

Джамписов А.М.

Курсант

4 курс, факультет «Радиотехнические комплексы»

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

Россия, г. Ярославль

Научный руководитель: Павлов Ю.Ю. старший преподаватель

*Старший преподаватель кафедры «Радиотехнического
вооружения»*

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

Россия, г. Ярославль

МЕТОДЫ ПЕЛЕНГАЦИИ ПОМЕХОПОСТАНОВЩИКОВ АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ

Аннотация. В статье рассматривается проблема измерения угловых координат, которые основаны на определении угла прихода радиоволн, излученных или отраженных объектов. Для этого используют радиопеленгаторы. Известно несколько методов определения и измерения направлений (пеленгации) с помощью радиоволн. Когда для определения направления на источник радиоизлучения используется зависимость амплитуды принятого сигнала от направления на объект (цель), метод называется амплитудным. В амплитудных методах зависимость амплитуды принимаемого сигнала от направления обеспечивается за счет направленных свойств антенных устройств. Когда в углометрии используются фазовые соотношения между сигналами, принятыми на разнесённые в пространстве антенны, методы называются фазовыми.

Ключевые слова: метод, зона обнаружения, постановщик активных помех, сигнал, пеленг.

Abstract. The article deals with the problem of measuring angular coordinates, which are based on determining the angle of arrival of radio waves,

emitted or reflected objects. To do this, use the direction finders. There are several methods for determining and measuring directions (direction finding) using radio waves. When to determine the direction to the source of radio emission, the dependence of the amplitude of the received signal on the direction to the object (target) is used, the method is called amplitude. In amplitude methods, the dependence of the amplitude of the received signal on the direction is provided by the directional properties of antenna devices. When phase relations between signals received on spaced antennas are used in the angular geometry, the methods are called phase.

Keywords: *method, detection area, active interference, signal, bearing.*

Амплитудные методы пеленгации основаны на использовании направленных свойств антенн. Если используются направленные свойства только приёмной антенны, ДН которой равна $f_{пр}(\alpha)$, то пеленгационная характеристика радиопеленгатора $U(\alpha) = k f_{пр}(\alpha)$, где k – коэффициент пропорциональности. При использовании направленных свойств как приёмной, так и передающей антенны $U(\alpha) = k' f_{пр}(\alpha) f_{прд}(\alpha)$, где $f_{прд}(\alpha)$ – ДН передающей антенны. Если на передачу и приём работает одна антенна, то $f_{прд}(\alpha) = f_{пр}(\alpha) = f(\alpha)$, при этом $U(\alpha) = k' f^2(\alpha)$. Среди амплитудных методов пеленгации различают методы максимума, минимума и сравнения. Пеленгация методом максимума осуществляется путём совмещения направления максимума пеленгационной характеристики α с направлением на пеленгуемый объект α_0 в результате плавного вращения ДН антенны; пеленг отсчитывается в тот момент времени, когда напряжение на выходе приёмника становится максимальным.

Достоинства метода максимума: простота технической реализации; получение наибольшего отношения сигнал/шум в момент отсчёта пеленга. Недостатки метода: низкая пеленгационная чувствительность и, как следствие, низкая точность пеленгации. Пеленгационная чувствительность – это способность радиопеленгатора изменять напряжение на выходе приёмника

при изменении положения ДН антенны относительно направления на объект. Чем больше изменение напряжения при заданном изменении угла, тем выше пеленгационная чувствительность. Количественной мерой пеленгационной чувствительности является крутизна пеленгационной характеристики

$$K_{\text{п}} = |dU(\alpha)/d\alpha|_{\alpha=\alpha_0} \quad (1)$$

Если ΔU – минимальное изменение выходного напряжения приёмника, которое может зафиксировать измеритель, то согласно абсолютная погрешность измерения угловой координаты $\Delta\alpha \approx \Delta U / K_{\text{п}}$. Таким образом, чем больше крутизна пеленгационной характеристики, тем выше пеленгационная чувствительность и тем меньше погрешность измерения угла. Так как максимум ДН антенны обычно «тупой», то пеленгационная чувствительность при пеленгации методом максимума мала и, следовательно, погрешность измерения высока. Пеленгация методом минимума осуществляется путём плавного вращения ДН с резким провалом. Угол отсчитывается в тот момент времени, когда направление минимума пеленгационной характеристики α совпадает с направлением на объект α_0 . При этом напряжение на выходе приёмника минимально. Крутизна пеленгационной характеристики в этом случае выше, чем при методе максимума, поэтому выше и точность пеленгации. Однако амплитуда принимаемого сигнала вблизи направления на объект мала, что затрудняет определение дальности до объекта и, следовательно, использование метода минимума в активной радиолокации. Этот метод применяется главным образом в радионавигации при пеленгации источников мощного собственного излучения. При пеленгации методом сравнения угол определяется по соотношению амплитуд двух принимаемых сигналов, соответствующих двум пересекающимся диаграммам направленности $f_1(\alpha)$ и $f_2(\alpha)$. Приёмник в этом случае двухканальный, причём напряжения на выходе каналов пропорциональны значениям $f_1(\alpha_0)$ и $f_2(\alpha_0)$: $S_1 = k_1 f_1(\alpha_0)$, $S_2 = k_2 f_2(\alpha_0)$. Сравнивая эти сигналы, например путём деления, находим

$$S=S_1/S_2= k_1f_1(\alpha_0)/k_2f_2(\alpha_0)(2)$$

Измерив отношение S и решив уравнение (2) относительно α_0 , найдём искомый угол. Достоинством метода сравнения является возможность быстрого определения направления на объект (в течении одного импульса) в пределах сравнительно широкого сектора при неподвижных антеннах. Однако точность измерения может иногда оказаться низкой в зависимости от вида и взаимного положения ДН антенн и угла прихода радиоволн. В том случае, когда отношение сигналов S_1 / S_2 стремятся сделать равным единице, приходим к равносигнальному методу пеленгации. При этом методе ДН антенной системы поворачивается до тех пор, пока объект не окажется на равносигнальном направлении (РСН), когда $S=S_1/S_2=1$. Достоинство равносигнального метода – сравнительно высокая точность пеленгации, так как при измерении используется та часть ДН, которая обладает большой крутизной. Данный метод применяется при автоматическом слежении по угловым координатам за движущимся объектом. В этом случае удобнее формировать не отношение сигналов (2), а их разность $S = S_1 - S_2$. Система управления поворачивает антенну (или ДН при неподвижной антенне) в ту или иную сторону (в зависимости от знака величины S), стремясь свести рассогласование S к нулю. При этом равносигнальное направление будет отслеживать изменение направления на объект. Методы сравнения, в частности равносигнальный, используют в многоканальных (моноимпульсных) и одноканальных радиопеленгаторах. В первом случае, благодаря многоканальности приёмной системы, сравнение сигналов происходит в один и тот же момент времени. Во втором случае нужно периодически менять положение ДН антенны в пространстве, при этом сравниваются между собой сигналы, принятые в разные моменты времени при различных положениях ДН. Одноканальные пеленгаторы проще многоканальных, однако, имеют малую помехозащищённость и обеспечивают меньшую точность.

ФАЗОВЫЙ МЕТОД

Фазовый метод пеленгации основан на измерении разности фаз электромагнитных колебаний, принимаемых на две разнесённые антенны. Пусть в точках А и В, расстояние (база) между которыми d расположены приёмные антенны. Разность фаз принимаемых колебаний $\phi_p = 2\pi / \lambda (R_A - R_B)$, где R_A, R_B – расстояния от антенн до объекта. При $R_A \gg d, R_B \gg d$ имеем

$$\Phi_p = (2\pi / \lambda) d \sin \alpha \quad (3),$$

где α – угол между нормалью к базе и направлением на объект. Измерив разность фаз ϕ_p , найдём

$$\alpha = \arcsin [\phi_p / (2\pi d / \lambda)]. \quad (4)$$

При пеленгации объекта не на плоскости, а в пространстве, когда требуется получать две угловые координаты, нужна вторая пара антенн, база которых пересекается с базой первой пары антенн. В качестве фазочувствительного элемента можно использовать фазовый детектор. Напряжение на его выходе пропорционально косинусу разности фаз: $S = k \cos \phi_p$. Согласно (3) пеленгационная характеристика $U(\alpha) = \cos [(2\pi / \lambda) d \sin \alpha]$. При малых углах $\sin \alpha \approx \alpha$, поэтому $U(\alpha) = \cos [(2\pi / \lambda) d \alpha]$. Так как в окрестности $\alpha=0$ крутизна пеленгационной характеристики мала, то и точность пеленгационной характеристики будет низкой. Кроме того, поскольку рассматриваемая пеленгационная характеристика является чётной функцией угла, то его определение будет двужначным, т.е. нельзя будет определить направление смещения объекта от перпендикуляра к базе. Эти недостатки устраняются, если ввести в один из приёмных каналов после резонансного усилителя РУ фазовращатель (ФВ) на $\pi/2$. Напряжение на выходе фазового детектора (ФД) измеряется вольтметром (В). Благодаря смещению фазы сигнала в одном из каналов на $\pi/2$ пеленгационная характеристика становится нечётной функцией .

$$U(\alpha) = \sin [(2\pi / \lambda) d \alpha] \approx (2\pi / \lambda) d \alpha. \quad (5)$$

При этом её крутизна $K_{\pi} = (2\pi / \lambda) d\alpha$. Как видим, пеленгационная чувствительность, а следовательно, и точность пеленгации растёт с увеличением отношения d / λ . Однако при этом будет уменьшаться диапазон однозначного измерения угла $\Delta\alpha_{\max}$. Действительно, поскольку для однозначного измерения разности фаз с помощью ФД необходимо, чтобы $\phi_p < \pi$, а при малых α согласно (3) $\phi_p \approx 2\pi d\alpha / \lambda$, то $\Delta\alpha_{\max} = \lambda / 2d$. Для обеспечения высокой точности и в то же время однозначности измерений можно применить многоканальный метод (подобно фазовой дальнометрии). При двухканальном методе вводят третью антенну и создают большую и малую базы. Пара антенн с малой базой обеспечивает грубое, но однозначное измерение угла (в диапазоне $\Delta\alpha_{\max}$). Антенны с большой базой дают более точный отсчёт. Неоднозначность пеленгации можно устранить также, применяя антенны с достаточно узкими ДН: их ширина α_a не должна превышать диапазон однозначной пеленгации, т.е. $\alpha_a < \Delta\alpha_{\max}$. Кроме того, остронаправленные антенны обеспечивают разрешение объектов по угловым координатам. Таким образом, в радиотехнических системах для определения направлений на источники излучений используются зависимости амплитуды и (или) фазы (разности фаз) принимаемых сигналов от взаимной ориентации апертуры антенны и источника сигнала.

Список использованной литературы:

1. Осмоловский, С. А. Стохастические методы передачи данных. — М.: Радио и связь, 1991. — 240 с.
2. Отт, Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах / Пер. с англ. — М.: Мир, 1979. — 318 с.
3. Защита от радиопомех / Под ред. М. В. Максимова. — М.: Советское радио, 1976. — 496 с.
4. Трахтман, А. М., Трахтман, В. А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. — М.: Советское радио, 1975. — 208 с.

5. Варакин, Л. Е. Теория систем сигналов. — М.: Советское радио, 1978. — 375 с.

6. Лаврентьев А.М., Пискунов А.В., Маринцев Ю.Н., Красников Ю.В. Радиотехнические системы обнаружения и сопровождения целей. Учебное пособие. Изд. ЯВВУ ПВО, 2016 - 160-173с.