

ГОСТ Р 25645.337—94

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**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, $\rho = a \sin \varepsilon$, 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, $L_1 = a \cos \varepsilon$, см;
- расстояние L_2 от области наибольшего рассеяния до космического аппарата.

3.2 Характеристики околосолнечной плазмы:

- $r_e = 2,82 \cdot 10^{-15}$ см — радиус электрона;
- средняя электронная концентрация околосолнечной плазмы N_e , см⁻³;
- дисперсия флуктуаций электронной концентрации σ^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 флукту-

- аций амплитуды радиоволн к квадрату среднего значения амплитуды;
- дисперсия флуктуаций фазы σ_s^2 , рад²;
 - дисперсия флуктуаций фазы σ_f^2 , Гц²;
 - групповое запаздывание радиоволн τ , с;
 - эквивалентная ширина спектральной линии сигналов Δf_s , 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

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

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

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

где Γ — гамма-функция.

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

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

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

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

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

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

где f — частота, Гц.

6.5 Эффективную ширину спектральной линии Δf_3 находят по формуле

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

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_s^2 , σ_f^2 , τ , $\Delta f_{\text{э}}$ умножить на поправочный множитель $Q = (W/W_0)^{0,42}$.

УДК 629.78:523.7:533.9.01 : 006.354

T27

ОКСТУ 6702

Ключевые слова: радиосистемы; космические аппараты, находящиеся 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