

## ОБ УСЛОВИЯХ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРОВАННЫХ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Е. И. ФИАЛКО

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

### Введение. Постановка задачи

Знание зависимости числа зарегистрированных метеоров от параметров радиолокатора и характеристик атмосферы и метеоров необходимо как для интерпретации результатов наблюдений, так и для проектирования систем.

Для случаев устойчивых и неустойчивых следов эти зависимости различны. Поэтому прежде, чем пользоваться расчетными соотношениями, необходимо выяснить, способна ли система обнаруживать неустойчивые следы, или она может регистрировать лишь следы устойчивого типа.

Практический интерес представляет прием эхо-сигналов из области характеристической высоты  $h_m$ . Поэтому целесообразно получить критерии, позволяющие оценить возможности радиолокаторов при наклонных дальностях, соответствующих характеристическим высотам.

Настоящая работа посвящена нахождению критериев, позволяющих судить о способности системы регистрировать следы различных типов как при уверенном, так и при случайном обнаружении метеоров в условиях нормального отражения радиоволн от ионизированных следов.

### Основные соотношения

Низкочувствительные системы способны регистрировать лишь следы устойчивого типа (с линейной плотностью электронов  $\alpha \gg 2,4 \cdot 10^{12}$  эл/см). Условие обнаружения лишь устойчивых следов имеет вид [1]

$$\frac{P_i G^2}{\varepsilon_n} \left( \frac{\lambda}{R} \right)^3 \lesssim 2 \cdot 10^3, \quad (1)$$

где  $P_i$  — мощность излучения в импульсе;

$G$  — коэффициент направленного действия антенны;

$\varepsilon_n$  — мощность порогового сигнала;  $\lambda$  — длина волны;

$R$  — наклонная дальность от локатора до следа (по нормали).

Уверенное обнаружение устойчивых следов имеет место при одновременном выполнении условий (1) и (2) [1]:

$$\frac{P_i G^2}{\varepsilon_n} \left( \frac{\lambda}{R} \right)^3 \lesssim \frac{520 \cdot \lambda}{\sqrt{D T_{\min}}}, \quad (2)$$

где  $D$  — коэффициент диффузии;  $T_{\min}$  — минимально-необходимое время превышения порогового уровня метеорным радиоэхо, соответствующее уверенному обнаружению;  $T_{\min}$  характеризует оперативность радиолокатора.

При выполнении условий (1) и (2) отражение, достигшее порогового уровня, ( $\varepsilon \approx \varepsilon_n$ ), имеет длительность  $T \geq T_{\min}$ . Если же отражение, достигшее порогового уровня, имеет длительность  $T < T_{\min}$ , то будет происходить как уверенное, так и случайное обнаружение устойчивых метеорных следов; это условие имеет вид [1]

$$520 \frac{\lambda}{\sqrt{D T_{\min}}} < \frac{P_i G^2}{\varepsilon_n} \left( \frac{\lambda}{R} \right)^3 \lesssim 2 \cdot 10^3. \quad (3)$$

По мере повышения чувствительности системы будут регистрироваться не только устойчивые следы, но также следы промежуточного ( $\alpha \approx 10^{12}$  эл/см) и неустойчивого ( $\alpha \ll 2,4 \cdot 10^{12}$  эл/см) типов.

Практически следы с линейной плотностью электронов  $\alpha < 5 \cdot 10^{11}$  эл/см проявляют свойства, характерные для неустойчивых следов.

Грубое условие регистрации неустойчивых следов имеет вид [2]

$$\frac{P_i G^2}{\varepsilon_n} \left( \frac{\lambda}{R} \right)^3 \gtrsim 1,5 \cdot 10^4. \quad (4)$$

Более точное условие учитывает ослабление эхо-сигнала вследствие того, что начальный радиус столба имеет конечную величину, а диффузия успевает придать следу параболическую форму в пределах 1-й зоны Френеля (при ее формировании) [2]:

$$\frac{P_i G^2}{\varepsilon_n} \left( \frac{\lambda}{R} \right)^3 \xi^2 \cdot e^{-2 \left( \frac{2\pi r_0}{\lambda} \right)^2} \gtrsim 1,5 \cdot 10^4, \quad (5)$$

где

$$\xi \approx \frac{1 - e^{-1,5 \Delta^{0,5}}}{1,5 \cdot \Delta^{0,5}} \quad [3]; \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{16 \pi^2 D R^{1/2}}{v \cdot \lambda^{3/2}} \quad [4]. \quad (7)$$

Следует отметить, что в случае, когда левая часть неравенства (5) приблизительно равна  $1,5 \cdot 10^4$ , следы с линейной плотностью  $\alpha \approx 5 \cdot 10^{11}$  эл/см едва достигают порогового уровня  $\varepsilon_n$ , и поэтому обнаруживаются случайно. Следы же с большими  $\alpha$  могут обнаруживаться уверенно, но они будут относиться к следам промежуточного и устойчивого типов.

Для того, чтобы следы с линейной плотностью электронов  $\alpha \approx 5 \cdot 10^{11}$  эл/см обнаруживались уверенно, необходимо выполнение условия [2]

$$\frac{P_i G^2}{\varepsilon_n} \left( \frac{\lambda}{R} \right)^3 \cdot \xi^2 \cdot e^{-2 \left( \frac{2\pi r_0}{\lambda} \right)^2} \cdot e^{-\frac{T_{\min}}{T}} \gtrsim 1,5 \cdot 10^4, \quad (8)$$

где  $T_e$  — длительность следа на уровне  $\frac{u_{m_0}}{e}$ , равная [4]

$$T_e = \frac{\lambda^2}{16\pi^2 D}; \quad (9)$$

$u_{m_0}$  — начальная амплитуда отражения.

Система, параметры которой удовлетворяют условию (8), обнаруживает неустойчивые следы как случайно, так и уверенно; следы же промежуточного и устойчивого типов обнаруживаются только уверенно.

Напомним, что эти выводы справедливы для данной дальности  $R$ , коэффициента направленного действия антенны  $G$  (соответствующего данному направлению) и т. п.

Кроме того, приведенные условия получены без учета эффектов накопления, которые могут иметь место при индикации и регистрации сигналов (например, за счет интегрирующих свойств фотопленки).

### Методика оценки наивысших возможностей системы

Зная скорость метеорных тел  $v$ , находим соответствующую ей характеристическую высоту  $h_m$  [4]; по зенитному расстоянию радианта  $\chi$  и углу  $\Theta$  в плоскости эхо, находим наклонную дальность, соответствующую характеристической высоте (см. рис. 1):

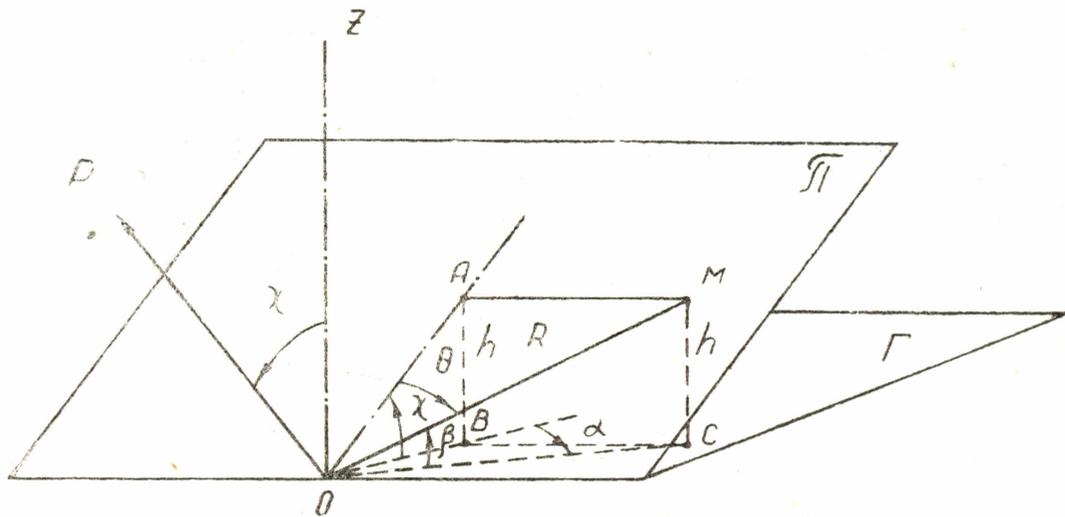


Рис. 1.  $P$  — направление на радиант потока;  $z$  — зенит;  $\Pi$  — плоскость эхо (то есть плоскость, перпендикулярная направлению на радиант);  $\Gamma$  — горизонтальная плоскость;  $M$  — точка пересечения метеорного следа с плоскостью эхо;  $O$  — точка расположения радиолокатора;  $h$  — высота точки  $M$  над уровнем земли;  $R$  — наклонная дальность от локатора до точки  $M$ ;  $\alpha$  и  $\beta$  — азимут и угол места направления на метеор;  $OA$  — линия пересечения плоскости эхо с плоскостью, проходящей через зенит, радиант и точку расположения радиолокатора;  $\Theta$  — угол в плоскости эхо, отсчитываемый от линии  $OA$  до направления  $OM$ .

$$R = \frac{h_m}{\sin\chi \cdot \cos\Theta}. \quad (10)$$

Угол  $\Theta$  отсчитывается от линии  $OA$  (линии пересечения плоскости эхо с плоскостью, проходящей через зенит и точки расположения радианта и локатора) до направления на нормально-отражаю-

щий участок ионизированного следа; плоскость эхо перпендикулярна направлению на радиант.

Зная параметры лоатора  $P_i$ ,  $G$ ,  $\epsilon_n$  и  $\lambda$  и наклонную дальность  $R$  (10), проверяем, удовлетворяется ли условие (1). Если удовлетворяется, то система является низкочувствительной и способна регистрировать лишь устойчивые следы. Выясняем, возможно ли случайное обнаружение. Зная  $v$ , и следовательно  $h_m$ , находим  $D(h_m)$  [5 и др.]. Если известен параметр системы  $T_{\min}$ , характеризующий ее оперативность, находим величину  $\frac{520 \cdot \lambda}{\sqrt{DT_{\min}}}$  и проверяем выполнение неравенств (2) и (3).

Выполнение условий (1) и (2) свидетельствует об отсутствии случайного обнаружения, а выполнение условия (3)—о способности системы регистрировать как уверенно, так и случайно обнаруженные следы устойчивого типа.

Если же условие (1) не выполняется, то система может регистрировать следы промежуточного, а возможно, и неустойчивого типов.

Выполнение условия (4) свидетельствует о том, что лоатор может регистрировать неустойчивые следы; если же не выполняются оба неравенства, как (1), так и (4), то возможно обнаружение лишь следов устойчивого и промежуточного типов.

Для уточнения возможности обнаружения неустойчивых следов надо воспользоваться условием (5); но для этого необходимо найти начальный радиус метеорного следа  $r_o(h_m)$  [6] и вычислить коэффициент  $\xi$  (6) по  $\Delta$  (7).

Выполнение условия (8) свидетельствует о высокой чувствительности системы, способной регистрировать неустойчивые следы. Для того, чтобы выяснить, возможно ли уверенное обнаружение неустойчивых следов, надо, найдя длительность следа „на уровне  $\frac{u_{m_0}}{e} T_e$  (9) по  $D(h_m)$  [5], проверить выполняется ли условие (8).

Система, для которой выполняется условие (8), обнаруживает уверенно следы промежуточного, устойчивого и (частично) неустойчивого типов; другая же часть неустойчивых следов обнаруживается случайно; это имеет место для  $h \approx h_m$ .

Совершенно очевидно, что аналогичным образом можно оценить возможности радиолоатора не только относительно метеоров в области характеристической высоты  $h_m$ , но и при любых  $h$  и  $R$ ; но при этом необходимо знать  $r_o(h)$  и  $D(h)$ .

#### Замечание о классификации систем по чувствительности

Представляется целесообразным классифицировать системы по чувствительности.

Системы, удовлетворяющие условию (1) (способные регистрировать лишь устойчивые следы), относим к низкочувствительным.

Системы, удовлетворяющие условию (4) (способные обнаруживать неустойчивые следы), относим к высокочувствительным системам.

Такая классификация является, естественно, условной, так как одна и та же система при одних  $R$  и  $G$  может оказаться высокочувствительной, а при других — низкочувствительной, что соответствует реальным условиям работы. Например, при наблюдении метеорного потока с использованием неподвижной антенны, как  $R(h_m)$ , так и  $G(h_m)$  могут изменяться в широких пределах, и поэтому в течение

некоторого времени система может работать как высокочувствительная, а в остальное время—как низкочувствительная.

Для объективной классификации систем по чувствительности целесообразно было бы полагать  $G=G_{\max}$  и  $R \approx \text{const}$  (например,  $R=300$  км).

### Выводы

1. Прежде чем приступить к интерпретации результатов наблюдений или к расчету системы, необходимо установить, какой тип следов может обнаруживаться радиолокатором.

Для этой цели можно воспользоваться критериями чувствительности (1), (2), (3), (4), (5) и (8).

2. Целесообразно классифицировать радиолокаторы по чувствительности, относя их к низко- и высокочувствительным локаторам в соответствие с критериями (1) и (4).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Фиалко. Уверенное и случайное радиообнаружение устойчивых метеорных следов. Известия ТПИ, т. 100, 84, 1962.
2. Е. И. Фиалко. Уверенное и случайное обнаружение неустойчивых метеорных следов, Радиотехника, т. 16, № 6, 24, 1962.
3. Е. И. Фиалко. Мощность сигнала, отраженного от метеорного следа в условиях интенсивной диффузии, Известия ТПИ, т. 100, 40, 1962.
4. T. R. Kaiser. Radio-echo studies of meteor ionization, J. Adv. Phys., 2, No. 8, 495, 1953.
5. J. S. Greenhow, E. L. Neufeld. The diffusion of ionized meteor trails in the upper atmosphere, Journ. Atm. Terr. Phys., 6, No. 2—3, 133, 1955.
6. L. A. Manning. The initial radius of meteoric ionization trails, Journ. Geophys. Res., 63, No. 1, 181, 1958.