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

gost.e-ecolog.ru

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

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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$^{-6}$;
- 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 флуиту-

аций амплитуды радиоволн к квадрату среднего значения амплитуды;
- дисперсия флуктуаций фазы σ^2_s, рад^2;
- дисперсия флуктуаций фазы σ^2_f, Гц^2;
- групповое запаздывание радиоволн τ, с;
- эквивалентная ширина спектральной линии сигналов $\Delta f_э$, 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 аппаратурного 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

$$N_e(R)=2{,}21\cdot10^8\cdot(R_0/R)^6+1{,}55\cdot10^6\cdot(R_0/R)^{2{,}3},\ \text{см}^{-3}. \qquad (1)$$

5.2 Спектральный индекс пространственного спектра турбулентности p вычисляют по формуле

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

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

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

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

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

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

$$\sigma^2_s = \pi^{(p-1)} \cdot \Gamma(p/2) \cdot [\Gamma[(p-1)/2]]^{-1} \cdot (p-3)/(p-2) \cdot r^2_e \cdot \lambda^2 \cdot L_0 \cdot \sigma^2_N \cdot \rho, \quad (5)$$

где Г — гамма-функция.

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

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

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

$$\sigma^2_f = (2\pi)^{1-p} \cdot \left(\frac{p-3}{4-p}\right) \cdot r^2_e \cdot \lambda^2 \cdot L_0^{3-p} \cdot \sigma^2_N \cdot v^{p-2} \cdot \rho \cdot T^{p-4}. \quad (7)$$

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

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

где f — частота, Гц.

6.5 Эффективную ширину спектральной линии $\Delta f_э$ находят по формуле

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

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:

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

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 ($W = 30 \ldots 70$) $B = 2{,}0$.

Представленные соотношения для расчета характеристик радиосигналов, прошедших через околосолнечную плазму, справедливы для средних условий в околосолнечном пространстве, т. е когда число Вольфа $W_0 = 12 \ldots 15$. Если число Вольфа отличается от указанных значений W_0, необходимо рассчитанные параметры η^2, σ^2_{φ}, $\sigma^2_{\dot{\varphi}}$, 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

gost.e-ecolog.ru