

Лекция 3

Распространение электромагнитных волн в ионосфере

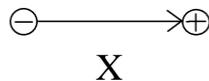
1

Спутниковая связь реализуется через отражение сигнала от ионосферы – верхнего слоя атмосферы. Солнечная радиация и поток космических лучей разлагают молекулы атмосферы на электроны и ионы, смесь которых образует плазму. Рассмотрим физические процессы прохождения и отражения электромагнитной волны через плазму.

Вектор индукции электрического поля $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ определяется также как

$$\vec{D} = 4\pi \vec{p} + \vec{E}, \quad \vec{p} = -Ne\vec{x}, \quad (1)$$

где \vec{p} - вектор поляризации, N -число электронов в единице объема, \vec{x} - расстояние отклонения электрона от иона:



Знак минус в (1) соответствует отрицательности заряда электрона. Из равенства двух определений D имеем в скалярном виде

$$\epsilon E = -4\pi Nex + E, \quad \epsilon = 1 - \frac{4\pi Nex}{E} \quad (2)$$

Напряженность электрического поля E найдем из второго закона Ньютона:

$$\ddot{x} = \frac{e}{m} E, \quad E(\omega) = \frac{m}{e} \omega^2 x, \quad (3)$$

ω – частота волны.

Подставляя (3) в (2): найдем диэлектрическую проницаемость

$$\epsilon(\omega) = 1 - \frac{4\pi Ne^2}{m} \frac{1}{\omega^2} = 1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2}, \quad (4)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{4\pi Ne^2}{m}} - \text{плазменная частота} \quad (5)$$

Формула (5) определяет частоту колебания электрона вокруг иона.

2

Найдем показатель преломления n электромагнитной волны через плазму:

$$n = \frac{c}{v}, \quad v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon(\omega)}}, \quad (6)$$

где c – скорость света, v – скорость волны в среде.

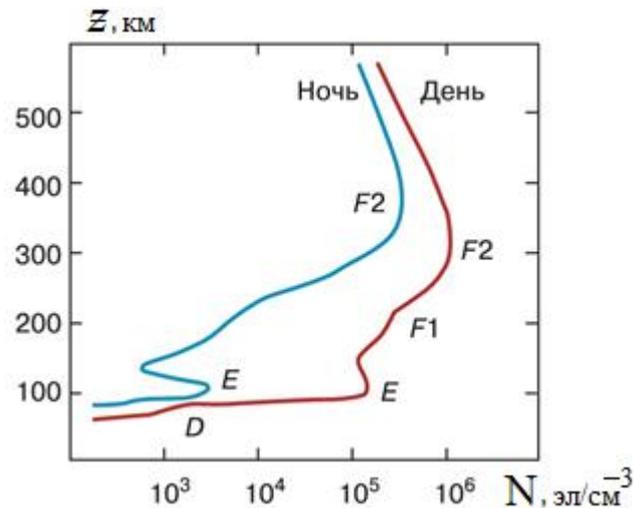
Подставляя (4) в (6):

$$n = c \sqrt{\epsilon(\omega)} = c \sqrt{1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2}}, \quad (7)$$

Если $\omega > \omega_0$, то n – действительная величина, волна проходит через ионосферу. Если $\omega < \omega_0$, то под корнем в (7) имеем отрицательную величину, т.е. $n \sim \sqrt{-1}$ – мнимая величина. Волна с частотой меньше, чем ω_0 отражается.

3 Наблюдательные факты и техника радиосвязи.

По высоте от Земли z концентрация электронов N соответствует графику:



D , E , F – названия слоев ионосферы. Удаленный F слой содержит максимальную концентрацию электронов, что соответствует максимуму плазменной частоты ω_0 . От F – слоя сигнал может отразиться ночью, т.к. лучи Солнца попадают на расстояние $z \geq 10^3$ км. Днем сигнал может отразиться от D – слоя. Схема приема:

