

ГОСТ Р 25645.337—94

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

РАДИОСИСТЕМЫ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

РАДИОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ  
ПЛАЗМЫ

Издание официальное

Б3 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 радиоволны . . . . .	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 радиоволни:**

- прицельное расстояние  $\rho$  — минимальное расстояние между линией радиосвязи и центром Солнца,  $\rho = a \sin \varepsilon$ , см;
- элонгация  $\varepsilon$  — 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<sup>-3</sup>;
- дисперсия флуктуаций электронной концентрации  $\sigma^2_N$ , см<sup>-6</sup>;
- скорость движения потоков плазмы  $v$ , см/с;
- спектр турбулентности околосолнечной плазмы  $\Phi_N(q)$ , где  $q$  — волновое число, см<sup>-1</sup>;
- 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  $\lambda$ , см;
- нормированная дисперсия флуктуаций напряженности поля  $\eta^2$ , определяемая как отношение среднего квадрата флукуту-

- аций амплитуды радиоволн к квадрату среднего значения амплитуды;
- дисперсия флуктуаций фазы  $\sigma_{\phi}^2$ , рад $^2$ ;
  - дисперсия флуктуаций фазы  $\sigma_{\phi}^2$ , Гц $^2$ ;
  - групповое запаздывание радиоволны  $\tau$ , с;
  - эквивалентная ширина спектральной линии сигналов  $\Delta f_e$ , Гц.

#### 4 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

4.2 Нормированная дисперсия флуктуаций напряженности поля  $\eta^2$  зависит от длины волны, прицельного расстояния радиолуча  $r$ , расстояния между космическим аппаратом и Солнцем  $L$ , интенсивности неоднородностей электронной концентрации плазмы  $\sigma_N$ . 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  $r$ , 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

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

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					
	4	10	20	40	80	200
$R/R_0$						
$v$ , 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

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

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

Таблица 2 — Зависимость функции  $\varphi_1$  от спектрального индекса  $p$

Обозначение параметра	Значения					
	3,1	3,3	3,5	11/3	3,8	4,0
$p$						
$\varphi_1(p)$	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 флюктуаций фазы радиоволн, прошедших через околосолнечную плазму, определяют по формуле

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

где  $\Gamma$  — гамма-функция.

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

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

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

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

6.4 Различие группового запаздывания радиоволн  $\tau$  в плазме и в вакууме определяют из соотношения

$$\tau = f^{-2} \cdot \frac{p}{c} \left\{ 1,05 \cdot 10^{16} \cdot \left( \frac{R_0}{p} \right)^6 + 1,65 \cdot 10^{14} \cdot \left( \frac{R_0}{p} \right)^{2.3} \right\}, \text{ с} \quad (8)$$

где  $f$  — частота, Гц.

6.5 Эффективную ширину спектральной линии  $\Delta f_3$  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  $\varphi_2$  от спектрального индекса  $p$

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

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

шающих так называемое критическое значение  $r_{kp}$ . Это значение определяют по известной длине волны  $\lambda$ , исходя из уровня солнечной активности:

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

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  $\eta^2$ ,  $\sigma^2_s$ ,  $\sigma^2_i$ , т.  $\Delta f_0$  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 длии 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. Тираж 255 экз. С 2019.

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