

УДК 621396

С.М. Порошин<sup>1</sup>, В.Б. Бахвалов<sup>2</sup><sup>1</sup>Национальный технический университет «ХПИ», Харьков<sup>2</sup>Военный институт при Киевском национальном университете им. Т. Шевченко, Киев

## ПАССИВНАЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НАВЕДЕНИЯ САМОЛЕТА НА НАЗЕМНЫЙ РАДИОЛОКАТОР

*Предлагаются принципы построения двух вариантов пассивной радиотехнической системы для наведения самолета на импульсные наземные РЛС и РЛС непрерывного излучения. Система содержит наземный пункт наведения и бортовой ретранслятор сигналов РЛС, размещенный на своем самолете. Работа системы основана на пеленговании РЛС по азимуту с наземного пункта наведения и измерении на этом пункте времени запаздывания прямых и ретранслированных с борта импульсов или доплеровской частоты ретранслированного сигнала. Предложение может обеспечить определение плоскостных координат РЛС с точностью, приемлемой для наведения на РЛС самолета.*

**Ключевые слова:** радиотехническая система, система наведения, радиолокатор.

### Введение

**Постановка задачи и анализ известных публикаций.** Для борьбы с наземными радиолокаторами широко применяются противорадиолокационные ракеты [1, 2]. Такая ракета запускается с самолета и наводится на работающий радиолокатор (РЛС) по его излучению. Недостатком противорадиолокационных ракет является то, что наведение сорвется, если в процессе наведения РЛС будет выключена в секторе нахождения ракеты. Методы наведения и пеленгования наземных радиопередатчиков подробно рассмотрены в литературе [1 – 5]. В настоящее время для наведения самолета на наземную РЛС широко используются спутниковые навигационные системы [6]. Используя на борту самолета приемник такой системы, можно в любой текущий момент определить координаты самолета с высокой точностью. Однако для наведения самолета на РЛС этого мало и требуется дополнительно знать с высокой точностью координаты РЛС. Известные наземные пеленгаторы [1] не всегда позволяют это сделать. При известных координатах РЛС можно наводить на нее самолет с помощью спутниковой навигационной системы даже в случаях, когда РЛС выключена и использовать противорадиолокационные ракеты бесполезно.

В связи с этим возникает практическая задача определения координат наземной РЛС за короткий интервал времени ее включения и наведения на нее самолета уже после ее выключения.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать радиотехническую систему из одного наземного приемного пункта наведения и ретранслятора сигналов работающей РЛС, размещенного на борту самолета. Этот самолет предполагается в последующем наводить на РЛС с помощью спутниковой навигационной системы. Предлагаются два варианта построения такой системы, один из

которых предназначен для наведения самолета на импульсную РЛС, а другой – на РЛС непрерывного излучения (например, на радиолокатор подсвета целей).

**Целью статьи** является разработка принципов построения радиотехнической системы (РТС) определения координат наземной РЛС из одного наземного приемного пункта и бортового ретранслятора сигналов РЛС, размещенного на борту самолета.

Использование своего радиолокатора на пункте наведения для определения координат своего самолета не предполагается, то есть предлагаемая радиотехническая система фактически является пассивной.

В первом варианте построения при определении координат импульсной РЛС предложенная РТС работает следующим образом. Сигналы РЛС принимают на наземном приемном пункте наведения и пеленгуют РЛС по азимуту  $\beta$ . Эти сигналы принимают также на борту самолета и ретранслируют их на наземный пункт наведения на несущей частоте РЛС. На наземном пункте наведения измеряют время запаздывания  $\Delta t$  ретранслированного импульса относительно импульса прямого сигнала РЛС. Кроме того, с борта передают на наземный пункт наведения с помощью радиолинии связи три текущие координаты самолета, определенные на борту с помощью спутниковой навигационной системы. Полученных таким образом данных измерений достаточно для определения плоскостных координат РЛС. Координаты РЛС передают на борт самолета с наземного пункта наведения по радиолинии связи. Далее процесс наведения осуществляют автономно с борта самолета с помощью спутниковой навигационной системы.

Ниже рассматривается алгоритм работы предложенной радиотехнической системы. Для пояснения этого алгоритма используется рис. 1, где условно показаны система координат, наземный пункт наведения, свой самолет и наземная РЛС. Начало

прямоугольной системы координат совпадает с точкой расположения пункта наведения, ось z направлена вертикально вверх, а ось y направлена на север

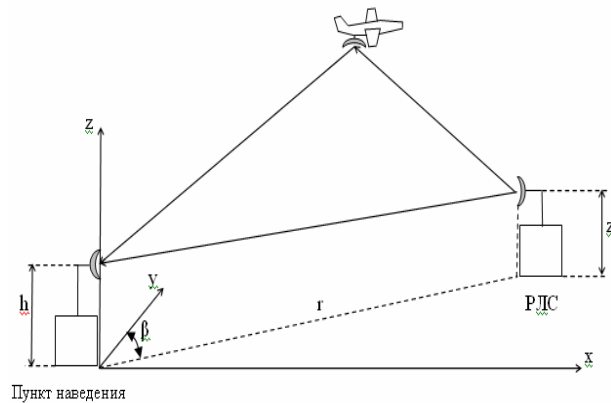


Рис. 1. Радиотехническая система наведения

Горизонтальную дальность  $r$  от наземного пункта наведения до РЛС предлагается определять путем решения трансцендентного уравнения

$$\sqrt{x_s^2 + y_s^2 + (z_s - h)^2} + \sqrt{x_s^2 + y_s^2 + (z_s - h)^2 + r^2 + z^2 - 2x_s r \sin \beta - 2y_s r \cos \beta - 2z_s z} - \sqrt{r^2 + (z - h)^2} = c \Delta t, \quad (1)$$

где  $(x_s, y_s, z_s)$  – координаты самолета в прямоугольной системе координат  $(x, y, z)$ ;  $r, \beta$  – плоскостные координаты РЛС;  $h$  – высота подъема антенны пункта наведения (над уровнем моря);  $c$  – скорость света;  $\Delta t$  – время запаздывания ретранслированного импульса относительно импульса прямого сигнала РЛС на пункте наведения;  $z$  – координата антенны РЛС, равная

$$z = \sqrt{(a_e + h_c - r)(a_e + h_c + r)} - a_e; \quad (2)$$

$a_e$  – ‘эквивалентный радиус Земли;  $h_c$  – высота подъема антенны РЛС (над уровнем моря).

Физический смысл уравнения (1) ясен из геометрии рис. 1. Для решения этого уравнения необходимо знать высоту  $h_c$  антенны РЛС, которая обычно не известна. Проведенные оценки показали, что эта высота слабо влияет на точность определения дальности  $r$  из уравнения (1). Поэтому эту высоту можно задать приближенно, исходя из рельефа местности в районе РЛС и типа РЛС, который можно иногда определить по параметрам принимаемого сигнала. Разумные ошибки при задании высоты  $h_c$  не приведут к значительным ошибкам определения дальности  $r$ , а для наведения самолета на РЛС знание этой высоты не требуется. Трансцендентное уравнение (1) имеет единственное решение и его можно легко получить, например, известным численным методом половинного деления.

Расчетные точностные характеристики предложенной радиотехнической системы представлены на рис. 2, 3. На рис. 2 показана зависимость по-

грешности определения горизонтальной дальности РЛС от погрешности пеленгования ее по азимуту. На рис. 3 показана зависимость погрешности определения горизонтальной дальности РЛС от погрешности измерения времени запаздывания импульсов.

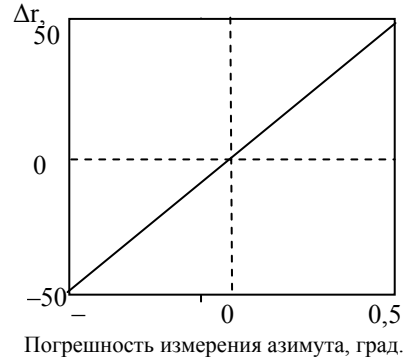


Рис. 2. Погрешность дальности

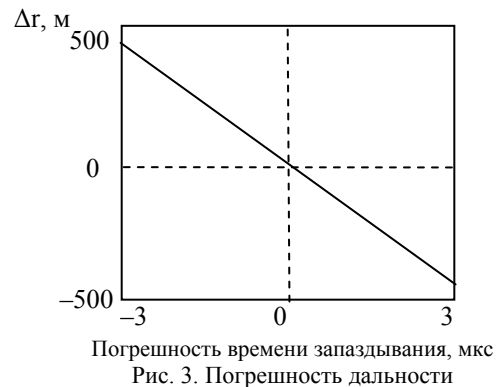


Рис. 3. Погрешность дальности

Расчеты на рис. 2, 3 проведены для следующих значений исходных данных: высота подъема над землей антенны наземного пункта наведения:  $h = 30$  м; высота подъема антенны РЛС над уровнем моря  $h_c = 25$  м; координаты самолета  $x_s = 64,3$  км;  $y_s = 76,6$  км;  $z_s = 1000$  м; горизонтальная дальность РЛС  $r = 40$  км; азимут РЛС  $\beta = 50^\circ$ .

Проведенные расчеты показали, что предложенная радиотехническая система может обеспечить приемлемые для наведения точности измерения плоскостных координат импульсной РЛС.

Во втором варианте построения при определении координат РЛС непрерывного излучения предложенная радиотехническая система работает следующим образом. Сигналы РЛС принимают на наземном приемном пункте наведения и пеленгуют РЛС по азимуту  $\beta$ . Эти сигналы принимают также на борту самолета и ретранслируют их на наземный пункт наведения на несущей частоте РЛС. На наземном пункте наведения измеряют доплеровскую частоту ретранслированного непрерывного сигнала. Кроме того, с борта передают на наземный пункт наведения с помощью радиолинии связи три текущие координаты самолета, определенные на борту с помощью спутниковой навигационной системы, а также курс и скорость полета. Полученных таким образом данных измерений достаточно для опреде-

ления плоскостных координат РЛС. Координаты РЛС передают на борт самолета с наземного пункта наведения по радиолинии связи. Далее процесс наведения осуществляют автономно с борта самолета с помощью спутниковой навигационной системы.

Ниже рассматривается алгоритм работы предложенной радиотехнической системы второго варианта построения.

Горизонтальную дальность  $r$  от наземного пункта наведения до РЛС предлагается определять путем решения следующего трансцендентного уравнения

$$F_g = - \frac{V[(x_s - r \sin \beta) \sin \beta_c + (y_s - r \cos \beta) \cos \beta_c]}{\lambda \sqrt{r_0^2 + r^2 + z^2 - 2x_s r \sin \beta - 2y_s r \cos \beta - 2z_c z}} - V(x_s \sin \beta_c + y_s \cos \beta_c) / \left( \lambda \sqrt{r^2 + (z-h)^2} \right), \quad (3)$$

где  $F_g$  – доплеровская частота ретранслированного с борта сигнала;  $V$  – скорость самолета;  $\beta_c$  – курсовой угол самолета;  $\lambda$  – длина волны РЛС, а другие обозначения были пояснены выше.

Трансцендентное уравнение (3) имеет единственное решение и его можно легко получить, например, известным численным методом половинного деления. Доплеровскую частоту  $F_g$  можно выделить, например, с помощью смесителя прямых и ретранслированных с борта сигналов РЛС.

Расчетные точностные характеристики предложенной радиотехнической системы второго варианта построения представлены на рис.4, 5.

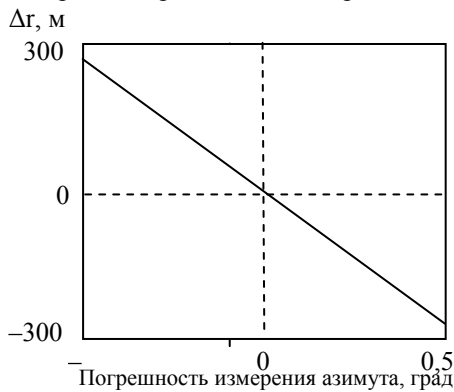


Рис. 4. Погрешность дальности

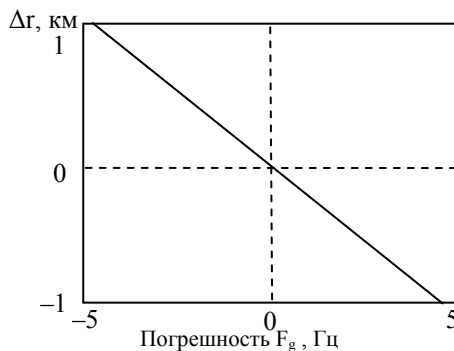


Рис. 5. Погрешность дальности

На рис. 4 показана зависимость погрешности

определения горизонтальной дальности РЛС от погрешности пеленгования ее по азимуту. На рис. 5 показана зависимость погрешности определения горизонтальной дальности РЛС от погрешности измерения доплеровской частоты.

Расчеты на рис. 4, 5 проведены для следующих значений исходных данных: длина волны  $\lambda = 0,35$  м; высота подъема над землей антенны наземного пункта наведения  $h = 30$  м; высота подъема антенны РЛС над уровнем моря  $h_c = 25$  м; координаты самолета  $x_s = 64,3$  км;  $y_s = 76,6$  км;  $z_s = 1000$  м; скорость самолета  $V = 300$  м/с; курсовой угол  $\beta_c = 20^\circ$ ; горизонтальная дальность РЛС  $r = 40$  км; азимут РЛС  $\beta = 50^\circ$ .

Проведенные расчеты показали, что предложенная радиотехническая система второго варианта построения может обеспечить приемлемые для наведения точности измерения плоскостных координат РЛС непрерывного излучения.

## Вывод

Разработаны принципы построения двух вариантов пассивной радиотехнической системы для наведения самолета на импульсные наземные РЛС и РЛС непрерывного излучения. Система содержит наземный пункт наведения и бортовой ретранслятор сигналов РЛС, размещенный на своем самолете. Работа системы основана на пеленговании РЛС по азимуту с наземного пункта наведения и измерении на этом пункте времени запаздывания прямых и ретранслированных с борта импульсов (в первом варианте построения) или доплеровской частоты ретранслированного сигнала (во втором варианте построения). При этом полагается, что текущие координаты своего самолета известны (они могут быть определены на борту с помощью спутниковой навигационной системы). Предложены алгоритмы работы системы в двух вариантах построения и оценены ее точностные характеристики. Предложение может обеспечить определение плоскостных координат РЛС с точностью, приемлемой для наведения на РЛС самолета.

## Список литературы

1. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. – М.: Воениздат, 1974.
2. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. – М.: Воениздат, 1991.
3. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения). – М.: Сов. радио, 1970.
4. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы / Под ред. В.В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986.
5. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др. Под ред. Ю.М.Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990.
6. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. – М.: Эко-Трендз, 2003.

Поступила в редколлегию 7.05.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.И. Карпенко, Харьковский университет Воздушных сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ПАСИВНА РАДІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА НАВЕДЕННЯ ЛІТАКА НА НАЗЕМНИЙ РАДІОЛОКАТОР

С.М. Порошин, В.Б. Бахвалов

*Пропонуються принципи побудови двох варіантів пасивної радіотехнічної системи для наведення літака на імпульсні наземні РЛС і РЛС безперервного випромінювання. Система містить наземний пункт наведення і бортовий ретранслятор сигналів РЛС, розміщений на своєму літаку. Робота системи заснована на пеленгації РЛС по азимуту з наземного пункту наведення і вимірюванні на цьому пункті часу запізнювання прямих і ретранслюючих з борту імпульсів або доплерівської частоти ретрансльованого сигналу. Пропозиція може забезпечити визначення площинних координат РЛС з точністю, прийнятною для наведення на РЛС літака.*

**Ключові слова:** радіотехнічна система, система наведення, радіолокатор.

### PASSIVE RADIO ENGINEERING SYSTEM OF AIMING OF AIRPLANE ON SURFACE RADIO-LOCATOR

S.M. Poroshin, V.B. Bakhvalov

*Principles of construction of two variants of the passive radio engineering system are offered for aiming of airplane on impulsive ground radar system and radar system continuous radiation. The system contains the surface point of aiming and side free-standing repeater of signals radar system, placed on the airplane. Work of the system is based on taking the bearing radar system on an azimuth from the surface point of aiming and measuring on this point of time of delay of direct and retransmitted from a side impulses or Doppler frequency of the retransmitted signal. Suggestion can provide determination of plane coordinates radar system with exactness, acceptable to aiming on radar system of airplane.*

**Keywords:** radio engineering system, aiming system, radio-locator.