

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОЦЕНОК СКОРОСТИ И ТОРМОЖЕНИЯ МЕТЕОРОИДОВ ПО БАЗЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГОЛОВНЫХ ЭХО-СИГНАЛОВ МЕТЕОРНОЙ РЛС ХНУРЭ

Волощук Ю.И., Черкас Ю.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14,

тел. +(380)-57-700-22-84, факс: +(380) 57-702-10-13

E-mail: [ort@kture.kharkov.ua](mailto:ort@kture.kharkov.ua)

The Photographic base of KTURE has a big amount of films, on which there is images of head echoes of meteoric bodies. The present development of the computing machinery permits their use for finding of the velocities and decelerations of meteorids. The paper consider possibility of the decision of given question and problems connected with it. Gradient is done on possibility of the use of head echoes, which are typical for the base of KTURE. They were received with use meteoric automatic radar station (MARS). Its technical features such, that main echo with two branches small amount. It complicates exact finding of velocity and deceleration of meteoric bodies.

Обзор литературы по истории открытия явления головного эхо и его использования для определения скоростей и торможения метеороидов в атмосфере Земли см., например, в работах [1, 4, 5].

В отличие от основного эхо, возникающего в результате отражения радиоволн ионизированным метеорным следом, порожденным в атмосфере Земли при внедрении в нее метеорного тела (метеороида), головное эхо образуется источником, движущимся вместе с метеороидом. Этим источником является «сгусток ионизации, плазмы», образующийся впереди метеороида под действием сильного ультрафиолетового излучения ударной волны. Важно, что головное эхо является практически мгновенным отражением радиоволн от источника, движущегося со скоростью метеороида. Это и позволяет получать оценки мгновенной скорости метеороида и, следовательно, торможения метеорного тела в атмосфере Земли. Проблема учета торможения метеороида является принципиальной при астрономической интерпретации результатов радиолокационных наблюдений.

На рис. 1 приведен график, иллюстрирующий образование головного эхо. Здесь МРЛС – метеорная радиолокационная станция;  $R$  – наклонная дальность до головы метеора в некоторый момент времени  $t$ ;  $R_0$  – минимальная наклонная дальность до головы метеора в момент  $t_0$ ;  $s$  – путь, который преодолевает метеороид за время  $t_0 - t$ . Очевидно, что, измеряя наклонные дальности до метеороида в определенные моменты времени, можно найти его скорость  $v$  и торможение  $a$ .

Из анализа рисунка следует, что

$$R^2 = R_0^2 + s^2 = R_0^2 + v^2(t - t_0)^2. \quad (1)$$

Как следует из (1), зависимость «дальность – время» головного эхо при условии, что торможение мало, можно аппроксимировать полиномом второй степени, а мгновенная скорость метеороида определяется выражением вида:

$$v = \frac{\sqrt{R^2 - R_0^2}}{|t - t_0|}. \quad (2)$$

Торможения метеороида находим как производную скорости по времени:

$$a = \frac{\partial v}{\partial t}. \quad (3)$$

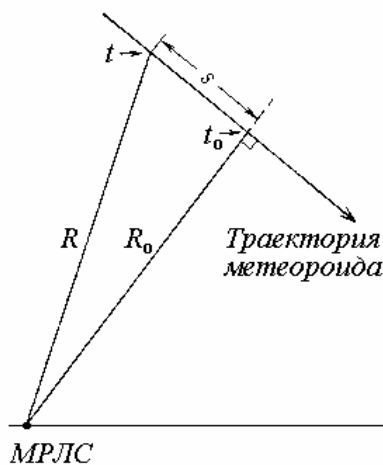


Рис. 1

В настоящее время при радионаблюдениях на волнах  $\lambda \geq 4$  м скорость метеоров определяется обычно дифракционным методом [3]. Однако дифракционный метод с использованием одной приемной станции дает значение скорости только в одной точке на следе и не позволяет измерять торможение метеорных тел. Методом «дальность – время» может быть получено изменение скорости метеороида в течение всего периода видимости головного эха. У дифракционного метода есть и другие существенные недостатки: этот метод является косвенным [2] и, кроме того, он обладает высокой аппаратурной избирательностью, что искажает оценки распределений метеороидов по скоростям [6] и, следовательно, и по элементам орбит.

Хотя МРЛС ХНУРЭ (МАРС) проектировалась как многостанционная система для определения орбит метеоров, в течение нескольких лет на ней проводились измерения численности отражений от следов в атмосфере Земли. Регистрация велась на фотопленку. Таких пленок в архиве ХНУРЭ накопилось несколько десятков километров, а количество головных эхо на них измеряется тысячами, что в десятки раз превышает количество таких регистраций, полученных во всем остальном мире. Однако технические характеристики МАРС [4] таковы, что головных эхо с двумя ветвями (см. рис.2 и рис.3) очень мало. Подавляющее большинство имеющихся изображения головных эхо представляют собой нисходящую ветвь параболы. Цель работы – определить, как зависит оценки скорости и торможения от величины имеющегося участка кривой дальность-время.

Для достижения поставленной цели мы использовали метод математического моделирования: нашли в литературе [5] практически идеальное головное эхо (приведено на рис. 2), разработали алгоритм и программы его обработки, искусственно укорачивая его (отсекая левую ветвь), приводили к такому виду, который соответствовал имеющимся регистрациям из фотоархива ХНУРЭ, обрабатывали этот кадр и сравнивали результаты обработки эхо приведенного на рис. 2, с результатами обработки «урезанного» эхо.

На рис. 2 приведена копия фотоизображения выбранного в качестве эталона головного эхо. Предварительная обработка изображения выполняется в три этапа: низкочастотная фильтрация с целью устранения неоднородностей, вызванных разными причинами, в частности, дефектами пленки, ее старением, дефектами проявления и т. д.; преобразование изображения в бинарное, фактически оцифровка изображения; сглаживание полученного оцифрованного изображения методом скользящего среднего (цифровой ФНЧ, рис. 3 – штриховая кривая); аппроксимация полученной кривой полиномом второй степени (сплошная кривая на рис. 3). Фактически мы уже нашли мгновенную скорость метеороида, породившего головное эхо, показанное на рис.2.

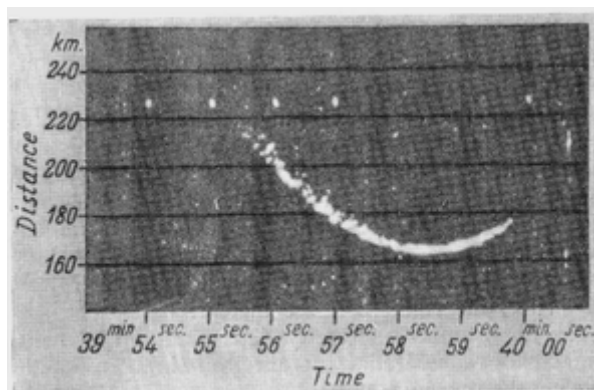


Рис. 2. Исходное изображение

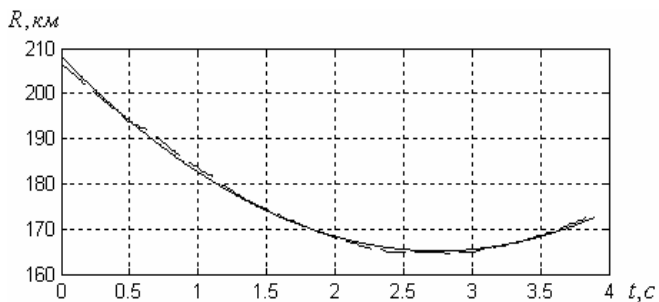


Рис. 3. Сглаженная и исходная кривые дальность время

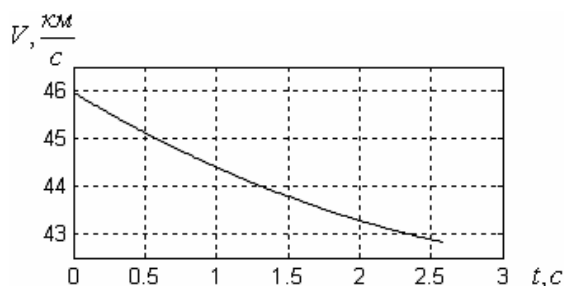


Рис. 4. График изменения скорости метеорного тела

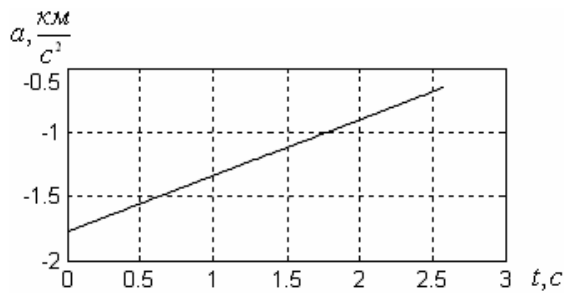


Рис. 5. График изменения торможения метеорного тела

На рис. 4, приведен график изменения мгновенной скорости, а на рис. 5 – торможения метеороида. По причинам, указанным выше, ограничив время значением  $t = 2.6c$  – область, где  $R \approx R_0$  и  $t \approx t_0$ , получаем среднюю скорость и торможение равными:  $v = 44,2 км/с$ ,  $a = 1,2 км/с^2$ .

Будем укорачивать исходную кривую дальность-время (рис. 3) и тем самым приближаться к таким эхо, как те, что имеются в базе ХНУРЭ. Значения  $R_0$  и  $t_0$  получим путем экстраполяции кривой на необходимом нам интервале времени. Естественно они будут отличаться от эталонных, что и внесет погрешность в оценки скорости и торможения.

На рис. 6 и 7 в качестве примера приведены два таких усеченных головных эхо. Здесь пунктирной линией показано эталонное эхо; тонкой сплошной – экстраполяция усеченных эхо (позволяет найти оценки  $R_0$ ,  $t_0$  и, следовательно, скорость и торможение); жирной линией выделен тот участок эталонного головного эхо, по которому выполнялась экстраполяция.

В таблице приведены некоторые результаты моделирования. Чтобы было с чем сравнивать напомним, что значение  $\Delta v = 0.8$  соответствует погрешности измерения скорости оптическим – самым точным – методом. Стандартное отклонение оценок скорости метеороида, полученных дифракционным методом, в зависимости от значения средней скорости изменяется от 1 до 4 км/с. Таким образом, при условии, что зарегистрированное головное эхо, имея только ниспадающую ветвь даже не включающую точку с координатами  $(R_0, t_0)$ , позволяет получить оценки средней скорости с погрешностью приблизительно такой же, какую обеспечивает дифракционный метод, но, кроме того, найти еще и оценки торможения.

В качестве примера найдем оценки скорость и торможения для одного из имеющихся в фотоархиве ХНУРЭ головного эхо. На рис. 8 показан фрагмент пленки, где было обнаружено головное эхо. Это эхо зарегистрировано как сдвоенное. Объясняется это работой устройства защиты от помех: каждый импульс, излучаемой МРЛС последовательно, дает при наличии полезного сигнала две засвеченных точки на пленке, сдвинутых на фиксированную величину во времени. При этом шумы и помехи на пленке представлены в виде хаотически разбросанных точек. Как следует из анализа трека, полученного из-за явления головного эхо, участок кривой дальность-время явно не достигает точки с

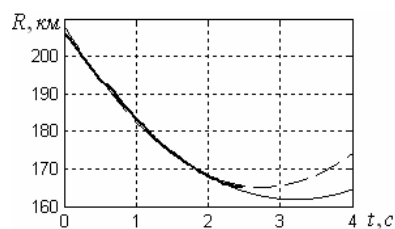


Рис. 6

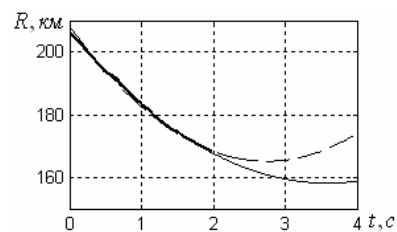


Рис. 7

Таблица

$\Delta t, c$	$\Delta v, км/с$	$\Delta a, км/с^2$
3.5	0.8	0.32
3	2.4	0.30
2.5	5.7	0.32
2	7.9	0.26

координатами  $(R_0, t_0)$ , поэтому сначала необходимо экстраполировать кривую так, чтобы получить оценку этих координат. На рис. 9 волнистой линией показано отфильтрованное и сглаженное головное эхо. Здесь же плавной кривой приведено восстановленное эхо, по которому можно найти все необходимые для получения оценок мгновенных скорости и торможения метеороида. Среднее значение скорости и торможения равны:  $v = 42,4 \text{ км/с}$ ,  $a = 1,2 \text{ км/с}^2$ .

На рис. 10 и 11 приведены графики изменения во времени скорости и торможения метеороида, породившего головное эхо, зарегистрированное в ХНУРЭ и представленное на рис. 8.

Конечно, алгоритмы обработки и программное обеспечение требуют дальнейшего усовершенствования и развития. Направление, куда следует двигаться, понятно. Главный вывод таков: те данные, которые были получены в Харькове за многие годы измерений, содержат огромное количество уникальной информации, которую нужно только из них извлечь.

#### Литература

1. Бронштэн В. А. Физика метеорных явлений. М.: Наука. 1981. 416 с.

2. Волощук Ю.И., Кашеев Б.Л., Кручиненко В.Г. Метеоры и метеорное вещество. Киев: Наук. думка. 1989. 296 с.

3. Кашеев Б.Л., Волощук Ю.И., Ткачук А.А. и др. Метеорная автоматизированная радиолокационная система // Метеорн. исслед. – 1977, №4, с. 11-61.

4. Кашеев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М.Ф. Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука. 1967. 260 с.

5. МакКинли Д. Методы метеорной астрономии. – М.: Мир, 1964. 384 с.

6. Черкас Ю.В. Аппаратурная избирательность при определении скоростей метеорных тел радиолокационным методом // XII Международный молодежный форум «Радиотехника и молодежь в XXI веке». – Харьков: ХНУРЭ, 2007. С. 38.

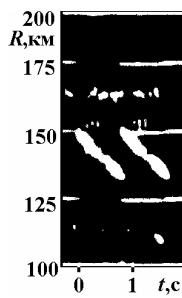


Рис. 8

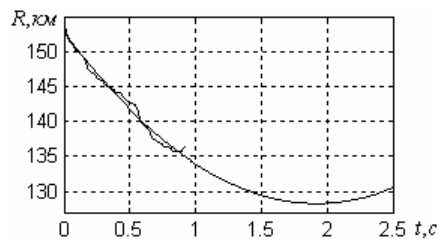


Рис. 9

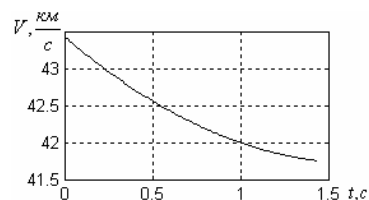


Рис. 10

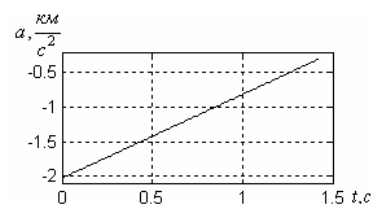


Рис. 11