенны;  $R_{\phi}$  – расстояние от антенны до места расположения поражаемой единицы бронетехники.

Мгновенное значение напряженности электрического поля будет иметь вид:

$$E_0 = \frac{\sqrt{60PG}}{R_{\phi}} e^{-j(\omega t - kR_{\phi})}. \quad (2)$$

Зависимость (2) справедлива для антенн любого типа, если подставить в них соответствующее значение коэффициента направленного действия.

Для проведения расчетов напряженности электрического поля, создаваемого САР в заданной точке наблюдения (или в заданный момент времени) для одиночного импульса, воспользуемся выражением [4]:

$$\begin{aligned} \dot{\vec{E}}(P_{\phi}, t) = & \sum_{m=1}^{M_x} \sum_{n=1}^{N_y} \frac{\dot{\vec{F}}_{mn}(\beta_{\phi}, \alpha_{\phi})}{R_{mn}} \sqrt{60 P_{mn} G_{\max mn}} \times \\ & \times \exp \left\{ j \left[ 2\pi f_{0 mn} \left( t - \frac{R_{mn}}{c} \right) + \varphi_{0 mn} \right] \right\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $m$  и  $n$  – индексы, определяющие номер излучателя;  $M_x, N_y$  – количество излучающих элементов вдоль направляющей и образующей цилиндра соответственно;  $\dot{\vec{F}}_{mn}(\beta_{\phi}, \alpha_{\phi})$  – векторная комплексная нормированная ДН излучателя САР в общей системе координат;  $R_{mn}$  – расстояние от излучателя решетки до точки фокусировки;  $P_{mn}$  – мощность, подводимая к  $mn$ -му элементу АР;  $G_{\max mn}$  – коэффициент усиления одиночного излучателя;  $f_{0 mn}, \varphi_{0 mn}$  – частота и начальная фаза спектральной составляющей многочастотного (МЧ) сигнала, подводимая к элементу САР;  $t$  – момент времени наблюдения.

В рассматриваемом случае для ФП КАЗ используется пачка импульсов  $N$ . Тогда поле в окрестности точки фокусировки  $P_{\phi}$  будет представлять собой последовательность многочастотных МЧ пространственно-временного сигнала (ПВС), где каждый фокусируемый сигнал описывается выражением (3) с максимумом, формируемым в точке  $P_{\phi}$ , с учетом периода следования импульсов.

При определении напряженности электрического поля в точке фокусировки  $P_{\phi}(x_{\phi}, y_{\phi}, z_{\phi})$  для  $mn$ -ого излучателя необходимо предварительно рассчитать координаты  $x_{mn}, y_{mn}, z_{mn}$  расположения источника в заданной системе координат.

Исходными данными для расчета в этом случае являются радиус сферы  $R_{\text{сф}}$ , количество излучателей

вдоль сечения сферы горизонтальной плоскостью  $M_x$ , количество излучателей вдоль сечения сферы вертикальной плоскостью  $N_z$ :

$$\begin{aligned} d_x &= \frac{2\pi R_{c\phi}}{M_x}, & \alpha_{mn} &= 2\arcsin\left(\frac{2R_{c\phi}}{d_x}\right), \\ d_z &= \frac{2\pi R_{c\phi}}{N_z}, & \beta_{mn} &= 2\arcsin\left(\frac{2R_{c\phi}}{d_z}\right). \end{aligned} \quad (4)$$

Для сделанных предположений координаты  $m$ -ного излучателя будут:

$$\begin{cases} x_{mn} = R_{c\phi} \cos \alpha_{mn} \cos \beta_{mn}, \\ y_{mn} = R_{c\phi} \sin \alpha_{mn} \cos \beta_{mn}, \\ z_{mn} = R_{c\phi} \sin \beta_{mn}. \end{cases} \quad (5)$$

Тогда расстояние от начала координат до точки расположения излучателя определится из выражения:

$$r_{mn} = \sqrt{x_{mn}^2 + y_{mn}^2 + z_{mn}^2},$$

от излучателя до точки фокусировки:

$$R_{mn} = \sqrt{(x_{\phi} - x_{mn})^2 + (y_{\phi} - y_{mn})^2 + (z_{\phi} - z_{mn})^2},$$

от начала координат до точки фокусировки  $P_{\phi}(x_{\phi}, y_{\phi}, z_{\phi})$ :

$$R_{\phi} = \sqrt{x_{\phi}^2 + y_{\phi}^2 + z_{\phi}^2}.$$

Для расчета напряженности электрического поля в соответствии с (3) необходимо для каждого  $m$ -ного излучателя выполнить пересчет ДН из общей в местную систему координат. Опуская несложные промежуточные выкладки, найдем угол места  $\Theta_{\phi}$  и азимут  $\varphi_{\phi}$  точки наблюдения в системе координат излучателя:

$$\Theta_{\phi} = \arccos \frac{\sqrt{(x_{mn} + x_{\phi})^2 + (y_{mn} + y_{\phi})^2}}{\sqrt{x_{\phi}^2 + y_{\phi}^2 + (z_{mn} + z_{\phi})^2}}, \quad (6)$$

$$\varphi_{\phi} = \arccos \frac{x_{mn} + x_{\phi}}{\sqrt{(x_{mn} + x_{\phi})^2 + (y_{mn} + y_{\phi})^2}}.$$

С учетом (6) амплитудная ДН  $m$ -ного рупора  $F_{mn}(\Theta_{\phi}, \varphi_{\phi})$  будет иметь вид [6]:

$$F_{mn}(\Theta_{\phi}, \varphi_{\phi}) = \frac{1 + \cos \Theta_{\phi}}{2} \frac{\sin \Psi_E}{\Psi_E} \frac{\cos \Psi_H}{1 - \left(\frac{2}{\pi} \Psi_H\right)^2}, \quad (7)$$

где  $\Psi_E = \frac{\pi L_E}{\lambda} \sin \Theta_{\phi} \cos \varphi_{\phi}$ ,

$\Psi_H = \frac{\pi L_H}{\lambda} \sin \Theta_{\phi} \sin \varphi_{\phi}$  – обобщенные углы;

$L_E, L_H$  – линейные размеры раскрыва рупора;

$\lambda_B$  – длина волны в волноводе.

Учитывая, что для пирамидальных рупоров фазовое распределение вдоль апертуры является постоянным, общее соотношение для напряженности

электрического поля, создаваемого одиночным импульсом, излучаемым цилиндрической ФАР, в точке фокусировки (3) с учетом (6), (7) имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{E}(P_{\phi}, t) &= \sum_{m=1}^{M_x} \sum_{n=1}^{N_z} \frac{\dot{F}_{mn}(\varphi_{\phi}, \Theta_{\phi})}{R_{mn}} \sqrt{60 P_{mn} G_{\max mn}} \times \\ &\times \exp \left\{ j \left[ 2\pi f_{0mn} \left( t - \frac{R_{mn}}{c} \right) + \varphi_{0mn} \right] \right\}, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\varphi_{\phi}, \Theta_{\phi}$  – углы в направлении на точку фокусировки и определяемые из выражения (6);

$f_{0mn}, \varphi_{0mn}$  – частота и фаза спектральной составляющей, излучаемая  $m$ -м излучателем.

Рассматриваемая конструкция сферической АР с пирамидальными излучателями имеет круговую поляризацию. В этом случае можно предположить, что поляризационная ДН не будет зависеть от положения отдельного излучателя.

Если расстояние  $R_{mn}$  разложить в ряд Тейлора в районе точки фокусировки, ограничившись первыми тремя членами разложения, и считать допустимым  $|y_{mn}| \ll |y_{\phi}|$ , то выражение для максимального значения поля одиночного импульса, излучаемого САР, в точке фокусировки  $P_{\phi}$  в момент времени  $t_{\phi}$  примет вид:

$$\begin{aligned} \dot{E}(P_{\phi}, t_{\phi}) &= \sum_m \sum_n \frac{\dot{F}_{mn}(\varphi_{\phi}, \Theta_{\phi})}{R_{mn}} \sqrt{60 P_{mn} G_{\max mn}} \times \\ &\times \exp \left( -j \left[ \frac{2\pi f_{0mn}}{c} \left( ct_{\phi} - y_{\phi} - \frac{\rho_{mn}^2}{2y_{\phi}} - \frac{x_{\phi}^2 + z_{\phi}^2}{2y_{\phi}} + Y_{mn} + \frac{x_{mn}x_{\phi} + z_{mn}z_{\phi}}{y_{\phi}} \right) + \varphi_{0mn} \right] \right), \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\rho_{mn}^2 = x_{mn}^2 + z_{mn}^2$ ;

$$Y_{mn} = y_{mn} + \frac{\rho_{mn}^2 + x_{\phi}^2 + z_{\phi}^2}{2y_{\phi}^2} y_{mn} -$$

$$- \frac{x_{mn}x_{\phi} + z_{mn}z_{\phi}}{y_{\phi}^2} y_{mn};$$

$$t_{\phi} = \sqrt{x_{\phi}^2 + y_{\phi}^2 + z_{\phi}^2} / c.$$

Выражение (9) является общим и справедливо для ближней и дальней зоны. Условие синфазного сложения волн выполняется в случае:

$$2\pi f_{0mn} \left( t_{\phi} - \frac{R_{mn}}{c} \right) + \varphi_{0mn} = 0, \quad (10, a)$$

где

$$\varphi_{0mn} = \frac{2\pi f_{0mn}}{c} \cdot \frac{2y_{\phi}^2 + x_{mn}^2 + z_{mn}^2}{2y_{\phi}} - 2\pi f_{0mn} t_{\phi}. \quad (10, б)$$

Выражение (10, б) определяет закон фазового распределения по апертуре САР в ближней зоне при фокусировке вдоль направления нормали, зависящее от частотного распределения.

Учитывая геометрические размеры САР, для дальней зоны в направлении нормали можно предположить, что

$$|x_{mn_{\max}} = 1,25 \text{ м}| \ll |y_{\phi}|$$

и

$$|z_{mn_{\max}} = 0,5 \text{ м}| \ll |y_{\phi}|,$$

т.е. выражение (10, б) может быть преобразовано к следующему виду:

$$\begin{aligned} \varphi_{0mn} &= \frac{2\pi f_{0mn}}{c} \cdot y_{\phi} - 2\pi f_{0mn} t_{\phi} = \\ &= f_{0mn} \left( \frac{2\pi}{c} y_{\phi} - 2\pi t_{\phi} \right), \end{aligned}$$

значит для антенны при расположении точки фокусировки на направлении нормали (ось ОУ) для получения синфазного сложения полей в дальней зоне необходимо задаваться линейным частотным распределением по апертуре, наклон которого зависит от расстояния до точки фокусировки.

При отклонении точки фокусировки по углу места от направления нормали к оси решетки выражение для фазового распределения будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \varphi_{0mn} &= \frac{2\pi f_{0mn}}{c} \times \\ &\times \left[ ct_{\phi} - y_{\phi} - \frac{\rho_{mn}^2}{2y_{\phi}} - \frac{x_{\phi}^2 + z_{\phi}^2}{2y_{\phi}} + \frac{x_{mn}x_{\phi} + z_{mn}z_{\phi}}{y_{\phi}} + Y_{mn} \right] \quad (11) \end{aligned}$$

Выражение (11) является алгоритмом фазирования САР: после получения ЦУ и определения  $x_{\phi}$ ,  $y_{\phi}$ ,  $z_{\phi}$ ,  $t_{\phi}$  для каждого  $mn$ -ого излучателя определяются его координаты и выбирается значение частоты  $f_{0mn}$ , в соответствии с которым рассчитываются фазы, что обеспечивает синфазное сложение полей спектральных составляющих в точке фокусировки в момент времени  $t_{\phi}$ .

## МЕТОД РОЗРАХУНКУ СПРЯМОВАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СФЕРИЧНОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ

О.В. Ченикаев, Г.В. Єрмаков, І.М. Майборода

*В статті розроблений метод розрахунку спрямованих характеристик сферичної антенної решітки. В основу методу покладена можливість фокусування електромагнітного випромінювання при формуванні багаточастотного просторово-часового сигналу, для якого отримані основні розрахункові співвідношення для розрахунку поля в дальній зоні.*

**Ключові слова:** сферична антенна решітка, багаточастотний просторово-часовий сигнал, дальня зона, рупорний випромінювач

## METHOD OF THE DIRECTED DESCRIPTIONS SPHERICAL ARRAY CALCULATION

A.V. Chenykeyev, G.V. Yermakov, I.N. Maiboroda

*In the article method of the directed descriptions spherical array calculation is driven. The basis of method is possibility of electromagnetic radiation focusing at forming of multifrequency spatio-temporal signal. For that basic method of calculation correlations are got main expressions for the calculation of the field in a far zone.*

**Keywords:** spherical array, multifrequency spatio-temporal signal, far zone, feedhorn.

## Выводы

Разработан метод расчета направленных характеристик сферической антенной решетки. В основу метода положена возможность фокусировки электромагнитного излучения при формировании многочастотного пространственно-временного сигнала, для которого получены основные расчетные соотношения для расчета поля в дальней зоне.

Предложен алгоритм фазирования сферической антенной решетки для функционального подавления и поражения комплексов активной защиты бронетехники.

## Список литературы

1. Содин Л.Г. Импульсное излучение антенны (электромагнитный снаряд) / Л.Г. Содин // Радиотехника и электроника. – 1991. – Т. 36, № 5. – С. 1014–1022.
2. Гомозов В.И. Пространственно-фазово-частотная фокусировка сигналов в плоских ФАР при V-образной дискретизации частот / В.И. Гомозов, А.В. Гомозов, С.В. Титов // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2001. – Вып. 122. – С. 201–207.
3. Гомозов В.И. Метод формирования последовательностей сфокусированных пространственно-временных импульсов при использовании многоступенчатого V-образного распределения частот по апертуре плоских ФАР / В.И. Гомозов, А.В. Гомозов, С.В. Титов // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2002. – Вып. 130. – С. 33–38.
4. Фокусировка электромагнитного излучения и ее применение в радиоэлектронных средствах СВЧ / Под ред. В.И. Гомозова. – Х.: "Городская типография, 2011. – 330 с.
5. Ясечко М.Н. Излучение последовательностей многочастотных пространственно-временных сигналов цилиндрическими антенными решетками с заданными характеристиками / М.Н. Ясечко, Г.В. Єрмаков // Збірник наукових праць ХУПС. –Х.: ХУПС, 2011. – № 1 (27). – С. 119–122.
6. Шифрин Я.С. Антенны / Я.С. Шифрин. – Х.: Изд-во ВИРТА, 1976. – 407 с.

Поступила в редколлегию 27.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. И.И. Обод, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.