

## К ВЫБОРУ РЕЖИМА ФОТОРЕГИСТРАЦИИ МЕТЕОРНЫХ РАДИОЭХО

Е. И. ФИАЛКО

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

### Введение

При проектировании радиолокатора, предназначенного для метеорных наблюдений, основное внимание обычно уделяется решению радиотехнических задач; вопросы же фоторегистрации метеорных радиоэхо не подвергаются тщательному анализу.

Это может привести к значительному понижению точности измерения некоторых параметров метеора и атмосферы.

Одной из существенных характеристик фоторегистрирующей установки является скорость протягивания фотопленки  $v_{пл}$ .

От  $v_{пл}$  зависит точность измерений, величина порогового сигнала т. е. чувствительность аппаратуры), расход пленки, оперативность обработки и т. п.

Выбор оптимальной скорости протягивания пленки, обеспечивающей заданную точность измерений, с учетом экономических факторов, может оказаться сложной задачей.

В настоящей работе рассматривается частный случай — выбор  $v_{пл}$  при изучении распределения метеорных тел по массам.

Как известно, один из весьма эффективных способов исследования распределения метеорных тел по массам основан на построении распределения длительностей радиоэхо.

Если представить дифференциальное распределение метеорных масс  $m$  в виде  $p(m) \sim m^{-s}$  (где  $s$  — константа) [1], то интегральное распределение устойчивых радиоэхо будет иметь вид

$$N \sim \tau^{-\frac{3}{4}(s-1)}, \quad (1)$$

где  $N$  — число отражений с длительностью  $\geq \tau$  [2].

Таким образом, коэффициент  $s$  оказывается равным [2]

$$s = 1 + \frac{4}{3} \frac{\lg \frac{N_2}{N_1}}{\lg \frac{\tau_1}{\tau_2}}, \quad (2)$$

где  $N_1$  (и  $N_2$ ) — количество отражений с длительностями  $\geq \tau_1$  (и  $\geq \tau_2$ ), зафиксированное за время наблюдения.

Точность измерения  $s$ , в частности, зависит от погрешности, допускаемой при отсчете  $\tau$ , зависящей от  $v_{н.д.}$

### Погрешность измерения показателя $s$

Как нетрудно показать, исходя из (1), относительная погрешность  $\frac{\Delta s}{s}$  будет равна

$$\frac{\Delta s}{s} \approx \left(1 - \frac{1}{s}\right) \left\{ \frac{\frac{\Delta N_2}{N_2} - \frac{\Delta N_1}{N_1}}{\lg \frac{N_2}{N_1}} + \frac{\frac{\Delta \tau_2}{\tau_2} - \frac{\Delta \tau_1}{\tau_1}}{\lg \frac{\tau_1}{\tau_2}} \right\}, \quad (3)$$

где  $\Delta N_2$  и  $\Delta N_1$  — погрешности, с которыми отсчитываются  $N_2$  и  $N_1$ , а  $\Delta \tau_1$  и  $\Delta \tau_2$  — погрешности, с которыми отсчитываются длительности  $\tau_1$  и  $\tau_2$ .

С учетом (1) формула (3) может быть представлена в виде

$$\frac{\Delta s}{s} \approx \left(1 - \frac{1}{s}\right) \left\{ \frac{\frac{\Delta N_2}{N_2} - \frac{\Delta N_1}{N_1}}{\frac{3}{4}(s-1) \lg \frac{\tau_1}{\tau_2}} + \frac{\frac{\Delta \tau_2}{\tau_2} - \frac{\Delta \tau_1}{\tau_1}}{\lg \frac{\tau_1}{\tau_2}} \right\}. \quad (4)$$

Не проводя подробного анализа (4), ограничимся рассмотрением частного случая, когда относительная погрешность измерения длительности гораздо больше относительной погрешности отсчета численности.

Учитывая также, что при  $\Delta \tau_1 \approx \Delta \tau_2$  и  $\tau_2 > \tau_1$ , можно полагать

$$\left| \frac{\Delta \tau_2}{\tau_2} - \frac{\Delta \tau_1}{\tau_1} \right| \approx \frac{|\Delta \tau_1|}{\tau_1},$$

получим (опуская индексы при  $\tau$ )

$$\frac{\Delta s}{s} \approx \left(1 - \frac{1}{s}\right) \frac{1}{\left| \lg \frac{\tau_1}{\tau_2} \right|} \cdot \frac{|\Delta \tau|}{\tau}. \quad (5)$$

Как следует из (5), для уменьшения погрешности измерения  $s$  следует повышать точность измерения длительности эхо-сигнала и увеличивать интервал  $\tau_1 \div \tau_2$ , в пределах которого производится аппроксимация зависимости  $N(\tau)$ . Однако нижний предел  $\tau_{мин}$  ограничен областью устойчивых эхо; верхний предел  $\tau$  также лимитирован, так как особенности длительных отражений не учитываются зависимостью (1).

Распределение  $N(\tau)$  часто имеет излом в области  $\tau \approx 10$  сек (при длине волны  $\lambda = 10$  м) [3].

Вследствие этого отношение  $\frac{\tau_{макс}}{\tau_{мин}}$  ограничено и имеет порядок 10.

Примечание. Здесь не рассматриваются вопросы точности измерения  $s$ , связанные с флюктуирующим характером длительных эхо.

Как следует из (5), точность определения  $s$  (при прочих одинаковых условиях) повышается с увеличением  $s$ . Полагая  $s \approx \bar{s} \approx 2$  [3] и  $\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}} \approx 10$ , найдем приближенно

$$\frac{|\Delta s|}{s} \approx 0,5 \cdot \frac{|\Delta \tau|}{\tau}. \quad (6)$$

Таким образом, точность определения показателя  $s$  зависит в основном от погрешности измерения длительности радиоэхо  $\tau$ .

### Погрешность измерения длительности эхо-сигнала

Существует несколько способов регистрации эхо-сигналов и, соответственно, несколько способов измерения их длительности.

При амплитудной отметке обычно измеряют длительность отражения на определенном уровне от наибольшего значения амплитуды эхо-сигнала [4 и др.]. При яркостной индикации и амплитудном ограничении сигнала, регистрируемого на непрерывно (медленно) протягиваемую пленку, длительность  $\tau$  измеряется фотометрическим методом [5 и др.].

В случае же яркостной отметки и достаточной скорости протягивания пленки длительность эхо-сигнала может быть измерена по длине „черточки“ [6, 7 и др.].

Полученные выше формулы для оценки погрешности  $\frac{\Delta s}{s}$  справедливы для любого из этих методов.

Здесь мы остановимся на выборе скорости пленки лишь для третьего способа фоторегистрации.

Если длина риски, соответствующей эхо-сигналу, равна  $l$  (рис. 1 и 2), а диаметр пятна на пленке равен  $\delta$ , то длительность эхо-сигнала  $\tau$  будет равна

$$\tau = \frac{l - \delta}{v_{пл}}. \quad (7)$$

Однако совершенно очевидно, что в реальных условиях диаметр пятна не может быть точно измерен, и поэтому погрешность в измерении  $\tau$  будет составлять

$$|\Delta \tau| \approx \frac{1}{n} \cdot \frac{\delta}{v_{пл}}, \quad (8)$$

где  $n$  — коэффициент порядка нескольких единиц.

Если диаметр экрана  $D$  проектируется на пленку шириной  $L$ , то при световом пятне (на экране) с диаметром  $d$ , получим

$$\delta = d \cdot \frac{L}{D}. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (8), получим

$$|\Delta \tau| \approx \frac{1}{n} \cdot \frac{d}{D} \cdot \frac{L}{v_{пл}}. \quad (10)$$

Относительная погрешность измерения длительности будет равна

$$\frac{|\Delta\tau|}{\tau} \approx \frac{a}{v_{nl}}, \quad (11)$$

где

$$a = \frac{dL}{nD\tau}. \quad (12)$$

Таким образом, для повышения точности измерения  $\tau$  (в данном диапазоне  $\tau$ ) следует увеличивать скорость пленки, улучшать фокусировку луча на экране индикатора (что уменьшает  $\frac{d}{D}$ ), возможно-

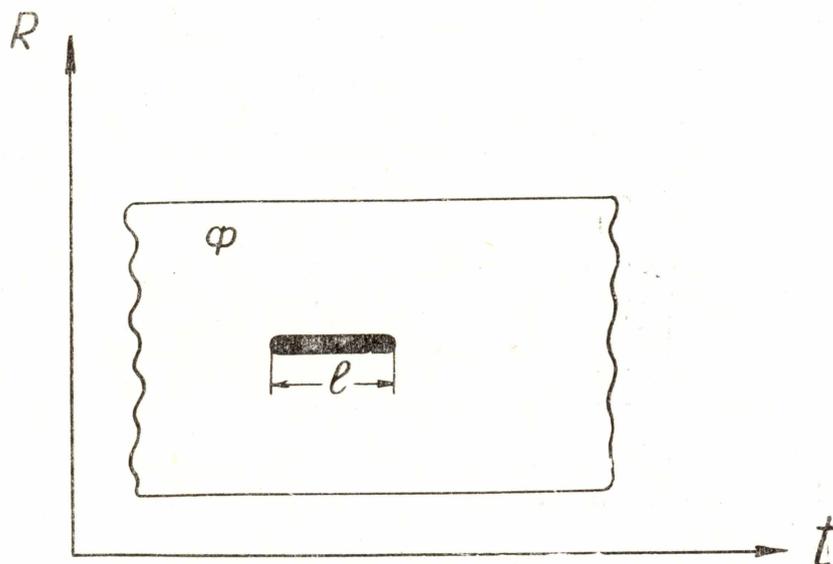


Рис. 1. Схематическое изображение фоторегистрации метеорного радиоэхо.  $\Phi$ —фотопленка;  $R$ —ось наклонной дальности;  $t$ —ось времени;  $M$ —регистрация эхо-сигнала (протяженностью  $l$  мм).

тщательнее измерять размер пятна (что увеличивает  $n$ ), а также использовать узкую пленку.

Чрезмерное повышение  $v_{nl}$  приводит к повышенному ее расходу и затрудняет обработку кадров. В связи с этим целесообразно выбрать минимальную скорость протягивания пленки, при которой достигается необходимая точность измерения  $s$ .

Выбор  $v_{nl}$

Как следует из (6) и (11), для измерения показателя  $s$  с заданной точностью, необходимо протягивать пленку со скоростью

$$v_{nl} \geq \frac{0,5 \cdot a \cdot s}{|\Delta s|} \frac{\text{мм}}{\text{сек}}. \quad (13)$$

При  $\frac{d}{D} \approx \frac{1}{200}$ ,  $L = 25$  мм,  $n \approx 2$  и  $\tau \approx 1$  сек коэффициент  $a$ , как следует из (12), будет равен  $a \approx 0,06$ ,  $\frac{\text{мм}}{\text{сек}}$  и условие (13) примет вид:

$$v_{пл} \geq 0,03 \frac{s}{|\Delta s|} \frac{мм}{сек} = 1,8 \frac{s}{|\Delta s|} \frac{мм}{мин}. \quad (14)$$

Для обеспечения точности измерения  $\frac{\Delta s}{s} \approx 5 \div 10 \%$  необходимо иметь  $v_{пл}$ , как это следует из (14),

$$v_{пл} \approx 18 \div 36 \text{ мм/мин.}$$

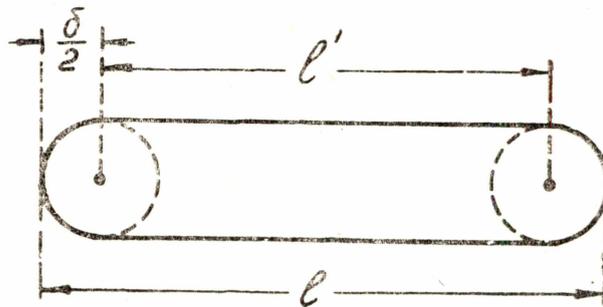


Рис. 2. К определению погрешности измерения длительности метеорного радиоэхо.  $l$ —длина „черточки“—регистрации метеорного радиоэхо;  $\delta$ —размер (диаметр) изображения пятна на пленке;  $l'$ —размер, соответствующий истинной длительности отражения.

При этом длительности отражений  $\tau$  будут измеряться, как видно из (11) и (12), с погрешностью

$$\frac{|\Delta \tau|}{\tau} = \frac{0,06 \cdot 60 \text{ мм/мин}}{18 \div 36 \text{ мм/мин}} \approx 10 \div 20 \%,$$

что находится в соответствии с соотношением (6).

### Выводы

1. Точность измерения коэффициента  $s$  (характеризующего распределение метеорных тел по массам) и точность измерения длительностей метеорных радиоэхо  $\tau$  существенно зависят от скорости протягивания фотопленки  $v_{пл}$ .

2. При  $v_{пл} \approx 18 \div 36 \text{ мм/мин}$  погрешность измерения длительностей эхо составляет  $\approx 10 \div 20 \%$ , и показатель  $s$  может измеряться с точностью  $\frac{\Delta s}{s} \approx 5 \div 10 \%$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. T. R. Kaiser. „Theory of the meteor height distribution obtained from radio—echo observations“, M. N. R. A. S., 1954, v. 114, No. 1, pp. 39—62.
2. Е. И. Ф и а л к о. „Распределение устойчивых метеорных радиоэхо по длительности“. Известия ТПИ, 1960, т. 105, стр. 14.
3. Е. И. Ф и а л к о. „Некоторые результаты исследования распределения метеорных тел по массам“, Астр. цирк., 1958, № 195, стр. 22.
4. J. S. Greenhow, E. L. Neufeld. „The diffusion of ionized meteor trails in the upper atmosphere“, Journ. Atm. Terr. Phys., 1955, v. 6, No. 2—3, p. 133.

5. К. В. Костылев. Аппаратура астрономической обсерватории им. Энгельгардта для радиолокационных наблюдений метеоров с автоматической регистрацией. Астр. журнал, 1958, **35**, вып. 4, стр. 643.

6. K. R. Bowden, J. G. Davies. „The time distribution of meteors“, J. Atm. Terr. Phys., 1957, v. 11, No. 1, pp. 62—66.

7. Е. И. Фиалко, Ф. И. Перегудов, Э. К. Немирова. Предварительные результаты радиолокационных наблюдений метеоров на  $\lambda=10$  метров. Бюллетень Комиссии по кометам и метеорам астрономического совета АН СССР, № 2, стр. 39—43, 1958.

---