

УДК 621.396.96

**АМПЛИТУДНЫЙ СПОСОБ РАДИОДАЛЬНОМЕТРИИ**

Р.Г. ХЕХНЁВ, В.Ф. ХЕХНЁВА

*Минский государственный высший авиационный колледж  
Уборевича, 77, Минск, 220096, Беларусь**Минский государственный высший радиотехнический колледж  
пр. Независимости, 62, Минск, 220005, Беларусь**Поступила в редакцию 18 апреля 2012*

Рассматривается способ измерения дальности посредством использования функциональной зависимости амплитуды электромагнитного поля от расстояния между источником радиоизлучения и пунктом наблюдения.

*Ключевые слова:* радиодальнометрия, электромагнитное поле, радионавигационная точка, летательный аппарат, радионавигационные системы, местоположение, пилотажно-навигационный комплекс, беспилотный летательный аппарат.

**Введение**

Измерение расстояний посредством использования радиоволн является важнейшим элементом функционирования радиотехнических систем (РТС) различного назначения. В современных РТС эта задача решается методом измерения времени задержки сигнала, отраженного или переизлученного объектом, относительно зондирующего, причем наибольшее применение получил импульсный метод. Для решения задач радиодальнометрии (РД) в современных РТС, обеспечивающих необходимую точность измерений, вынуждены применять широкополосные сигналы (ширина спектра – десятки МГц), что приводит к весьма расточительному использованию радиочастотного диапазона, который является исчерпаемым природным ресурсом. Поэтому весьма актуальной является разработка способа РД, где в качестве сигнала использовался бы монохроматический гармонический сигнал.

В основу рассматриваемого способа РД предлагается положить использование функциональной зависимости амплитуды электромагнитного поля (ЭМП) от расстояния до источника излучения. В современных РТС это свойство радиоволн не используют, абсолютное большинство приемных устройств РТС имеет автоматическую регулировку усиления, которая изначально уничтожает амплитудную зависимость ЭМП от дальности до источника излучения [1].

**Физические основы амплитудного способа радиодальнометрии**

Аналитическое выражение для напряженности электрического  $E_\theta$  и магнитного поля  $H_\alpha$  элемента переменного тока  $dl$ , характеризующее процесс излучения электромагнитной энергии [2], показывает, что для дальней зоны, главным образом используемой в РТС, их мгновенное значение обратно пропорционально расстоянию до источника излучения:

$$H_\alpha = \frac{I_m dl \sin \theta}{2R\lambda} \cos\left(\omega t - \frac{\omega R}{c}\right), E_\theta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \frac{I_m dl \sin \theta}{2R\lambda} \cos\left(\omega t - \frac{\omega R}{c}\right), \quad (1)$$

где  $I_m$  – ток излучателя,  $\lambda$  – длина волны,  $R$  – расстояние до источника излучения,  $c$  – скорость распространения электромагнитных волн.

В предлагаемом способе радиодальнометрии измерение амплитуды сигнала производится в базе минимум трех радионавигационных точек (РНТ)  $A, B, C$ , где расположены приемники сигнала, излучаемого объектом. Положение РНТ  $A, B, C$  на поверхности земли известно, причем один из пунктов является ведущим (к примеру, пункт  $A$ ). Возможные варианты расположения пунктов и объекта «О» представлены на рис. 1–4.

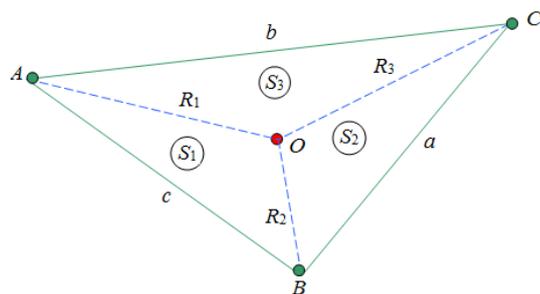


Рис. 1. Вариант I размещения объекта «О» и РНТ  $A, B, C$

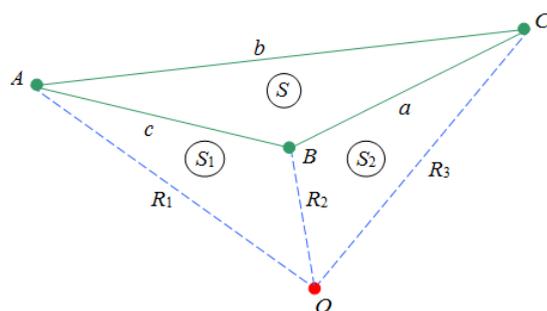


Рис. 2. Вариант II размещения объекта «О» и РНТ  $A, B, C$

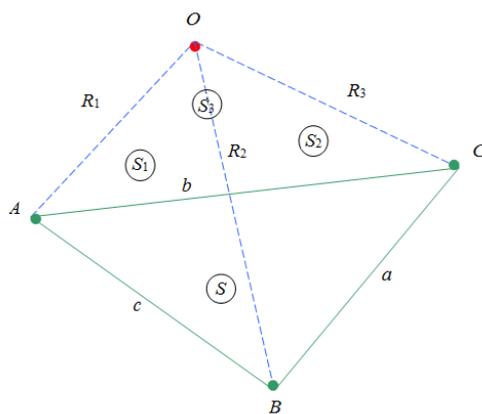


Рис. 3. Вариант III размещения объекта «О» и РНТ  $A, B, C$

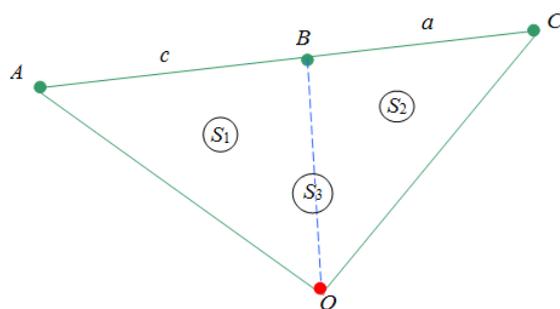


Рис. 4. Вариант IV размещения объекта «О» и РНТ  $A, B, C$

Обозначим расстояния от объекта «О» до пунктов  $A, B, C$ :  $OA=R_1$ ;  $OB=R_2$ ;  $OC=R_3$ , амплитуду сигнала, принятого в каждом пункте, соответственно  $A_m, B_m, C_m$ .

Как следует из (1),  $A_m, B_m, C_m$  обратно пропорциональны  $R_1, R_2, R_3$ . Последующая процедура определения  $R_1, R_2, R_3$  сводится к трансляции результатов измерения  $B_m$  и  $C_m$  на ведущий пункт  $A$  и вычислению отношения амплитуд принятых сигналов для каждой пары пунктов, образующих базис [3–6].

Обозначим:  $\frac{A_m}{B_m} = m$ ;  $\frac{A_m}{C_m} = n$ ;  $\frac{B_m}{C_m} = k$ , тогда:  $m = \frac{R_2}{R_1}$ ;  $n = \frac{R_3}{R_1}$ ;  $k = \frac{R_3}{R_2}$ .

Для представленных на рис. 1–4 вариантов расположения пунктов  $A, B, C$  и объекта «О», введем обозначения:  $S$  – площадь треугольника  $\Delta ABC$ , образующего базу пунктов с известным местоположением;  $S_1$  – площадь треугольника  $\Delta AOB$ ;  $S_2$  – площадь треугольника  $\Delta BOC$ ;  $S_3$  – площадь треугольника  $\Delta AOC$ .

Площадь треугольника можно вычислить по трем его сторонам. Алгоритм решения этой задачи предложил Герон [7] (приблизительно I в. до н.э.):

Для треугольника  $ABC$ , образующего базу:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}, \text{ где } p = \frac{a+b+c}{2}.$$

Аналогично определяется  $S_1, S_2$  и  $S_3$ .

$$S_1 = \sqrt{p_1(p_1-R_1)(p_1-R_2)(p_1-c)}, \text{ где } p_1 = \frac{R_1+R_2+c}{2}.$$

Так как  $R_2 = m \cdot R_1$ , то

$$S_1 = \sqrt{p_1(p_1-R_1)(p_1-mR_1)(p_1-c)}, \text{ где } p_1 = \frac{R_1+mR_1+c}{2};$$

$$S_2 = \sqrt{p_2(p_2-mR_1)(p_2-m \cdot k \cdot R_1)(p_2-a)}, \text{ где } p_2 = \frac{m \cdot R_1 + m \cdot k \cdot R_1 + a}{2};$$

$$S_3 = \sqrt{p_3(p_3-R_1)(p_3-m \cdot k \cdot R_1)(p_3-b)}, \text{ где } p_3 = \frac{R_1 + m \cdot k \cdot R_1 + b}{2}.$$

Алгоритм вычисления  $R_1$  получаем из геометрии взаимного расположения объекта «О» и базы РНТ  $A, B, C$  (рис. 1–4), которая обычно априорно известна.

Для варианта I (рис. 1):

$$S = S_1 + S_2 + S_3. \quad (2)$$

Для варианта II (рис. 2):

$$S = S_3 - (S_1 + S_2). \quad (3)$$

Для варианта III (рис. 3):

$$S = (S_1 + S_2) - S_3. \quad (4)$$

Для варианта IV (рис. 4):

$$O = S_3 - (S_1 + S_2). \quad (5)$$

Левая часть уравнений (2), (3), (4), (5) известна, в правой части все составляющие представлены через  $R_1$  и аппаратно вычисленные  $m, n, k$ , что дает возможность однозначно определить расстояния  $R_1, R_2, R_3$  от объекта «О» до пунктов  $A, B, C$ , местоположение которых известно.

Диапазон радиочастот при этом, в первом приближении, принципиального значения не имеет. Рассматриваемый способ РД является, по-видимому, единственным способом измерения расстояния до источника излучения, когда излучаемый сигнал находится в области низких и инфранизких частот, включая электростатические поля.

## Область применения амплитудного способа радиодальнометрии

Практическая реализация предлагаемой в работе идеи позволит создать в дополнение к существующей систему организации и управления движением воздушных судов. На борту летательного аппарата (ЛА) устанавливается маломощный генератор монохроматического гармонического сигнала, частота которого обуславливает его идентификацию. Прием этого сигнала в базисе минимум трех РНТ,  $A, B, C$  местоположение которых известно (рис. 1–4), измерение амплитуды поля в каждой РНТ, обработка этих данных по приведенному выше алгоритму, однозначно определяет текущее местоположение ЛА. Совокупность этих данных образует траекторию движения ЛА, которая отображается на планшете ведущего пункта (авиадиспетчера).

Данный способ целесообразно использовать и для обеспечения функционирования беспилотных авиационных комплексов (БАК), создаваемых на базе беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Основу бортовой системы управления БЛА составляет пилотажно-навигационный комплекс (ПНК), состоящий из функционально связанных между собой навигационной и пилотажной систем и обеспечивающих управление движением БЛА по заданной пространственно-временной траектории. В качестве бортовых радионавигационных средств в БЛА используются в основном многосистемные (GPS/ГЛОНАСС/GALILEO) спутниковые радионавигационные системы (СРНС), которые, как показали недавние военные конфликты, в любой момент времени могут быть отключены или нейтрализованы активным радиоэлектронным противодействием.

Амплитудный способ радиодальнометрии позволит создать в дополнение к существующей дублирующую радионавигационную систему, которая имеет другую физическую основу работы и позволяет реализовать двухвариантный способ определения текущего местоположения (МП) БЛА:

– амплитудный способ радиодальнометрии прямым образом реализует позиционный метод определения текущего МП БЛА;

– движение БЛА относительно базовых РНТ вызывает доплеровский сдвиг частоты принимаемых там сигналов, который пропорционален радиальной составляющей скорости их взаимного перемещения. Трансляция этих данных на ведущий пункт, который в этом случае является пунктом управления (ПУ) БЛА, дает возможность непосредственно на ПУ определить МП БЛА методом счисления пути [8].

Возможна реализация рассмотренных выше методов определения МП БЛА с использованием несущей частоты радиоканала передачи видеoinформации. При этом в состав оборудования каждой РНТ включают приемник передаваемой с борта БЛА видеoinформации с выделением с помощью узкополосных фильтров из спектра транслируемого с борта БЛА сигнала только несущую, которая играет роль бортового источника гармонического сигнала. С этим сигналом проводят обозначенные выше операции. Полоса пропускания фильтров должна быть рассчитана на максимальное значение доплеровского сдвига частоты. Эти системы автономны, обладают большой скрытностью (РНТ работают только на прием радиосигналов), что повышает надежность работы радионавигационных средств БАК.

Возможен и другой вариант практического использования предлагаемой в работе идеи: РНТ работают в режиме излучения гармонического сигнала (каждая на своей частоте), а на борту ЛА установлен приемник этих сигналов. Используя рассмотренный выше алгоритм обработки этих сигналов, ЛА в реальном масштабе времени определяет свое местоположение в базисе этих РНТ и отображает его на карте бортового дисплея. При этом предельно упрощается процесс навигации ЛА, что особенно важно при эксплуатации воздушных судов, в составе экипажа которых нет штурмана.

## Заключение

Рассмотренный в статье амплитудный способ радиодальнометрии использует функциональную зависимость амплитуды МП от расстояния до источника излучения. В сравнении со способом измерения дальности, применяемым в современных радиотехнических системах, в рассматриваемом способе процесс измерения дальности переносится из области оценки временных параметров радиосигнала при взаимодействии источника излучения и объекта (отра-

жение или переизлучение сигнала) в область оценки амплитуды электромагнитного поля при распространении сигнала от источника излучения до объекта в окружающем воздушном пространстве. Этот способ является новым направлением в радиотехнике. При этом по меньшей мере на четыре порядка в сравнении с существующими радиодальномерными системами уменьшается занимаемый для этой цели диапазон радиочастот. Это существенно повышает помехоустойчивость дальномерных систем, улучшает их электромагнитную совместимость. Существенно упрощается используемое бортовое и наземное оборудование, а, следовательно, и его стоимость. Пропускная способность системы практически не ограничена.

## THE AMPLITUDE WAY OF THE RADIOMETRICS FOR THE LONG DISTANCE

R.G. KHEKHNEV, V.F. KHEKHNEVA

### Abstract

The way of measuring the distance based on using the functional dependence of the electromagnetic field amplitude components from the distance till the source of the radiation is considered.

### Список литературы

1. Радиотехнические системы / Под ред. Ю.М. Казаринова М., 1968.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М., 1967.
3. Хехнев Р.Г. // Весці Акадэміі Навук Беларусі. Сер. Фіз.-тэхн. Навук. 1993. №3. С. 122.
4. Хехнев Р.Г. // Весці Акадэміі Навук Беларусі. Сер. Фіз.-тэхн. Навук. 1995. №1. С. 83–85.
5. Хехнев Р.Г. // Матер. межд. семинара «Конверсия научных исследований в Беларуси в рамках деятельности МНТЦ». Часть 2. Минск, 1999. С.190–193.
6. Заявка на изобретение № а20090901. Амплитудный метод радиодальнометрии / Хехнев Р.Г., Хехнева В.Ф.
7. Болгарский Б.В. Очерки по истории математики. Минск, 1979.
8. Авиационная радионавигация / под редакцией А.А.Сосновского. М., 1990.