

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАЗЕМНОЙ ДВУХКООРДИНАТНОЙ РЛС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА ЦЕЛИ

Для расширения возможностей наземных двухкоординатных РЛС микроволнового диапазона и обеспечения в них возможности измерения высоты полета и малых углов места цели предлагается принцип построения радиолокационной радиотехнической системы на основе совместного использования наземной двухкоординатной импульсной РЛС и ретранслятора эхо-сигналов цели, размещенного на низкоорбитальном спутнике. Работа системы основана на измерениях времени запаздывания ретранслируемых со спутника и эхо-сигналов цели. Предложен алгоритм работы системы и оценены ее точностные характеристики. Предложение может обеспечить измерение малых углов места и высоты полета воздушной цели.

Ключевые слова: радиолокационные радиотехнической системы, измерения малых углов, измерения высоты полета и углов воздушных целей.

Постановка задачи и анализ известных публикаций. Известные наземные двухкоординатные радиолокаторы (РЛС) измеряют дальность и азимут цели, но не могут измерять угол места и высоту полета цели. Наземные трехкоординатные РЛС измеряют все три координаты цели (дальность r , азимут β и высоту полета h или угол места ϵ), но обычно не позволяют достоверно измерять малые (менее $0,5^\circ$) углы места [1]. Это обусловлено влиянием земли на эхо-сигналы цели в секторе малых углов места [2], что затрудняет пеленгование цели по углу места. Методы измерения координат цели для известных наземных двухкоординатных и трехкоординатных РЛС подробно описаны в литературе [1, 3, 4, 6].

В связи с этим в настоящее время имеется необходимость расширить возможности наземных двухкоординатных РЛС микроволнового диапазона и обеспечить в них возможность измерения высоты полета и малых углов места цели.

Поставленную задачу предлагается решить на основе совместного использования наземной двухкоординатной импульсной РЛС и ретранслятора эхо-сигналов цели, размещенного на низкоорбитальном спутнике.

Цель статьи. Целью статьи является разработка принципов построения радиолокационной радиотехнической системы из наземной импульсной двухкоординатной РЛС и размещенного на спутнике ретранслятора эхо сигналов цели для обеспечения возможности измерения высоты полета и малых углов места воздушной цели.

Принцип построения предлагаемой радиолокационной радиотехнической системы поясняется рис. 1, где условно показаны воздушная цель, наземная импульсная двухкоординатная РЛС и низкоорбитальный спутник с ретранслятором эхо-сигналов цели на РЛС.

Условно полагается, что цель, РЛС и низкоорбитальный спутник находятся в зоне радиовидимости, а параметры орбиты спутника и его координаты в каждый текущий момент времени известны с высокой точностью.

Работа предложенной радиотехнической системы осуществляется следующим образом. Наземная импульсная двухкоординатная РЛС излучает зондирующие радиоимпульсы, принимает эхо-сигнал цели и измеряет наклонную дальность r и азимут цели β . Зондирующие импульсы и эхо-сигналы цели принимают на низкоорбитальном спутнике и ретранслируют обратно на РЛС, где дополнительно измеряют время запаздывания Δt ретранслированного импульса цели относительно ретранслированного зондирующего

импульса. Результаты измерения дальность r , азимут цели β и времени запаздывания Δt предлагается использовать для определения высоты полета h и угла места цели ϵ .

Желательно, чтобы несущая частота ретранслятора отличалась от несущей частоты РЛС, а длительность зондирующего радиоимпульса была, по возможности, меньше.

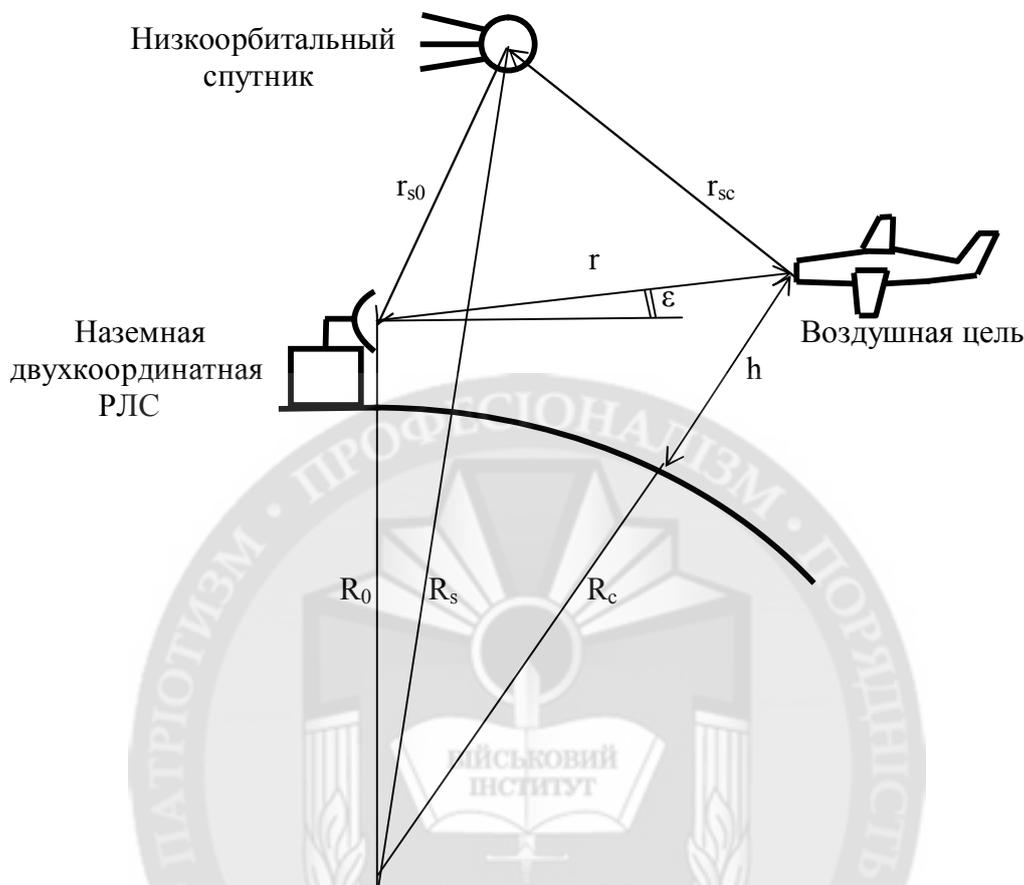


Рис. 1. Радиолокационная радиотехническая система

Ниже поясняется алгоритм работы предложенной радиолокационной радиотехнической системы.

В основу алгоритма положено следующее соотношение для времени запаздывания Δt импульсов, ретранслированных со спутника,

$$\Delta t = \frac{r + r_{sc} - r_{s0}}{c}, \quad (1)$$

где r – наклонная дальность от РЛС до цели (измерена на РЛС);

r_{sc} – дальность от спутника до цели;

r_{s0} – дальность от РЛС до спутника;

c – скорость света.

Физический смысл формулы (1) ясен из рис.1, а сама формула использована для построения алгоритма определения высоты и угла места цели.

Сначала предлагается определить геоцентрическую широту цели φ_c из решения следующего трансцендентного уравнения с одной неизвестной широтой

$$R_0^2 + R_c^2 - r^2 - 2R_c x_0 \cos \varphi_c \cos \lambda_c - 2R_c y_0 \cos \varphi_c \sin \lambda_c - 2R_c z_0 \sin \varphi_c = 0, \quad (2)$$

где R_0 – геоцентрический радиус антенны РЛС;

(x_0, y_0, z_0) – прямоугольные координаты антенны РЛС (начало прямоугольной системы координат совпадает с центром Земли, ось x проходит через нулевой меридиан, а ось z – через северный полюс);

R_c – геоцентрический радиус цели, равный

$$R_c = \frac{R_s^2 - R_0^2 - (c\Delta t + r_{s0})^2 + 2r(c\Delta t + r_{s0})}{2(x_s - x_0)\cos\varphi_c \cos\lambda_c + 2(y_s - y_0)\cos\varphi_c \sin\lambda_c + 2(z_s - z_0)\sin\varphi_c}; \quad (3)$$

(x_s, y_s, z_s) – прямоугольные координаты спутника в момент зондирования цели;

R_s – геоцентрический радиус спутника в момент зондирования цели;

λ_c – географическая долгота цели, которая выражается через широту следующим соотношением

$$\lambda_c = \lambda_0 + \frac{\arctg\left[\frac{\operatorname{tg}\beta \sin(\varphi_c - \varphi_0)}{\cos\varphi_c}\right]}{\cos\varphi_c}; \quad (4)$$

β – азимут цели (измерен на РЛС);

λ_0 – географическая долгота РЛС;

φ_0 – геоцентрическая широта РЛС.

Трансцендентное уравнение (2) получено на основе формулы (1) и известных соотношения связи азимута и дальности цели с ее географическими координатами. Это уравнение имеет единственное решение и может быть легко решено известным численным методом половинных делений.

При обнаружении воздушной цели на РЛС измеряют азимут и дальность цели, а также время запаздывания Δt радиоимпульсов, ретранслированных со спутника. По известным параметрам орбиты спутника на момент зондирования определяют прямоугольные координаты спутника и его геоцентрический радиус. Далее определяют геоцентрическую широту цели путем решения трансцендентного уравнения (2) и вычисляют географическую долготу и геоцентрический радиус цели по формулам (3), (4). После этого вычисляют высоту полета цели h над уровнем моря и ее угол места ε по следующим формулам

$$h = R_c - \frac{R_{ze}R_{zp}}{\sqrt{(R_{ze}\sin\varphi_c)^2 + (R_{zp}\cos\varphi_c)^2}}; \quad (5)$$

$$\varepsilon = 2\arctg\left[\sqrt{\frac{(-R_0 + R_c + r)(R_0 + R_c - r)}{(R_0 + R_c + r)(R_0 - R_c + r)}}\right] - \frac{\pi}{2}, \quad (6)$$

где R_{ze} , R_{zp} – экваториальный и полярный радиусы Земли, а другие обозначения были пояснены выше.

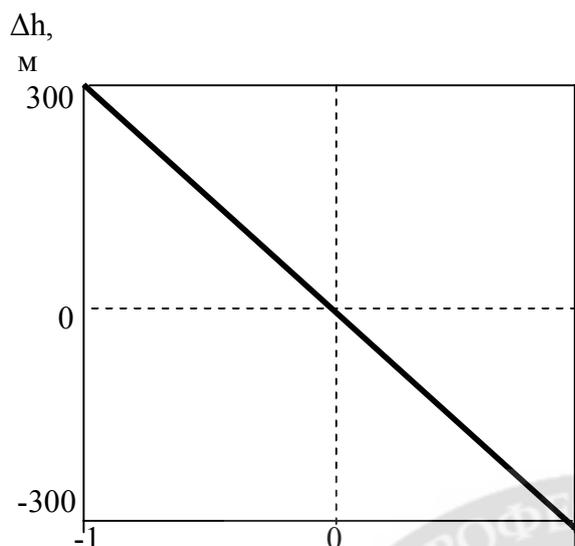
Для повышения точности желательно учесть влияние на время запаздывания импульсов рефракции и скорости распространения радиоволн в нижней атмосфере. Методика оценки таких поправок известна, описана в литературе [2, 5] и здесь не обсуждается.

Желательно также учесть дополнительное запаздывание сигнала в ретрансляторе спутника, которое следует вычесть из результатов измерения времени запаздывания. Это дополнительное запаздывание обычно заранее известно из результатов испытаний ретранслятора при его изготовлении.

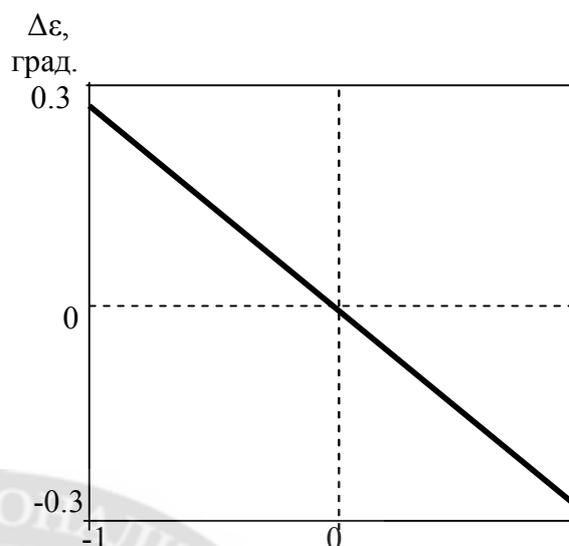
Расчетные точностные характеристики предложенной радиолокационной радиотехнической системы измерения высоты полета и угла места цели представлены на рис. 2 – 5. На рис. 2 представлена зависимость погрешности определения высоты полета цели от погрешности измерения времени запаздывания. На рис. 3 показана зависимость погрешности определения угла места цели от погрешности измерения времени запаздывания. На рис. 4 представлена зависимость погрешности определения высоты цели от погрешности измерения азимута цели. На рис. 5 показана зависимость определения угла места цели от погрешности измерения азимута цели.

Расчеты показывают, что предложенная радиотехническая система может обеспечить возможность измерения малых углов места (или высоты полета) цели, но при высокой точности измерения времени запаздывания. Погрешность измерения угла места и высоты

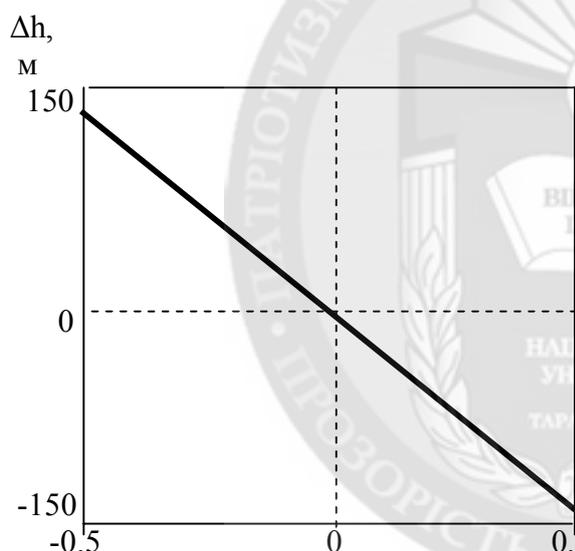
цели существенно зависит от точности измерения времени запаздывания и точности пеленгования цели по азимуту.



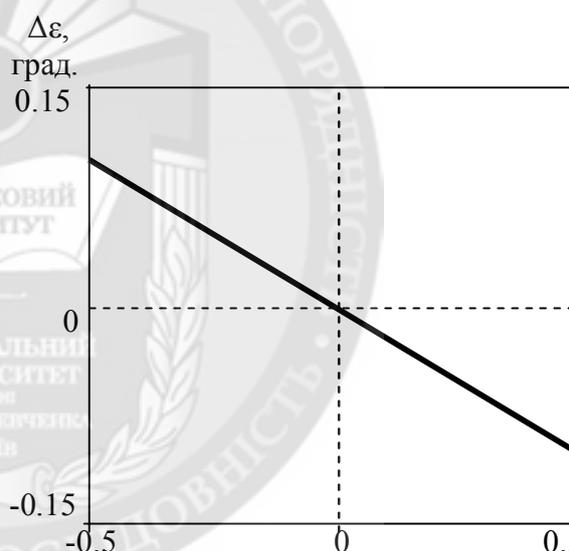
Погрешность времени запаздывания, мкс
Рис. 2. Погрешность высоты цели



Погрешность времени запаздывания, мкс
Рис. 3. Погрешность угла места цели



Погрешность измерения азимута, град.
Рис. 4. Погрешность высоты цели



Погрешность измерения азимута, град.
Рис. 5. Погрешность угла места цели

Погрешность измерения углов места и высоты воздушной цели в предложенной системе слабо зависит от высоты полета цели и это позволяет измерять также малые углы места (менее 0.5°), что весьма затруднительно обеспечить с помощью других известных РЛС. Мощность передатчика РЛС должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить возможность приема эхо-сигналов цели на низкоорбитальном спутнике.

Вывод. Разработаны принципы построения радиолокационной радиотехнической системы для измерения высот полета и углов места воздушных целей. Система состоит из наземной двухкоординатной импульсной РЛС и ретранслятора эхо сигналов цели на низкоорбитальном спутнике. Работа системы основана на измерениях времени запаздывания ретранслируемых со спутника и эхо-сигналов цели. Предложен алгоритм работы системы и оценены ее точностные характеристики. Предложение может обеспечить измерение малых углов места воздушной цели.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения). – М.: Сов. радио, 1970.
2. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов. радио, 1972.
3. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы. Под ред. В.В.Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986.
4. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. “Радиотехника” / Ю.П.Гришин, В.П.Ипатов, Ю.М.Квзаринов и др. Под ред. Ю.М.Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990.
5. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. – М.: Эко – Трендз, 2003.
6. Великанов ВД. и др. Радиотехнические системы в ракетной технике. – М.: Воениздат, 1974.

Рецензент: д.т.н., проф. Жердєв М.К., провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н., доц. Бахвалов В.Б., к.т.н. Хіркх-Ялан В.І.

**ВИКОРИСТАННЯМ НАЗЕМНОЇ ДВОКООРДИНАТНОЇ РЛС ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ
ВИСОТИ ПОЛЬОТУ ЦІЛІ**

Для розширення можливостей наземних двокоординатних РЛС мікрохвильового діапазону і забезпечення в них можливості вимірювання висоти польоту і малих кутів місця цілі пропонується принцип побудови радіолокаційної радіотехнічної системи на основі спільного використання наземної двокоординатної імпульсної РЛС і ретранслятора ехо-сигналів цілі, розміщеного на низькоорбітальних супутників. Робота системи заснована на вимірах часу запізнення, які ретранслюються з супутника і ехо-сигналів цілі. Запропоновано алгоритм роботи системи та оцінені її точнісні характеристики. Пропозиція може забезпечити вимірювання малих кутів місця і висоти польоту повітряної цілі.

Ключові слова: радіолокаційні радіотехнічної системи, вимірювання малих кутів, вимірювання висоти польоту і кутів повітряних цілей.

Ph.D. Bahvalov V.B., Ph.D. Khirikh-Ialan V.I.

**USING RADIO SYSTEM AND TWO-COORDINATE PULSE RADAR TRANSPONDER TO
MEASURE THE ALTITUDE TARGETS**

To enhance the XY ground radar microwave range and provide them the ability to measure altitude and low elevation angles objectives proposed principle of the radar radio system based on the joint use of two-coordinate ground radar pulse and echo repeater goals placed on low-orbit satellites. The system is based on time delay measurements are relayed from the satellite and the target echo signals. An algorithm for the system and evaluated its accuracy characteristics. The proposal may provide a measure of a low elevation angle and altitude aerial target.

Keywords: radar radio system, two-coordinate pulse radar, measure the height and angle of flight air targets.