

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ФАЗОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ УГЛОВ МЕСТА ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ

В статье разработано техническое решение по построению фазового измерителя углов места целей для наземной двухкоординатной РЛС микроволнового диапазона для ослабления влияния земли на результаты измерения.

Для измерения углов места и высоты целей двухкоординатным РЛС обычно придаются наземные радиовысотомеры, которые используют амплитудный, фазовый (и т.п.) методы измерения угла места. Недостатком известного наземного амплитудного высотомера является то, что его антенна имеет большой вертикальный размер и эту антенну требуется качать по углу места.

Антенна измерителя состоит из трех разнесенных по горизонтали и вдоль оси антенны приемных рупоров. Приемно-передающая антенна двухкоординатной РЛС излучает зондирующий сигнал, принимает эхо-сигналы цели и используется для измерения азимута и дальности цели. Измеряют сдвиги фаз сигнала центрального рупора относительно сигналов правого и левого рупоров. Радиоволны, отраженные от земной поверхности, искажают фазы сигналов в трех рупорах. Эти искажения будут почти одинаковы во всех рупорах, так как все они находятся на одинаковой высоте над землей. При измерении сдвигов фаз сигналов эти искажения будут вычитаться, и земля почти не будет влиять на результаты измерения угла места. В чем и состоит основная идея построения предлагаемого устройства. Качать (сканировать) эту антенну по углу места не требуется.

Предложен алгоритм работы устройства и оценены его точностные характеристики. Достоинством предложения является то, что в нем земля почти не влияет на результаты измерения углов места.

Ключевые слова: радиолокационные радиотехнической системы, метод пеленгования цели, измерения углов места и высоты полета воздушной цели.

Постановка задачи и анализ известных публикаций. Наземные двухкоординатные радиолокаторы (РЛС) микроволнового диапазона [1] измеряют азимут и дальность воздушных целей, но не могут измерять углы места. Для измерения углов места и высоты целей двухкоординатным РЛС обычно придаются наземные радиовысотомеры, которые используют амплитудный, фазовый (и т.п.) методы измерения угла места. Эти методы и принципы построения высотомеров подробно описаны в литературе [1-4].

Известный наземный амплитудный высотомер измеряет угол места по максимуму сигнала при сканировании (качании) его антенны по углу места [4]. Недостатком такого высотомера является то, что его антенна имеет большой вертикальный размер и эту антенну требуется качать по углу места.

Известный фазовый высотомер [2] измеряет угол места цели по сдвигу фаз сигналов в двух разнесенных по высоте антеннах. Недостатком такого высотомера является то, он не может измерять средние и малые углы места из-за неоднозначности измерения сдвига фаз сигналов, которая вызвана влиянием земли [5]. Искажения фазы сигнала в двух разнесенных по высоте антеннах из-за влияния радиоволн, отраженных от земли, различны и это вызывает дополнительные погрешности измерения сдвига фаз сигналов в этих антеннах и приводит к неоднозначности измерения угла места по сдвигу фаз.

В связи с этим в настоящее время имеется необходимость совершенствовать наземные высотомеры для двухкоординатных РЛС для устранения указанных недостатков.

Поставленную задачу предлагается решить на основе использования фазового метода измерения углов места.

Цель статьи. Целью статьи является разработка технического решения по построению фазового измерителя углов места целей для наземной двухкоординатной РЛС микроволнового диапазона для ослабления влияния земли на результаты измерения.

Измеритель углов места предполагается использовать в составе двухкоординатной РЛС, измеряющей азимут и дальность целей. Предполагается также, что антенны измерителя углов места будут работать только на прием и принимать эхо-сигналы целей, а в качестве передатчика будет использован передатчик двухкоординатной РЛС со своей антенной.

Для пояснения принципов предлагаемого технического решения на рис.1 представлен упрощенный эскиз антенной системы РЛС с измерителем углов места.

Приемо-передающая антенна двухкоординатной РЛС представляет обычную зеркальную антенну со своим облучателем. Антенна измерителя углов места состоит из трех одинаковых элементов (например, небольших пирамидальных рупоров).



Рис. 1. Антенная система РЛС с измерителем углов места

Центральный рупор расположен позади облучателя зеркальной антенны, а правый и левый рупоры подвешены на краях зеркала. Все три рупора находятся на одинаковой высоте над землей. Это принципиально важно для ослабления влияния земли на измерение угла места. Все рупоры работают только на прием.

Угломестный сектор работы РЛС определяется основной приемо-передающей зеркальной антенной РЛС.

Приемо-передающая антенна двухкоординатной РЛС излучает зондирующий сигнал, принимает эхо-сигналы цели и используется для измерения азимута и дальности цели. Три рупора измерителя углов места принимают эхо сигналы цели. Измеряют сдвиги фаз $\Delta\varphi_1$, $\Delta\varphi_2$ сигнала центрального рупора относительно сигналов правого и левого рупоров. Результаты таких измерений предлагается использовать для определения угла места цели.

Радиоволны, отраженные от земной поверхности, искажают фазы сигналов в трех рупорах. Эти искажения будут почти одинаковы во всех рупорах, так как все они находятся на одинаковой высоте над землей. Поэтому при измерении сдвигов фаз сигналов эти искажения будут вычитаться, и земля почти не будет влиять на результаты измерения угла места. В этом состоит основная идея построения предлагаемого устройства.

Ниже рассматривается алгоритм работы предложенного измерителя углов места.

Сдвиги фаз $\Delta\varphi_1$, $\Delta\varphi_2$ сигнала центрального рупора относительно сигналов правого и левого рупоров определяются следующими формулами

$$\varphi_1 = \frac{2\pi d}{\lambda} \cos \theta \sin(\beta - \Delta\beta), \quad (1)$$

$$\varphi_2 = -\frac{2\pi d}{\lambda} \cos \theta \sin(\beta + \Delta\beta), \quad (2)$$

где d – расстояние от центрального рупора до правого (или левого) рупора;

λ – длина волны;

θ – угол места цели;

β – азимутальный угол цели относительно оси антенной системы;

$\Delta\beta$ – угол отклонения направления от центрального рупора до правого (или левого) рупора относительно поперечной горизонтали антенны.

Формулы (1), (2) получены из геометрии антенной системы на рис. 1. Эти формулы предлагается использовать для определения угла места цели θ и уточнения азимутального угла цели β . Следует отметить, что устройство не сможет работать при $\Delta\beta = 0$. Однако это проблемы не представляет и достаточно только расположить три рупора не на одной линии.

Сложность использования формул (1), (2) для определения угла места цели состоит в том, что реальные фазометры измеряют сдвиг фаз с неопределенностью $\pm 2\pi n$ (n – целое число). Поэтому измеренные значения сдвигов фаз будут отличаться на указанную неопределенность от действительных. Это затрудняет непосредственное использование формул (1), (2). Условно полагается, что фазометр устройства измеряет сдвиг фаз в интервале от нуля до 2π .

Угол места цели θ предлагается определять по следующей формуле

$$\theta = \arccos \frac{\Delta\varphi_{1i} - 2\pi - 2\pi - 2\pi \text{entier} \left| \frac{d \sin(\beta - \Delta\beta)}{\lambda} \right|}{\frac{2\pi d}{\lambda} \sin(\beta - \Delta\beta)}, \quad (3)$$

где $\Delta\varphi_{1i}$ – сдвиг фаз сигнала центрального рупора относительно сигнала правого рупора, измеренный фазометром устройства;

entier – целая часть числа, а другие обозначения были пояснены выше.

Следует отметить, что знаменатель в формуле (3) в нуль не обращается, так как β по модулю обычно значительно меньше $\Delta\beta$.

Следует отметить, что двухкоординатная РЛС измеряет азимутальный угол цели β с погрешностью порядка половины ширины диаграммы направленности приемо-передающей антенны по азимуту. Поэтому измеренное РЛС значение β подставлять в формулу (3) не рекомендуется. Предлагается сначала уточнить это значение β путем решения следующего трансцендентного уравнения

$$\frac{\sin(\beta - \Delta\beta)}{\sin(\beta + \Delta\beta)} + \frac{\Delta\varphi_{1i} - 2\pi - 2\pi - 2\pi \text{entier} \left| \frac{d \sin(\beta - \Delta\beta)}{\lambda} \right|}{\Delta\varphi_{2i} - 2\pi - 2\pi - 2\pi \text{entier} \left| \frac{d \sin(\beta + \Delta\beta)}{\lambda} \right|} = 0, \quad (4)$$

где $\Delta\varphi_{2i}$ – сдвиг фаз сигнала центрального рупора относительно сигнала левого рупора, измеренный фазометром устройства, а другие обозначения были пояснены выше.

Использование в устройстве трех рупоров требуется для того, чтобы иметь возможность указанного уточнения азимутального угла β . В противном случае хватило бы и двух рупоров.

Формулы (3), (4) представляют алгоритм работы предложенного устройства.

Точностные характеристики измерителя углов места зависят от угла места цели и точности фазометра.

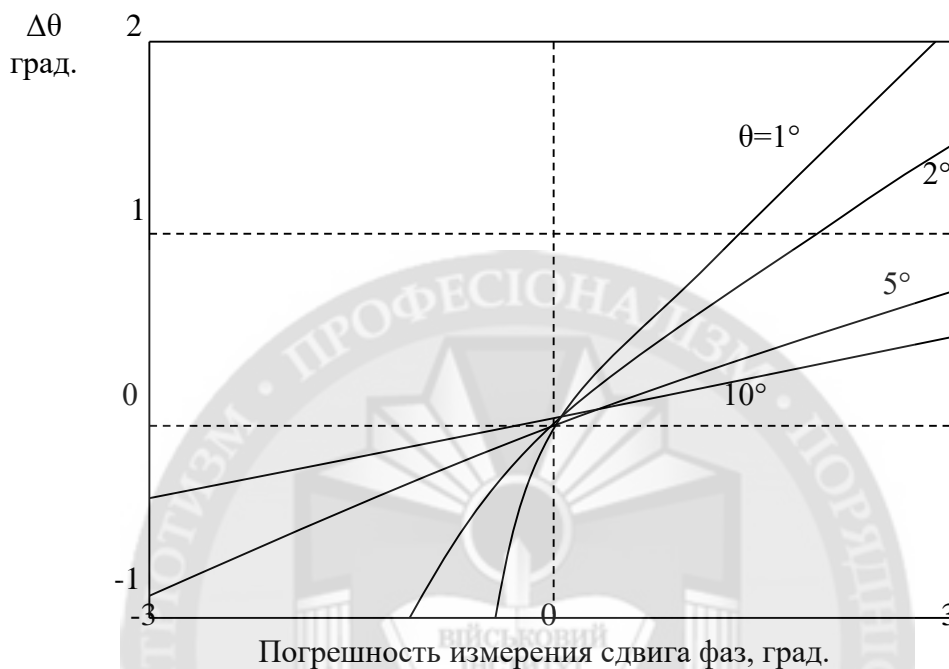
Пример расчета погрешности измерения угла места цели в зависимости от погрешности фазометра для различных значений угла места представлен на рис. 2.

Погрешность измерения угла места значительно возрастает с уменьшением угла места и очень сильно зависит от погрешности фазометра. Поэтому для реализации предложенного устройства потребуются реализовать очень жесткие требования к фазометру. Положительным фактором является то, что на эти погрешности $\Delta\theta$ почти не влияют радиоволны, отраженные от земной поверхности, поэтому они устранимы, так как зависят только от инструментальной погрешности фазометра и отношения сигнал/шум в канале приема. Это позволяет надеяться

на то, что при современном развитии техники фазометрии предложенное устройство метод может быть реализован на практике в будущем.

Главным преимуществом предложенного измерителя углов места является то, что его антенна имеет сравнительно малые размеры и качать ее по углу места не требуется.

Недостаток предложения состоит в том, что антенны измерителя углов места имеют сравнительно малый коэффициент усиления. Поэтому для получения требуемого соотношения сигнал/шум в каналах приема потребуется использовать в РЛС передающую антенну с большим коэффициентом усиления и передатчик большой мощности.



Погрешность измерения сдвига фаз, град.
Рис. 2. Погрешность определения угла места

Выводы. Разработаны предложения по построению фазового измерителя углов места воздушных целей. Такой измеритель используется совместно с двухкоординатной РЛС и работает только на прием. Антенна измерителя состоит из трех разнесенных по горизонтали и вдоль оси антенны приемных рупоров. Качать (или сканировать) эту антенну по углу места не требуется. Работа устройства основана на измерениях сдвига фаз сигналов центрального рупора относительно сигналов правого и левого рупоров. Предложен алгоритм работы устройства и оценены его точностные характеристики. Достоинством предложения является то, что в нем земля почти не влияет на результаты измерения углов места. Предложение может обеспечить измерение углов места, но только при очень высокой точности фазометра.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения) / [В.В. Васин, О.В. Власов, В.В. Григорин-Рябов и др.]; под ред. В.В. Григорина-Рябова. – М.: Сов. радио, 1970. – 680 с.
2. Справочник по основам радиолокационной техники / [А.М. Педак, П.И. Баклашов, Л. А. Барвинский и др.]; под ред. В. В. Дружинина. – М.: Воениздат, 1967. – 768 с.
3. 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.
4. Сколник М.И. (ред) Справочник по радиолокации. 3-е издание. – Перевод с английского под общей редакцией В.С. Вербы. В 2-х книгах. – Москва: Техносфера, 2014. – 680 с.
5. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов. радио, 1972.
6. Основы радиотехнических систем : учебное пособие / Зырянов Ю. Т., Белоусов О. А., Федюнин П.А. – Тамбов : Изд-во "Лань" ", 2015. – 192 с.
7. Никольский Б. А. Основы радиотехнических систем [Электронный ресурс]: [электрон. учебник] / Б.А. Никольский. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-

т), 2013. – 469 с. – Режим доступа: http://www.ssau.ru/files/education/uch_posob / Основы радиотехнических систем Никольский БА.pdf.

REFERENCES:

1. Vasin V.V., Vlasov O.V., Grigorin-Rjabov V.V. (1970). Radiolokacionnye ustrojstva (teorija i principy postroenija) [Radar devices (theory and principles of structure)]. Moscow, Sov. radio, Publ., 680 p. (In Russian).
2. Pedak A. M., Baklashov P.I., Barvinskij L.A., (1967). Spravochnik po osnovam radiolokacionnoj tehniki, [Handbook on basics of radar equipment]. Moscow, Voenizdat, Publ., 768 p. (In Russian).
3. Grishin Ju. P., Ipatov V. P., Kazarinov Ju. M., (1990). Radiotekhnicheskie sistemy, [Radar systems.] Moscow, Vysshaja shkola Publ., 496 p. (In Russian).
4. Skolnik M., Trofimov K., (1978). Spravochnik po radiolokacii: v 4 t. [Handbook on radiolocation]. Moscow, : Sov. radio, Publ., T. 4.376 p. (In Russian).
5. Chernyj F. B. (1972). Rasprostranenie radiovoln, [Radiowave propagation]. Moscow, : Sov. radio, Publ. 464 p. (In Russian).
6. Zyryanov Ju. T., Belousov O.A., Fedjunin P.A. (2011). Osnovy radiotekhnicheskikh sistem uchebnoe posobie [The basics of radio systems]. Available at: <http://window.edu.ru/resource/474/76474/files/zyryanov.pdf>.
7. Nikol'skij B.A. (2013). Osnovy radiotekhnicheskikh sistem: [The foundations of radio systems] Available at: http://www.ssau.ru/files/education/uch_posob/ Основы радиотехнических систем Никольский Б.А.pdf.

Рецензент: д.т.н., с.н.с. Хлапонін Ю.І., доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

РАДИОЛОКАЦІЙНИЙ ФАЗОВИЙ ВИМІРЮВАЧ КУТІВ МІСЦЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ

Метою статті є розробка технічного рішення з побудови фазового вимірювача кутів місця цілей для наземної двохкоординатної РЛС мікрохвильового діапазону для ослаблення впливу землі на результати вимірювання.

Для вимірювання кутів місця і висоти цілей двохкоординатними РЛС зазвичай надаються наземні радіовисотомір, які використовують амплітудний, фазовий (і т.п.) методи вимірювання кута місця. Недоліком відомого наземного амплітудного висотоміра є те, що його антена має великий вертикальний розмір і цю антену потрібно качати по куту місця.

Антену вимірювача складається з трьох рознесених по горизонталі і уздовж осі антени прийомних рупорів. Приймально-передавальна антена двохкоординатної РЛС випромінює зондує сигнал, приймає луна-сигнали цілі і використовується для вимірювання азимута та дальності цілі. Вимірюють зрушення фаз сигналу центрального рупора щодо сигналів правого і лівого рупорів. Радіохвилі, відбиті від земної поверхні створюють фази сигналів в трьох рупорах. Ці створення будуть майже однакові в усіх рупорах, так як всі вони знаходяться на однаковій висоті над землею. При вимірі зрушень фаз сигналів ці створення будуть відніматися і земля майже не впливатиме на результати вимірювання кута місця. У чому і полягає основна ідея побудови запропонованого пристрою. Качати цю антену по куту місця не потрібно.

Запропоновано алгоритм роботи пристрою і оцінені його точності характеристики.

Ключові слова: радіолокаційні радіотехнічні системи, метод пеленгування цілі, вимірювання кутів місця і висоти польоту повітряної цілі.

Ph.D. Bakhvalov V.B., Ph.D. Khirkh-Ialan V.I.

RADAR PHASE METER ELEVATIONS OF AIR TARGETS

The purpose of the article is to develop a technical solution for constructing a phase target angle measurer for a ground-based two-coordinate radar in the microwave range to mitigate the influence of the earth on the measurement results.

To measure the angles of location and altitude of targets, two-coordinate radars are usually assigned to terrestrial radio altimeters that use amplitude, phase (etc.) methods of measuring the elevation angle. The drawback of the known terrestrial amphibious altimeter is that its antenna has a large vertical dimension and this antenna needs to be swung around the elevation angle.

The antenna of the meter consists of three receiver horns spaced horizontally and along the antenna axis. The receiving and transmitting antenna of the two-coordinate radar emits a probing signal, receives target echoes and is used to measure the azimuth and range of the target. Measure the phase shifts of the signal of the central horn relative to the signals of the right and left horns. Radio waves reflected from the earth's surface distort the phases of the signals in three horns. These distortions will be almost identical in all the horns, since they are all at the same height above the ground. When measuring phase shifts of signals, these distortions will be subtracted and the ground will almost not affect the results of measuring the elevation angle. What is the basic idea of constructing the proposed device.

The algorithm of operation of the device is proposed and its accuracy characteristics are estimated. The advantage of the proposal is that in it the earth has almost no effect on the results of measuring the elevation angles. The proposal can provide measurement of the angles of the place, but only at very high accuracy of the phase meter.

Keywords: radar radio system, the method of direction finding purpose, angles measuring point and the height of aerial target flight.

УДК 623.496

Головенський В.В. (КЛК НАУ)

ВСТАНОВЛЕННЯ ГРАНИЦЬ СУТТЄВОЇ ПЕРЕВАГИ ПО ДАЛЬНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИГНАЛІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНУ В ПОРІВНЯННІ З ВИДИМИМ

Вдосконалення комплексів світлосигнального обладнання аеродромів ведеться в напрямку освоєння додаткових каналів інформації про ситуацію на посадковій смузі, синтезу багатоканальної інформації з виводом на єдиний екран візуалізації обстановки. Використання інфрачервоного діапазону електромагнітних хвиль для променево-сигнальних систем має ряд суттєвих переваг над системами світлового діапазону. Проте переваги по дальності виявлення ІЧ-сигналів мають природні межі.

Метою роботи є теоретичний аналіз умов, за яких дальності виявлення ІЧ-сигналу і світлосигналу зрівнюються у складних метеорологічних умовах.

У роботі показано, що збільшення концентрації водно-аерозольних часток, як і водності аерозолю, не змінюють співвідношення дальностей виявлення сигналів на різних довжинах хвиль. У той же час, збільшення розмірів часток нівелює переваги по дальності більш довгохвильових сигналів. На основі моделі аномальної дифракції одержано аналітичний вираз для радіусу сферичних водно-аерозольних частинок, при якому дальності виявлення сигналів на різних довжинах хвиль однакові за величиною.

На основі проведеного дослідження інтерпретуються розбіжності в експериментах за далекобаченням «синтетичного зору» в умовах обмеженої видимості.

Ключові слова: видимий та інфрачервоний діапазони, дальність видимості, світлосигнальне обладнання, оптико-електронна система

Вступ. Пошук та надання екіпажу повітряного судна (ПС) інформації про наземну ситуацію на посадковій смузі є запорукою успішного завершення польоту. Для цього використовуються радіотехнічні засоби, що забезпечують підльоти до аеродрому та