

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ВНЕШНИХ ПОМЕХ НА ВОЛНАХ 1—30 м

Л. П. СЕРАФИНОВИЧ

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Введение

При проведении радионаблюдений метеоров и в ряде других случаев требуется более конкретное знание уровня внешних помех, чем использовавшиеся до сих пор данные, полученные Скоттом для изотропной антенны [1]. Однако известно, что уровень этих помех при приеме на направленную антенну не остается постоянным, а зависит от времени суток и направления антенны. При работе со слабо направленной антенной, например с полуволновым диполем, уровень помех в течение суток также изменяется и зависит в некоторой степени от географической широты места наблюдения и ориентации антенны. Полученные за последние годы данные радиоастрономии по космическому радиоизлучению позволяют более правильно подойти к оценке уровня внешних помех.

Источники внешних помех

а) ИСТОЧНИКИ КОСМИЧЕСКИХ ПОМЕХ

Космические помехи представляют собой радиоизлучение космических объектов, характеристики которого приведены в [2,3]. Рассмотрим основные составляющие этого излучения.

Радиоизлучение космических релятивистских электронов при их торможении в магнитных полях Галактики обуславливает сферическую составляющую радиоизлучения Галактики. Ее интенсивность довольно равномерно распределена по сфере: отношение интенсивности излучения в центре Галактики к интенсивности на полюсах уменьшается с увеличением длины волны и составляет ~ 10 на волне 3 м и ~ 4 на волне 16,4 м. Эта составляющая не имеет никаких структурных особенностей и значительно преобладает на волнах более 1 м в общем космическом радиоизлучении.

Радиоизлучение межзвездного ионизированного газа является второй — тепловой — составляющей космического радиоизлучения. Газ, имеющий кинетическую температуру электронов $\sim 10\,000^\circ$, излучает радиоволны, интенсивность которых зависит от частоты и толщины слоя газа в рассматриваемом направлении. Известно, что межзвездный газ Галактики имеет сильную концентрацию к центру Галактики и

очень сильную—к ее плоскости, которая лежит в Млечном Пути. В связи с этим, интенсивность тепловой составляющей имеет большое значение в области центра Галактики и спадает до очень малой величины на расстояние от центра $\sim 60^\circ$ вдоль плоскости Галактики и $\sim 10^\circ$ в перпендикулярном к ней направлении. Роль ее в общем космическом радиоизлучении невелика (на метровых волнах), так как только лишь в направлении на центр Галактики на волне 3 м она равна сферической составляющей и уменьшается с увеличением длины волны. Эта составляющая имеет незначительные вторичные максимумы в Лебедь и антицентре Галактики.

Радиоизлучение дискретных источников (известно около 2000) имеет тепловую и нетепловую природу подобно обеим составляющим. Большинство мощных дискретных источников имеет галактическое происхождение и сконцентрировано к плоскости Галактики. Дискретные источники негалактического происхождения образуют метагалактическую составляющую космического радиоизлучения. Ее интенсивность в среднем по небосводу составляет от 0,5—0,7 до 0,25 интенсивности галактической составляющей при изменении длины волны от 1,25 до 3 м [4], т. е. сильно падает с ее увеличением. Наиболее мощными дискретными источниками радиоизлучения на метровых волнах являются Кассиопея—А и Лебедь—А.

Радиоизлучение Солнца носит в большой степени переменный характер и изменяется в среднем в 10^3 раз, достигая максимума в годы максимума солнечной деятельности. Поток излучения от „спокойного“ Солнца уменьшается с увеличением длины волны, составляя $\sim 0,08\%$ на волне 10 м и $\sim 2\%$ на волне 1,5 м всего космического радиоизлучения. Во время взрывов на Солнце интенсивность излучения может увеличиться до 10^6 раз на метровых волнах (тем больше, чем больше длина волны). Но это длится незначительное время, порядка часа.

б) ИСТОЧНИКИ АТМОСФЕРНЫХ ПОМЕХ

Источниками атмосферных помех являются процессы, происходящие в атмосфере: грозы местные, отдаленные и тропические, тихие разряды между массами ионизированного воздуха или паров, а также перераспределение электронной плотности в ионизированных слоях ионосферы. Направление прихода атмосферных помех далекого происхождения изменяется в течение суток с юго-восточного на юго-западное.

Уровень внешних помех на волнах 1—30 м

а) При использовании направленной антенны.

Как можно видеть из предыдущего, интенсивность космического радиоизлучения максимальна в направлении на центр Галактики, который лежит в направлении созвездия Стрельца и имеет экваториальные координаты: прямое восхождение $\alpha = 17$ ч. 42 м. 40 с. и склонение $\delta = -28^\circ 50' 55''$. Его наибольшую высоту $-\beta$ над горизонтом можно определить по формуле

$$\beta = 90^\circ - \gamma + (\pm \delta), \quad (1)$$

где γ —географическая широта места наблюдения.

Минимальная интенсивность космического радиоизлучения обнаружена в обширных „холодных“ областях около галактических полюсов. Координаты центров этих областей в галактической системе следующие: южной— $l \approx 200^\circ$, $b = -40^\circ$; северной— $l \approx 180^\circ$, $b \approx$

$\approx +45^\circ \div 50^\circ$ (переход от одной системы координат к другой можно найти в [5]).

Следовательно, максимальный разброс уровня внешних помех для направленной антенны зависит от того, куда направлена антенна: на центр или на „холодную“ область Галактики.

Воздействие внешних помех на приемное устройство характеризуется антенной температурой T_a . Последняя определяется как температура сопротивления, равного выходному сопротивлению антенны, при которой оно, будучи подключено ко входу приемника вместо антенны, выделяет в нагрузку приемника такую же мощность шума, как и наблюдаемый источник.

Определим максимальную и минимальную температуру направленной антенны, угловые размеры лепестка которой по половинной мощности $\varphi \approx \theta \approx 20^\circ$. Выражение для $T_{a \text{ мин}}$ на частотах 10–300 мггц получим из значений температуры, приведенных для „холодных“ областей И. С. Шкловским [2]

$$T_{a \text{ мин}} = \frac{2,08 \cdot 10^8}{f_{\text{мггц}}^{2,8}} \quad (2)$$

График, построенный по этой формуле, приведен на рис. 1.

Для вычисления максимальной антенной температуры воспользуемся изофотами радиоизлучения, полученными Шайном и Хиггинсом для частоты 18,3 мггц и Болтоном и Вестфолдом для частоты 100 мггц (изофоты можно найти в [2]). Выберем область вокруг центра Галактики. Угловые размеры этой области $\varphi \approx \theta \approx 20^\circ$. Найдя среднюю яркостную температуру T_b данной области (T_b характеризует интенсивность излучения в выбранном направлении) и учитывая, что в данном случае $T_a = T_b$ [3], получаем, что

$$T_{a \text{ макс}} = \frac{3,10 \cdot 10^8}{f_{\text{мггц}}^{2,42}} \quad (3)$$

на тех же частотах (график на рис. 1).

При увеличении угловых размеров лепестка $T_{a \text{ макс}}$ будет уменьшаться, при уменьшении — увеличиваться.

$T_{a \text{ мин}}$ сохраняет свои значения в большом диапазоне изменения угловых размеров лепестка, так как угловые размеры „холодных“ областей порядка нескольких десятков градусов. В пределе, при переходе к слабо направленной антенне, ее $T_a \rightarrow T_{a \text{ мин}}$.

Попадание в диаграмму направленности антенны Солнца может значительно увеличить T_a , в зависимости от его деятельности. Направление антенны на наиболее мощные источники также вызывает увеличение антенной температуры в зависимости от мощности источника. Например, источник Кассиопея — А на частоте 40 мггц увеличивает температуру антенны с $\varphi \approx \theta \approx 20^\circ$ приблизительно в два раза. Кроме того, в Северном галактическом полушарии имеется область вблизи $l=0$, простирающаяся от экватора Галактики до ее полюса. Интенсивность этой области на метровых волнах на 1/4 выше окружающего фона и не зависит от частоты [6].

В действительности, на частотах ниже 40 мггц имеет место поглощение в слоях F_2 и D ионосферы. Поэтому на этих частотах должна иметь место меньшая зависимость T_a от частоты, т. е. графики будут более пологими в диапазоне 10–40 мггц.

б) При использовании слабо направленной антенны (полуволновый горизонтальный вибратор).

Уровень внешних помех горизонтального диполя зависит от географической широты места наблюдения, ориентации диполя и времени суток. Вследствие движения земли вокруг Солнца времена суточного максимума и минимума не остаются постоянными, а наступают на 4 мин. ранее, чем в предыдущие сутки. Таким образом, время

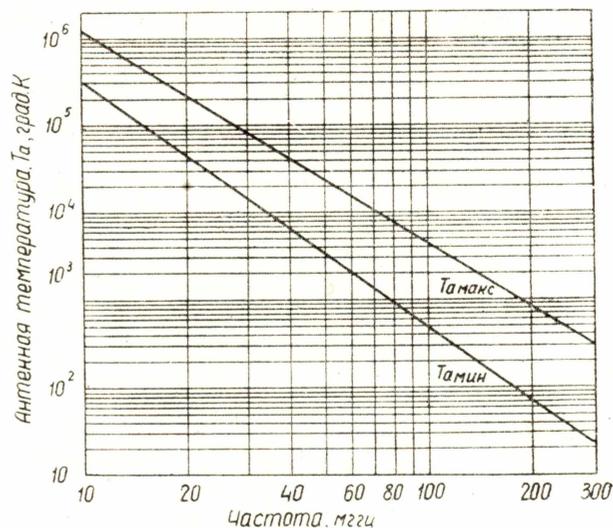


Рис. 1. Зависимость температуры от частоты для центра ($T_{a \text{ макс}}$) и „холодных“ областей ($T_{a \text{ мин}}$) Галактики.

максимума совпадает с полднем приблизительно 31 декабря, тогда как время минимума совпадает с полднем приблизительно 1 сентября [7].

Последние и наиболее точные ($\approx 10\delta$) измерения излучения всей небесной сферы были проведены Коттони и Джойлером [7]. Для измерений они использовали полуволновый горизонтальный диполь, расположенный на высоте $\lambda/4$ над землей и ориентированный с востока на запад. При этом наибольшая высота центра Галактики над горизонтом была $\sim 22^\circ$ (измерения проводились на широте $\gamma = 39^\circ\text{C}$), точно на юге. Из полученных ими данных можно найти, что для полуволнового вибратора

$$T_{a \text{ макс}} = \frac{6,13 \cdot 10^7}{f_{\text{мггц}}^{2,3}}; \quad T_{a \text{ мин}} = \frac{2,82 \cdot 10^7}{f_{\text{мггц}}^{2,3}}. \quad (4)$$

Графики приведены на рис. 2, где для сравнения приводятся данные Скотта [1]. При ориентации диполя с юга на север эти значения будут, естественно, меньше. Поглощение ионосферой здесь не учтено, поэтому зависимость более слабая, чем в предыдущем случае. Однако не понятно, почему эта зависимость сохраняется на частотах выше 40 мггц, где зависимость T_a от f должна быть более сильная. Всплески радиоизлучения Солнца могут значительно повысить T_a , но не надолго (~ 1 часа).

Выражение для $T_{a \text{ макс}}$ примем в качестве температуры, усредненной по всей небесной сфере.

в) Общий уровень помех на частотах 10 — 300 мггц.

Атмосферные помехи увеличивают общий уровень шума. Установлено, что в диапазоне выше 10 мггц атмосферные помехи резко

уменьшаются с частотой ($E \sim f^{-n}$, где $n \sim 1 \div 3$) и становятся меньше космических на частотах выше 20 мггц. Атмосферные помехи на частотах выше 10 мггц достигают максимума в летние месяцы года и во второй половине суток в течение года, в 16÷20 часов местного времени.

Измерения уровня атмосферных помех различными авторами сильно отличаются друг от друга (до нескольких десятков дБ при приведении к параметрам одной аппаратуры). Поэтому, для оценки

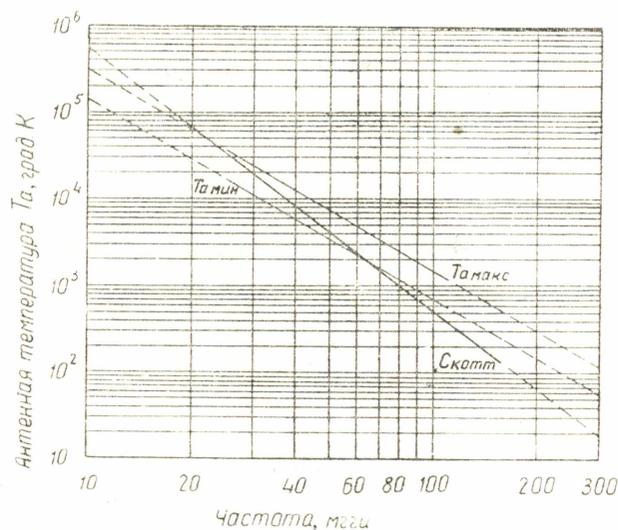


Рис. 2. Зависимость температуры от частоты при приеме на слабо направленную антенну.
 ————— Измеренные значения
 ————— Предполагаемые значения.

общего уровня помех воспользуемся максимальными значениями напряженности поля, приведенными в [7]. Характеризуем воздействие внешних помех на приемник также антенной температурой. Формально это вполне возможно, так как $E_a = E_{\text{помехи}} \cdot h_d$, где h_d — действующая высота антенны.

Используя, кроме того, значения $T_{a \text{ макс}}$ из формулы (4), получим зависимости антенной температуры, характеризующей общий максимальный уровень внешних помех при приеме на слабо направленную антенну, отличные для двух диапазонов частот (рис. 3).

$$\text{Для частот } 10 \div 22,5 \text{ мггц } T_{a \text{ макс}} = \frac{1,03 \cdot 10^{16}}{f_{\text{мггц}}^{8,36}} \quad (5)$$

$$\text{Для частот } 22,5 - 300 \text{ мггц } T_{a \text{ макс}} = \frac{6,13 \cdot 10^7}{f_{\text{мггц}}^{2,3}}$$

На рис. 3 приведены также значения температуры, соответствующей внутреннему шуму хорошо спроектированного приемника [1]. Таким образом, можно видеть, что внутренние шумы начинают сказываться на частотах ~ 90 мггц и становятся преобладающими на частотах > 130 мггц. Общую температуру антенны можно найти простым сложением температур, соответствующих внешним и внутренним шумам приемника.

Полученные выражения позволяют оценить уровень внешних помех для направленных и слабо направленных антенн. Однако в некоторых случаях необходимо знание изменения уровня внешних

помех в течение, допустим, суток. Это требует использования изофот радиоизлучения небесной сферы на рабочей частоте. Таковых для всей небесной сферы почти нет, кроме изофот Болтона и Вестфолда на частоте 100 мгц. Желательно получить такие изофоты для разных частот с учетом деятельности ионосферы. Кроме того, желательно более тщательно изучить уровень и направление прихода атмосферных помех на частотах выше 10 мгц.

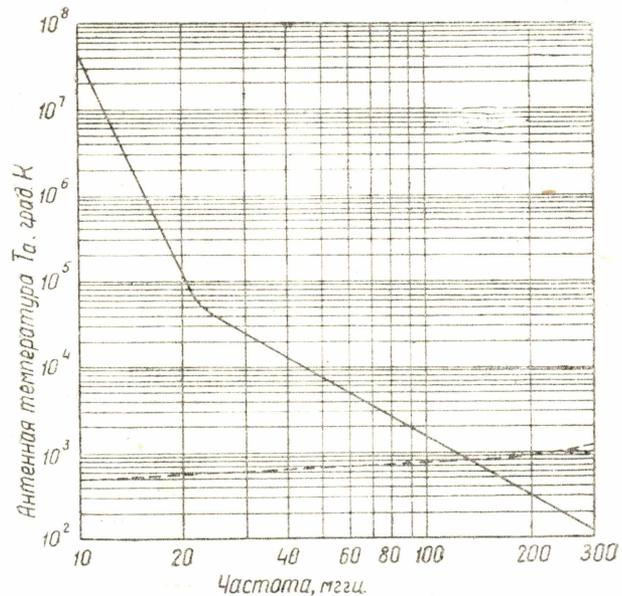


Рис. 3. Зависимость температуры, характеризующей общий уровень помех при приеме на слабо направленную антенну от частоты. — Температура, соответствующая внутреннему шуму хорошо спроектированного приемника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимальная дальность действия радиолокационной станции, под ред. Б. Высоккого, 1947.
2. И. С. Шкловский, Космическое радиоизлучение, М, 1956.
3. А. Д. Кузьмин, Радиотехника, 12 № 1, 12—21, 1957.
4. Г. Г. Гетманцев, Астрон. ж., 32, № 1, 22—28, 1955.
5. П. Г. Куликовский, Справочник астронома-любителя, Гостехиздат, 1953.
6. Г. Г. Гетманцев, Труды 5-го совещания по вопросам космогонии, АН СССР, стр. 468—493, 1956.
7. H. V. Cottony, J. R. Jöhler. Proc. IRE, 40, № 9, 1053—1060, 1952.