

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТ МЕТЕОРОВ

В. В. Жуков, Б. С. Дудник

Для детального изучения метеорных явлений и уточнения их связи с параметрами атмосферы необходимо знать высоту отражающей «точки» метеора с достаточно высокой точностью. Для этих целей в Харьковском политехническом институте изготовлен фазовый высотомер, работающий в импульсном режиме.

Направление прихода радиоволн в пространстве определяется сдвигом фаз между ЭДС, наведенных в двух взаимно-перпендикулярных парах (базах) антенн. Углы прихода радиоволн и измеряемые разности

фаз сигналов, наведенных в антеннах, связаны следующими соотношениями:

$$\epsilon = \arcsin \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta\varphi_{5,3}\lambda}{2\pi d_1}\right)^2 - \left(\frac{\Delta\varphi_{5,2}\lambda}{2\pi d_2}\right)^2}; \quad (1)$$

$$\theta = \arcsin \left(\frac{\Delta\varphi_{5,3}}{\Delta\varphi_{5,2}} \frac{d_1}{d_2}\right). \quad (2)$$

Здесь ϵ , θ — угол места и азимут отражающей точки;

d_1 , d_2 — антенные базы;

λ — длина волны.

Эти выражения позволяют определить высоту отражающей «точки» метеорного следа

$$h = R \sin \epsilon + \frac{R^2 \cos^2 \epsilon}{2R_3}, \quad (3)$$

где R — наклонная дальность;

R_3 — радиус Земли;

$\frac{R^2 \cos^2 \epsilon}{2R_3}$ — поправка, учитывающая сферичность Земли.

Для увеличения точности измерения фазовых сдвигов необходимо увеличивать размеры баз, но при $d > \frac{\lambda}{2}$ результат отсчета угла становится многозначным. В нашем случае многозначность устраняется применением пяти антенн. «Малой» базой является разность двух больших баз. Передающая антенна обладает хорошей направленностью и малым уровнем боковых и задних лепестков, поэтому размер «малой» угломестной базы выбран равным длине волны. На местности антенны расположены «крестом». Каждая антенна представляет собой трехэлементный волновой канал с полосой пропускания 2 *МГц*, коэффициентом направленного действия (к. н. д.) 8 (с учетом влияния Земли) и шириной главного лепестка в горизонтальной плоскости на уровне 3 *дБ* — 60°. Высота подвеса антенн равна 0,4 λ .

Электрические длины кабелей, соединяющих антенны с двухканальным приемником, были подобраны с помощью электронного фазометра с точностью 1—2°. Кабели расположены на антенной площадке таким образом, чтобы все они находились в одинаковых условиях; последнее важно, так как температурный коэффициент фазы кабелей со сплошной полиэтиленовой изоляцией равен $\sim 4 \cdot 10^{-6}$ рад/°С. Каждая из антенн подключена к отдельным каскадам УВЧ, управляемых коммутатором (рис. 1). Коммутируемые каскады УВЧ выполнены по схеме с заземленным катодом на малощумящих пентодах, входные контуры которых зашунтированы резисторами 75 *ом* и обладают пологой фазовой характеристикой. Возможная погрешность, которая создается входными контурами из-за неточной их настройки, а также из-за фазовой нестабильности в процессе эксплуатации, составляет 1°. Отпирание коммутируемых каскадов, запертых по экранной сетке, производится поочередно импульсами коммутатора с частотой повторения 500 *Гц*. Одновременно коммутирующие импульсы используются для подсвета трубок так, что каждой базе (паре антенн) соответствует определенная трубка. В пятом цикле работы коммутатора оба канала подключаются к центральной (пятой) антенне. При этом подсвечиваются все трубки и напряжение на третьих анодах всех трубок понижается почти вдвое подачей отрицательного импульса длительностью 2000 *мксек*. Тем самым на трубках образуется круг большого диаметра, на котором воспроизводится по-кадровый «электрический нуль». Это снижает аппаратную погрешность

прибора из-за нестабильностей фазовых характеристик приемников и позволяет почти полностью избавиться от динамической погрешности фазово-импульсных измерений.

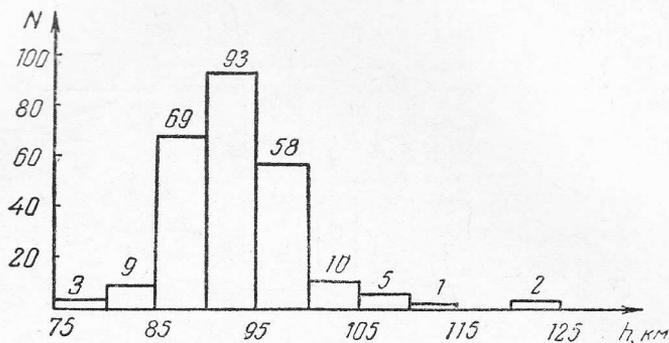


Рис. 2.

При средней продолжительности метеорного радиоэха 0,1 сек на индикаторах сигнал повторится в среднем десять раз. Кроме того, в течение всего радиоимпульса на трубках подсвечивается примерно 36 периодов промежуточной частоты. На фотопленке воспроизведется усредненная информация о фазовом сдвиге. В остальном схема мало чем отличается от описанной в работе [1].

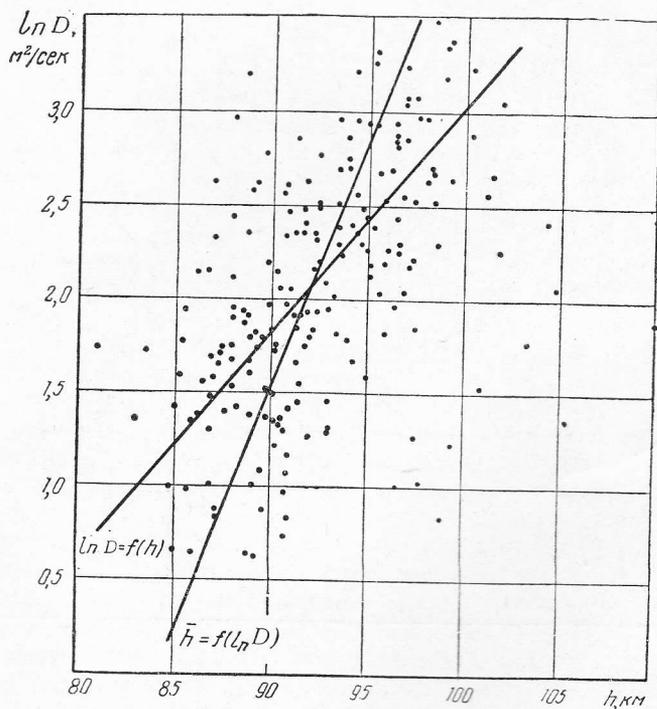


Рис. 3.

При импульсной мощности передатчика 1 *Мвт*, длительности импульса 30 *мксек*, к. н. д. передающей антенны 244 регистрируются высоты метеоров до $+10^m$ со среднеквадратичной погрешностью $\pm 1,0$ км [2].

Высотные зависимости строились по радиоотражениям от ненасыщенных метеорных следов, полученным 8 и 9 сентября 1969 года. На рис. 2 изображена гистограмма распределения метеоров по высотам. Для определения коэффициента амбиполярной диффузии D по спаду амплитудно-временной характеристики (АВХ) использовалась несколько иная методика, которая позволила расширить диапазон обрабатываемых метеоров по сравнению с ранее применявшейся [3]. Обобщенный параметр Δ определялся по отношению экстремумов АВХ с помощью графиков, приведенных в работе [4]. Коэффициент амбиполярной диффузии D находим из формулы

$$D = \frac{\Delta_{\text{ср}} V \lambda^2}{8\pi^2 \sqrt{R}}$$

где V — скорость метеора;

R — дальность до следа;

$\Delta_{\text{ср}}$ — усредненный по четырем графикам [4] обобщенный параметр.

На рис. 3 изображена высотная зависимость $\ln D$, $\text{м}^2/\text{сек}$. Для высотного интервала 85—100 км был проведен корреляционный анализ в предположении, что $\ln D$ и h связаны линейной корреляционной связью. На этом же рисунке проведены линии регрессии $\ln D$ на h (I) и \bar{h} на $\ln D$ (II).

Экспериментальная зависимость средней высоты $h_{\text{ср}}$ от скорости V для радиометеоров $+8 \div 10^m$ выглядит следующим образом:

V км/сек	12,5	22,5	32,5	42,5	52,5	62,5	67,5
$h_{\text{ср}}$ км	88,9	92,4	94,9	97,0	97,9	99,5	100,7

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. С. Дудник. Метод измерения угловых координат метеорного радиоэха. «Геофизический бюллетень». Изд-во «Наука», 1966. *издание ИРК*
2. В. В. Жуков. Погрешности фазового высотомера. См. статью настоящего сборника.
3. Б. Л. Кащеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин. Метеорные явления в атмосфере Земли. Изд-во «Наука», 1967.
4. M. Simek. The influence of ambipolar diffusion on the shape of radio echoes from meteors. «Can. J. Phys». 1968, 46, 1563.

ПОГРЕШНОСТИ ФАЗОВОГО ВЫСОТОМЕРА

В. В. Жуков

Погрешности высотомера определялись двумя способами [1]; расчетным путем определялись погрешности отдельных каскадов аппаратуры и находилась суммарная погрешность;

в рабочих условиях с помощью высоколетящего самолета и стандартной станции сопровождения проводилась калибровка всего устройства.

Инструментальные погрешности фазового высотомера, установленные аналитическим путем, следующие [1].

1. Погрешность отсчета фазовых сдвигов по фоторегистрациям.

При обработке экспериментальных данных (более 500 метеоров) было установлено, что при диаметре кольцевых разверток порядка 12 см на аппарате «Микрофот» с объективом ю-12 случайная погрешность отсчета фазовых сдвигов не более 3°.

2. Аппаратурная ошибка в результате уменьшения скорости движения электронов в трубках при формировании «электрического нуля».