

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ПРИЕМНОЙ АНТЕННЫ В РАЗНЕСЕННОЙ СИСТЕМЕ МЕТЕОРНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТВ СИГНАЛОВ

Введение

В настоящее время продолжают исследования происхождения метеорных роев и их связей с возможными родительскими телами – кометными ядрами и астероидами [1]. В решении данных вопросов неизменно присутствует задача определения притока метеорного вещества в атмосферу Земли.

Твердые космические частицы представляют собой определенную опасность для космических летательных аппаратов (КЛА), причем естественно эта опасность будет тем больше, чем дольше КЛА должен функционировать в космосе [2].

Как правило, для исследования метеорных явлений используется совмещенная система радиолокации, при которой радиопередатющее и радиоприемное устройства расположены в одном пункте наблюдения.

Одним из перспективных вариантов, который позволяет решить задачу минимизации затрат при наблюдении метеорных следов является использование сторонних источников радиоизлучения. Для этого могут быть применены сигналы радиослужб мощностью несколько $\kappa\text{Вт}$, в диапазоне 30 – 100 МГц. В качестве таких сигналов целесообразно использовать сигналы от радио- и телевизионных вещательных станций [3,4].

Начиная с 1994 г. в мире действует сеть автоматических станций учёта метеорной активности, которая в качестве источников излучения использует ТВ и радиовещательные станции в рамках программы «Глобальная метеорная сеть» («Global Meteor-Scatter Network»). Цель наблюдений состоит в том, чтобы обнаружить кратковременные (0,5...2 часа) увеличения метеорной активности, которые вызываются потоками, связанными с долгопериодическими кометами. Эти кометы потенциально опасны с точки зрения столкновения с Землёй, а обнаружить их можно только наблюдая связанные с ними метеорные потоки.

Для реализации этой задачи используются 3-х или 5-элементные «волновые каналы». В качестве приёмников используются либо переделанные вещательные приёмники, либо панорамные приёмники, соединённые с ПЭВМ. Фиксируется численность метеоров и длительность отражений отдельно для каждого десятиминутного интервала.

Как отмечается в [5], в результате наблюдений на фоне обычного суточного хода численности метеоров, явно проявляются кратковременные «вспышки активности», которые повторяются из года в год. Один из обнаруженных потоков сопоставлен с кометой P/Kiess [6,7].

Для решения таких задач как выявление отражений от метеорных следов, которые сопровождаются большим уровнем шумов, необходимо обеспечить достаточное соотношение с/ш для их идентификации. Параметры ТВ сигнала выбранного в качестве зондирующего не подлежат изменению. Для повышения соотношения с/ш могут быть изменены только параметры приемной аппаратуры в частности ориентация ДН приемной антенны.

Описание модели распространения радиоволн в разнесенной системе метеорной радиолокации

Существует несколько вариантов распространения радиоволн по метеорному каналу с использованием сторонних источников. Наиболее универсальным является разнесенная система радиолокации метеорных следов, т.к. при совмещенной системе требуется расположение приемного устройства на передающем пункте или в непосредственной близости от него, что зачастую является невозможным. Существует два варианта разнесенной системы радиолокации метеорных следов: распространение сигнала назад, распространение сигнала вперед (рис. 1).

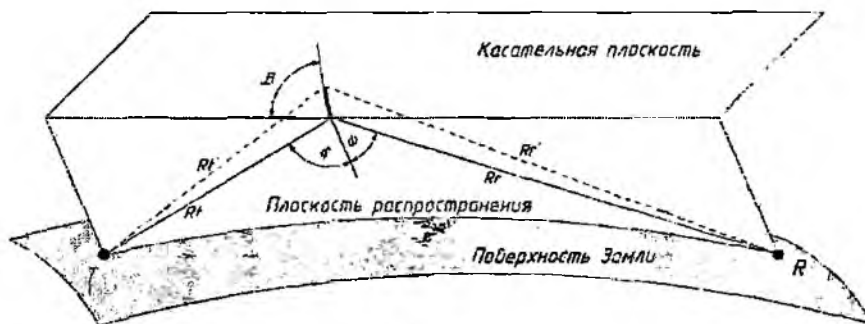


Рис. 1

Максимальная мощность сигнала отраженного от ненасыщенного метеорного следа определяется по формуле [8]:

$$P_2 = P_1 G_1 G_2 \lambda^3 \alpha^2 \sigma \cos(\gamma)^2 L, \quad (1)$$

где P_1 – мощность передатчика; P_2 – мощность на входе приемника; G_1 – коэффициент усиления передающей антенны; G_2 – коэффициент усиления приемной антенны; λ – длина волны; α – линейная электронная плотность метеорного следа; σ – эффективная поверхность рассеяния электрона; γ – угол между электрическим вектором падающей волны и лучом зрения на приемник; L – коэффициент затухания.

Мощность сигнала на входе приемника обуславливается следующими факторами:

- энергетическими характеристиками системы (P_1 , G_1 , G_2),
- затуханием в канале распространения (L),
- длиной волны (λ),
- электронной концентрацией следа (α).

Затухание сигнала L распространяющегося по метеорному каналу определяется по формуле

$$L = \frac{e^{-\frac{\pi^2 r_0^2}{\lambda^2 \sec^2(\phi)}}}{(4\pi)^3 R_1 R_2 (R_1 + R_2) (1 - \cos(\beta)^2 \sin(\phi)^2)} \quad (2)$$

где R_1 – расстояние от передатчика до точки зеркального отражения; R_2 – расстояние от приемника до точки зеркального отражения; β – угол между следом и плоскостью треугольника передатчик – зеркальная точка – приемник; 2ϕ – угол отражения вперед; r_0 – начальный радиус следа.

Как видно из (2) величина затухания обуславливается несколькими факторами:

- расстоянием между приемным и передающим пунктом R ,
- ориентацией следа в пространстве β , ϕ , h ,
- физическими характеристиками следа r_0 ,

Выбор оптимального угла места приемной антенны

Зависимость мощности на входе приемника от положения зеркальной точки в метеорной зоне для разных длин трасс изображена на рис. 2 (передающая и приемная антенна имеют круговую диаграмму направленности в обеих плоскостях).

В моделировании трассы распространения радиоволн применялись следующие величины:

- рабочая частота $F = 49.75$ МГц, которая соответствует частоте 1-го ТВ канала;
- среднее значение начального радиуса следа $r_0 = 0,8$ м;
- среднее значение высоты отражающей точки $h = 90$ км.

R_p – положение зеркальной точки ($R_p = 0$ соответствует положению зеркальной точки над приемной станцией, $R_p = 1$ над передающей станцией, $R_p = 0.5$ посередине трассы).

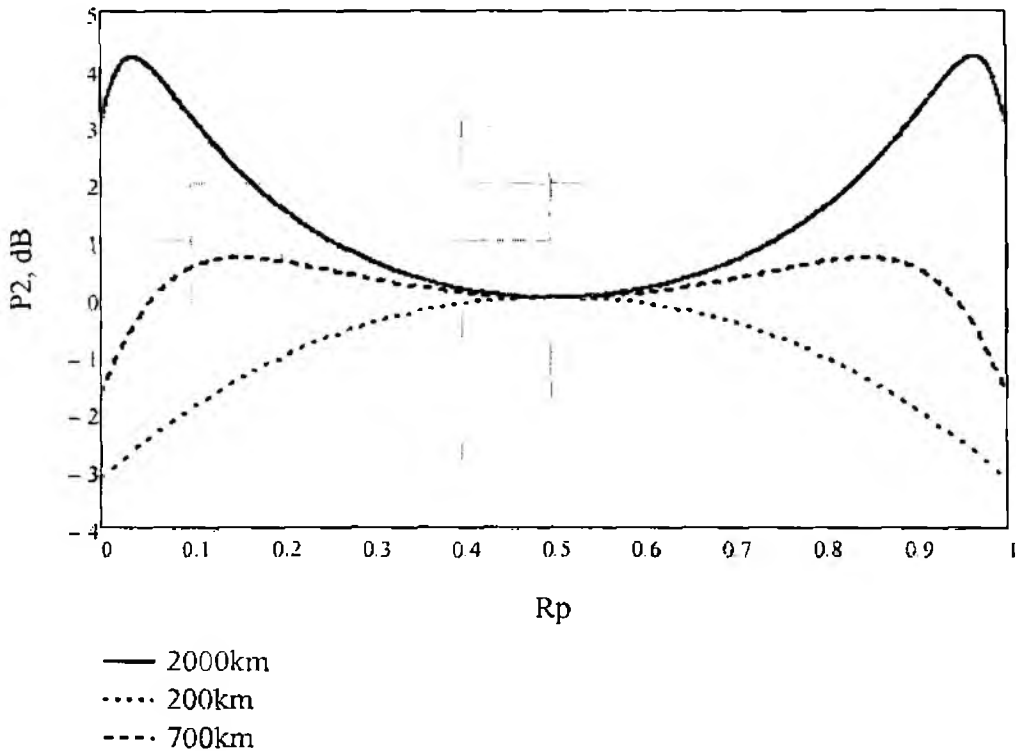


Рис. 2

На рис. 2 значения мощности на входе приемника нормированы относительно значения мощности при $R_p = 0.5$.

На характер зависимости мощности на входе приемника от положения зеркальной точки в метеорной зоне в значительной степени сказывается длина трассы, а также значения угла β .

Из рис. 2 видно, что чем длиннее трасса, тем больше максимумы уровня мощности смещаются непосредственно над передающей и приемной станциями. Концентрация регистрируемых метеоров вблизи станций отчасти обусловлена тем, что геометрическое затухание (2) для отражений от этих метеоров меньше чем для отражений от следов в районе средней точки.

Как правило, ДН, в вертикальной плоскости, передающих антенн ТВ вещательных станций имеют форму отличной от круговой, при этом мощность сигнала, отраженного от метеорного следа, на входе приемника будет определяться следующим выражением

$$P_2 = P_1 G_1 G_2 \lambda^3 \alpha^2 \sigma \cos(\gamma)^2 L \cdot F_1(\theta), \quad (3)$$

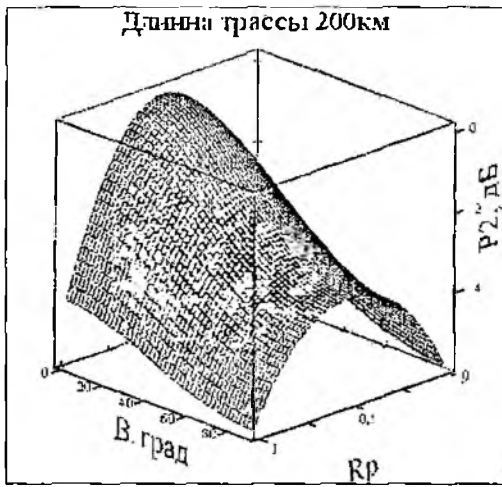
где $F_1(\theta)$ – диаграмма направленности передающей антенны.

В большинстве существующих передающих антенн ТВ вещательных станций ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости составляет $20 \dots 40^\circ$, уровень боковых лепестков (УБЛ) составляет $-10 \dots -15$ дБ. Главный лепесток ДН иногда, в целях увеличения зоны обслуживания, прижимают к Земле на 1-2 градуса, т.е. в первом приближении можно считать, что он касателен к горизонту.

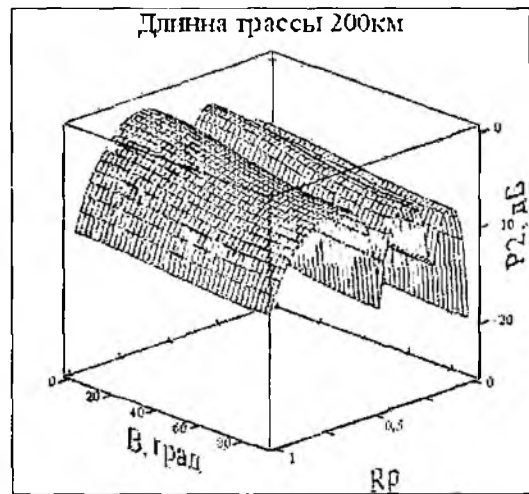
Проведем сравнение зависимости мощности на входе приемника от положения зеркальной точки, при различных углах β , для двух случаев:

- ДН в вертикальной плоскости передающей антенны ненаправленная (рис. 3, а, в, д);
- ДН в вертикальной плоскости передающей антенны типичная для передающих ТВ вещательных станций (рис. 3, б, г, е).

Длина трассы 200 км и 2000 км соответствует трассе минимальной и максимальной возможной для разнесенной системы радиолокации метеорных следов вперед соответственно. Длина трассы 700 км соответствует трассе Москва-Харьков.

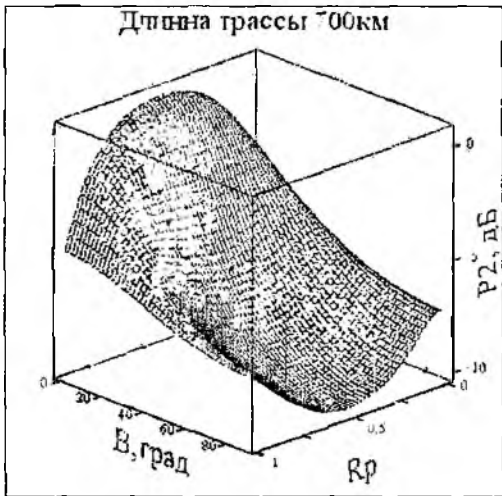


а

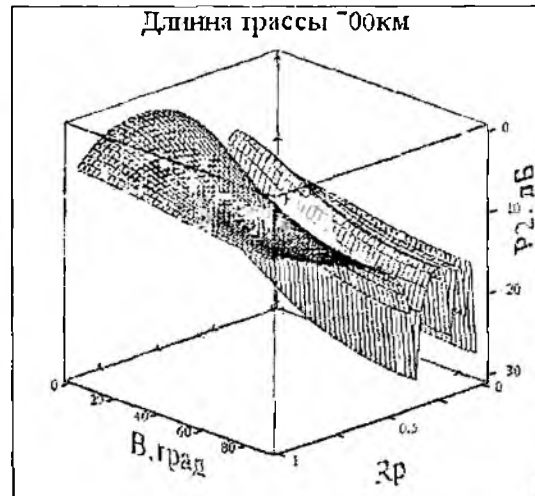


б

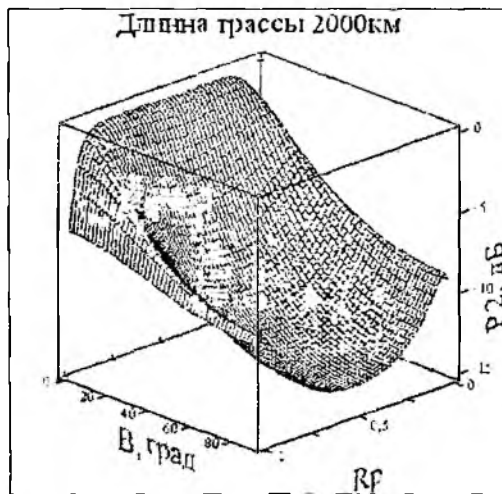
Рис. 3



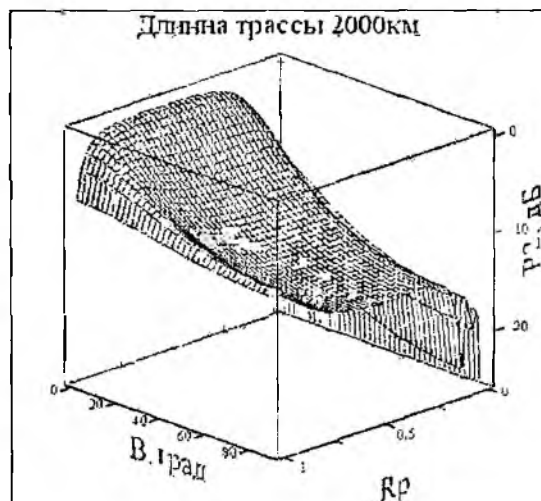
в



г



д



е

Рис. 3

Для повышения соотношения с/ш необходимо ориентировать приемную антенну в вертикальной плоскости в сторону, где мощность, отраженная от метеорных следов, будет максимальной. На рис. 4 показана зависимость оптимального угла места приемной антенны δ от

длины трассы для различных значений ширины ДН передающей антенны. В моделировании было принято допущение, что закон распределения угла β – равномерный.

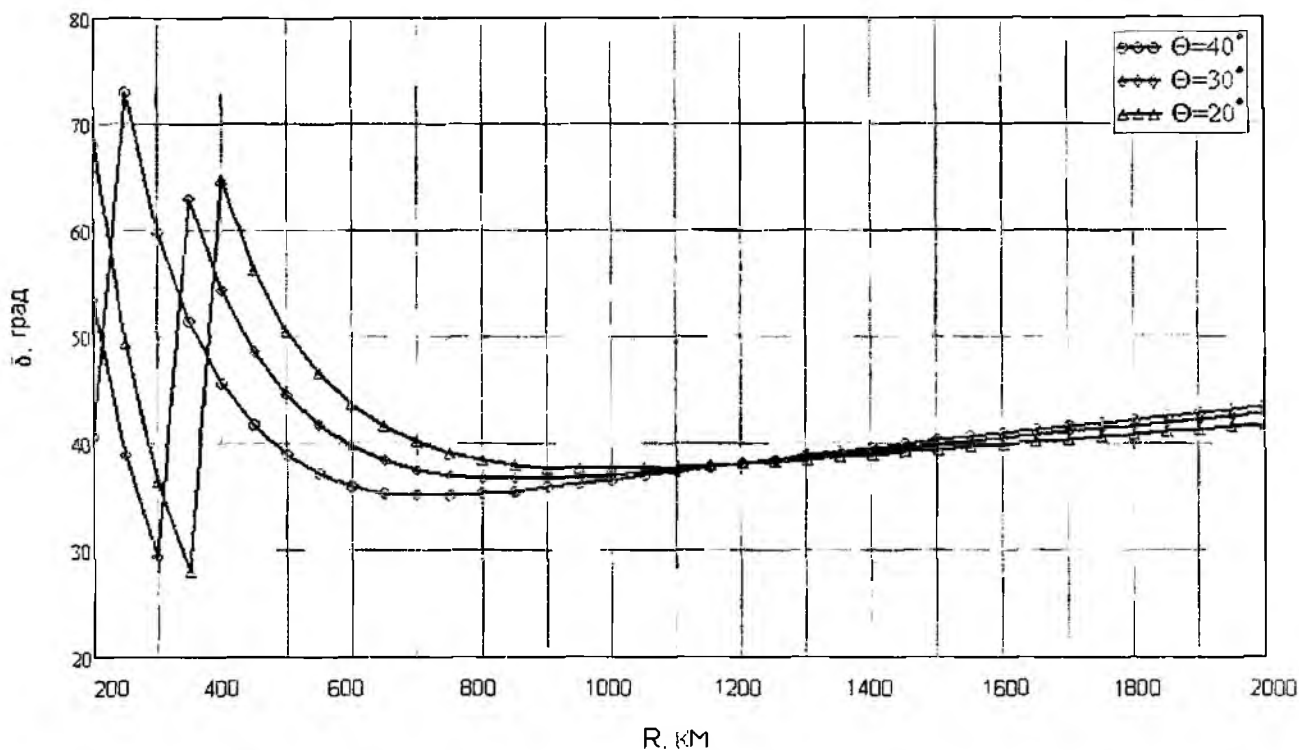


Рис. 4

Скачки кривых, представленных на рис. 4, для длин трасс менее 400 км обусловлены наличием боковых лепестков в ДН передающей антенны уровень сигнала от которых (в зависимости от ширины главного лепестка и УБЛ) больше чем от главного. При неизвестной форме ДН передающей станции и расстояния до нее, либо наличии нескольких источников находящихся на различном расстоянии от приемного пункта, можно задаться неким квазиоптимальным углом возвышения, который равен 40° .

Следует отметить, что приведенные в статье результаты справедливы для получения максимального соотношения с/ш и как следствие повышения регистрируемой численности метеорных отражений, при этом выбранный угол возвышения приемной антенны не является оптимальным для получения максимальной длительности метеорных отражений.

Рассмотрим случай выбора угла места приемной антенны для получения максимальной длительности метеорных отражений. Максимальной длительностью отражения обладают те метеоры, для которых угол ϕ максимальный, т.е. для получения максимальной длительности метеорных отражений необходимо ориентировать ДН приемной антенны в вертикальной плоскости на середину трассы в метеорную зону [9]. Длительность метеорных отражений пропорционально $\sec^2(\phi)$. Оптимальный угол места приемной антенны для получения максимальной длительности метеорных отражений δ_1 изображен на рис. 5.

На рис. 6 показано, во сколько раз длительность метеорных отражений будет меньше при использовании угла места оптимального для соотношения с/ш по сравнению со случаем использования угла места оптимального для получения максимальной длительности.

Из рис. 6 видно, что с увеличением длины трассы проигрыш возрастает и может достигать до 3 раз.

Результаты экспериментальных исследований

Для подтверждения результатов моделирования был проведен эксперимент 12-13 июля 2007 на Балаклеевском полигоне (Харьковская обл.). В качестве источника излучения был

использован сигнал от первого ТВ канала Останкинской телевышки. Угол возвышения приемной антенны, которая представляла собой 3-элементный волновой канал, регулировался с помощью изменения высоты подвеса антенны. Результаты экспериментального исследования показали, что повышение угла возвышения ДН приемной антенны до 30° по сравнению с антенной ДН которой прижата к Земле дает прирост численности метеорных отражений до 30%.

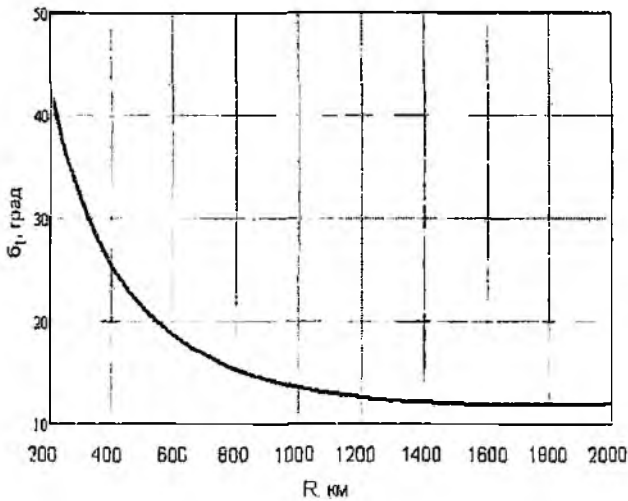


Рис. 5

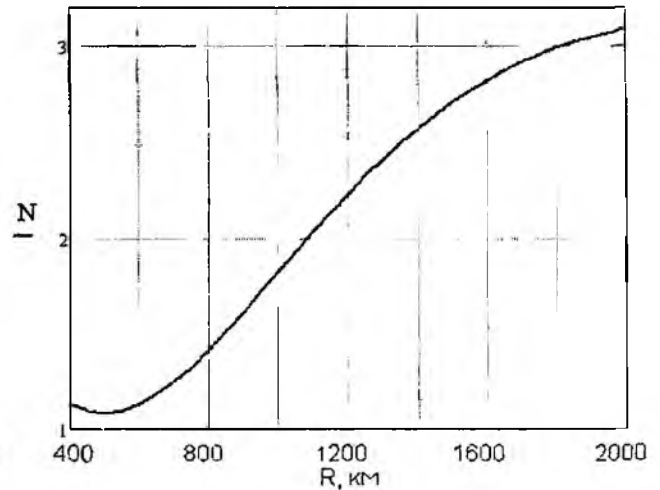


Рис. 6

Выводы

1. Для длин трасс более 500 км, при отсутствии информации о ДН передающей антенны, можно использовать квазиоптимальный угол места приемной антенны равный 40° .
2. При выборе стороннего источника излучения для трасс длиной более 500 км наиболее объективным параметром служит эффективная излучаемая мощность (ERP), а для трасс менее 500 км необходимым параметром является и УБЛ ДН передающей антенны.
3. Результаты моделирования могут быть использованы для построения систем регистрации численности метеорных отражений с использованием сторонних источников излучения.

Список литературы: 1. Горелов Д.Ю., Волощук Ю.И. Усовершенствование методики учета физического фактора замечаемости при построении истинных распределений параметров радиометеоров // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2006. Вып. № 145. 71с. 2. Кащеев Б.Л., Бондарь Б.Г., Горбач В.И., Коваль Ю.А. Метеоры сегодня. Киев: Техника, 1996. 26 с. 3. Олейников А.Н., Лыков Ю.В., Сосновчик Д.М. Исследование притока метеорного вещества с использованием системы разнесенной радиолокации // 1-я международная конференция «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития.» Сб. материалов конференции. Харьков ХНУРЭ, 2006. 470с. 4. Олейников А.Н., Сосновчик Д.М. Определение высоты отражающей области метеорного следа при использовании телевизионного сигнала в разнесенной системе радиолокации // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2005. Вып. 143. С.201-208. 5. Yrjola I., Jenniskens P., 1998, Meteor Stream Activity VI. A survey of annual stream activity by means of forward meteor scatter, Astronomy & Astrophysics 330, 739–752. 6. Jenniskens P. Meteor Stream Activity. IV. Meteor outbursts and the Sun's reflex motion, Astronomy & Astrophysics 317, 1997, p.953–961. 7. Антипов И.Е., Коваль Ю.А., Обельченко В.В. Развитие теории и совершенствование радиометеорных систем связи и синхронизации. Х.: Коллегиум, 2006. 257 с. 8. Кащеев Б.Л., Бондарь Б.Г. Метеорная связь: Учеб. пособие. К.: УМК, 1989.-17 с. 9. Мак-Кинли Д. Методы метеорной астрономии // М.: Мир, 1964. 310с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 21.11.2007