

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗНЕСЕННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИИ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ

Введение

В настоящее время продолжают исследования происхождения метеорных роев и их связи с возможными родительскими телами – кометными ядрами и астероидами, траектории которых проходят вблизи орбиты Земли [1, 2].

Для исследования метеорных явлений, как правило, используются совмещенные системы радиолокации, в которых радиопередающее 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 киловатт, в диапазоне 30 – 100 МГц. В качестве таких сигналов целесообразно использовать сигналы уже существующей сети радио- и телевизионных вещательных станций [3, 4].

Постановка задачи

При выборе теле-, радиостанций для радиолокации метеорных следов следует учитывать ряд параметров, основными из которых являются: частоты несущей радиосигнала, мощность и КНД антенны передающей радиостанции и расстояния от нее до точки расположения приемной антенны. Большое количество этих параметров обуславливает необходимость выработки единого критерия, который служил бы для выбора наиболее подходящего для метеорной радиолокации стороннего источника радиоизлучения.

Сигналы от уже существующих теле-, радиостанций могут распространяться в пункт приема по нескольким радиоканалам – земному и метеорному. Земные сигналы представляют собой помехи для разнесенной системе радиолокации метеорных следов (РСРМС) [5]. Следовательно, разветвленные сети теле-, радиовещания, работающие в используемом для метеорной радиолокации частотном диапазоне, создают дополнительные помехи РСРМС. Из-за этих помех повышается пороговый уровень в схемах обнаружения метеорного следа, снижается вероятность правильного обнаружения отраженного от метеорного следа зондирующего сигнала и уменьшается численность обнаруживаемых метеорных следов. Следовательно, действие подобного рода помех уменьшают эффективности РСРМС.

Из сказанного выше следует, что для обеспечения эффективной работы РСРМС необходимо разработать методику выбора стороннего источника радиоизлучения (зондирующего сигнала) и способы минимизации уровня помеховых сигналов.

Методика выбора источника зондирующего сигнала в разнесенной системе радиолокации метеорных следов

Для решения задачи выявления отражений от метеорных следов, которые сопровождаются большим уровнем шумов, необходимо обеспечить достаточное отношение сигнал/шум для их идентификации. Параметры стороннего сигнала, выбранного в качестве зондирующего, невозможно изменять. Для повышения отношения с/ш могут быть изменены только параметры приемной аппаратуры или использованы другие сторонние источники радиоизлучения. Для выбора зондирующего сигнала предлагается использовать следующую методику.

Вначале экспериментальным путем определяются частоты, на которых отсутствуют помехи в точке приема. Необходимо определить сторонние источники радиоизлучения, находящиеся на расстоянии 300...2000 км. Для этого можно воспользоваться электронным ресурсом [6]. Карта с нанесенными телевизионными вещательными станциями, с излучаемой мощностью более 20 кВт, в I и II телевизионном канале, находящимися на расстоянии до 1000 км от г. Харькова, показана на рис. 1.

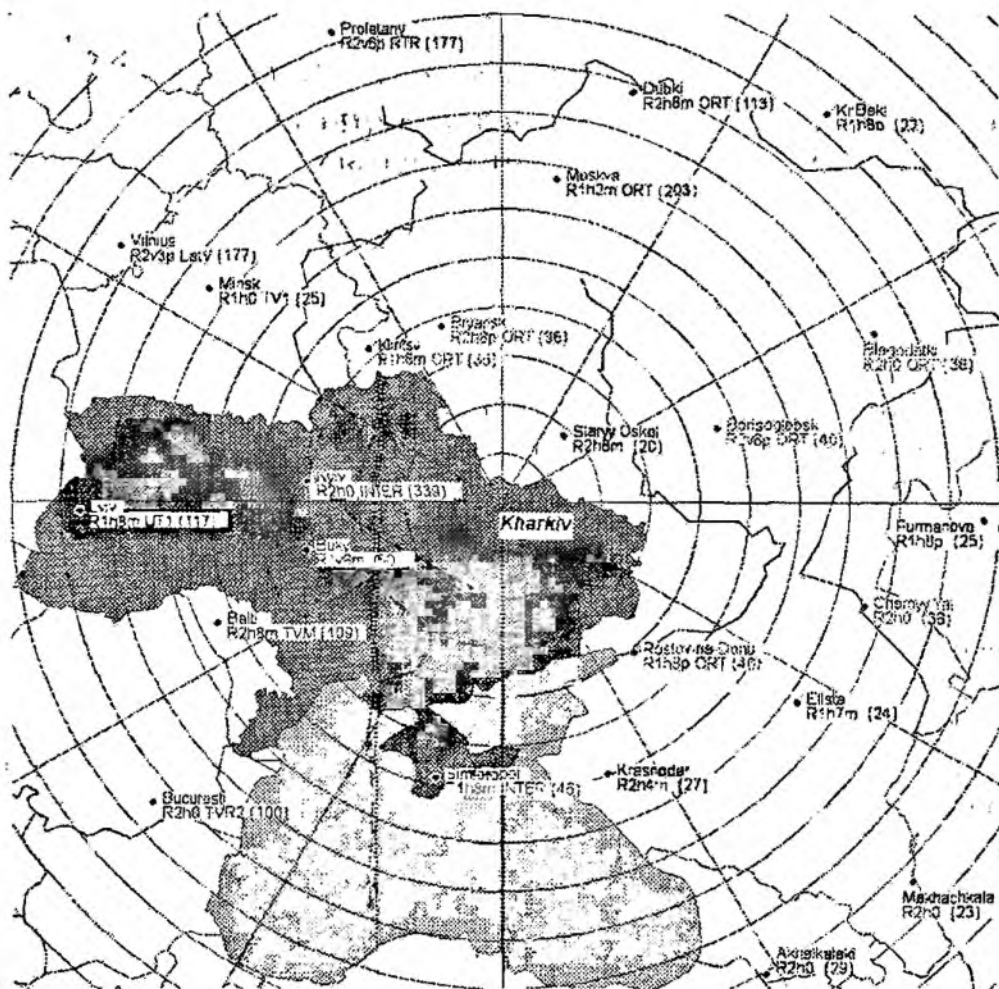


Рис. 1

Для каждого стороннего источника определяем мощность сигнала отраженная от метеорного следа на входе приемника РСРМС.

Максимальная мощность сигнала отраженного от ненасыщенного метеорного следа определяется по формуле [7]:

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

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.

Затухание сигнала L распространяющегося по метеорному каналу определяется по формуле

$$L = \frac{e^{-\frac{8\pi^2 r_0^2}{\lambda^2 \sec^2(\phi)}}}{(4\pi)^3 R_1 R_2 (R_1 + R_2) (1 - \cos^2(\beta) \sin^2(\phi))}, \quad (2)$$

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 метеорного следа.

Зададимся следующими значениями: $r_0=0.8$ м; $R_1=R_2$; тогда

$$\phi = \arctg(R/184000). \quad (3)$$

где r – расстояние между приемным и передающим пунктами, $1 - \cos^2(\beta)\sin^2(\phi) \approx 1$.

В результате каждому стороннему источнику можно присвоить весовой коэффициент W_i :

$$W_i = P_i G_i \lambda^3 \left(\frac{R^2}{2} + 8,5 \cdot 10^9 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{\frac{-50}{\lambda^2 \sec^2 \left(\arctg \frac{R}{184000} \right)}}. \quad (4)$$

Мощность шума на входе приемника определяется выражением

$$P_{ш} = k T_s \Delta F, \quad (5)$$

где k – постоянная Больцмана; ΔF – полоса пропускания приемника; T_s – эффективная температура шума, отнесенная к входу приемника [8], которая хорошо аппроксимируется выражением $T_s = 80 \lambda^{2,3}$.

Совместный учет выражений (4) и (5) позволяет оценить отношение сигнал/шум на входе приемника, которое будет пропорционально коэффициенту S_i :

$$S_i \sim P_i G_i \lambda^{0,7} \left(\frac{R^2}{2} + 8,5 \cdot 10^9 \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{\frac{-50}{\lambda^2 \sec^2 \left(\arctg \frac{R}{184000} \right)}}. \quad (6)$$

При сравнении сторонних источников с разной структурой спектра сигнала необходимо также учитывать используемую полосу пропускания приемных устройств, с помощью коэффициента $1/\Delta F$.

В результате анализа коэффициента S_i для каждого стороннего источника выбирается вещательная станция с большим значением.

Согласно приведенной выше методике выбраны наиболее перспективные сторонние источники (ТВ вещательные станции I – V каналов) для пункта наблюдения с координатами 49°25' с.ш., 36°54' в.д. (Балаклеевский район, Харьковской обл.). Результаты расчета параметра S_i представлены в табл. 1.

Из таблицы видно, что в 95 % случаев излучаемая мощность ТВ вещательных станций более 25 кВт, а расстояние до них меньше 1200 км, поэтому данные значения могут служить предварительным критерием отсортировки существующих сторонних источников. В 77 % случаев ТВ вещательные станции сосредоточены в I – III метровых каналах и в 67 % имеют передающую антенну с поляризацией в горизонтальной плоскости.

Экспериментально подтверждено, что при использовании приемника с чувствительностью не хуже 1 мкВ и приемной антенны типа трехэлементный волновой канал для стороннего источника с оценочным параметром $S_i = 4,6 \times 10^{-12}$ возможно получить до 1200 метеорных отражений в сутки [9].

Следует отметить, что для расстояний менее 400 км энергетический потенциал источника будет меньше, чем рассчитанный по выражению (6), так как диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости отлична от круговой.

Минимизации уровня помеховых сигналов при помощи естественных или искусственных экранирующих препятствий.

Отношение сигнал/помеха в разнесенной системе радиолокации метеорных следов так же может быть увеличено за счет экранирования приемной антенны от помех естественными или искусственными препятствиями. Такое экранирующее препятствие вносит различные ослабления на трассах распространения помеховых земных и отраженных от метеорных следов сигналов. Это вызвано различными углами наклона трасс метеорного и земного радиоканалов в приемном пункте РСРМС.

В таблице представлены результаты расчета ослабления уровня помеховых сигналов, распространяющихся по земному радиоканалу. Расчет выполнен для случая экранирования

приемной антенны естественными препятствиями согласно методике определения медианы множителя ослабления для закрытых и полужакрытых трасс для диапазона частот I – III телевизионного каналов (48,5 – 84 МГц) [10]. Модель профиля трассы, используемая при расчете, приведена на рис. 2.

Характеристики наиболее перспективных ТВ вещательных станций

№ ТВ канала	Поляризация антенны	Страна	Название канала	Месторасположение канала	Эффективная излучаемая мощность, кВт	Расстояние до передаточного пункта, км	Азимут	$S_{\text{т}} \times 10^{12}$
3	Г	RUS		Сальск	430	473	132°	52
5	Г	RUS	ORT	Бобров	920	285	49°	46
3	Г	RUS		Камышин	920	615	80°	21
2	Г	UKR	INTER	Киев	338,5	475	290°	19
3	Г	MDA	TVM	Straseni	930	668	251°	17
3	В	RUS		Липецк	150	401	25°	8,2
5	В	RUS		Тула	330	527	5°	7,8
1	Г	RUS	ORT	Ростов на Дону	45,5	319	138°	7,8
4	Г	RUS	ORT	Ставрополь	260	616	141°	5,1
2	Г	RUS		Старый Оскол	20	216	23°	4,8
1	В	UKR		Буки	49,5	427	270°	4,8
1	Г	RUS	ORT	Москва	202,5	728	4°	4,6
5	Г	RUS		Краснодар	165	516	162°	4,1
3	Г	UKR	INTER	Ровно	250	768	284°	3,2
3	Г	RUS	TV Centr	Москва	190	728	4°	2,9
2	В	RUS	ORT	Борисоглебск	40	428	57°	2,9
1	Г	UKR	INTER	Симферополь	45,5	534	202°	2,6
2	Г	MDA	TVM	Balti	109	681	258°	2,5
2	Г	UKR		Луганск	9	200	112°	2,4
2	Г	RUS	ORT	Брянск	36	462	339°	2,2
3	Г	RUS		Новосокольники	240	897	332°	2,1
1	Г	RUS	ORT	Клинцы	35	500	321°	2,1
5	В	RUS		Родники	230	910	19°	1,6
4	В	RUS	ORT	Пролетарий	350	1082	342°	1,6
2	В	LTU	LatV	Vilnius	177	987	311°	1,5
1	В	RUS		Серов	1029	1890	44°	1,5
1	Г	ARM	ArmTV	Yerevan	256	1190	147°	1,4
1	Г	UKR	UT1	Львов	117	923	278°	1,4
2	Г	RUS		Краснодар	27	511	161°	1,3
4	В	LTU	LNK	Vilnius	180	987	311°	1,1
2	В	RUS	RTR	Пролетарий	177	1082	342°	1,1

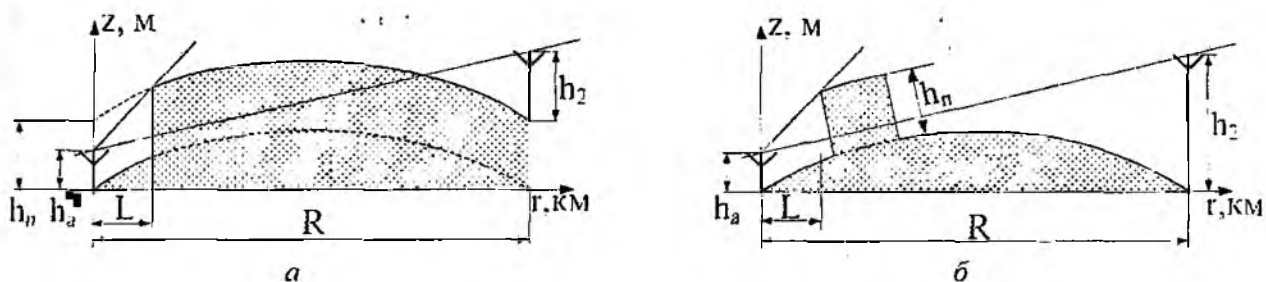


Рис. 2

На рис. 3 изображена зависимость величины ослабления уровня помехового сигнала, распространяющегося по земному радиоканалу, от параметров экранирующего препятствия.

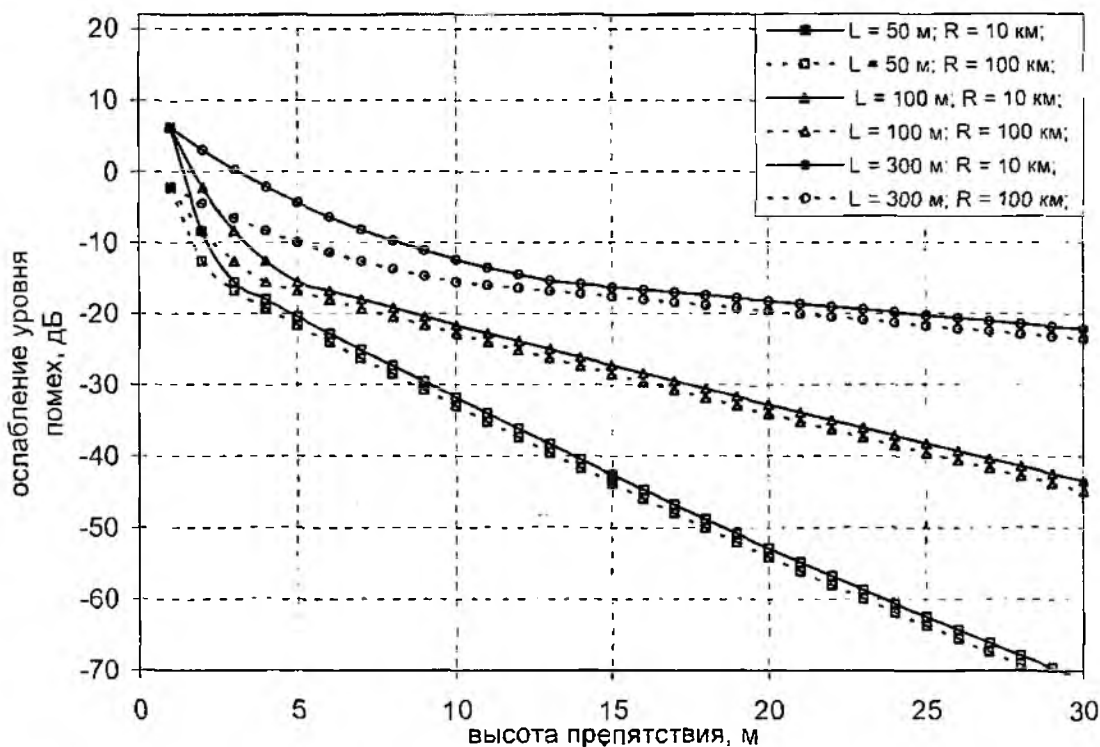


Рис. 3

При расчете были заданы следующие параметры экранирующего препятствия: высота препятствия $h_n = 3 - 30$ м; расстояние от приемной антенны РСРМС до экранирующего препятствия $L = 50 - 300$ м; высота подвеса приемной антенны РСРМС $h_a = 3$ м; высота передающей антенны радиостанции помехового сигнала $h_2 = 50$ м; расстояние между приемной антенной РСРМС и передающей антенной радиостанции помехового сигнала $R = 10 - 100$ км.

Из графиков на рис. 3 следует, что в рабочем диапазоне частот разнесенной системы метеорной радиолокации при вертикальных габаритных размерах экранирующего препятствия $5 - 10$ м возможно ослабление на $5 - 30$ дБ уровня помеховых радиосигналов, распространяющихся по земному радиоканалу. При этом экранирующее препятствие должно быть расположено на расстоянии $50 - 300$ м от приемной антенны РСРМС. Широкий диапазон изменения ослабления уровня помеховых сигналов вызван различным удалением помеховых радиостанций от приемной антенны РСРМС.

Следует отметить, что для экранирования приемной антенны может быть выбрано как естественное препятствие (холм или подобные особенности рельефа местности), так и искусственное (высотное здание, специально изготовленный вертикальный металлический экран и т.п.).

Минимизация уровня помех также может быть осуществлена при помощи автокомпенсатора в приемном тракте РСРМС.

Минимизация уровня помеховых сигналов за счет использования автокомпенсатора в приемном тракте РСРМС

Одной из важнейших тенденций развития современной радиолокации является стремление к получению более полной информации о сигналах и помехах. Для увеличения сведений о помехах используются дополнительные каналы приема, отличающиеся от основного по любому из параметров – частоте, времени задержки сигнала, направлению приема, поляризации [11]. В РСРМС – по направлению приема.

При многоканальном приеме, когда сигнал присутствует только в основном канале, а помехи в основном и дополнительном каналах полностью коррелированы, оптимальная процедура приема заключается в вычитании помехи, принимаемой по дополнительному каналу $\underline{U}_{\text{дл}} = \underline{U}_i$, из аддитивной смеси полезного сигнала и помехи основного канала $\underline{U}_0 = \underline{U}_s + \underline{U}_i$. Для компенсации помехи необходимо обеспечить точное соответствие напряжений \underline{U}_i в основном и дополнительных каналах. Это требование можно выполнить, введя корреляционную обратную связь (рис. 4). Основным приемный канал отличается от дополнительного только диаграммой направленности приемной антенны.

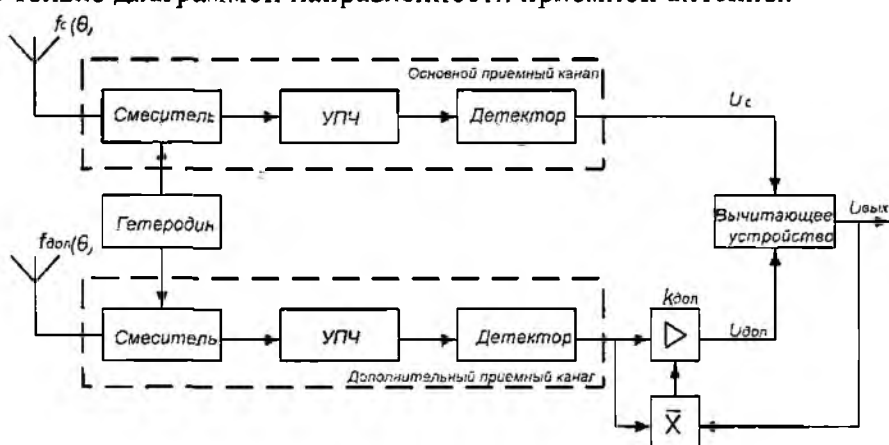


Рис. 4

Коэффициент усиления дополнительного канала автокомпенсатора:

$$k_{\text{доп}} = \frac{k_{\text{рег}} k_o \overline{U_n^2}}{1 + k_{\text{рег}} \overline{U_n^2}} \cong k_o \text{ при } k_{\text{рег}} \overline{U_n^2} \gg 1, \quad (7)$$

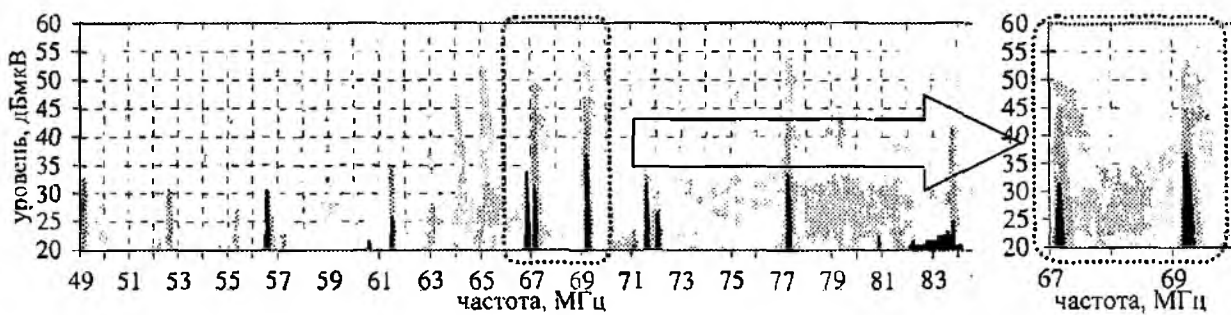
где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент усиления дополнительного канала; k_o – коэффициент усиления основного канала; $k_{\text{рег}}$ – коэффициент усиления цепи регулирования канала; \underline{U}_i – напряжение помехи.

Следовательно, при достаточно большом коэффициенте усиления цепи регулирования $k_{\text{рег}}$ коэффициенты усиления основного и дополнительного каналов равны, что и требуется для компенсации помехи. Если кроме равенства амплитуд для напряжений в основном и дополнительном каналах обеспечить и равенство фаз, то помеху можно скомпенсировать не только после детектора, но и на промежуточной частоте.

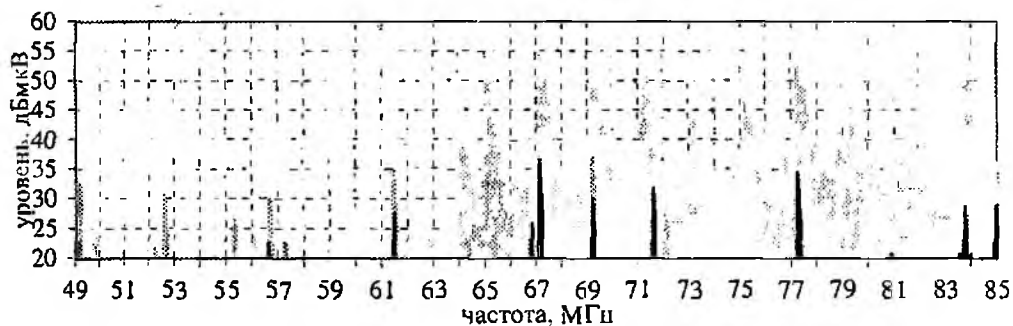
Экспериментальное исследование эффективности методов минимизации уровня помеховых сигналов в РСРМС

Экспериментально исследована помеховая обстановка в диапазоне рабочих частот РСРМС при различных расположениях на местности ее приемной антенны. Для исследования использовался сканирующий приемник IC-PCR-1000 с антенной типа «полуволновой вибратор» типа DP1. С помощью данной аппаратуры были сняты панорамы радиоэфира (рис. 5) в следующих пунктах:

- №1 корпус «И», ХНУРЭ (светло-серый цвет на рис. 5);
- №2 с. Тарановка (удаление 50 км. от г. Харькова) (темно-серый цвет на рис. 5);
- №3 с. Тарановка, за экранирующим препятствием с высотой 8 м. (черный цвет на рис. 5).



а



б

Ориентация максимумов диаграммы направленности антенны сканирующего приемника по Странам Света: а – Север-Юг; б – Запад-Восток.

Рис. 5

Результаты эксперимента позволяют оценить эффективность экранирования антенны разнесенной системы метеорной радиолокации естественными складками местности. Показано, что при высоте экранирующего препятствия 8 м, расположенного на расстоянии от приемной антенны в 80 м. уровень помеховых сигналов в диапазоне рабочих частот РСРМС уменьшился на 8...12 дБ. Экспериментально полученная величина ослабления уровня помеховых сигналов находится в пределах расчетных значений для естественных экранирующих препятствий с вертикальными размерами 5 – 10 м.

Исследованы условия приема сигналов по метеорному радиоканалу при экранировании приемной антенны РСРМС от помех естественными препятствиями. Для этого была развернута измерительная аппаратура, аналогичная используемой в [9], в двух пунктах: с. Балаклея и с. Тарановка за экранирующим препятствием высотой 8 м. Одновременные исследования, проведенные в августе 2008 г., показали, что экранирование приемной антенны не препятствовало приему телевизионного сигнала останкинского телецентра с частотой несущей 49,75 МГц по метеорному радиоканалу и способствовало увеличению численности обнаруживаемых метеорных следов в 2 – 3 раза.

Выводы

1. Разработана методика выбора стороннего источника радиоизлучения для использования его в качестве зондирующего сигнала в РСРМС. Использование данной методики позволяет выбрать источник радиоизлучения из действующей вещательной сети радио и ТВ станций с наибольшим отношением сигнал/шум на входе приемника.

2. Уменьшение уровня помех может быть выполнено за счет экранирования приемной антенны РСРМС естественными или искусственными препятствиями или при помощи применения автокомпенсационных схем в приемном тракте.

3. Показано, что экранирующие препятствия с вертикальными размерами 5 – 10 м, расположенные от приемной антенны РСРМС на 5 – 300 м, вносят ослабления уровня помех от окрестных радиостанций на 5 – 30 дБ и способствуют повышению эффективности РСРМС (увеличению численности обнаруживаемых метеорных следов).

4. Полученные результаты могут быть полезны для построения малозатратных систем измерения характеристик метеорных отражений и определения их радианта [12].

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. № 145. С. 71-79. 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 Междунар. конф. «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития»: Сб. материалов конференции. Харьков: ХНУРЭ, 2006. С.270. 4. Олейников А.Н., Сосновчик Д.М. Определение высоты отражающей области метеорного следа при использовании телевизионного сигнала в разнесенной системе радиолокации // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. Сб. 2005. №143. С.201-208. 5. Сосновчик Д. М. Совершенствование радиометеорных систем изучения динамики нижней термосферы и методов обработки радиометеорной информации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.12.17. Харьков: ХНУРЭ, 2007. 20с. 6. <http://www.ukwntv.de/fmscan/main.php>. 7. Кащеев Б.Л., Бондарь Б.Г. Метеорная связь. Киев: УМК, 1989. 17 с. 8. МакКинли Д. Методы метеорной астрономии. М.: Мир, 1964. 57с. 9. Лыков Ю.В., Олейников А.Н. Результаты экспериментального исследования характеристик метеорного радиоканала с использованием телевизионных сигналов // 13-й Междунар. молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»: Сб. материалов форума. Ч1. Харьков: ХНУРЭ, 2009. С.23. 10. Локшин М.Г. и др. Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания. М.: Радио и связь, 1988. 144 с. 11. Дулевич В.Е. Теоретические основы радиолокации. М.: Сов. радио, 1978. 608с. 12. Лыков Ю.В. Методика определения радианта индивидуальных метеоров в разнесенной системе метеорной радиолокации при использовании ТВ сигналов // «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2008». Материалы Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Севастополь: СЕВНТУ, 2008. С. 80-81.

*Харьковский национальный
университет радиозлектроники*

Поступила в редакцию 13.04.2009