

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МЕТЕОРНОГО РАДИАНТА

**И. Е. Антипов**

Доктор технических наук, заведующий кафедрой\*

Контактный тел.: (057) 702-14-44

E-mail: I\_ant@mail.ru

**Набиль Оде Имнехир**

Аспирант\*

Контактный тел.: 093-763-15-39

E-mail: nabeeloude@mail.ru

**Р. В. Шандренко\***

Контактный тел.: 063-758-22-85

E-mail: shandrenkoruslan@mail.ru

\*Кафедра радиоэлектронных устройств

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
пр. Ленина, 16, г. Харьков, Украина, 61166

*Стаття присвячена практичному розрахунку координат метеорного радіанта із використанням методу, який був запропонований в роботі [1]. Крім цього, розглядаються елементи моделі сліду метеора, яка може бути використана для оцінки його параметрів за амплітудно-часовій характеристиці (АЧХ)*

**Ключові слова:** вимірювання координат, метеорний радіант

*Статья посвящена практическому расчёту координат метеорного радианта с использованием метода, предложенного в работе [1]. Кроме того, рассматриваются элементы модели метеорного следа, которая может быть использована для оценки его параметров по амплитудно-временной характеристике (АВХ)*

**Ключевые слова:** измерение координат, метеорный радиант

## Введение

В 70-е годы в Харькове были проведены наблюдения отражений радиосигнала от ионизированных следов метеоров. Данные эти сохранены в архиве Харьковского национального университета радиоэлектроники, и они представляют большую научную ценность, эти данные позволяют изучать природу метеорных потоков. В частности, исследуя амплитудно-временные характеристики радиосигнала, можно определить его радиант. Метод по которому определялся радиант метеора требовал вычисление на основе трех АВХ. В работе [1] показано, для определения координат радианта совсем не обязательно знать все три АВХ – достаточно иметь две. Причём, одна из них должна обязательно быть получена в главном пункте, а вторая в одном из выносных.

## Ранее предложенный метод и его проверка

На рис. 1 представлена блок-схема «классического» [3] алгоритма расчёта, использующего все три АВХ, а на рис. 2 разработанный авторами [1].

При разработке алгоритма предполагалось, что он позволит извлечь информацию из фотоснимков АВХ, которые не были обработаны ранее из-за того, что содержали всего две АВХ. Но в результате проведённых исследований было установлено, что он достаточно точно позволяет найти направляющие косинусы радианта.

Это позволяет предположить, что при развитии метода активной локации метеорных следов в дальнейшем можно ограничиться только двумя пунктами: одним основным и всего одним выносным, что позво-

лит снизить затраты на проведение исследований и повысить надёжность.

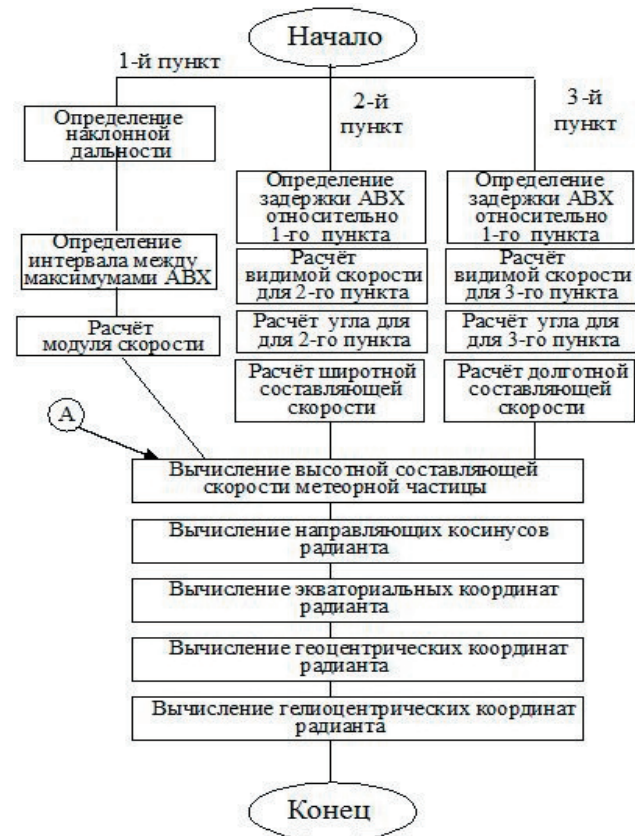


Рис. 1. Алгоритм расчета радианта метеора с использованием 3-х АВХ

С целью практической проверки предложенного алгоритма была составлена программа, работающая в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 2. С использованием этой программы были выполнены расчёты для нескольких фотографических изображений АВХ. Причём для проверки были взяты такие фотоизображения, на которых, в действительности, присутствовали все три АВХ (из всех трёх выносных пунктов). Контрольный расчёт был выполнен с использованием всех трёх АВХ (рис. 1), а затем с использованием всего двух АВХ (алгоритм на рис. 2).

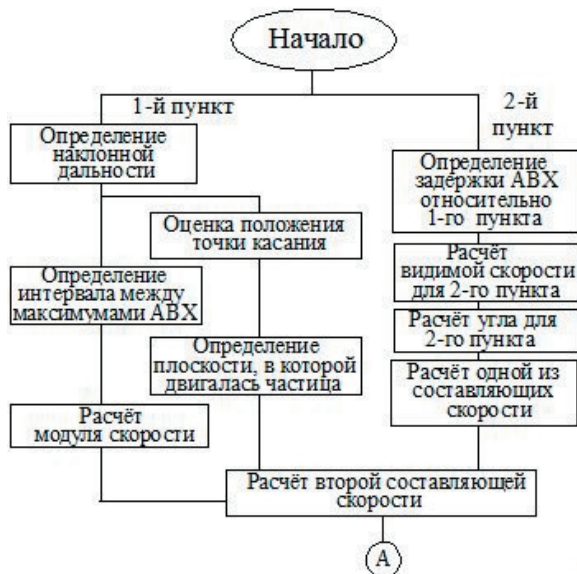


Рис. 2. Алгоритм расчета радианта метеора с использованием 2-х АВХ

В табл. 1 приведены результаты расчёта для 6 метеорных АВХ.

Таблица 1

№	R, км	V <sub>abs</sub> , км/с	Δt <sub>1</sub> , мс	Δt <sub>2</sub> , мс	Δt <sub>3</sub> , мс	Методика 1			Методика 2			δ <sub>max</sub>
						V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	
1	200	40,7	10	16	40	12,3	17,2	34,7	12,3	18,8	33,9	0,09
2	240	39	12,2	26	35	18,7	14,4	31,4	18,7	14,8	31,2	0,02
3	220	27,9	16	28	40	10,1	8,1	24,7	10,1	11,1	23,7	0,37
4	225	22,9	20	40	72	9,7	9,7	18	9,7	9,4	18,4	0,03
5	275	31	18	4	32	3,6	8,0	29,8	3,6	10,4	29,0	0,30
6	280	16,7	34	24	34	3,1	2,5	16,5	3,1	5,5	15,4	1,2

В последнем столбце таблицы приведены относительные значения максимальных погрешностей результатов вычислений (для наибольшей ошибки). Как видно из таблицы, для большинства некоторых из обработанных АВХ эта погрешность не превышает 10%, что является допустимым, но в ряде случаев погрешность по одной из составляющих скорости превышает 100%. Наибольшая погрешность возникает в тех случаях, когда этой программы были выполнены расчёты для нескольких фотографических изображений АВХ. Причём, для проверки были взяты такие

фотоизображения, на которых, в действительности, присутствовали все три АВХ (из всех трёх пунктов).

**Учёт постоянной времени рассеяния следа**

В работе [1] отмечается, что дополнить информацию о недостающей АВХ можно оценив разность расстояний по взаимной задержке импульсов. В данной работе в качестве дополнительной информации используем форму АВХ на её спадающем участке, соответствующем разрушению следа.

Как известно [3], после формирования метеорный след начинает разрушаться. Это разрушение характеризуется коэффициентом амбиполярной диффузии. Из [2] известно, что коэффициент амбиполярной диффузии D связан с высотой метеорного следа Hm следующим эмпирическим соотношением:

$$D = 2,15 \cdot 10^{-7} \exp\left(\frac{Hm}{5450}\right). \tag{1}$$

График функции представлен на рис. 3.

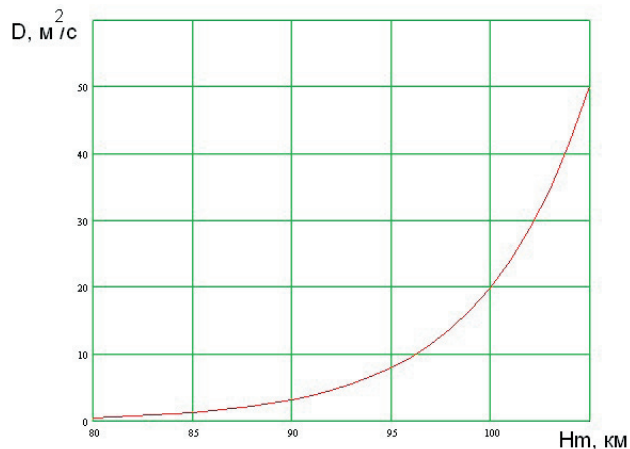


Рис. 3. Зависимость коэффициента амбиполярной диффузии от высоты

Постоянная времени рассеяния следа может быть выражена через постоянную времени его рассеяния как

$$D = \frac{\lambda^2}{16\pi^2\tau}, \tag{2}$$

где τ - постоянная времени рассеяния след, иначе говоря, время, в течение которого амплитуда сигнала уменьшается в e раз.

Подставляя (2) в (1), получаем

$$Hm = 5450 \ln\left(\frac{\lambda^2}{3,44 \cdot 10^{-6} \pi^2 \tau}\right), \tag{3}$$

или, для рабочей длины волны МАРС λ = 8,13 м, выражение примет вид

$$Hm = 5,45 \ln\left(\frac{1,95 \cdot 10^6}{\tau}\right). \tag{4}$$

График функции (4) представлен на рис. 4.

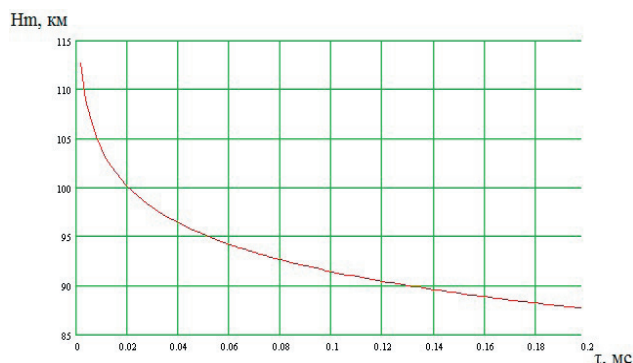


Рис. 4. Зависимость высоты от постоянной времени рассеяния  $\tau$

Зависимость (4) позволяет найти высоту метеорного следа по постоянной времени рассеяния, используя его амплитудно-временную характеристику.

Для расчёта постоянной времени следует можно использовать тот участок АВХ, где колебательные изменения прекращаются и начинается экспоненциальный спад амплитуды сигнала.

Информация о высоте метеорного следа при наличии наклонной дальности уменьшит неопределённость его местоположения.

Практически эту информация можно использовать так.

В соответствие с алгоритмом 1 или 2 определяется модуль скорости и одна из известных её проекций.

Если отсутствует АВХ одного из выносных пунктов, то вычисляется угол

$$\phi_2 = \arcsin\left(\frac{H_m}{R}\right). \quad (5)$$

Найдённый угол (с учётом поправки на то, что направление на первый выносной пункт несколько отличалось от направления на восток) используется для расчёта долготной составляющей скорости метеорного следа.

Результаты расчётов, выполненные для тех же метеорных следов с учётом внесённой поправки показали, что погрешность по сравнению с «контрольным» расчётом уменьшилась до 5...7%.

### Вывод

Результаты работы позволят извлечь информацию из большего количества архивных фотографий метеорных АВХ [4]. Кроме того, совершенствование метода позволит в перспективе оптимизировать работу выносных пунктов, уменьшив их количество.

### Литература

1. Антипов, И. Е. Восстановление координат метеорного радианта по неполной радиолокационной информации [Текст] / Антипов И. Е., Набиль оде Имнехир, Шандренко Р. В. // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2012. – № 169. – С. 39-46.
2. Антипов, И. Е. Оптимизация ориентации диаграмм направленности антенн метеорных радиотехнических систем с целью повышения их пропускной способности в условиях коротких трасс [Текст] : дисс... канд. техн. Наук / Антипов И. Е. – Харьков, 1996. – 144 с.
3. Кашеев Б. Л. Метеорные явления в атмосфере Земли [Текст] / Кашеев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М.Ф. – М.: Наука, 1967. – 260 с.
4. Баранчиков Д. А., Шандренко Р. В, Сорох Н. О. Создание автоматизированного стенда для оцифровки данных с фотопленки.// Сборник научных трудов 4-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Перспективы и развитие» - Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2011.- 352-354 с.

### Abstract

*The data obtained at the automatic meteor station of Kharkiv National University of Radio Electronics, is of great scientific value, as it helps to obtain information about the nature of meteors and their distribution in the Solar system.*

*The method for determination of meteor radiant requires three amplitudes-time characteristics, i.e. the receipt of echo signal in three remote areas of the automatic meteor station at once. However, many of registered echo signals have less than three amplitudes-time characteristics, making it impossible to calculate the parameters of respective meteors.*

*The article represents the computing method of meteor radiant with two amplitudes-time characteristics. As an additional parameter, the height of meteor trail is suggested, as it may be determined by the time constant of its dispersion.*

*The research results help to get information from the number of archival photos of meteor amplitudes-time characteristics. Besides, the improvement of the method will provide optimization of remote areas functioning, reducing their number*

**Keywords:** coordinate measuring, meteor radiant