

НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКОГО ФАКТОРА ЗАМЕЧАЕМОСТИ РАДИОМЕТЕОРОВ

Горелов Д.Ю., Волошук Ю.И.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14; ПНИЛ каф. ОПТ, тел. (057) 700-22-84

E-mail: ellvin@rambler.ru

The radar method of observations allows to evaluate visible distribution of speed of meteoric bodies. Transition from visible distributions to true velocity distributions of meteoric bodies execute by the weight machining measuring results which are taking into account selectivity of a method of observation. In the report the new method of the count of the physical factor is offered. The count of influence of saturated tracks at definition of the physical factor of selectivity can change noticeably the conforming distributions high-speed meteoroids. It is especially important at the data processing, obtained on systems with limit of sensibility superior $5 \cdot 10^{11}$ electron/meter.

Введение. Радиолокационный метод наблюдений позволяет непосредственно оценить видимое распределение скорости метеорных тел. Переход от видимых распределений к истинным распределениям скоростей метеорных тел вблизи Земли обычно осуществляют путем весовой обработки результатов измерений, учитывающей селективность метода наблюдения и аппаратуры. Каждому зарегистрированному метеору приписывают вес P , который определяется произведением геометрического фактора селективности, зависящего от времени наблюдения и координат радианта, и физического фактора, являющегося функцией в первую очередь скорости метеорного тела.

В докладе предлагается новый метод учета физического фактора. Представленные ранее в литературе алгоритмы позволяют сделать оценку физического фактора для случая обнаружения радиометеоров (определения плотности потока зарегистрированных метеороидов). При оценке истинных распределений элементов орбит зарегистрированных метеороидов уже недостаточно обнаружить сигнал, отраженный от метеорного следа. Необходимо, кроме этого, получить оценки скорости метеороида, что возможно, если метеорный след является ненасыщенным. Это означает, что длина следа (которая определяет величину физического фактора) зависит от интервала высот, на котором эффективная электронная плотность превышает $\alpha_{эф}^{\min}$ (минимальное значение электронной плотности, при котором могут быть обнаружены следы данной РЛС в направлении максимального излучения), но меньше порога $\alpha_{эф}^{\max}$, при превышении которого след становится насыщенным и, следовательно, отраженный от него сигнал не несет информации о скорости метеороида. Естественно, что учет порога $\alpha_{эф}^{\max}$ приводит к уменьшению длины метеорного следа, а это неизбежно изменяет кривую физического фактора и, как следствие, весовые множители при дальнейшей статистической обработке.

Методика расчета физического фактора замечаемости. Физический фактор замечаемости определяется выражением [1]:

$$P_{\phi} = \frac{1}{l_0} \int_0^{\infty} l(\alpha_{эф}^{\min}) n(M_0) dM_0, \quad (1)$$

где l_0 – некоторая средняя длина метеорных следов; $l(\alpha_{эф}^{\min})$ – длина участка метеорного следа, на котором эффективная электронная плотность больше $\alpha_{эф}^{\min}$ (минимального значения электронной плотности, при котором могут быть обнаружены следы данной РЛС в направлении максимального излучения); $n(M_0)$ – дифференциальное распределение масс метеорных тел.

Эффективная линейная электронная плотность $\alpha_{эф}$ рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{эф} = \alpha(\delta, M_0, v, z, \lambda) \frac{1 - \exp\left(-8\sqrt{2}\pi^2 v^{-1} D \sqrt{R \cdot \lambda^{-3}}\right)}{8\sqrt{2}\pi^2 v^{-1} D \sqrt{R \cdot \lambda^{-3}}} \exp\left[-\left(\frac{2\pi r_0}{\lambda}\right)^2\right], \quad (2)$$

где α – линейная электронная плотность вдоль следа; R – наклонная дальность от РЛС до точки зеркального отражения на следе; D – коэффициент амбиполярной диффузии; r_0 – начальный радиус метеорного следа; λ – рабочая длина волны РЛС.

Электронная плотность [1] определяется выражением

$$\alpha = \beta(v) \sqrt[3]{v^2 M_0^2 \delta^{-2}} \frac{\rho \Lambda A}{2\mu m_H Q} \left(1 - \frac{1}{6} \frac{\rho \Lambda A H \sqrt[3]{v^2}}{Q M_0 \cos(z) \sqrt[3]{M_0 \delta^2}}\right)^2, \quad \left[\frac{\text{эл}}{\text{м}}\right], \quad (3)$$

где ρ – плотность атмосферы на высоте h ; Λ – коэффициент теплопередачи; A – коэффициент формы; μ – средний атомный вес метеорного вещества; m_H – масса атома водорода; Q – энергия испарения 1 г метеорного вещества.

В выражениях (2) и (3) все параметры задаются в системе СИ.

Алгоритм вычисления физического фактора:

1. Задаемся значением скорости v , моделями коэффициента ионизации $\beta(v)$, приведенной высоты H , коэффициента амбиполярной диффузии D и начального радиуса r_0 (см. таблицу 1), по выражениям (2) и (3) вычисляем трехмерный вектор, где каждому значению высоты (от 70 до 110 км) и каждому значению массы метеорного тела (от 0.1 мкг до 10 г) соответствует значение эффективной электронной плотности.

2. На основе вычисленного в пункте 1 вектора эффективной электронной плотности определяем вектор длин следов, образованных метеорными телами.

3. По выражению (1) определяем вектор произведений длин следов и значений дифференциального распределение по массам.

4. Используя методику Ньютона–Котеса определяем численным методом значение интеграла (1) для данного значения скорости v .

5. Определяем значение физического фактора замечаемости для всего диапазона значений скоростей метеорных тел.

6. Нормируем значения физического фактора таким образом, чтобы значение F_ϕ при скорости $v = 40$ км/с было равным единице.

Таблица 1

Плотность δ , кг/м ³	3400	Коэффициент ионизации $\beta(v)$	$\beta = 3.0893 \cdot 10^{-6} (v - 8.13)^3$
Коэффициент теплопередачи Λ	1	Приведенная высота H , км	$H = 46.8273 - 0.95h + 0.0055h^2$
Коэффициент формы A	1.2	Коэффициент диффузии D , м ² /с	$D = \exp(0.108h - 7.842)$
Атомный вес метеорного вещества μ	55.8	Начальный радиус r_0 , м	$0.109 v^{0.65} \exp\left(\frac{h-95}{H}\right)$
Энергия испарения 1 г метеорного вещества Q , Дж/кг	8	Плотность атмосферы ρ , кг/м ³	$\rho = 1.405 \cdot 10^{-6} \exp\left(-\frac{h-95}{H}\right)$

Физический фактор был рассчитан для двух алгоритмов определения длины метеорного следа. Первый – длина следа определяется интервалом высот, на котором эффек-

ветствуют ненасыщенные следы. Для наглядности полученных результатов, рассчитаем функцию отношения физических факторов замечаемости для двух и одного порога:

$$F_{\Phi} = \frac{P_{\Phi}|_{2 \text{ порога}}}{P_{\Phi}|_{1 \text{ порог}}} \quad (4)$$

Зависимости, рассчитанные по (4), приведены на рисунке 3. Как видно из зависимостей, представленных на рисунке 3, вероятность обнаружения радиометеоров при расчете физического фактора замечаемости для случая двух порогов больше соответствующей вероятности для одного порога во всем диапазоне скоростей метеоров. Уменьшение порога чувствительности РЛС (увеличение значения $\alpha_{эф}^{\min}$) приводит к уменьшению значения физического фактора замечаемости. Данный эффект можно объяснить, во-первых, уменьшением длины следа, определяемого разностью двух диапазонов следа, соответствующих участкам с электронной плотностью больше $\alpha_{эф}^{\min}$ и меньше $\alpha_{эф}^{\max}$; во-вторых, уменьшением общего числа регистрируемых метеорных следов за счет уменьшения числа ненасыщенных следов. Последнее утверждение в большей степени относится к метеорным следам с максимальной электронной плотностью $\alpha_{эф}^{\max} \leq 10^{14}$ эл/м и РЛС с порогом чувствительности равным $\alpha_{эф}^{\max} > 10^{12}$ эл/м. Стоит также указать на рост зависимости F_{Φ} при увеличении скорости метеорных тел. Эта зависимость, по-видимому, объясняется тем, что при равных условиях большему значению скорости соответствует меньшее значение массы метеора для порождения следа с заданной электронной плотностью. Соответственно при одинаковых массах быстрые метеоры могут порождать следы с электронной плотностью превышающей $\alpha_{эф}^{\max}$ (происходит уменьшение длины следа), когда медленные метеоры порождают ненасыщенные следы.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что учет влияния насыщенных следов при определении физического фактора замечаемости, следует производить для радиолокационных станций с эффективной чувствительностью $\alpha_{эф}^{\max} \leq 5 \cdot 10^{11}$ эл/м, что соответствует всем современным РЛС регистрации метеоров

Литература

1. Лебединец В.Н., Кашеев Б.Л., Лагутин М.Ф. Метеорные явления в атмосфере Земли. – М.: Наука, 1967. – 260с.
2. Kaiser T.R., Closs R.L. Theory of radio reflection from meteor trails. – Phil. Mag., 1952, ser. 7, 43, N 336, p. 1–32.
3. Лебединец В.Н., Соснова А.К. Расчет метеорных радиозэхо от следов переходного типа. – Труды ИПГ, 1969, вып. 15, с. 228–244.

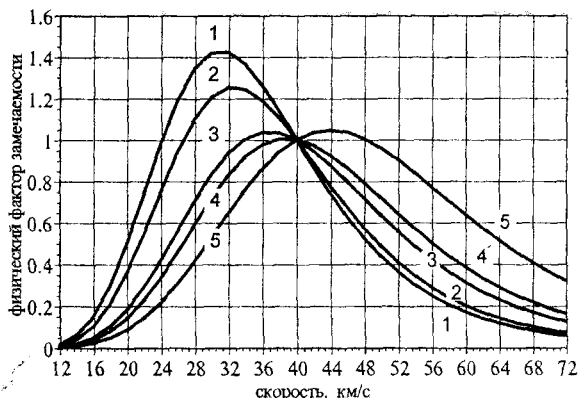


Рис. 2.

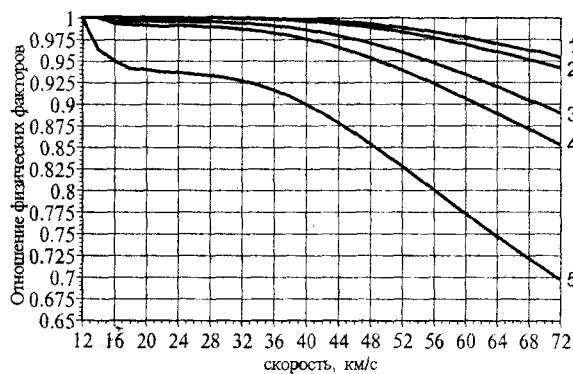


Рис. 3.