# УДК 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 AP [3, 4], которые, как известно, имеют ряд недостатков по сравнению с выпуклыми (конформными) AP. Поэтому **целью** данной статьи является анализ возможностей фокусировки сферической AP (CAP) 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<sup>0</sup> в плоской АР наблюдается значительное увеличение боковых лепестков, а при угле 60<sup>0</sup> 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 решётками 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 AP было бы меньше рабочей длины волны. Для САР имеется возможность уменьшения количества элементов в решетке путём увеличения шага размещения до  $d \le 1,1 \lambda$ , 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 равной 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  $\beta_{c\kappa}$  необходим фазовый сдвиг  $\phi$  между двумя произвольными излучателями, отстоящими друг от друга на шаг d в плоскости сканирования, определяемый по формуле:

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

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

$$\varphi = \frac{2\pi d \sin \beta_{c\kappa}}{\lambda} = \frac{2\pi d \sin \left(\beta_{c\kappa} + \Delta \beta_{c\kappa}\right)}{\lambda + \Delta \lambda}$$

Отсюда можно определить частотный ход луча:

$$\Delta\beta_{C\kappa}=\frac{\Delta\lambda}{\lambda}tg\beta_{C\kappa},$$

который не зависит от размера антенны и растет с отклонением луча  $\beta_{c\kappa}$ . 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:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} tg\beta_{c\kappa} \approx \frac{\lambda}{4L\cos\beta}$$

Если задаться допустимым падением КНД на 1 дБ в секторе 55°, 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 раскрыва 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 Вск. 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 удается 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 раскрыва рупора, как излучателя САР, найдем, что линейный размер раскрыва рупорного излучателя составляет величину L<sub>E</sub>=L<sub>H</sub>=2,4 см. При определении количества излучателей учтем, что ширина ДН пирамидального рупора при L<sub>H</sub>=2,4 см составляет величину 2 $\Theta_{0,5P}$ =76<sup>0</sup>, ближняя граница дальней зоны (Фраунгофера) – 400 м, R<sub>макс</sub>=5000 м.

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



для определения рабочей зоны САР

На рис. 1 представлены следующие обозначения:  $R_{\varphi}$ =400÷5000 м – расстояние до точки фокусировки; AC=x<sub>mn</sub> – абсцисса mn-го излучателя; OA = y<sub>mn</sub> – ордината mn-го излучателя;  $R_{c\phi}$ =1,25 м – радиус сферы;  $\beta$  – угол между направлением главного максимума ДН излучателя и отрезком AC.

С учетом геометрии задачи рабочей будем считать такую зону САР, для излучателей которой угол  $\beta \le 35^{0}$ . С учетом рис. 1:

$$x_{mn} = R_{c\phi} \cos \alpha_{mn} = \frac{R_{\phi}}{tg\gamma},$$

где  $\gamma = \pi - \alpha_{mn} - 35^0 = 145^0 - \alpha_{mn}$ .

После несложных преобразований получим:

$$\frac{g145^{\circ} \cdot R_{c\phi} \cos^2 \alpha_{mn} + R_{c\phi} \sin^2 \alpha_{mn}}{\cos \alpha_{mn}} - R_{\phi} \left(1 + tg145^{\circ} tg\alpha_{mn}\right) = 0.$$

Решение такого трансцендентного уравнения аналитическим путем невозможно. Расчеты численными методами показали, что при  $R_{\phi}$ =5000 м величина  $\alpha_{mn}$ =± 60<sup>0</sup>. Предположим, что общее количество излучателей равно 260. Тогда получим, что рабочую зону САР для конформного сканирования составляет N<sub>p</sub>=88 излучателей.

При вертикальной поляризации коэффициент рассогласования по поляризации можно принять  $K_{non}$ =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<sup>0</sup> 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 AP с рупорными излучающими элементами и расчетные системы координат представлены на рис. 2.



Рис. 2. Рабочая зона САР в общей системе координат ОХҮΖ, излучатель в местной системе координат ох'у'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<sub>0m</sub> в направлении главного максимума определяется в виде [6]:

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

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:

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

$$\dot{\vec{E}}(P_{\phi}, t) = \sum_{m=ln=1}^{M_x} \sum_{m=ln=1}^{N_z} \frac{\vec{F}_{mn}(\beta_{\phi}, \alpha_{\phi})}{R_{mn}} \sqrt{60 P_{mn} G_{max_{mn}}} \times \times \exp\left\{j \left[2\pi f_{0 mn}\left(t - \frac{R_{mn}}{c}\right) + \phi_{0 mn}\right]\right\},$$
(3)

где т и п – 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;  $f_{0 mn}$ ,  $\phi_{0 mn}$  – 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<sub>сф</sub>, количество излучателей

вдоль сечения сферы горизонтальной плоскостью М<sub>x</sub>, количество излучателей вдоль сечения сферы вертикальной плоскостью N<sub>z</sub>:

$$d_{x} = \frac{2\pi R_{c\phi}}{M_{x}}, \qquad \alpha_{mn} = 2\arcsin\left(\frac{2R_{c\phi}}{d_{x}}\right), \qquad (4)$$
$$d_{z} = \frac{2\pi R_{c\phi}}{N_{z}}, \qquad \beta_{mn} = 2\arcsin\left(\frac{2R_{c\phi}}{d_{z}}\right).$$

Для сделанных предположений координаты mn-ого излучателя будут:

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

$$R_{\Phi} = \sqrt{x_{\Phi}^2 + y_{\Phi}^2 + z_{\Phi}^2} \ . \label{eq:R_phi}$$

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

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

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

С учетом (6) амплитудная ДН mn-го рупора  $F_{mn}(\Theta_{\Phi}, \phi_{\Phi})$  будет иметь вид [6]:

$$F_{mn}\left(\Theta_{\phi},\phi_{\phi}\right) = \frac{1 + \cos\Theta_{\phi}}{2} \frac{\sin\Psi_{E}}{\Psi_{E}} \frac{\cos\Psi_{H}}{1 - \left(\frac{2}{\pi}\Psi_{H}\right)^{2}}, \quad (7)$$

где 
$$\Psi_E = \frac{\pi L_E}{\lambda} \sin \Theta_{\phi} \cos \varphi_{\phi}$$
,  
 $\Psi_H = \frac{\pi L_H}{\lambda} \sin \Theta_{\phi} \sin \varphi_{\phi} - \text{обобщенные углы;}$ 

$$L_E, L_H$$
 – 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:

$$\dot{\vec{E}}(P_{\phi},t) = \sum_{m=ln=l}^{M_x} \sum_{m=ln=l}^{N_z} \frac{\dot{\vec{F}}_{mn}(\phi_{\phi},\Theta_{\phi})}{R_{mn}} \sqrt{60 P_{mn} G_{max mn}} \times \\ \times \exp\left\{j\left[2\pi f_{0 mn}\left(t - \frac{R_{mn}}{c}\right) + \phi_{0 mn}\right]\right\},$$
(8)

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

 $f_{0mn}, \phi_{0mn}$  – частота и фаза спектральной составляющей, излучаемая mn-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  $\left|y_{mn}\right|<<\left|y_{\varphi}\right|$ , то выражение для максимального значения поля одиночного импульса, излучаемого САР, в точке фокусировки  $P_{\varphi}$  в момент времени  $t_{\varphi}$  примет вид:

$$\dot{E}(P_{\phi}, t_{\phi}) = \sum_{m}^{M_{x}} \sum_{n}^{N_{z}} \frac{\dot{F}_{mn}(\phi_{\phi}, \Theta_{\phi})}{R_{mn}} \sqrt{60P_{mn}G_{max mn}} \times \\ \times \exp\left(-j\left[\frac{2\pi f_{0mn}}{c}\left[\frac{ct_{\phi} - y_{\phi} - \frac{\rho_{mn}^{2}}{2y_{\phi}} - \frac{x_{\phi}^{2} + z_{\phi}^{2}}{2y_{\phi}} + Y_{mn} + \frac{x_{mn}x_{\phi} + z_{mn}z_{\phi}}{y_{\phi}}\right] + \phi_{0mn}\right]\right), (9)$$

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

$$\begin{split} Y_{mn} &= y_{mn} + \frac{1}{2y_{\Phi}^{2}} y_{mn} + \frac{1}{2y_{\Phi}^{2}} y_{mn} + \frac{1}{2y_{\Phi}^{2}} y_{mn}; \\ &- \frac{x_{mn} x_{\Phi} + z_{mn} z_{\Phi}}{y_{\Phi}^{2}} y_{mn}; \\ t_{\Phi} &= \sqrt{x_{\Phi}^{2} + y_{\Phi}^{2} + z_{\Phi}^{2}} \Big/ c \; . \end{split}$$

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

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

где

$$\varphi_{0mn} = \frac{2\pi f_{0mn}}{c} \cdot \frac{2y_{\phi}^2 + x_{mn}^2 + z_{mn}^2}{2y_{\phi}} - 2\pi f_{0mn} t_{\phi} .$$
(10, 6)

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

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

 $|\mathbf{x}_{mn_{max}}| = 1,25 \text{ M} | \ll |\mathbf{y}_{d}|$ 

$$|\mathbf{z}_{\mathrm{mn}_{\mathrm{max}}}| = 0,5 \mathrm{M} | \ll |\mathbf{y}_{\mathrm{\Phi}}|,$$

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

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

значит для антенны при расположении точки фокусировки на направлении нормали (ось ОҮ) 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:

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

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  $t_{\phi}$ .

# 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. Ермаков // 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.

# МЕТОД РОЗРАХУНКУ СПРЯМОВАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СФЕРИЧНОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ

#### О.В. Ченикаєв, 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 просторовочасового 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. Chenykayev, 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.