

АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ МЕТЕОРНОГО РАДИОКАНАЛА ПУТЕМ ПРИЕМА ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

Введение

Метеорное распространение радиоволн, основанное на отражении радиоволн метрового диапазона от ионизированных следов метеоров известно с 50-х годов XX века. Дальность передачи информации в метеорном радиоканале (МРК) составляет порядка 2000 км, средняя мощность передатчика системы метеорной радиосвязи составляет 10 Вт. Свойства и особенности МРК подробно описаны в [1]. Известные метеорные системы связи работают, как правило, в достаточно узкой полосе частот (от нескольких сотен герц до десятков килогерц) [2]. Этим объясняется небольшая средняя скорость передачи по МРК (десятки – сотни бит/с). Расширение полосы канала позволило бы увеличить среднюю скорость передачи по МРК, а также рассмотреть вопрос о применении в нем шумоподобного сигнала (ШПС) с полосой около 10 МГц. Но для этого необходима информация об амплитудно-частотных характеристиках (АЧХ) канала.

В статье рассматривается возможность экспериментального исследования АЧХ МРК. Это исследование необходимо для разработки системы метеорной радиосвязи использующей ШПС. Для оценки АЧХ МРК требуется выбрать сигнал, обладающий широкой полосой. Прежде чем проводить экспериментальное исследование, необходимо провести предварительное моделирование, на основании которого выработать требования для аппаратуры эксперимента. Также, необходимо провести оценку влияния случайных характеристик МРК, таких как электронная плотность следа.

Основная часть

Теоретически частотная зависимость амплитуды отраженного сигнала от частоты имеет вид (1)

$$A(f) \sim \frac{1}{f^{2.5}}, \quad (1)$$

Но это соотношение чаще всего использовалось для выбора средней частоты МРК из диапазона возможных, а не для оценки АЧХ в пределах полосы его пропускания. На рис. 1 изображен график приведенного выше выражения в зависимости от вида метеорного следа.

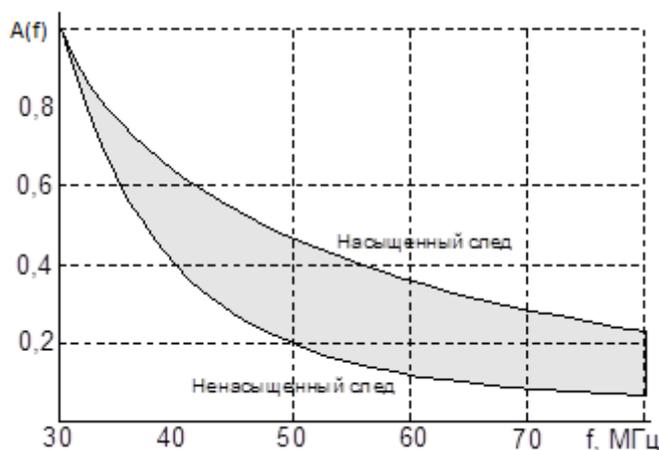


Рис. 1

Неоднозначность амплитудно-частотной характеристики не позволяет выработать рекомендации по использованию в нем широкополосных сигналов. Для уточнения частотных характеристик МРК предлагается провести экспериментальные исследования.

Следует отметить, что в середине 70-х годов такие работы предпринимались. Был проведен ряд экспериментов по изучению частотных свойств канала с целью увеличения точности метеорных систем сличения эталонов времени

[4].

Основные исследования, проводившиеся в то время, были направлены, во-первых, на изучение возможности передачи информации широкополосных сигналов через МРК, во-вторых, оценивалось влияние МРК на качество широкополосного сигнала. Экспериментально была проведена передача сигнала с шириной полосы частот 800 кГц, и оценивалась групповая задержка сигнала. В ходе исследований было установлено, что МРК не оказывает существенного влияния на передачу сигнала с такой полосой частот. Данные исследования позволяют нам утверждать, что передача широкополосных сигналов через МРК возможна.

Однако эти исследования не дают ответа на два основных вопроса:

1. Количественные оценки АЧХ канала.
2. Возможность работать в полосе частот около 10 МГц.

Для ответов на эти вопросы необходимо провести экспериментальное исследование. И в качестве источника сигнала для такого исследования можно использовать ТВ сигнал.

Преимуществами использования ТВ сигнала является то, что:

- полоса частот ТВ сигнала составляет 8 МГц, что близко к необходимым 10 МГц;
- не требуется собственный передатчик и затраты энергии на излучение;
- отсутствуют организационные сложности, связанные с получением разрешения на излучение;
- измерения можно производить непрерывно, т. к. ТВ вещание, практически, круглосуточное.

Но использование ТВ сигнала имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать:

- спектр ТВ сигнала в полосе его частот неравномерный и непостоянный;
- на одном частотном канале может работать несколько передатчиков, что может создавать помехи;
- ТВ сигнал, принятый по МРК, достаточно слабый, поэтому его прием и обработка требуют применения специальной аппаратуры.

Ответ на поставленные вопросы мог бы дать вид измерительных строк, содержащие сигналы различных частот, или, в крайнем случае, оценка качества ТВ картинки, которая позволила бы сделать вывод об АЧХ канала.

Как отмечается в [5], где сделана оценка возможности приема телевизионного сигнала через МРК, для этой цели в наибольшей степени подходит первый метровый канал (49,75...56,25 МГц.). Анализ схемы размещения передатчиков, работающих на этом канале, позволил выбрать мощный передатчик Московского телецентра (50 кВт). Для приема выбран Балаклейский геофизический комплекс (БГК ХНУРЭ, национальное научное достояние Украины). При этом длина трассы составляет около 800 км.

Рассмотрим энергетические характеристики МРК на данной трассе.

Выражение, характеризующее мощность сигнала отраженного от насыщенного метеорного следа имеет вид

$$P_r = \frac{P_t G_r G_t \lambda^2 \sqrt{\frac{4D+r_0^2}{(\sec\theta)^2} \ln\left(\frac{r_e \alpha \lambda^2 (\sec\theta)^2}{\pi^2 (4D+r_0^2)}\right)}}{32\pi^2 r_1 r_2 (r_1+r_2)(1-(\cos\gamma)^2 (\sin\theta)^2)}, \quad (2)$$

где P_t, P_r – мощность переданного и принятого сигнала соответственно; G_r, G_t – коэффициент направленного действия передающей и приемной антенн соответственно; λ – длина волны; D – коэффициент амбиполярной диффузии; r_0 – начальный радиус метеорного следа,

θ – угол падения передаваемой плоской волны на метеорный след; r_e – радиус электрона; α – линейная плотность электронов на 1 метр, r_1, r_2 – расстояние между передающей антенной и метеорным следом и между приемной антенной и метеорным следом [1].

Верхняя оценка уровня принимаемого сигнала согласно (2) составляет около 20 мкВ, что позволяет осуществлять прием на большинство обычных телевизионных приемников. На рис. 2 представлена спектральная плотность мощности реального ТВ сигнала [7]. Как видно

из рисунка, несущая звука на 10 дБ отличается по мощности от несущей изображения, а спектр изображения неравномерный и видны части спектра, которые отличаются от несущей по амплитуде на 40 дБ.

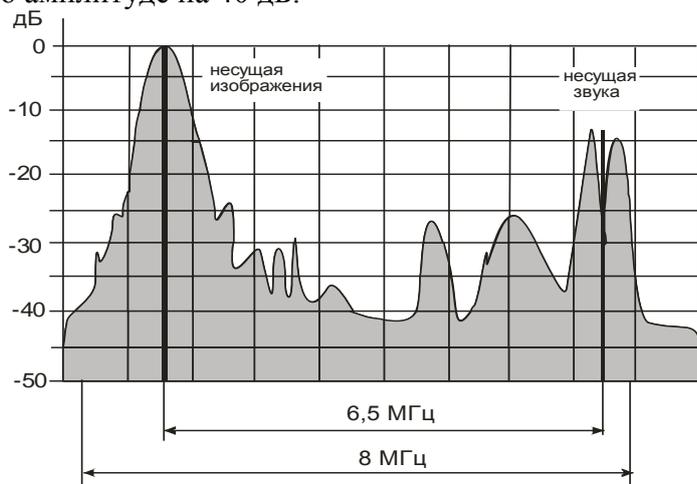


Рис. 2

Таким образом, напряженность поля, возникающая в антенне при отражении от насыщенных следов для несущей изображения, составляет чуть меньше 20 мкВ, а несущей звука – приблизительно 5 мкВ.

Отраженный от насыщенного следа сигнал является наиболее предпочтительным для исследования АЧХ, однако стоит также получить спектр сигнала, отраженного от ненасыщенного следа. Выражение, характеризующее прием сигнала от ненасыщенного следа имеет вид

$$P_r = \frac{P_t G_r G_t \sigma \lambda^2 \alpha^2 (\cos(\mu))^2 \exp\left(\frac{-8\pi r_0}{\lambda (\sec \theta)^2}\right)}{(4\pi)^3 r_1 r_2 (r_1 + r_2) (1 - (\cos \gamma)^2 (\sin \theta)^2)}, \quad (3)$$

где σ – эффективная площадь рассеяния электрона ($\sigma = 10^{-28} \text{ м}^2$); μ – угол между вектором электрического поля падающей волны и осью следа [6].

Используя выражение (3), рассчитаем спектр сигнала отраженного от ненасыщенного метеорного следа. Напряжение, возникающее в антенне при приеме такого сигнала, в зависимости от частоты изображено на рис. 4.

При прохождении через ненасыщенный след сигнал ослабляется гораздо сильнее. Напряжение на антенне составляет порядка 5 мкВ. Для приема такого сигнала чувствительности обычного телевизионного приемника может не хватить, поэтому в таком случае целесообразно использовать дополнительные усилители, сам сигнал претерпевает искажения по амплитуды (и это без учета искажений обусловленных АЧХ МРК).

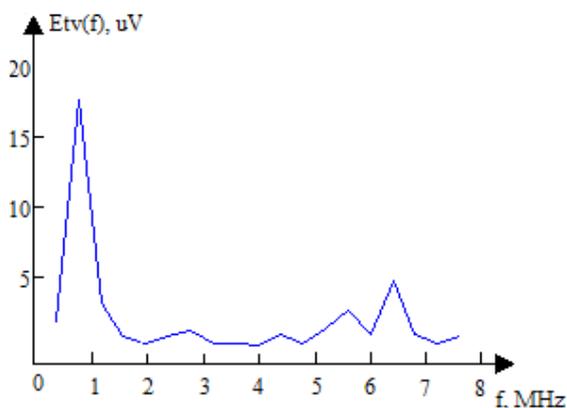


Рис. 3

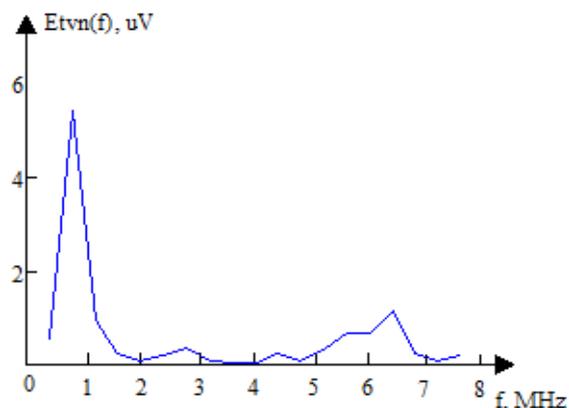


Рис. 4

Стоит заметить, что большинство из величин, которые составляют выражения для принимаемой мощности, являются случайными. Одной из случайных величин является линейная плотность электронов метеорного следа. Она зависит от вида метеорного тела и от условий его сгорания, поэтому рассчитаем минимальную чувствительность приемника в зависимости от электронной плотности метеорного следа. Расчет проведем для ненасыщенного ($\alpha=10^{10} \dots 10^{15}$ эл/м), и для насыщенного следа ($\alpha=10^{15} \dots 10^{18}$ эл/м). На рис. 5, а, б показана зависимость напряжения возникающего в приемной антенне от электронной плотности метеорного следа, для ненасыщенного и насыщенного следа соответственно.

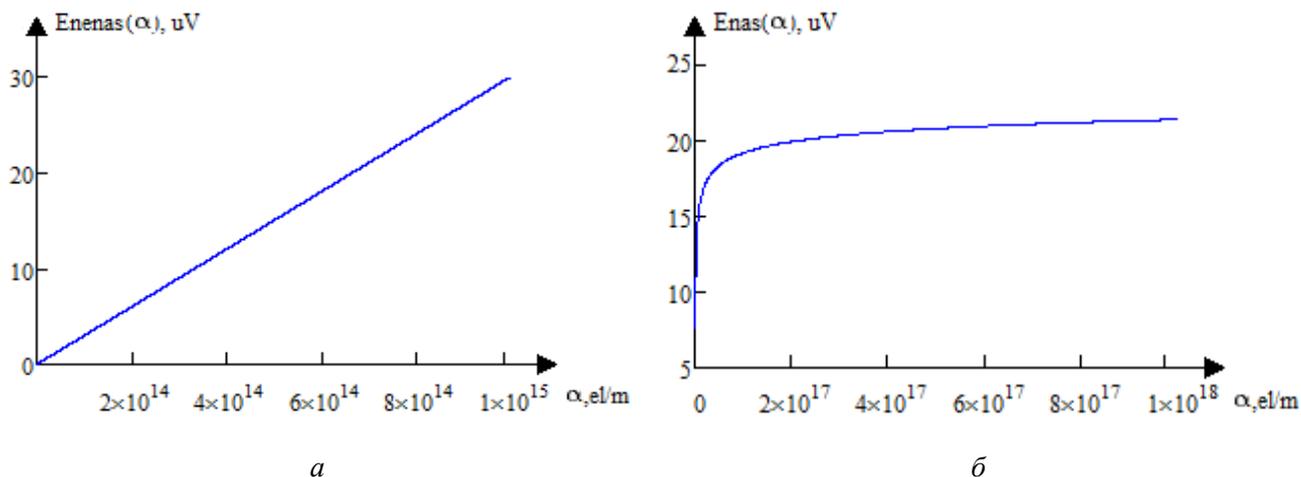


Рис. 5

Как видно из рисунков, чем выше электронная плотность метеорного следа, тем меньше чувствительности требуется приемнику. Кроме того, видно, что наиболее приемлемыми для приема, являются сигналы, отраженные от насыщенных следов, так как для их приема не требуется использование специальных усилителей.

Выводы

Таким образом, рассмотрено моделирование приема телевизионного сигнала через метеорный радиоканал, на основании чего сделаны следующие выводы:

- результаты моделирования показали, что из-за неравномерности спектральной плотности ТВ сигнала, информация о его спектральных составляющих вблизи несущей ($\pm 0,5$ МГц) может быть получена путем анализа отраженных сигналов как от насыщенных, так и от ненасыщенных следов. Что же касается спектральных составляющих, удаленных от несущей частоты более чем на 1 – 1,5 МГц, то их анализ возможен только при отражении сигнала от насыщенных следов. Этот аспект необходимо учитывать при проведении экспериментальных исследований, которые на данный момент проводятся группой ученых из ХНУРЕ;

- путем моделирования было определено что, при отражении от насыщенного следа, чувствительность приемника должна составлять 20 мкВ, а при отражении от ненасыщенного следа – порядка 5 мкВ. Следовательно, прием сигналов отраженных от насыщенных следов возможен с помощью обычных телевизионных приемников, а прием сигналов, отраженных от ненасыщенных следов, потребует от приемника высокой чувствительности.

Список литературы: 1. *Кащеев Б. Л.*, Метеорная связь. – К. : УМК ВО, 1989. – 119 с. 2. *Антипов, И. Е., Коваль, Ю. А., Обельченко, В. В.* Развитие теории и совершенствование радиометеорных систем связи и синхронизации. – Х. : Колегіум, 2006. – 308 с. 3. *Юсиф Хардан Сулейман.* Совершенствование метеорных систем передачи информации : дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 2013. – 116 с. 4. *Елисеев, В.И.* Анализ влияния ионосферы на корреляционную функцию ЛЧМ сигнала в метеорном канале связи // Радиотехника». – Вып 39. – Харьков, 1975. – С. 22-26. 5. *Антипов, И. Е. Бавыкина, В. В, Коваль, Ю. А., Шкарлет, А. И.* Оценка возможности приема ТВ сигналов через метеорные следы и ее экспериментальное подтверждение // Радиотехника. – 2004. – Вып. 140. – С. 52 –

57. 6. *Кащеев, Б.Л., Лебединец, В.Н., Лагутин, М.Ф.* Метеорные явления в атмосфере Земли. – М. : Наука, 1967. – 260 с. 7. <http://www.indigo-music.com.ua/info/articles/theory-and-practice/79/>.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 12.11.2015