ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

МАГНИТОСФЕРА ЗЕМЛИ

МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ ТОКОВ

ГОСТ 25645.127—85

Издание официальное

3 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО УПРАВЛЕНИЮ
КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

УДК 629.78 : 066.354 Группа Т27

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

МАГНИТОСФЕРА ЗЕМЛИ

Модель магнитного поля магнитосферных токов

Earth's magnetosphere. Magnetic field model of magnetospheric currents

ГОСТ 25645.127—85

ОКСТУ 0080

Дата введения 01.01.87

Настоящий стандарт устанавливает модель магнитного поля токов, текущих в магнитосфере Земли и на магнитопаузе (магнитосферных токов) на геоцентрических расстояниях от 1 до 7 земных радиусов.

Стандарт предназначен для использования в расчетах при определении условий функционирования технических устройств в космическом пространстве.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Модель магнитного поля магнитосферных токов (далее — модель) описывает регулярную часть магнитного поля, ее зависимость от параметров межпланетной среды и отражает сжатие магнитосферы Земли на дневной стороне из-за взаимодействия с солнечным ветром, асимметрию день — ночь (поле на ночной стороне ослаблено), суточные и сезонные вариации поля.

1.2. Модель представляет вектор индукции магнитного поля магнитосферных токов как функцию от солнечно-магнитосферных координат. Она получена линейной аппроксимацией эмпирической модели, которая основана на измерениях магнитного поля на искусственных спутниках Земли.

1.3. Модель учитывает угол наклона геомагнитного диполя к плоскости ортогональной линии Земля — Солнце ψ, изменяющийся в интервале от —35 до +35°.

Издание официальное Перепечатка воспрещена

★

© Издательство стандартов, 1990

1.4. Вектор индукции магнитного поля $\vec{B}_м$ в магнитосфере Земли вычисляют по формуле

$$\vec{B}_м = \vec{B}_1 + \vec{B}_2, \text{ нТл}, \quad (1)$$

где $\vec{B}_1$ — вектор индукции геомагнитного поля внутриземных источников, вычисляемый по ГОСТ 25645.126—85 в сферической системе координат;

$\vec{B}_2$ — вектор индукции магнитного поля магнитосферных токов, вычисляемый в солнечно-магнитосферной системе координат.

Матрица перехода из сферической системы координат в солнечно-магнитосферную систему координат приведена в справочном приложении 1.

Пример расчета $\vec{B}_м$ приведен в справочном приложении 2.

1.5. Среднее квадратическое отклонение вектора индукции $\vec{B}_2$ от экспериментальных данных составляет ~ 20 нТл.

Сведения о нерегулярных вариациях индукции магнитного поля магнитосферных токов приведены в справочном приложении 3.

2. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТОСФЕРЫ

2.1. Основными параметрами магнитосферы являются геоцентрическое расстояние до точки пересечения магнитопаузы линией Земля — Солнце r_1 и угол наклона геомагнитного диполя к плоскости ортогональной линии Земля — Солнце ψ.

2.2. Геоцентрическое расстояние r_1 вычисляют по формуле

$$r_1 = 10000 \cdot (n_p + 4n_\alpha)^{-\frac{1}{6}} \cdot V^{-\frac{1}{3}} \cdot r_з, \text{ км}, \quad (2)$$

где n_p — концентрация протонов в солнечном ветре, $м^{-3}$;

n_α — концентрация α-частиц в солнечном ветре, $м^{-3}$;

V — скорость солнечного ветра, м/с;

$r_з$ — средний радиус Земли, км.

Примечание. Значения n_p, n_α, V — по ГОСТ 25645.136—86.

2.3. Угол ψ вычисляют по формуле

$$\sin\psi = -\sin\beta \cdot \cos\alpha_1 + \cos\beta \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\varphi_m, \quad (3)$$

где $\alpha_1 = 11{,}0°$ — угол между осью вращения Земли и осью геомагнитного диполя;

β — склонение Солнца, . . . °, (изменяется от —23,5 до +23,5°);

$\varphi_m=(K\cdot UT-69°)$ — угол между плоскостью полуночного меридиана и меридиональной плоскостью, содержащей северный магнитный полюс, . . .°;

UT — всемирное время, ч;

$K=15°/ч$;

$$\sin\beta=\sin\alpha_2\cdot\cos\varphi_{SE} \qquad (4)$$

$\alpha_2=23{,}5°$ — угол наклона плоскости экватора к плоскости эклиптики;

$\varphi_{SE}=360°\cdot(172-n)/365$ — угол между линией Земля — Солнце и проекцией оси вращения Земли на плоскость эклиптики, . . .°;

n — порядковый номер дня в году (с 1 января).

3. РАСЧЕТ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ ТОКОВ

3.1. Индукцию магнитного поля магнитосферных токов вычисляют в солнечно-магнитосферной системе координат по формуле

$$B_2=\sqrt{B_{2X}^2+B_{2Y}^2+B_{2Z}^2}\ ,\ \text{нТл}, \qquad (5)$$

где B_{2X} — проекция вектора $\vec{B}_2$ на ось O_X, направленную на Солнце;

B_{2Z} — проекция вектора $\vec{B}_2$ на ось O_Z, лежащую в плоскости, проходящей через ось O_X и ось геомагнитного диполя;

B_{2Y} — проекция вектора $\vec{B}_2$ на ось O_Y, дополняющую правостороннюю систему координат.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

3.2. Составляющую B_{2X} вычисляют по формуле

$$B_{2X}=f_0+f_1\frac{X}{r_1}+f_2\frac{Y}{r_1}+f_3\frac{Z}{r_1}+\frac{\psi}{10°}\left(f_4+f_5\frac{X}{r_1}+f_6\frac{Y}{r_1}+f_7\frac{Z}{r_1}\right),\ \text{нТл}, \qquad (6)$$

где

$$f_0(\psi)=q_0\cdot\sin\psi;$$
$$f_1(\psi)=q_1\cdot\sin\psi\cdot\cos\psi;$$
$$f_2(\psi)=q_2\cdot\sin\psi;$$
$$f_3(\psi)=q_3\cdot\cos^2\psi+q_4\cdot\sin^2\psi;$$
$$f_4(\psi)=q_5\cdot\cos\psi;$$
$$f_5(\psi)=q_6\cdot\cos^2\psi+q_7\cdot\sin^2\psi;$$
$$f_6(\psi)=q_8\cdot\cos\psi;$$
$$f_7(\psi)=q_9\cdot\sin\psi\cdot\cos\psi.$$

3.3. Составляющую B_{2Y} вычисляют по формуле

$$B_{2Y}=\frac{\psi}{10^\circ}\left(g_1\frac{X}{r_1}+g_2\frac{Y}{r_1}+g_3\frac{Z}{r_1}\right),\ \text{нТл},\qquad(7)$$

где $g_1(\psi)=s_0\cdot\cos\psi;$

$g_2(\psi)=s_1;$

$g_3(\psi)=s_0\cdot\sin\psi.$

3.4. Составляющую B_{2Z} вычисляют по формуле

$$B_{2Z}=h_0+h_1\frac{X}{r_1}+h_2\frac{Y}{r_1}+h_3\frac{Z}{r_1}+\frac{\psi}{10^\circ}\left(h_4+h_5\frac{X}{r_1}+h_6\frac{Y}{r_1}+h_7\frac{Z}{r_1}\right),\text{нТл},\qquad(8)$$

где $h_0(\psi)=-q_0\cdot\cos\psi;$

$h_1(\psi)=-q_3\cdot\sin^2\psi-q_4\cdot\cos^2\psi;$

$h_2(\psi)=-q_2\cdot\cos\psi;$

$h_3(\psi)=-q_1\cdot\sin\psi\cdot\cos\psi;$

$h_4(\psi)=q_5\cdot\sin\psi;$

$h_5(\psi)=q_9\cdot\sin\psi\cdot\cos\psi;$

$h_6(\psi)=q_8\cdot\sin\psi;$

$h_7(\psi)=q_6\cdot\sin^2\psi+q_7\cdot\cos^2\psi;$

X, Y, Z — солнечно-магнитосферные координаты в единицах r_3;

ψ — угол наклона геомагнитного диполя, . . .°.

Значения коэффициентов s_0, s_1, q_0, ..., q_9 приведены в таблице, нТл:

s_0	s_1	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8	q_9
—0,2	—2,5	8,5	—39,6	1,2	21,8	—17,9	2,9	—3,0	5,5	0,2	—8,5

3.5. Пример программы для расчета составляющих вектора индукции магнитного поля $\vec{B}_2$ приведен в справочном приложении 4

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ПЕРЕВОД ВЕКТОРА ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИЗ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В СОЛНЕЧНО-МАГНИТОСФЕРНУЮ

По ГОСТ 25645.126—85 вектор индукции магнитного поля $\vec{B}_1$ задан в точке (r, Θ, λ) составляющими X', Y', Z' с использованием обозначений:

r — геоцентрическое расстояние, км;

λ — долгота, отсчитываемая от плоскости гринвичского меридиана, ...°;

φ — широта, отсчитываемая от плоскости земного экватора, ...°;

$\Theta = 90° - \varphi$ — полярный угол, ...°.

Перевод вектора из данной сферической системы координат в солнечно-магнитосферную осуществляют при помощи матрицы Q по формуле

$$\begin{pmatrix} B_{1X} \\ B_{1Y} \\ B_{1Z} \end{pmatrix} = Q \cdot \begin{pmatrix} B_{1r} \\ B_{1\Theta} \\ B_{1\lambda} \end{pmatrix}, \tag{1}$$

$$Q = T \cdot S, \tag{2}$$

где $B_{1r} = -Z'$; $B_{1\Theta} = -X'$; $B_{1\lambda} = Y'$;

T — матрица поворота к солнечно-магнитосферным координатам;

S — матрица перевода из сферических в декартовы координаты;

$$T = \begin{pmatrix} \cos\beta_1\cos\beta; & -\sin\beta_1\cos\beta; & \sin\beta \\ \sin\beta_1\cos\beta_2 - \cos\beta_1\sin\beta\sin\beta_2; & \cos\beta_1\cos\beta_2 + \sin\beta_1\sin\beta\sin\beta_2; & \cos\beta\sin\beta_2 \\ -\sin\beta_1\sin\beta_2 - \cos\beta_1\sin\beta\cos\beta_2; & -\cos\beta_1\sin\beta_2 + \sin\beta_1\sin\beta\cos\beta_2; & \cos\beta\cos\beta_2 \end{pmatrix} \tag{3}$$

$$S = \begin{pmatrix} \sin\theta\cos\lambda; & \cos\theta\cos\lambda; & -\sin\lambda \\ \sin\theta\sin\lambda; & \cos\theta\sin\lambda; & \cos\lambda \\ \cos\theta; & -\sin\theta; & 0 \end{pmatrix} \tag{4}$$

где $\beta_1 = K \cdot (UT - U_0)$ — западная долгота полуденного меридиана, ...°;

β_2 — угол между полуденным географическим меридианом и плоскостью $Y = 0$ в солнечно-магнитосферных координатах, ...°;

$$K = 15°/\text{ч};$$

$$U_0 = 12 \text{ ч};$$

$$\cos\beta_2 = (\cos\alpha_1 + \sin\beta\sin\psi)/\cos\psi\cos\beta, \tag{5}$$

где $\alpha_1 = 11{,}0°$ — угол наклона геомагнитного диполя к оси вращения Земли;

ψ — угол наклона геомагнитного диполя к плоскости, ортогональной линии Земля — Солнце, ...°;

β — склонение Солнца, ...°.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕКТОРА ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Исходные данные:

точка с солнечно-магнитосферными координатами $X=-0{,}529\ r_3$, $Y=0{,}608\ r_3$, $Z=1{,}833\ r_3$; дата — 1 января 1985 г.; всемирное время $UT=10{,}6$ ч; параметры солнечного ветра: плотность протонов $n_p=5\cdot10^6$ м$^{-3}$, плотность α-частиц $n_\alpha=2{,}5\cdot10^5$ м$^{-3}$, скорость солнечного ветра $V=4\cdot10^5$ м/с.

Порядок вычислений:

1. По формуле (3) приложения 1 настоящего стандарта вычисляют матрицу T

$$T=\begin{pmatrix} 0{,}86 & 0{,}33 & -0{,}39 \\ -0{,}27 & 0{,}94 & 0{,}20 \\ 0{,}44 & -0{,}07 & 0{,}90 \end{pmatrix}.$$

2. Вычисление сферических координат точки осуществляют по формулам:

$$r=\sqrt{X_1+Y_1+Z_1}, \qquad r_3;$$

$$\theta=\arccos(Z_1/r), \qquad \ldots^\circ;$$

$$\varphi=90^\circ-\theta, \qquad \ldots^\circ;$$

$$\lambda=\arcsin(Y_1/r\sin\theta), \qquad \ldots^\circ,$$

где

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}=T^*\cdot\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}, \ r_3,$$

T^* — транспонированная матрица T. Расчет дает

$$r=12742{,}4 \text{ км};$$

$$\theta=9{,}4^\circ;$$

$$\varphi=80{,}6^\circ; \quad \lambda=58^\circ.$$

3. По ГОСТ 25645.126—85 вычисляют составляющие вектора индукции магнитного поля $\vec{B}_1$ в сферической системе координат (приложение 3):

$$B_{1r}=-Z'=-7447{,}0 \text{ нТл};$$

$$B_{1\theta}=-X'=-944{,}5 \text{ нТл};$$

$$B_{1\lambda}=Y'=-202{,}8 \text{ нТл};$$

4. По формуле (4) приложения 1 настоящего стандарта вычисляют матрицу S:

$$S=\begin{pmatrix} 0{,}09 & 0{,}52 & -0{,}85 \\ 0{,}14 & 0{,}84 & 0{,}53 \\ 0{,}99 & -0{,}16 & 0 \end{pmatrix}$$

5. По формуле (1) приложения 1 настоящего стандарта вычисляют составляющие вектора индукции магнитного поля $\vec{B}_1$ в солнечно-магнитосферной системе координат:

$$B_{1X}=1337{,}5 \text{ нТл};$$

$$B_{1Y}=-2991{,}0 \text{ нТл};$$

$$B_{1Z}=-6763{,}6 \text{ нТл}.$$

6. По формуле (2) настоящего стандарта вычисляют геоцентрическое расстояние до точки пересечения магнитопаузы линией Земля — Солнце r_1:

$$r_1=10r_3.$$

7. По формуле (3) настоящего стандарта вычисляют угол наклона геомагнитного диполя к плоскости, ортогональной линии Земля — Солнце, ψ:

$$\sin\psi=0{,}383;$$

$$\psi=22{,}5°.$$

8. По формулам (6)—(8) настоящего стандарта вычисляют составляющие вектора индукции магнитного поля $\vec{B}_2$ в солнечно-магнитосферной системе координат:

$$B_{2X}=12{,}0 \text{ нТл};$$

$$B_{2Y}=-0{,}4 \text{ нТл};$$

$$B_{2Z}=-1{,}3 \text{ нТл}.$$

9. По формуле (1) настоящего стандарта вычисляют составляющие вектора индукции магнитного поля $\vec{B}_м$ в солнечно-магнитосферной системе координат:

$$B_{мX}=1349{,}5 \text{ нТл};$$

$$B_{мY}=-2991{,}4 \text{ нТл};$$

$$B_{мZ}=-6764{,}9 \text{ нТл}.$$

Примечание. Если исходная точка задана в сферической системе координат, то в п. 2 настоящего приложения вычисляют ее солнечно-магнитосферные координаты по формулам:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = T \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix},$$

где

$$X_1=r\sin\theta\cos\lambda, \ r_3;$$

$$Y_1=r\sin\theta\sin\lambda, \ r_3;$$

$$Z_1=r\cos\theta, \ r_2.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Справочное

НЕРЕГУЛЯРНЫЕ ВАРИАЦИИ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

1. Нерегулярные вариации вектора индукции магнитного поля магнитосферных токов, не учитываемые моделью, при магнитной буре составляют ~ 100 нТл, а в спокойное время ~ 10 нТл.

2. Нерегулярные вариации вектора индукции магнитного поля от ионосферных и продольных токов, также не учитываемые моделью, существенны на высотах до 1000 км и имеют значения порядка 50 нТл на геомагнитных широтах до 60 и свыше 80°, и 500 нТл — на широтах от 60 до 80°.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Справочное

ПРИМЕР ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕКТОРА ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ $\vec{B}_2$

Входные параметры:

XX(3) — солнечно-магнитосферные координаты точки в пространстве;

R1 — расстояние от Земли до точки пересечения магнитопаузы линией Земля — Солнце;

PSI — угол наклона геомагнитного диполя.

Выходные параметры: *B*(3) — составляющие вектора индукции магнитного поля $\vec{B}_2$.

```
0001          DIMENSION XX(3), B(3), F(8), G(3), H(8), Q(10)
0002          DATA S0, S1/—0,18, —2.51/, Q/8.52, —39,65, 1.25,
             *21,79. —17.87, 2.93, —2.98, 5.51, 0.21, —8.56/
      C
      C  1. ЗАДАНИЕ СОЛНЕЧНО-МАГНИТОСФЕРНЫХ КООРДИНАТ
      C     ТОЧКИ (В R3)
0003          DATA XX/—0.530, 0.609, 1.834/
      C
      C  2. ЗАДАНИЕ УГЛА НАКЛОНА ГЕОМАГНИТНОГО ДИПОЛЯ,
      C     РАССЧИТАННОГО НА ЗАДАННЫЙ ДЕНЬ ПО ФОРМУЛЕ (3)
0004          PSI=22.5258
      C
      C  3. ЗАДАНИЕ ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОГО РАССТОЯНИЯ (В R3),
      C     РАССЧИТАННОГО ПО ФОРМУЛЕ (2)
0005          R1=10.
      C
0006          PS=PSI/10.
0007          PSY=PSI*3.1415926/180.
0008          SP=SIN(PSY)
0009          CP=COS(PSY)
0010          F(1)=Q(1)*SP
```

```
0011          F(2)=Q(2)*SP*CP
0012          F(3)=Q(3)*SP
0013          F(4)=Q(4)*CP*CP+Q(5)*SP*SP
0014          F(5)=Q(6)*CP
0015          F(6)=Q(7)*CP*CP+Q(8)*SP*SP
0016          F(7)=Q(9)*CP
0017          F(8)=Q(10)*SP*CP
0018            G(1)=SO*CP
0019            G(2)=S1
0020            G(3)=SO*CP
0021              H(1)=—Q(1)*CP
0022              H(2)=—Q(4)*SP*SP—Q(5)*CP*CP
0023              H(3)=—Q(3)*CP
0024              H(4)=—Q(2)*CP*SP
0025              H(5)=Q(6)*SP
0026              H(6)=Q(10)*CP*SP
0027              H (7)=Q (9) *SP
0028              H(8)=Q(7)*SP*SP+Q(8)*CP*CP
0029          X=XX(1)/R1
0030          Y=XX(2)/R1
0031          Z=XX(3)/R1
0032          B(1)=F(1)+X*F(2)+Y*F(3)+Z*F(4)+PS*(F(5)+X*F(6)
            *+Y*F (7)+Z*F (8))
0033          B(2)=PS*(X*G(1)+Y*G(2)+Z*G(3))
0034          B(3)=H (1)+X*H (2)+Y*H (3)+Z*H (4)+PS* (H (5)+X*H (6)
            *+Y*H (7)+Z*H (8))
0035          PRINT 200, XX, R1, PSI, B
0036        200 FORMAT (//, 16X, 'X', 9X, 'Y', 9X, 'Z', 9X, 'R1', 7X,
              *'PSI', 8X, 'BX', 8X, 'BY', 8X, 'BZ', //, 10X, 8F10.4)
0037          STOP
0038          END
```

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. **УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ** Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 14.11.85 № 3609

РАЗРАБОТЧИКИ СТАНДАРТА

И. И. Алексеев, канд. физ.-мат наук; **А. В. Баюков**, канд. техн. наук; **Е. С. Беленькая**, канд. физ.-мат. наук; **Н. П. Бенькова**, д-р физ-мат. наук; **Ю. А. Винтенко**, канд. техн. наук; **А. Н. Герасимов**; **В. П. Головков**, д-р физ.-мат. наук; **Е. В. Горчаков**, д-р физ.-мат. наук; **М. С. Григорян**; **И. П. Иваненко**, д-р физ.-мат. наук; **В. В. Калегаев**; **Г. И. Коломийцева**, канд. физ.-мат. наук; **А. П. Кропоткин**, д-р физ.-мат. наук; **Е. Н. Лесновский**, канд. техн. наук; **В. М. Ломакин**, канд. техн. наук; **Ю. Г. Лютов**; **В. В. Мигулин**, чл.-кор. АН СССР; **Л. И. Мирошниченко**, канд. физ.-мат. наук; **В. Н. Никитинский**; **М. И. Панасюк**, д-р физ.-мат. наук; **И. Я. Ремизов**, канд. техн. наук; **В. И. Степакин**, канд. техн. наук; **Л. Н. Степанова**; **И. Б. Теплов**, д-р физ.-мат. наук; **М. В. Терновская**, канд. физ.-мат. наук; **В. В. Хаустов**, канд. техн. наук

2. **СОГЛАСОВАНО** с Государственной службой стандартных справочных данных (протокол от 16.06.85 № 18)

3. **Срок первой проверки 1989 г.**
Периодичность проверки — 5 лет.

4. **ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ**

5. **ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ**

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, приложения
ГОСТ 25645.126—85	1.4, приложения 1,2
ГОСТ 25645.136—86	2.2

6. **ПЕРЕИЗДАНИЕ (апрель 1990 г.) с Изменением № 1, утвержденным в сентябре 1989 г. (ИУС 12 1989)**

Редактор *И. В. Виноградская*
Технический редактор *М. И. Максимова*
Корректор *Н. Л. Шнайдер*

Сдано в наб. 16.11.89 Подп. в печ. 28.06.90 0,75 усл. п. л. 0,75 усл. кр.-отт. 0,63 уч.-изд. л. Тир. 5000 Цена 3 к.

«Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 1399

gost.e-ecolog.ru