УДК 629.7.621.396

О.Н. Дмитриев

Кировоградская летная академия Национального авиационного университета, Кировоград

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ СИСТЕМЫ ILS

Статья посвящена рассмотрению некоторых особенностей диаграммы направленности антенны системы ILS.

Ключевые слова: *амплитудная модуляция, антенная решетка, диаграмма направленности.*

Введение

Рассмотрим ДН антенны глиссадных радиомаяков, построенных по принципу с "опорным нулем", которые широко эксплуатируются в различных странах.

Основная часть. Антенная решетка ГРМ с "опорным нулем" состоит из двух антенн, расположенных на одной мачте. Нижняя антенна запитывается суммарным (амплитудно-модулированным) сигналом, спектр которого состоит из несущей и двух пар синфазных боковых частот $(f_н;\ f_н \pm 90;\ f_н \pm 150)$. К верхней антенне подводится разностный сигнал, спектр которого включает только боковые частоты $(f_н \pm 90;\ f_н \pm 150)$ с определенными фазовыми сдвигами. Отклонение стрелки прибора на борту ВС пропорционально разности глубины пространственной модуляции (РГМ):

$$РГМ = m\frac{E_\Delta}{E_\Sigma} = m\frac{E_{m\Delta} f_\Delta(\Delta)}{E_{m\Sigma} f_{\Sigma(\Delta)}}, \qquad (1)$$

где m - коэффициент глубины амплитудной модуляции; $E_{m\Delta}, E_{m\Sigma}$ соответственно амплитуды напряженности поля суммарного и разностного каналов; $f_\Delta(\Delta), f_\Sigma(\Delta)$ - соответственно характеристики направленности антенны разностного и суммарного каналов; Δ - угол места;

$$f_\Delta(\Delta) = F_в(\Delta)\sin(kh_в \sin\Delta); \quad f_\Sigma(\Delta) = F_н(\Delta)\sin(kh_н \sin\Delta); \qquad (2)$$

$F_в(\Delta), F_н(\Delta)$ - соответственно нормированные ХН верхней и нижней антенн в свободном пространстве.

Высота подвеса верхней антенны находится из условия равенства нулю ХН в направлении угла глиссады Δ_0:

$$\sin(kh_в \sin\Delta_0) = 0. \qquad (3)$$

Из последнего равенства получаем

$$h_в = \frac{\lambda}{2\sin\Delta_0}. \qquad (4)$$

Максимум ДН нижней антенны ориентирован в направлении Δ_0, поэтому с учетом уклона местности α перед ГРМ

$$h_н = \frac{h_в}{2} = \frac{\lambda}{4\sin(\Delta_0 \pm \alpha)}. \qquad (5)$$

В ГРМ, использующим метод с "опорным нулем" и подавлением излучения под малыми углами, антенная решетка состоит из трех антенн. К верхней и нижней антеннам подаются синфазные и равноамплитудные сигналы боковых частот, а к средней противофазный с вдвое большей амплитудой. Колебания несущей и боковых частот подводятся к нижней и средней антеннам в противофазе, причем амплитуда тока в средней антенне в два раза меньше. Заменяя синус угла места значением самого аргумента, характеристики направленности каналов ГРМ записываются в виде

$$f_\Sigma(\Delta) = \sin(\pi\Delta/2\Delta_0)\sin^2(\pi\Delta/4\Delta_0);$$
$$f_\Delta(\Delta) = \sin(\pi\Delta/2\Delta_0)\cos(\pi\Delta/2\Delta_0)\sin^2(\pi\Delta/4\Delta_0). \qquad (6)$$

Для компенсации разности хода лучей от антенны до вертикальной плоскости, проходящей через ось ВПП, излучатели располагают по дуге окружности. При этом средняя антенна устанавливается в центре мачты, верхняя смещается на расстояние $l_в$ в сторону ВПП, а нижняя - на расстояние $l_н$ от ВПП.

Вышеприведенные ХН верны только в дальней зоне антенн радиомаяка и, кроме того, получены для плоской идеально проводящей земной поверхности, что не соответствует реальным условиям.

Оценим размер ближней зоны антенны ГРМ. $A_н, A_с, A_в, A'_н, A'_с, A'_в$ это антенны и их зеркальные изображения, расположенные в плоскости XOZ; R - расстояние от оси ВПП до основания мачты; R - расстояние от оси ВПП до антенн; $M(x,y,z)$ - точка наблюдения области наведения радиомаяка. Каждая из антенн со своим зеркальным изображением образуют систему из двух излучателей с фазовым центром, расположенным на оси OX. Поскольку наибольший размер ближней зоны, совпадающий с размером всей антенной решетки ГРМ, формируется системой $A_в A'_в$, то последняя и является предметом рассмотрения.

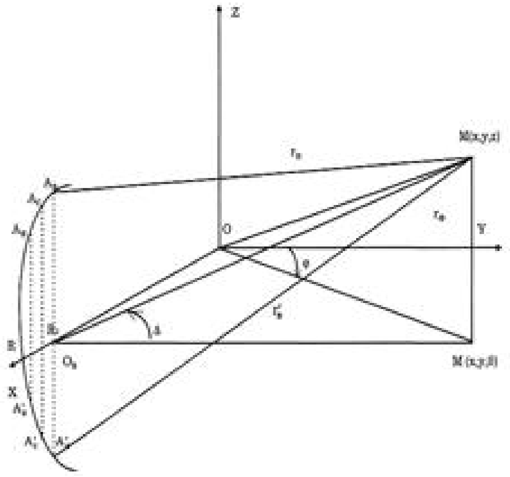

Рис. 1. Размер ближней зоны антенны ГРМ

Напряженность электрического или магнитного поля системы $A_в A'_в$, несмотря на векторный характер рассматриваемой величины, может быть найдена как алгебраическая сумма напряженностей полей отдельных излучателей:

$$\dot{E}_2 = \dot{E}_в + \dot{E}'_в. \quad (7)$$

Это обусловлено тем, что пространственные углы между отдельными векторами очень малы в силу удаленности точки наблюдения, равенства координаты X и относительно малого расстояния между антеннами $A_в - A'_в$.

С небольшими погрешностями можно принять, что амплитуды напряженностей полей в точке наблюдения равны $(E_{mв} = E'_{mв})$, а соотношение между фазами токов в излучателях $(\psi'_в = \psi_в + \pi)$.

С учетом этих замечаний, имеем

$$\dot{E}_в = E_{mв} e^{-ikr_в} e^{i\psi_в}$$

и $\dot{E}'_в = -E_{mв} e^{-ikr'_в} e^{i\psi_в}$.

Используя обозначения и опуская элементарные преобразования, получаем расстояние

$$r_в = \sqrt{r_ф^2 + 2xl_в + l_в^2 - 2R_1 l_в + h_в^2 - 2h_в z}. \quad (8)$$

В выбранной системе координат плоскость курса определяется выражением $X=0$. Для устранения квадратичных составляющих фазы поля в плоскости курса следует удовлетворить равенство

$$l_в^2 - 2R_1 l_в + h_в^2 = 0.$$

Это условие фазировки поля излучения в плоскости курса, из которого следует требуемое смещение излучателей вдоль оси OX:

$$l_в \approx R_1 - R_1\left(1 - \frac{h_в^2}{2R_1^2}\right) = \frac{h_в^2}{2R_1}. \quad (9)$$

Учтем условие фазировки, вынесем Гф из под знака радикала (8) и принимая во внимание, что $\frac{xl_в}{r_ф^2} << 1$ и $\frac{h_в z}{r_ф^2} << 1$, в соответствии с разложением бинома Ньютона, окончательно находим

$$r_в = r_ф + \frac{xl_в}{r_ф} - h_в \sin\Delta, \quad (10)$$

где, как следует из рис.1, $\sin\Delta = h_в / r_ф$.

Аналогично получаем выражение для расстояния $r'_в$ от зеркального изображения антенны:

$$r'_в = r_ф + \frac{xl_в}{r_ф} + h_в \sin\Delta. \quad (11)$$

С учетом (10) и (11) выражения для напряженности поля антенн записываются в виде

$$\dot{E}_в = \dot{E}_{mв} e^{-i\alpha} e^{ikh_в \sin\Delta} e^{i\psi_в}$$

$$\dot{E}'_в = -\dot{E}_{mв} e^{-i\alpha} e^{-ikh_в \sin\Delta} e^{i\psi_в},$$

где $\dot{E}_{mв} = E_{mв} e^{-ikr_ф}$ - комплексная амплитуда напряженности поля системы двух излучателей;

$\alpha = k\frac{xl_в}{r_ф} = k\frac{yl_в}{r_ф}\operatorname{tg}\varphi$ - угол расфазировки поля в ближней зоне радиомаяка.

Минимальное расстояние, на котором можно не считаться с фазовым сдвигом α, находится из соотношения

$$\alpha = k\frac{xl_в}{r_ф} < \frac{\pi}{8}.$$

Учитывая равенство (9):

$$r_{ф\,min} \geq \frac{2L^2}{\lambda}\left(\frac{x}{R_1}\right), \quad (12)$$

где- размер антенной решетки ГРМ.

Следовательно, минимальный радиус дальней зоны определяется не только протяженностью решетки, но и курсовым углом. При помощи (12) по заданным курсовому углу и углу места можно определить величину $r_{ф\,min}$. Выражение (12) трансформируется в известную в антенных измерениях формулу, если принять $x=R$.

Местные предметы и подстилающая поверхность аэродрома, участвующие в многолучевом распространении волн, могут обладать различной координатой x. Например, при типовом расстоянии R =150 м и угле глиссады $2^0 40'$ минимальный радиус дальней зоны составляет:

$r_{\phi\,min}=1250$ м при $x=100$ м;

$r_{\phi\,min}=3732{,}6$ м при $x=300$ м.

Очевидно, что большинство местных предметов аэродрома расположено в ближней зоне аэродрома. В связи с данным фактом, а также учитывая небольшое число антенн ГРМ, в моделировании следует учитывать отдельно напряженность поля излучения каждой антенны.

Для описания напряженности поля излучателя используем следующее известное соотношение

$$\bar{E}(\theta,\varphi) = i\vec{p}(\theta,\varphi)\sqrt{60P_A G}F(\theta,\varphi)e^{i\psi(\theta,\varphi)}\frac{e^{-ikr}}{r}, \quad (13)$$

где $\vec{p}(\theta,\varphi)$ - единичный вектор поляризации; P - подводимая мощность к излучателю; G - коэффициент усиления антенны; $F(\theta,\varphi)$ - ХН; $\psi(\theta,\varphi)$ - фазовая характеристика направленности; r - расстояние от излучателя до точки наблюдения.

В системе ILS используются антенны с линейной поляризацией, поэтому для каждого излучателя

$$\vec{p}(\theta,\varphi) = \bar{1}(\theta)$$

при условии, что сферическая система координат связана с рассматриваемым излучателем так, чтобы начало координат совпадало с центром излучателя, а полярная ось совпадала с вектором плотности тока. Подобную сферическую систему координат будем называть собственной сферической системой координат q-го излучателя решетки. В исследуемой области с большой точностью можно положить

$$F(\theta,\varphi)=F(\varphi).$$

Выводы

Все используемые в радиомаяках системы ILS элементы антенных решеток обладают фазовым центром, следовательно $\psi(\theta,\varphi)=0.$ Для упрощения записи введем следующее обозначение

$$\sqrt{60P_A G} = C.$$

В результате для q-й антенны выражение трансформируется к виду

$$E_q = iC_q F(\varphi)\frac{e^{-ikr}}{r}. \quad (14)$$

Аналогично определяется минимальный радиус зоны Фраунгофера и напряженность поля излучения антенны КРМ.

Список литературы

1. Організація систем управління космічних апаратів / С.М. Неділько, Д.М. Обідін, К.С. Козелкова, Р.В. Хращевський // КЛА НАУ, м. Кіровоград, навчальний посібник, 2013. – 89 с.

2. FFT-based interpolation for multipath detection GPS/GLONASS receivers/ Coenen A.J.R.M., De Vos A.J.// Electron. Lett. – 1992. – 28,№19, 1787-1788.

3. BARBER R.E., MCGREGOR A.E. A Practible Multipath Measurement Technique for Differential Reference Antennas in the Presence of Selective Availability. Proc. of Int. Conf. on GPS. – S.-Pet, 1996. – 8p.

4. Сибрук ЛВ. Моделирование точностных характеристик радиотехнических систем посадки воздушных судов: Монография. – К: КМУГА, 1998. – 188с.

5. Ильницкий Л.Я., Сибрук Л.В., Павленко В.Ф. Критерий полноты контроля радионавигационных систем // Статистические методы обработки информации в авиационных радиоэлектронных системах. – Киев: КИИГАД987. – С.128-129.

Поступила в редакцию 12.03.2014

Рецензент: доктор технічних наук, професор С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНОСТІ АНТЕНИ СИСТЕМИ ILS

О.М. Дмитрієв

Стаття присвячена розгляду деяких особливостей діаграми спрямованості антени системи ILS.
Ключові слова: *амплітудна модуляція, антенна решітка, діаграма спрямованості.*

STUDY OF FEATURES ANTENNA PATTERN ILS SYSTEM

O.N. Dmitriev

The article discusses some features of the antenna pattern of ILS.
Keywords: *amplitude modulation, antenna array radiation pattern.*