

УДК 621.396

С.М. Порошин<sup>1</sup>, В.Б. Бахвалов<sup>2</sup>, І.Г. Леонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «ХПИ», Харків

<sup>2</sup>Військовий інститут при Київському національному університеті ім. Т. Шевченка, Київ

## НАЗЕМНИЙ АМПЛІТУДНИЙ ВИМІРНИК КУТІВ МІСЦЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ

*Пропонується технічне рішення по побудові наземного амплітудного вимірника радіолокації кутів місця повітряних цілей для двохкоординатної РЛС мікрохвильового діапазону. Вимірник містить дві рознесені по висоті приймальні антени, розташовані на малій висоті над землею, хитати (або сканувати) які по куту місця не потрібно. Робота пристрою заснована на вимірюваннях відношення амплітуд сигналів в двох приймальних антенах. Пропозиція може забезпечити вимірювання середніх і малих (але не дуже малих) кутів місця і висоти польоту повітряних цілей.*

*наземний амплітудний вимірник, двохкоординатна РЛС*

### Вступ

**Постановка завдання і аналіз відомих публікацій.** Відомі наземні амплітудні вимірники кутів місця повітряних цілей (висотоміри) зазвичай не можуть достовірно вимірювати малі кути місця [1]. Це обумовлено впливом землі на луна-сигнали цілі в секторі малих кутів місця [2], що утрудняє пеленгацію цілі за кутом місця.

Інший недолік амплітудних висотомірів полягає в тому, що їх антени досить громіздкі, мають великий вертикальний розмір апертури, і антену потрібно сканувати (хитати) за кутом місця при пеленгації цілі.

Методи вимірювання кутів місця для відомих наземних висотомірів детально описані в літературі [1, 3, 4, 6]. У відомих фазових висотомірах хитати антену за кутом місця не потрібно, але вони не можуть достовірно вимірювати середні і малі кути місця із-за неоднозначності результату вимірювання,

яка також викликана впливом землі. У зв'язку з цим в даний час є необхідність розширити можливості наземних амплітудних висотомірів мікрохвильового діапазону і усунути (або ослабити) вказані недоліки відомих висотомірів.

Поставлену задачу пропонується вирішити на основі використання в амплітудному висотомірі двох рознесених по висоті антен, сканувати (або хитати) які за кутом місця не потрібно. Передбачається, що такий висотомір буде використаний у складі двохкоординатної РЛС і працюватиме тільки на прийом, а як передавач буде використаний передавач двохкоординатної РЛС.

**Метою статті** є розробка принципів побудови наземного амплітудного вимірника кутів місця повітряних цілей для двохкоординатної РЛС мікрохвильового діапазону на основі використання у висотомірі двох рознесених по висоті приймальних антен, сканувати (хитати) які за кутом місця не потрібно.

## Основний матеріал

Принцип побудови запропонованої РЛС з таким висотоміром пояснюється рис. 1, де умовно показані дзеркальна антена двохкоординатної РЛС, поверхня землі і приймальна антена висотоміра з двох рознесених по висоті рупорних елементів.

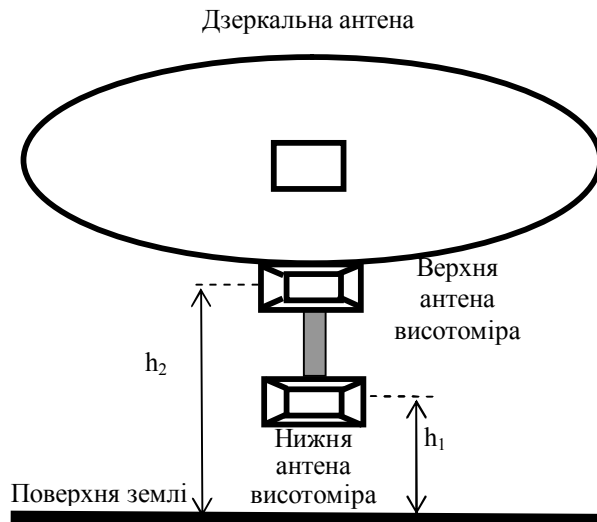


Рис. 1. Антенна система РЛС

Робота запропонованого наземного висотоміра здійснюється таким чином. Наземна імпульсна двохкоординатна РЛС випромінює зондуючі радіоімпульси, приймає луна-сигнал цілі і вимірює похилу дальність і азимут цілі. Антени висотоміра також приймають луна-сигнали цілі прямих і відображених від землі радіохвиль. Вимірюють рівні сигналів на виході антен висотоміра і визначають відношення амплітуд сигналів в нижній і верхній антенах. Кут місця цілі пропонується визначати за цим відношенням амплітуд сигналів.

Нижче пояснюється алгоритм роботи запропонованого наземного амплітудного вимірника кутів місця цілей.

Кут місця цілі  $\theta$  пропонується визначати з рішення наступного трансцендентного рівняння

$$\frac{\left| 1 + K_S R \exp\left(-j \frac{4\pi}{\lambda} h_1 \sin \theta\right) \right|}{\left| 1 + K_S R \exp\left(-j \frac{4\pi}{\lambda} h_2 \sin \theta\right) \right|} = \frac{U_1}{U_2}, \quad (1)$$

де  $U_1$ ,  $U_2$  – амплітуди напруги сигналів в нижній і верхній антенах висотоміра;  $h_1$ ,  $h_2$  – висоти підйому над землею нижньої і верхньої антен висотоміра;  $\lambda$  – довжина хвилі передавача РЛС;  $K_S$ ,  $R$  – коефіцієнти шорсткості і віддзеркалення радіохвиль від земної поверхні (ці коефіцієнти залежать від кута місця цілі і параметрів земної поверхні, формули для них відомі, описані в літературі [2, 6] і тут не наводяться).

Рішення трансцендентного рівняння (1) слід шукати в кутомістному секторі роботи РЛС, а цей

сектор визначається основною приймально-передавальною антеною РЛС.

Головна трудність рішення трансцендентного рівняння (1) полягає в тому, що воно неоднозначне і зазвичай має безліч корнів в кутомістному секторі роботи РЛС. Тому вибрати правильний корінь з множини інших буде скрутно.

Усунути цю неоднозначність пропонується відповідним вибором висоти підйому нижньої антени висотоміра над землею. Проведені розрахунки показали, що рівняння (1) матиме єдине рішення при розташуванні нижньої антени на висоті  $(2 - 4)\lambda$  над землею. Необхідна висота підйому нижньої антени  $h_1$  залежатиме від висоти дрібномасштабних нерівностей на майданчику РЛС і верхнього кута кутомістного сектора роботи РЛС. При цьому, чим ширше робочий кутомістний сектор і менше висота дрібномасштабних нерівностей землі, тим нижче треба розташовувати над землею нижню антену висотоміра для отримання однозначного рішення рівняння (1).

Відповідну висоту підйому нижньої антени висотоміра можна вибрати з серії розрахунків за формулою (1) для набору вказаних параметрів.

При цьому висота підйому верхньої антени висотоміра майже не впливає на однозначність рішення рівняння (1), і висоту верхньої антени можна вибирати з міркувань зручності конструкції антенної системи РЛС.

У відомих наземних маловисотних РЛС трудність полягала в тому, щоб забезпечити велику висоту підйому антени над землею. У запропонованому висотомірі, навпаки, трудність полягає в тому, щоб забезпечити працездатність висотоміра при малій висоті підйому нижньої антени над землею. Ця трудність обумовлена тим, що місцеві предмети на майданчику РЛС (кущі, дерева і т.п.) можуть затінити нижню антену і зірвати роботу висотоміра. Тому рекомендується розчистити майданчик РЛС від місцевих предметів, а використання гори під приймально-передавальною кабіною РЛС в даному випадку не допустимо.

Точність вимірювання кута місця в запропонованому пристрої залежить від кута місця і погрішності вимірювання відношення амплітуд  $U_1/U_2$  сигналів в нижній і верхній антени висотоміра. Приклад розрахунку точнісних характеристик висотоміра представлений на рис. 2, де показана залежність погрішності вимірювання кута місця цілі від погрішності вимірювання відношення амплітуд в %. Розрахунки проведені для кутів місця цілі  $3^\circ$ ,  $4^\circ$  і  $5^\circ$  при таких значеннях початкових даних: довжина хвилі 0,35 м; висоти підйому над землею нижньої і верхньої антен 0,7 м, 1,4 м; земля волога з середньою висотою дрібномасштабних нерівностей 0,3 м; поляризація радіохвиль горизонтальна.

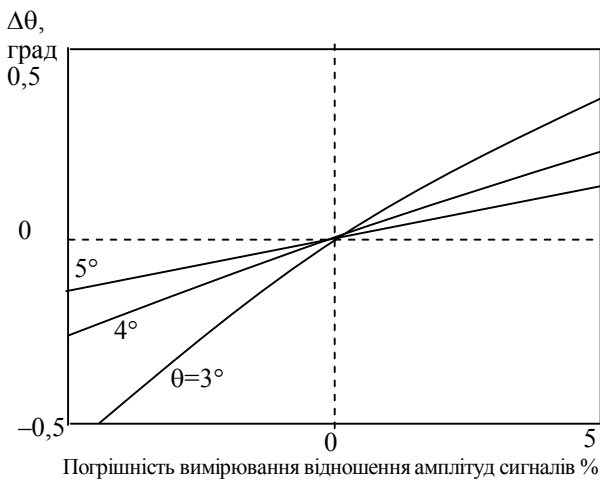


Рис. 2. Погрішність вимірювання кута місця цілі

Розрахунки показують, що запропонований висотомір може забезпечити прийнятну точність вимірювання на середніх кутах місця. Проте із зменшенням кута місця погрішність зростає. Тому дана пропозиція не вирішує проблему вимірювання дуже малих кутів місця. Для отримання такої ж точності вимірювання у відомому амплітудному висотомірі [6] на тій же довжині хвилі за інших рівних умов потрібно було б хитати за кутом місця антену з вертикальним розміром апертури 20 м, що не реально. Тому відомі амплітудні висотоміри у вказаному діапазоні не реалізовані, а використовують значно менші довжини хвиль.

Розрахунки показали, що в секторі кутів місця нижче 5° електричні параметри землі (діелектрична проникність і провідність) майже не впливають на точність вимірювання кута місця цілі за допомогою запропонованого висотоміра. Тому ці параметри можна задати приблизно, виходячи з характеру земної поверхні на майданчику РЛС. Проте середня висота дрібномасштабних нерівностей землі дуже сильно впливає на точність вимірювання кута місця цілі. Тому для роботи висотоміра необхідно знати середню висоту дрібномасштабних нерівностей земної поверхні  $h_n$  на майданчику РЛС. Ця висота зазвичай не відома.

Нижче пропонується, як можна виміряти середню висоту дрібномасштабних нерівностей землі  $h_n$  за допомогою того ж запропонованого висотоміра. Для цього потрібно мати джерело радіовипромінювання на частоті РЛС, кут місця якого відомий з високою точністю. Таке джерело може бути встановлене на майданчику РЛС, або може розташовуватися на своєму літаку, поточні координати якого відомі або визначені (наприклад, за допомогою відомої бортової супутникової навігаційної системи [5]).

Сигнал джерела приймають за допомогою антен запропонованого висотоміра і вимірюють відношення амплітуд  $U_1/U_2$  сигналів в нижній і верхній антені висотоміра. За результатом вимірювання можна визначити середню висоту  $h_n$  нерівностей зем-

ної поверхні на майданчику РЛС. Для цього рекомендується використовувати такі формули

$$h_n = \frac{\lambda}{2\pi \sin \theta} \sqrt{\frac{-\ln K_s}{2}}, \quad (2)$$

де  $\theta$  – кут місця джерела радіовипромінювання;

$K_s$  – коефіцієнт шорсткості земної поверхні, що обчислюється за формулою

$$K_s = \frac{1}{\frac{U_1^2}{U_2^2} - 1} \left\{ -\cos\left(\frac{4\pi h_1}{\lambda} \sin \theta\right) + \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} - 1\right) \cos\left(\frac{4\pi h_2}{\lambda} \sin \theta\right) + \sqrt{\left[ \cos\left(\frac{4\pi h_1}{\lambda} \sin \theta\right) - \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} - 1\right) \cos\left(\frac{4\pi h_2}{\lambda} \sin \theta\right) \right]^2 - \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} - 1\right)^2} \right\}. \quad (3)$$

Формули (2), (3) отримані на основі рівняння (1) при допущенні, що коефіцієнт віддзеркалення радіохвиль від землі близький до  $-1$ . Це справедливо при кутах місця менш 5°.

Недолік запропонованого пристрою полягає в тому, що нижня і верхня антени висотоміра мають порівняно малий коефіцієнт посилення. Тому для отримання необхідного співвідношення сигнал/шум в приймальних каналах висотоміра потрібно буде використовувати в РЛС передавальну антену з великим коефіцієнтом посилення і передавач великої потужності.

Головною перевагою запропонованого висотоміра є те, що його антена має порівняно малі розміри і хитати (сканувати) її по куту місця не потрібно, що значно спрощує конструкцію висотоміра без погіршення його точнісних характеристик.

## Висновок

Розроблені принципи побудови наземного амплітудного вимірника радіолокації кутів місця (або висоти польоту) повітряних цілей. Такий вимірник використовується спільно з двохкоординатною імпульсною РЛС і працює тільки на прийом. Антена висотоміра складається з двох рознесених по висоті приймальних антен, розміщених на малій висоті над землею. Хитати (або сканувати) цю антену за кутом місця не потрібно. Робота висотоміра заснована на вимірюваннях відношення амплітуд сигналів в двох приймальних антенах. Запропонований алгоритм роботи висотоміра і оцінені його точнісні характеристики. Запропонований також метод використання запропонованого пристрою для вимірювання середньої висоти дрібномасштабних нерівностей земної поверхні на майданчику РЛС. Інформація про ці нерівності необхідна для реалізації алгоритму роботи запропонованого висотоміра. Пропозиція може забезпечити вимірювання середніх і малих (але не дуже малих) кутів місця і висоти польоту повітряних цілей.

## Список літератури

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. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника (в четырех томах) под общ. ред. К.Н. Трофимова. Том 4. Радиолокационные станции и системы. Под ред. М.М. Вейсбейна. – М.: Сов. радио, 1978.

Надійшла до редколегії 5.12.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.І. Карпенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.