

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ИЗВЕСТНОЙ ТЕОРИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАДИОПЕЛЕНГАТОР ДВУХТОЧЕЧНОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ПОМЕХИ

В.А. Крячко
(представил д.т.н., проф. В.И. Замятин)

Анализируется влияние наклона фазового фронта электромагнитной волны, излучаемой передатчиком двухточечной когерентной помехи, на ошибку пеленгации постановщика помехи. Показано, что известная теория воздействия на подавляемый радиопеленгатор двухточечной когерентной помехи, объясняющая возникновение ошибки пеленгации постановщика помехи искажением фазового фронта электромагнитной волны помехи, излучаемой в направлении антенны радиопеленгатора, неадекватно представляет воздействие двухточечной когерентной помехи на радиопеленгатор.

Известно [1 – 3], что в основу построения передатчиков двухточечной когерентной помехи (ДКП) положено формирование искажений фазового фронта (ФФ) электромагнитной волны (ЭМВ) помехи, излучаемой в направлении апертуры антенны подавляемого радиопеленгатора (РП).

В соответствии с этим при создании ДКП излучение производится через две антенны, а параметры помеховых сигналов (амплитудные и фазовые соотношения) подстраиваются таким образом, чтобы создать условия возникновения больших ошибок пеленгации цели-постановщика помехи подавляемым РП.

Действие ДКП объясняется отклонением измеряемого РП направления на цель, определяемого как нормаль к ФФ ЭМВ в точке приема, в сторону от линии визирования постановщика помехи [3].

В основе известной теории воздействия ДКП на РП используется формула, описывающая искажение ФФ ЭМВ, излучаемой двухточечной целью [2 – 5]:

$$\delta\theta = \operatorname{arctg} \left[\frac{L}{2r} \cdot \cos\theta \cdot \frac{1 - a^2}{1 + a^2 + 2a \cdot \cos\left(\frac{2\pi L}{\lambda} \cdot \sin\theta + \psi\right)} \right], \quad (1)$$

где L – база излучателей ДКП И1, И2 в плоскости пеленгации (рис. 1); r – расстояние до цели; θ – ракурс базы излучателей ДКП; a – отношение амплитуд сигнала на выходе излучателей ДКП; λ – длина ЭМВ; ψ – разность фаз сигналов на выходе излучателей ДКП.

Известно [1 – 3], что наибольшая эффективность воздействия ДКП на подавляемый РП обеспечивается при максимальном значении L в пределах геометрических размеров цели, $\theta \approx 0^\circ$, $\psi = 180^\circ$ и $a \approx 1$.

Исходя из энергетических ограничений [2, 3], для обеспечения необходимого превышения мощности помехи над мощностью отраженного от цели сигнала постановку эффективной ДКП можно ожидать на малых дальностях от РП.

С учетом этих замечаний рассмотрим пример воздействия ДКП на РП в окрестности угла $\theta = 0^\circ$ (рис. 1) при $r \leq 20$ км и следующих основных параметрах передатчика помехи: $L = 20$ м в плоскости пеленгации, $a = 1,000001$, $\psi = 180^\circ$ и $\lambda = 4$ см. Пример будем рассматривать в предположении, что излучатели И1, И2 изотропные, взаимное влияние излучателей отсутствует.

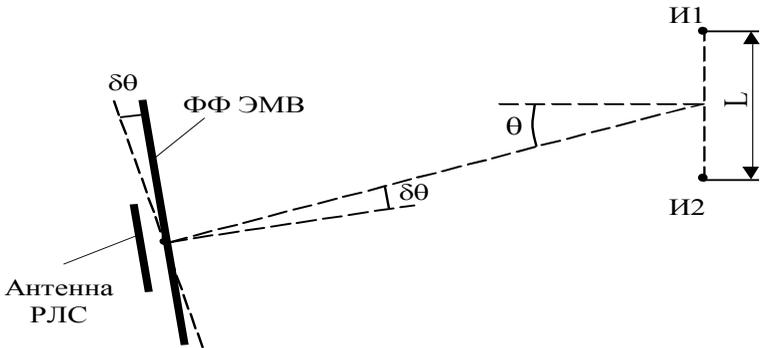


Рис. 1. Угол наклона ФФ ЭМВ, излучаемой передатчиком ДКП в направлении антенны РП

На рис. 2, а приведена зависимость $\delta\theta(\theta)$, рассчитанная по формуле (1) для рассматриваемой цели в секторе углов $\theta = -0,2^\circ \dots 0,2^\circ$ при $r = 20$ км. Для оценки зависимости $\delta\theta$ от направления ориентации лепестков амплитудной диаграммы направленности (ДН) излучения передатчика ДКП на рис. 2, б приведен фрагмент амплитудной ДН цели в том же секторе углов θ , рассчитанной по формуле для множителя двухэлементной линейной антенной решетки [6]:

$$F(\theta) = \left| \cos \left\{ 0,5 \left[\frac{2\pi L}{\lambda} \sin(\theta) - \psi \right] \right\} \right|. \quad (2)$$

Из рис. 2 следует, что существенное искривление ФФ ЭМВ ДКП, которое в соответствии с формулой (1) может в рассматриваемом примере

достигать -90° , и, следовательно, такая же большая ошибка пеленгации постановщика ДКП может возникнуть в узких секторах углов θ по сравнению с угловыми размерами лепестков ДН излучения помехи и соответствует окрестности углового положения стыков лепестков ДН. В секторах углов между соседними локальными минимумами ДН излучения помехи ошибка пеленгации цели $\delta\theta$ имеет пренебрежимо малое значение.

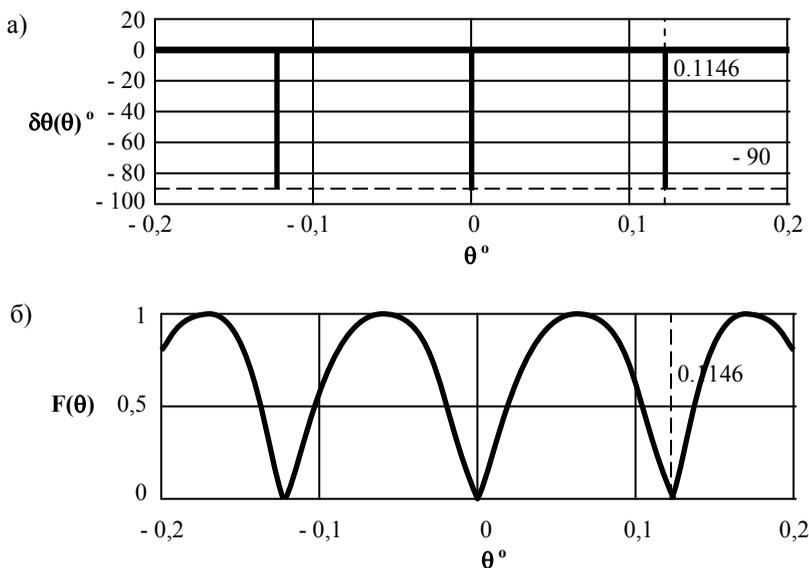


Рис. 2. Искажение ФФ ЭМВ ДКП (а) и аппроксимация амплитудной ДН (б) передатчика ДКП

Оценим максимальный размер сектора углов ракурса постановщика ДКП $\Delta\theta_{\max}$ в окрестности угла $\theta = 0^\circ$, в котором искривление ФФ ЭМВ помехи может привести к появлению ошибки пеленгации, превышающей значение угловой чувствительности РП $\Delta\theta_{\min}$ на коэффициент угловой различимости ν [7]. Произведение $\Delta\theta_{\min} \cdot \nu$ примем равным $0,05^\circ$.

На рис. 3, а приведена зависимость $\delta\theta(\theta)$, рассчитанная по формуле (1) в секторе углов $\theta = (-6 \cdot 10^{-5} \dots 6 \cdot 10^{-5})^\circ$ для рассматриваемой цели, находящейся на расстоянии $r = 20$ км, и значение $\Delta\theta_{\min} \cdot \nu = 0,05^\circ$. На рис. 3, б приведен фрагмент ДН излучения цели (рис. 2, б) в децибелах для того же сектора углов θ .

Из рис. 3, а можно сделать вывод, что эффективное воздействие ДКП на РП возможно в узком секторе углов θ , оценка размера которого при $r = 20$ км равна $2\Delta\theta_{\max} = (3,9 \cdot 10^{-5})^\circ$. При уменьшении дальности до цели значение $2\Delta\theta_{\max}$ увеличивается (рис. 4).

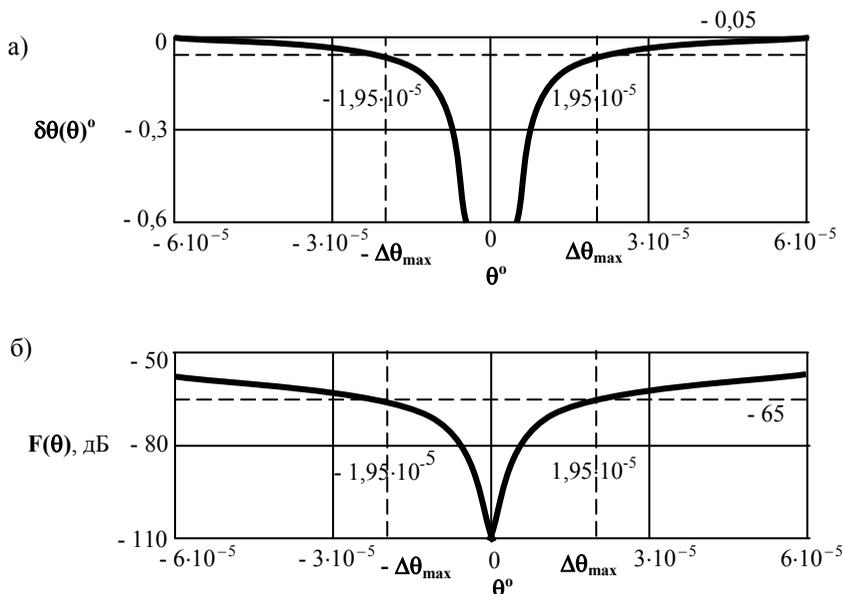


Рис. 3. К оценке сектора углов ракурса базы излучателей ДКП, в котором РП может обнаружить искривление ФФ ЭМВ на дальности 20 км

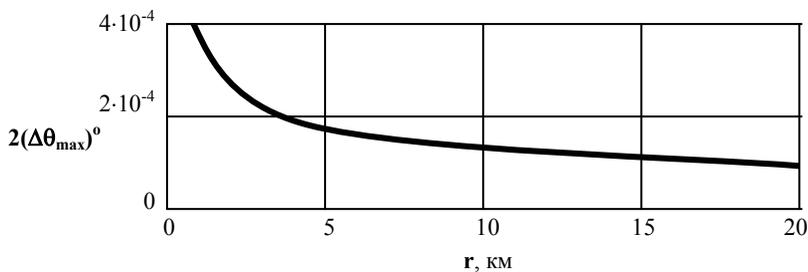


Рис. 4. Оценка размера сектора ракурса постановщика помехи, в котором возможно влияние ДКП на ошибку пеленгации

Величину $\Delta\theta_{\max}$ можно интерпретировать как требуемую минимальную точность наведения одного из локальных минимумов амплитудной ДН передатчика ДКП в направлении на фазовый центр антенны

подавляемого РП. При этом следует учитывать, что при точном наведении локального минимума амплитудной ДН передатчика ДКП на фазовый центр антенны РП сигнал помехи, излучаемый смежными противофазными лепестками амплитудной ДН передатчика ДКП, компенсируется на выходе приемной антенны РП.

Устойчивое наведение одного из локальных минимумов амплитудной ДН передатчика ДКП, размещенного на совершающем полет летательном аппарате, с точностью не хуже $\Delta\theta_{\max} = (1,95 \cdot 10^{-5})^\circ = 0,07$ угловой секунды (рис. 3) является сложной технической задачей. Это обстоятельство является фактором, ограничивающим возможность формирования заметного для подавляемого РП искривления ФФ ЭМВ ДКП.

Из рис. 3, б видно, что эффективное воздействие рассматриваемой ДКП сопровождается глубоким снижением мощности помехового сигнала ($\Delta F > 65$ дБ на дальности 20 км), излучаемого в направлении на апертуру подавляемого РП, по отношению к мощности помехового сигнала, излучаемого в направлении локального максимума амплитудной ДН передатчика ДКП. При уменьшении расстояния до цели максимальная мощность ДКП, при которой формируемое постановщиком помехи искажение ФФ ЭМВ может привести к возникновению ошибки его пеленгации, увеличивается (рис. 5).

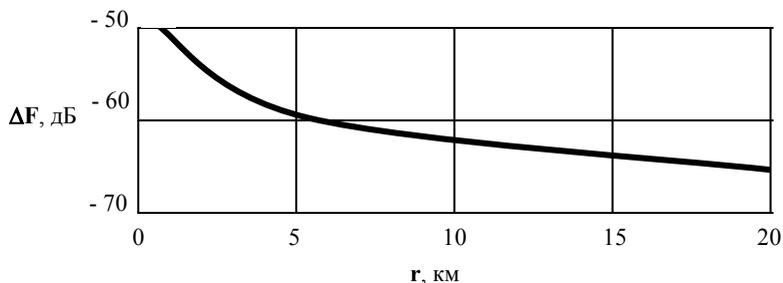


Рис. 5. Оценка максимальной мощности ДКП, при которой начинает проявляться ее влияние на ошибку пеленгации постановщика помехи

Полученное в результате расчета значение $\Delta F > (50 \dots 65)$ дБ для рассматриваемой цели в диапазоне дальности от 0,5 до 20 км (рис. 5) можно рассматривать как оценку необходимого превышения мощности ДКП по отношению к мощности радиопомех, излучаемых из одной точки пространства.

Проведенные выше рассуждения справедливы при постановке ДКП для РП, имеющего антенну с достаточно малым размером апертуры d_a (рис. 6), при котором обеспечивается прием сигнала, излучаемого целью в секторе углов ее ракурса менее $2\Delta\theta_{\max}$ (рис. 4).

Размер апертуры антенн современных РЛС точного измерения угловых координат цели, как правило, составляет не менее 10λ . Для $\lambda = 4$ см это составляет $d_a \geq 40$ см.

На рис. 7 приведена оценка угловой базы апертуры антенны РП (рис. 6) для $d_a = 40$ см в диапазоне дальности $r = (0,5 \dots 20)$ км, рассчитанная по формуле

$$\Delta\theta_a = \arctg\left(\frac{d_a}{r}\right). \quad (3)$$

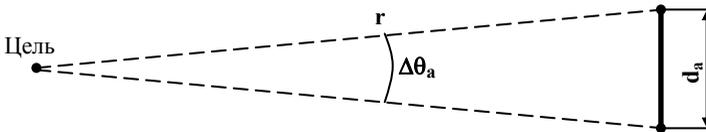


Рис. 6. К оценке угловой базы апертуры антенны РП

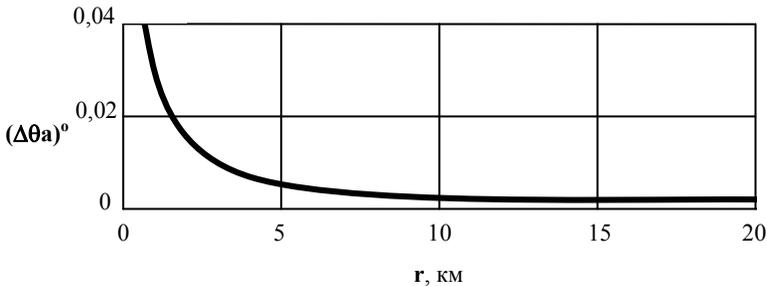


Рис. 7. Оценка угловой базы апертуры антенны РП при $d_a = 40$ см

Сравнивая графики на рис. 4 и рис. 7, можно сделать вывод о том, что в рассматриваемом диапазоне дальности даже при минимальном значении d_a величина $\Delta\theta_a$ более чем на порядок превышает значение углов $2\Delta\theta_{\max}$. Поэтому при постановке ДКП ошибка пеленгации цели будет определяться не значениями $\delta\theta$, вычисленными по формуле (1) для конкретных значений угла θ , а некоторыми интегральными значениями $\delta\theta$ в секторах углов θ , равных текущей угловой базе $\Delta\theta_a$ апертуры антенны подавляемого РП в плоскости пеленгации. Причем наибольший вклад в формирование ошибки пеленгации постановщика ДКП будут вносить принимаемые компоненты помехового сигнала, имеющие наибольшую амплитуду и, следовательно, наименьшее искривление ФФ ЭМВ (рис. 3).

Это свидетельствует о том, что искаженный ФФ ЭМВ рассматриваемой помехи не может привести к возникновению существенной для практики ошибки пеленгации постановщика ДКП в соответствии с формулой (1).

Джон И. Мид, впервые получивший уравнение (1) [4], так пишет по этому поводу: «В действительности, конечно, это не будет иметь места, поскольку это означало бы выход системы за пределы линейного участка диаграммы антенны; однако ошибка может достигнуть порядка нескольких размеров цели» ([5], с. 480).

Отсюда следует, что ошибки пеленгации постановщика ДКП наряду с искривлением ФФ ЭМВ помехи определяются также иными факторами, влияющими на процесс измерения угловых координат рассматриваемой цели в большей степени, чем искривление ФФ ЭМВ.

Вывод. Известная теория воздействия ДКП на подавляемый РП, объясняющая возникновение ошибки пеленгации постановщика помехи искажением ФФ ЭМВ помехи, излучаемой в направлении антенны РП, неадекватно представляет воздействие ДКП на РП.

Верность этого вывода косвенно подтверждается отсутствием публикаций, в которых сообщалось бы о регистрации ошибок пеленгации цели-постановщика ДКП, соответствующих результатам их вычисления по формуле (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Builer J.L. Radar Countermeasures Antenna System. Патент США № 3171125 от 5.10.1961.*
2. *Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. – М.: Сов. радио, 1968. – 448 с.*
3. *Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. – М.: Сов. радио, 1970. – 392 с.*
4. *Meade J.E. Target Considerations, Chap. 11 in Guidance, A.S. Locke, ed. Princeton, N.J.: D. Van Nostrand Company, Inc., 1955, p. 472 – 482.*
5. *Локк А.С. Управление снарядами. При участии Ч.Г. Доджа и др. / Пер. с англ. Г.В. Коренева. – М.: Гостехиздат, 1957. – 776 с.*
6. *Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.*
7. *Теоретические основы радиолокации. Учебное пособие для вузов / Под ред. Ширмана Я.Д. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.*

Поступила 22.07.2002

КРЯЧКО Виктор Алексеевич, инженер кафедры ХВУ. В 1983 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – методы измерения угловых координат радиолокационных целей.
