

**РАДИОСИСТЕМЫ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**РАДИОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ
ПЛАЗМЫ**

Издание официальное

БЗ 3—94/132

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

Предисловие

- 1 РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Институтом радиотехники и электроники Российской Академии наук и Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации (ВНИИстандарт) Госстандарта России
- 2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 01.11.94 № 262
- 3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Издательство стандартов, 1995

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта России

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения	1
2 Определения	1
3 Обозначения и сокращения	2
4 Основные положения	3
5 Радиофизические параметры околосолнечной плазмы	3
6 Методика расчета влияния околосолнечной плазмы на параметры радиоволн	4

РАДИОСИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Радиофизическая модель околосолнечной плазмы

Radiosystems of cosmic apparatus.
Radiophysical model of the solar plasma

Дата введения 1995—07—01

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт устанавливает радиофизическую модель, описывающую влияние околосолнечной плазмы на проходящие через нее радиосигналы в диапазоне длин волн 3—30 см. Стандарт предназначен для расчета радиосистем, обеспечивающих связь, навигацию и траекторные измерения космических аппаратов, движущихся по околосолнечной орбите.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем стандарте применяют следующие термины и определения:

1 **прицельное расстояние радиолуча:** Наименьшее расстояние между центром Солнца и трассой распространения радиоволн по линии: космический аппарат — наземный пункт

2 **элонгация:** Угловое расстояние между направлениями на космический аппарат и центр Солнца

3 **радиальный профиль электронной концентрации:** Зависимость электронной концентрации от гелиоцентрического расстояния

4 **пространственный спектр турбулентности:** Распределение неоднородностей плазмы по пространственным волновым числам

5 **нормированная дисперсия напряженности поля:** Отношение среднего значения квадрата флуктуаций напряженности поля к квадрату средней напряженности поля

6 **дисперсия флуктуаций фазы:** Среднее значение квадратов случайных отклонений фазы за интервал наблюдения

Издание официальное



7 дисперсия флуктуаций частоты: Среднее значение квадратов случайных отклонений частоты за интервал наблюдения

8 групповое запаздывание радиоволн в околосолнечной плазме: Различие во времени распространения радиоволн через околосолнечную плазму по сравнению с распространением в вакууме

9 уширение спектральной линии радиосигналов: Увеличение ширины спектральной линии гармонических сигналов, обусловленное хаотическими колебаниями частоты из-за движения неоднородностей через трассу распространения радиоволн

3 ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

3.1 Геометрические параметры трассы распространения радиоволн:

- прицельное расстояние ρ — минимальное расстояние между линией радиосвязи и центром Солнца, $\rho = a \sin \epsilon$, см;
- элонгация ϵ — угловое расстояние между направлениями на источник и центр Солнца;
- $a \approx 1,5 \cdot 10^{13}$ см — среднее расстояние от Земли до Солнца;
- $R_0 \approx 6,97 \cdot 10^{10}$ см — радиус Солнца;
- R — гелиоцентрическое расстояние;
- расстояние L_1 от наземного пункта до области наибольшего рассеяния радиоволн, которая расположена вблизи прицельной точки радиолуча, $L_1 = a \cos \epsilon$, см;
- расстояние L_2 от области наибольшего рассеяния до космического аппарата.

3.2 Характеристики околосолнечной плазмы:

- $r_e = 2,82 \cdot 10^{-16}$ см — радиус электрона;
- средняя электронная концентрация околосолнечной плазмы N_e , см $^{-3}$;
- дисперсия флуктуаций электронной концентрации $\sigma^2 N$, см $^{-8}$;
- скорость движения потоков плазмы v , см/с;
- спектр турбулентности околосолнечной плазмы $\Phi_N(q)$, где q — волновое число, см $^{-1}$;
- внешний масштаб турбулентности L_0 , см;
- внутренний масштаб турбулентности l_m , см;
- спектральный индекс пространственного спектра турбулентности p ;
- число Вольфа W .

3.3 Характеристики радиосигналов:

- длина волны λ , см;
- нормированная дисперсия флуктуаций напряженности поля η^2 , определяемая как отношение среднего квадрата флуи-

аций амплитуды радиоволн к квадрату среднего значения амплитуды;

- дисперсия флуктуаций фазы σ_{ϕ}^2 , рад²;
- дисперсия флуктуаций фазы σ_{ϕ}^2 , Гц²;
- групповое запаздывание радиоволн τ , с;
- эквивалентная ширина спектральной линии сигналов Δf_{Σ} , Гц.

4 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1 Характеристики околосолнечной плазмы определяют условия радиосвязи с заходящими за Солнце космическими аппаратами, влияют на точность траекторных измерений и качество передачи телеметрической информации.

4.2 Нормированная дисперсия флуктуаций напряженности поля η^2 зависит от длины волны, прицельного расстояния радиолуча ρ , расстояния между космическим аппаратом и Солнцем L , интенсивности неоднородностей электронной концентрации плазмы σ_N . При определенных прицельных расстояниях радиолуча флуктуации напряженности поля становятся насыщенными.

4.3 Флуктуации фазы, частоты и связанные с ними погрешности траекторных измерений определяются длиной волны, прицельным расстоянием луча ρ , интенсивностью неоднородностей электронной концентрации, скоростью их перемещения v . Использование операции аппаратного усреднения позволяет уменьшить влияние частотных флуктуаций и улучшить точность определения как скорости движения космического аппарата, так и расстояния до него.

4.4 Формирование радиофизической модели осуществляют путем построения зависимостей характеристик радиосигналов от геометрических параметров трассы радиосвязи и характеристик околосолнечной плазмы.

5 РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ

5.1 Электронную концентрацию при невозмущенных условиях в околосолнечной плазме рассчитывают по формуле

$$N_e(R) = 2,21 \cdot 10^8 \cdot (R_0/R)^6 + 1,55 \cdot 10^6 \cdot (R_0/R)^{2,3}, \text{ см}^{-3}. \quad (1)$$

5.2 Спектральный индекс пространственного спектра турбулентности p вычисляют по формуле

$$p(R) = 3 + 0,1 \cdot \left(\frac{R}{R_0} - 4 \right)^{0,4}. \quad (2)$$

5.3 Внешний масштаб турбулентности L_0 возрастает с удалением от Солнца в соответствии с эмпирической зависимостью

$$L_0 = \left[1,5 + 0,13 \left(\frac{R}{R_0} - 4 \right)^{0,75} \right] \cdot 10^{11}, \text{ см.} \quad (3)$$

5.4 Внутренний масштаб неоднородностей l_m возрастает с увеличением гелиоцентрического расстояния R так же, как и скорость их перемещения, в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 — Характерные значения радиофизических параметров v и l_m в околосолнечном и межпланетном пространстве

Радиофизический параметр	Значения					
R/R_0	4	10	20	40	80	200
v , км/с	40	100	300	400	420	450
l_m , км	4	10	20	30	40	50

Для промежуточных значений R/R_0 значения параметров v и l_m определяют методом интерполяции.

6 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЛИЯНИЯ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПАРАМЕТРЫ РАДИОВОЛН

Методика заключается в использовании зависимостей, установленных в радиофизической модели, для расчета параметров линий радиосвязи с учетом влияния околосолнечной плазмы.

6.1 Нормированную дисперсию флуктуаций напряженности поля радиоволн, характеризующую ухудшение качества передачи информации по радиолинии, вычисляют по формуле

$$\gamma^2 = \varphi_1(p) r^2 e^{(p+2)/2} L_0^{(3-p)} \left(\frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \right)^{(p-2)/2} \sigma_N^2(p) \rho, \quad (4)$$

где $\varphi_1(p)$ — функция, зависящая от спектрального индекса пространственного спектра турбулентности, значения которой представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Зависимость функции φ_1 от спектрального индекса p

Обозначение параметра	Значения					
p	3,1	3,3	3,5	11/3	3,8	4,0
$\varphi_1(p)$	0,068	0,159	0,209	0,234	0,243	0,250

Для промежуточных данных p значения $\varphi_1(p)$ определяют методом интерполяции.

6.2 Дисперсию флуктуаций фазы радиоволн, прошедших через околосолнечную плазму, определяют по формуле

$$\sigma^2_\varphi = \pi^2 \cdot \Gamma(p, 2) \cdot [\Gamma((p-1)/2)]^{-1} \cdot (p-3) \cdot (p-2) \cdot r_e^2 \cdot \lambda^2 \cdot L_0 \cdot \sigma_N^2 \cdot p, \quad (5)$$

где Γ — гамма-функция.

6.3 Дисперсию флуктуаций частоты, создаваемых движением неоднородностей всех масштабов, определяют выражением.

$$\sigma^2_f = \frac{p-3}{2} \cdot \Gamma[(4-p)/2] \cdot r_e^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_N^2 \cdot p \cdot L_0^{3-p} \cdot l_m^{4-p} \cdot v^2. \quad (6)$$

Применение усреднения по времени приводит к сглаживанию флуктуаций частоты. После усреднения за время T дисперсию флуктуаций частоты находят из соотношения

$$\sigma^2_f = (2\pi)^{4-p} \cdot \left(\frac{p-3}{4-p} \right) \cdot r_e^2 \cdot \lambda^2 \cdot L_0^{3-p} \cdot \sigma_N^2 \cdot v^{p-2} \cdot p \cdot T^{p-4}. \quad (7)$$

6.4 Различие группового запаздывания радиоволн τ в плазме и в вакууме определяют из соотношения

$$\tau = f^{-2} \cdot \frac{p}{c} \left\{ 1,05 \cdot 10^{16} \cdot \left(\frac{R_0}{p} \right)^6 + 1,65 \cdot 10^{14} \cdot \left(\frac{R_0}{p} \right)^{2,3} \right\}, \quad (8)$$

где f — частота, Гц.

6.5 Эффективную ширину спектральной линии Δf_3 находят по формуле

$$\Delta f_3 = \varphi_2(p) \cdot (r_e \cdot \lambda)^{\frac{2}{p-2}} \cdot L_0^{(3-p)(p-2)} \cdot v(p) \cdot [\sigma_N(p)]^{\frac{2}{p-2}} \cdot p. \quad (9)$$

Значения функции $\varphi_2(p)$ приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Зависимость функции φ_2 от спектрального индекса p

Обозначение параметра	Значения				
p	3,1	3,3	3,5	11/3	3,8
$\varphi_2(2)$	0,176	0,503	0,782	1,037	1,275

6.6 Расчетные соотношения для флуктуаций напряженности поля справедливы до прицельных расстояний радиолуча, превы-

шающих так называемое критическое значение $\rho_{кр}$. Это значение определяют по известной длине волны λ , исходя из уровня солнечной активности:

$$\rho_{кр}/R_0 = B(W) \cdot \lambda^{\beta}. \quad (10)$$

Показатель степени $\beta = 0,64 \pm 0,05$. Значение коэффициента B изменяется от 1,8 при низкой активности Солнца (число Вольфа $W < 20$) до 2,2 при высокой активности ($W > 80$). Для умеренной активности ($W = 30 \dots 70$) $B = 2,0$.

Представленные соотношения для расчета характеристик радиосигналов, прошедших через околосолнечную плазму, справедливы для средних условий в околосолнечном пространстве, т. е. когда число Вольфа $W_0 = 12 \dots 15$. Если число Вольфа отличается от указанных значений W_0 , необходимо рассчитанные параметры η^2 , σ^2 , σ^2_t , τ , Δf_0 умножить на поправочный множитель $Q = (W/W_0)^{0,42}$.

УДК 629.78:523.7:533.9.01:006.354

Т27

ОКСТУ 6702

Ключевые слова: радиосистемы; космические аппараты, заходящие за Солнце; радиофизическая модель; околосолнечная плазма; диапазон длин волн 3...30 см; радиофизические параметры

Редактор Л. В. Афанасенко
Технический редактор О. Н. Никитина
Корректор В. И. Кануркина

Сдано в наб. 24.11.94. Подп. в печ. 19.01.95. Усл. п. л. 0,70, Усл. кр.-отт. 0,70.
Уч.-изд. л. 0,41. Тир. 255 экз. С 2019.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.
Тип. «Московский печатник», Москва, Лялин пер., 6. Зак. 348