

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ МЕТЕОРОВ МЕТОДОМ
РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА

Э. К. НЕМИРОВА

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

В установках, работающих по методу разнесенного приема, обычно используются один передатчик и три приемника, один из которых расположен вместе с передатчиком, а два других вынесены на расстояние порядка нескольких километров. В таких системах имеется возможность измерять скорости метеоров даже в том случае, если метеор не дает четкой дифракционной картины.

Замеряя дальность в трех приемных пунктах, можно найти положение на следе трех отражающих точек O_1 , O_2 и O_3 . При этом

$$v = \frac{O_1 O_2}{\tau_1} = \frac{O_2 O_3}{\tau_2},$$

где τ_1 (τ_2) — время пролета метеором расстояния $O_1 O_2$ ($O_2 O_3$). Таким образом, измерение скорости сводится к измерению времени пролета τ между двумя отражающими точками. Время τ можно измерить, фиксируя какую-либо точку на дифракционной картине, например, момент максимума амплитуды, который обычно четко выражен.

В некоторых системах, использующих вынесенный приемный пункт, знание времени пролета необходимо для определения положения следа в пространстве (направления на радиант).

Установки для измерения скоростей и определения радиантов методом разнесенного приема в основном используются для измерений на слабых метеорах, т. е. метеорах неустойчивого типа. Как известно, в следах такого типа возможны резонансные явления [1]. Резонанс сопровождается сдвигом (запаздыванием) дифракционной картины.

Величина запаздывания определяется условиями отражения (электронной плотностью α , коэффициентом диффузии D , величиной начального радиуса r_n , дальностью R , длиной волны λ и т. д.). В том случае, когда отражающие точки расположены в разных частях следа, эти условия могут быть различными, в частности, могут быть значительные отличия величин электронных плотностей α [2]. За счет разной высоты отражающих точек могут быть не равны коэффициенты диффузии и начальные радиусы. Это, в свою очередь, приведет к неравенству времен запаздывания и, следовательно, к погрешности при измерении времени пролета, т. е. скорости.

При оценке этой погрешности ограничимся плоской задачей (рис. 1, след лежит в одной плоскости с базой a).

Когда база a составляет несколько километров,

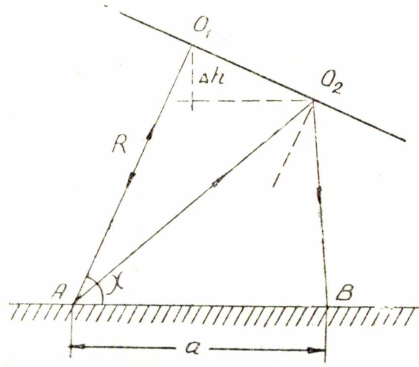


Рис. 1. Геометрия отражения при разнесенном приеме (плоский случай).

$$O_1 O_2 \cong \frac{a \sin \chi}{2}.$$

Как показали расчеты по методу, изложенному в [3], величина запаздывания Δt зависит от отношения длины резонирующего участка следа $l_{рез}$ к $\sqrt{R\lambda}$. При $r_H \cong 0$ эта зависимость хорошо аппроксимируется выражением

$$\frac{\Delta t}{T_1} \cong 0,78 (1 - e^{-l_{рез} \sqrt{R\lambda}}).$$

При $r_H \neq 0$ $\frac{\Delta t}{T_1} \cong 0,78 [(1 - e^{-l_{рез} \sqrt{R\lambda}}) - r_H^{1,08} \cdot 10^{-2}]$, где r_H — в см.

T_1 — величина 1-го периода идеальной дифракционной картины

$$T_1 \cong 0,62 \sqrt{R\lambda} / v.$$

Скорость $v = \frac{O_1 O_2}{\tau}$, относительная погрешность измерения v

$$\delta v = - \frac{\delta \tau}{1 + \delta \tau},$$

где $\delta \tau = \frac{\Delta \tau}{\tau}$ и $\Delta \tau = \Delta t_2 - \Delta t_1$.

С учетом того, что

$$l_{рез} = B \frac{\alpha \lambda^2}{\pi^2 D} [3],$$

где $B \cong 0,65 \cdot 10^{-13}$ см,

$$\delta \tau \cong 0,98 \frac{\sqrt{R\lambda}}{a \sin \chi} [e^{-B \frac{\alpha \lambda^2}{\pi^2 D_1} \cdot \frac{v}{\sqrt{R\lambda}}} (1 - e^{-B_1 \frac{\lambda^2 v}{\pi^2 \sqrt{R\lambda}} (\frac{\alpha_2}{D_2} - \frac{\alpha_1}{D_1})}) - (r_{H_1}^{1,08} - r_{H_2}^{1,08}) \cdot 10^{-2*}].$$

Отличие электронной плотности, коэффициентов диффузии и начальных радиусов в отражающих точках определяется разностью высот этих точек

$$\Delta h = \frac{a \sin \chi}{2} \cdot \cos \chi,$$

а также высотой и положением на следе одной из них по отношению к точке максимальной ионизации.

*) Формула применима в том случае, когда α_1 и $\alpha_2 \ll 2,4 \cdot 10^{12}$ электронов на см.

Погрешность $\delta\tau$ достигает максимальной величины в том случае, когда метеорный след вблизи одной из отражающих точек находится в состоянии резонанса, а вблизи другой точки резонанс невозможен. Такие условия могут создаться за счет значительной разницы в электронных плотностях, когда в одной из отражающих точек след является устойчивым, а в другой неустойчивым. Такое anomальное различие электронных плотностей (\sim в 10 раз) при небольшой разнице в высотах ($\sim 2,5$ км) часто наблюдалось в экспериментах Грингоу и Ньюфелда [2].

Величина максимальной ошибки равна

$$\delta\tau_{\max} \cong \frac{\sqrt{R\lambda}}{a \sin \chi} [(1 - e^{-l_{\text{рез}}/\sqrt{R\lambda}}) - r_H^{1,08} \cdot 10^{-2}];$$

здесь $l_{\text{рез}}$ и r_H соответствуют точке с меньшей электронной плотностью. $\delta\tau_{\max}$ близка к своему наибольшему значению при $r_H \cong 0$ и $l_{\text{рез}}/\sqrt{R\lambda} \cong 3$ (рис. 2). (1)

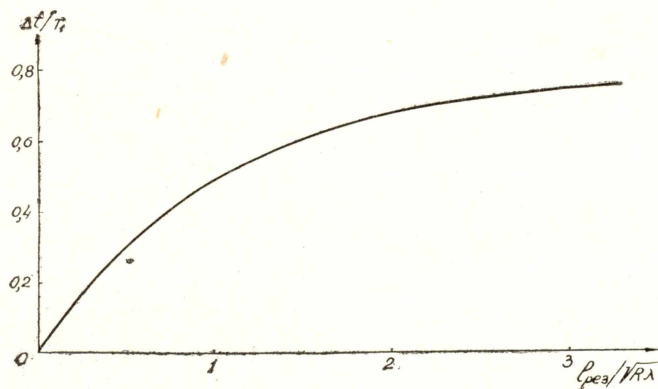


Рис. 2. Зависимость $\Delta t/T_1$ от $l_{\text{рез}}/\sqrt{R\lambda}$

Физически эти условия означают, что точка с меньшей электронной плотностью лежит на небольшой высоте, значительно меньшей характеристической, причем a достаточно велико (оставаясь $\ll 2,4 \cdot 10^{12}$ см $^{-1}$). Так как $l_{\text{рез}} \propto \lambda^2$, условия (1) должны чаще встречаться при наблюдении на более длинных волнах.

Из рис. 2 $\Delta t_{\max}/T_1 \cong 0,75$, отсюда

$$\delta\tau_{\max\max} \cong 0,93 \cdot \frac{\sqrt{R\lambda}}{a \sin \chi}.$$

Величина наибольшего значения погрешности $\delta\tau_{\max}$ при разных базах приведена на рис. 3. Как видно из рисунка, погрешность при малых базах ($\sim 2 \div 4$ км) достигает несколько десятков процентов. Однако с уменьшением базы вероятность резкого различия электронных плотностей уменьшается. Для следов, у которых электронная плотность меняется с высотой в соответствии с кривой ионизации [2], погрешность зависит от разности высот отражающих точек и различна в каждом из трех следующих случаев:

Первый случай — обе точки лежат вблизи характеристической высоты h_m .

Второй случай — высоты обеих точек больше h_m .

Третий случай — высоты меньше h_m .

Зависимость $\delta\tau$ от базы a для ряда случаев приведена на рис. 4. Погрешность вычислена при $R = 200$ км, $\lambda = 10$ м, $\chi = 45^\circ$, $v = 35 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$ ($h_m = 92$ км).

Наиболее существенной причиной возникновения погрешности является изменение электронной плотности вдоль следа. Поэтому в первом случае, когда обе точки лежат вблизи характеристической высоты (α при этом меняется мало), погрешность незначительна.

Когда h_1 и $h_2 > h_m$, погрешность $\delta\tau$ составляет несколько процентов ($\leq 10\%$) и почти не зависит от величины базы и высоты, несколько увеличиваясь с увеличением α .

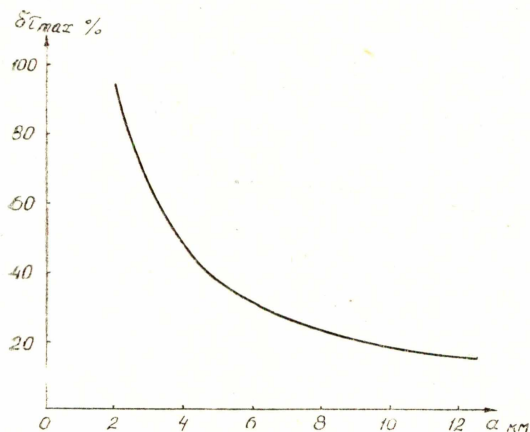


Рис. 3. Наибольшее значение погрешности $\delta\tau_{\text{max}}$ в зависимости от величины базы a при $R = 200$ км, $\lambda = 10$ м и $\chi = 45^\circ$.

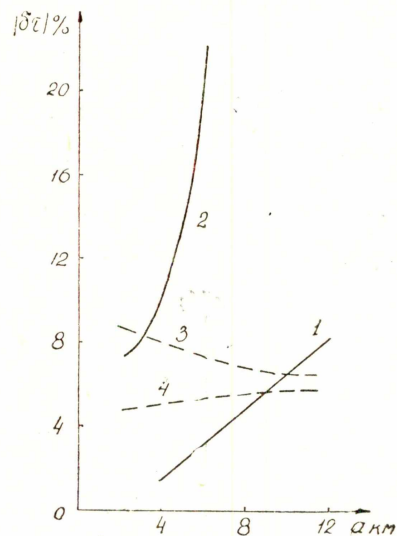


Рис. 4. Погрешность $\delta\tau$ в зависимости от базы для некоторых частных случаев: 1 — $h_1 = 90$ км, $D_1 = 2,2$ м²/сек, $\alpha_1 = 3 \cdot 10^{11}$ см⁻¹; 2 — $h_1 = 88$ км, $D_1 = 1,58$ м²/сек, $\alpha_1 = 3 \cdot 10^{11}$ см⁻¹; 3 — $h_1 = 100$ км, $D_1 = 10$ м²/сек, $\alpha_1 = 3 \cdot 10^{11}$ см⁻¹; 4 — $h_1 = 102$ км, $D_1 = 13,3$ м²/сек, $\alpha_1 = 10^{11}$ см⁻¹.

При h_1 и $h_2 < h_m$ погрешность возрастает с увеличением базы, величины погрешности тем больше, чем ниже расположены отражающие точки. Это объясняется более резким изменением α с высотой в начале следа.

Для метеоров с большими скоростями длина резонирующего участка больше (при прочих равных условиях), поэтому $\delta\tau$ должно быть больше.

Погрешность резко снижается с уменьшением длины волны, так как при этом резко уменьшается величина запаздывания Δt .

При работе в длинноволновой части метрового диапазона ($\lambda \sim 8 \div 10$ м) погрешность значительна, ее можно исключить при наблюдении потока путем обеспечения параллельной поляризации, а при наблюдении спорадического фона — отбрасыванием отражений с перпендикулярной поляризацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. T. R. Kaizer, R. L. Closs, Philos. Mag. **43**, 1, 1952.
2. J. S. Greenhow, E. L. Neufeld, Mon. Not. RAS, **117**, № 4, 1957.
3. Немирова Э. К. О роли резонансных эффектов при измерении скоростей метеоров, Астрон. журнал, том XXXVI, вып. 3, 1959.