УДК 629.783

МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Письмаров А. В., Волоцуев В. В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

По мере совершенствования космических технологий массы и размеры служебных и целевых систем космических аппаратов (КА) становятся всё меньше. Во многих случаях большую часть внутреннего объёма КА занимают аккумуляторные батареи. Они служат для обеспечения электрической энергией бортового оборудования на теневом участке полёта. Однако, можно уменьшить количество батарей за счёт получения электрической энергии из магнитного поля Земли. Для этого необходимо использовать на КА катушки с металлическим сердечником, через который будут проходить линии магнитной индукции и, тем самым, создавать индуцированный ток, необходимый КА на теневом участке полёта.

Цель работы заключается в получении аналитической формулы для расчёта значений ЭДС электромагнитной индукции в контуре при полёте КА на орбите. Объектом исследования является магнитное поле Земли и способы его применения в получении электрической энергии на КА

Согласно закону Фарадея для любого замкнутого контура ЭДС электромагнитной индукции в контуре равна скорости изменения магнитного потока, проходящего через этот контур:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{\mathrm{dt}}, \qquad (1)$$

где $d\Phi$ – магнитный поток, Вб.

Магнитный поток можно определить как

$$d\Phi = \mathrm{B} \cdot \mathrm{dS}. \qquad (2)$$

Стоит заметить, что площадь контура не меняется, а изменяется магнитная индукция, значит формула (2) перепишется в виде

$$d\Phi = \mathrm{S} \cdot \mathrm{dB}. \qquad (3)$$

Тогда для определения ЭДС необходимо знать магнитную индукцию планеты.

Для определения магнитной индукции, создаваемой центром Земли, использовалась упрощённая модель, представленная на рисунке 1.

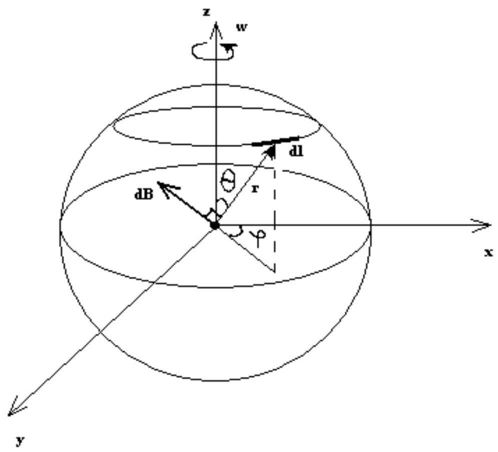

Рис. 1. Определение величины B

Величина магнитной индукции равна

$$B = \int_0^{\pi} d\theta \int_0^{2\pi} \frac{1}{4} \cdot \omega_3 \cdot \sigma \cdot \sin^3 \theta \cdot \frac{\mu_0}{\pi} \cdot r \cdot d\varphi , \tag{4}$$

где $d\theta$ – широта, рад; $d\varphi$ – долгота, рад; ω_3 – угловая скорость Земли, с$^{-1}$; σ – поверхностная плотность заряда, Кл/м^2; μ_0 – магнитная проницаемость, Г/м.

Связь напряжённости поля между поверхностной плотностью заряда выражается следующей формулой

$$E = \frac{2}{\varepsilon_0} \cdot \frac{\sigma \cdot dr}{r}, \tag{5}$$

где ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м; r – расстояние от рассматриваемой точки до центра Земли, м.

Также большой вклад в магнитное поле планеты вносят магнитосферный ток, величина магнитной индукции которого определяется согласно ГОСТ 25645.127 – 85 «Магнитосфера Земли. Модель магнитного поля магнитосферных токов»:

$$B_1 = \sqrt{B_{1X}^2 + B_{1Y}^2 + B_{1Z}^2} , \tag{6}$$

где B_{1X} – проекция вектора $\vec{B_1}$ на ось Ох, направленная на Солнце, нТл; B_{1Y} – проекция вектора $\vec{B_1}$ на ось Оу, дополняющая правостороннюю систему координат, нТл; B_{1Z} – проекция вектора $\vec{B_1}$ на ось Oz, лежащая в плоскости, проходящей через ось Ох и ось геомагнитного диполя, нТл.

Солнце посылает на Землю электромагнитные волны всех областей спектра. Земли достигают заряженные частицы разных энергий. Только очень малая часть заряженных частиц из межпланетного пространства попадает в атмосферу Земли (остальные отклоняет или задерживает магнитное поле). Но их энергии достаточно для того, чтобы вызвать полярные сияния и возмущения магнитного поля нашей планеты.

В качестве модели данного процесса использовалась теория заряженной частицы, влетевшей в магнитное поле. Величина магнитной индукции создаваемой точечным зарядом равна $B_q = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{q}{r^3}[v, r]$, (7)

где q – заряд частицы, Кл; v – скорость частицы, м/с; μ – магнитная проницаемость, Г/м. Тогда вектор индукции магнитного поля $\overrightarrow{B_м}$ в магнитосфере Земли вычисляют по формуле $\overrightarrow{B_м} = \vec{B} + \vec{B_1} + \vec{B_q}$. (8)

Окончательная формула магнитной индукции планеты запишется в виде системы с учётом формул (4) – (8):

$$\begin{cases} \overrightarrow{B_м} = \vec{B} + \overrightarrow{B_1} + \overrightarrow{B_q}, \\ B = \int_0^{\pi} d\theta \int_0^{2\pi} \frac{1}{4} \cdot \omega_3 \cdot \sigma \cdot sin^3 \theta \cdot \frac{\mu_0}{\pi} \cdot r \cdot d\varphi, \\ E = \frac{2}{\varepsilon_0} \cdot \frac{\sigma \cdot dr}{r}, \\ B_1 = \sqrt{B_{1X}^2 + B_{1Y}^2 + B_{1Z}^2}, \\ B_q = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{q}{r^3} [v, r]. \end{cases}$$