

**О РАДИОПРОЗРАЧНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО И ВОЗМУЩЁННОГО ГАЗА СЛОЯ D ОСНОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ**

Шевяков И.А., Тамбовцев В.И., Кучуркин А.А.

(Челябинск, Челябинский радиозавод «Полёт», regnlager@mail.ru)

**RADIO TRANSPARENCY OF NATURAL AND PERTURBED GAS OF BASE OF THE IONOSPHERE LAYER D**

Shevyakov I.A., Tambovcev V.I., Kuchurkin A.A.

Главным препятствием для осуществления надёжной радиосвязи является плазменная оболочка, возникающая вокруг спускаемого аппарата (СА). В области ударной волны в слое D температура достигает 6000 K. Как было показано в [1], среда вокруг СА имеет свойства как плазмы, так и столкновительного ионизированного газа при различных отношениях плазменной частоты  $\omega_p$  и частоты столкновений электронов  $\nu_e$ .

Радиопрозрачность таких сред определяется значениями фазовой постоянной  $\beta$  и постоянной затухания  $\alpha$  [2]. В настоящей работе представлены результаты графического построения зависимостей для  $\beta$  и  $\alpha$ . Для построения применялась формулы (2.6) из [3]:

$$\beta^2 \frac{c^2}{\omega^2} = \frac{1}{2} \left( \left[ \left( 1 - \frac{\omega_p^2}{\nu_e^2 + \omega^2} \right)^2 + \frac{\nu_e^2}{\omega^2} \left( \frac{\omega_p^2}{\nu_e^2 + \omega^2} \right)^2 \right]^{1/2} + \left( 1 - \frac{\omega_p^2}{\nu_e^2 + \omega^2} \right) \right). \quad (1)$$

$$\alpha^2 \frac{c^2}{\omega^2} = \frac{1}{2} \left( \left[ \left( 1 - \frac{\omega_p^2}{\nu_e^2 + \omega^2} \right)^2 + \frac{\nu_e^2}{\omega^2} \left( \frac{\omega_p^2}{\nu_e^2 + \omega^2} \right)^2 \right]^{1/2} - \left( 1 - \frac{\omega_p^2}{\nu_e^2 + \omega^2} \right) \right). \quad (2)$$

Рассматривается графическое представление трёх случаев: A –  $\nu_e \ll \omega_p$ , B –  $\omega_p \ll \nu_e$  и B – для разных отношений  $\nu_e/\omega_p$ . Результаты представлены на рисунках 1, 2, 3.

Для случая A, где  $\nu_e < \omega_p$ , то есть когда среда находится в плазменном состоянии, определяющую роль играет плазменная частота  $\omega_p$ , в этом случае строятся зависимости вида

$\beta \frac{c}{\omega} \left( \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right)$  и  $\alpha \frac{c}{\omega} \left( \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right)$  при варьировании значения параметра  $\eta = \frac{\nu_e^2}{\omega^2}$ .

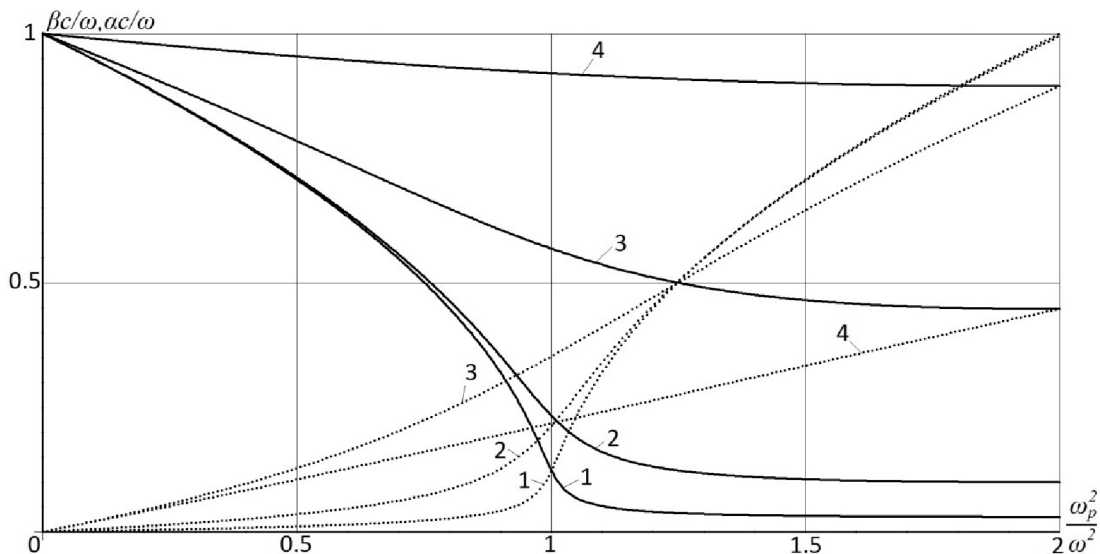


Рис.1. Фазовая постоянная (сплошные линии) и постоянная затухания (пунктирные линии) волн в плазме ( $\nu_e \ll \omega_p$ ): 1)  $\nu_e/\omega_p = 0,03$ ; 2)  $\nu_e/\omega_p = 0,1$ ; 3)  $\nu_e/\omega_p = 0,5$ ; 4)  $\nu_e/\omega_p = 2$ .

Для случая Б, где  $v_e > \omega_p$ , колебания электронов не дают развиваться плазменным колебаниям, вещество находится в состоянии ионизированного газа и определяющую роль играет частота  $\nu_e$ , графики будут иметь вид  $\beta \frac{c}{\omega} \left( \frac{v_e^2}{\omega^2} \right)$  и  $\alpha \frac{c}{\omega} \left( \frac{v_e^2}{\omega^2} \right)$  при варьировании значений параметра  $x = \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$ . Для случая В, отношение  $\nu_e/\omega_p$  является параметром, графики будут иметь вид  $\beta \frac{c}{\omega} \left( \frac{\omega^2}{v_e^2} \right)$  и  $\alpha \frac{c}{\omega} \left( \frac{\omega^2}{v_e^2} \right)$ . Графики А и Б представляют поведение фазовой постоянной  $\beta$  и постоянной затухания  $\alpha$  при изменении частоты столкновений электронов  $\nu_e$  (в случае А) и плазменной частоты  $\omega_p$  (в случае Б). В случае А при увеличении частоты столкновения электронов  $\nu_e$  графики  $\beta \rightarrow 1$  и  $\alpha \rightarrow 0$ , что может свидетельствовать о значительном увеличении критической частоты, определяемой из отношения  $\beta/\alpha=1$  и переходе к стационарному (изотропному) состоянию при больших значениях  $\nu_e$ . В случае Б также наблюдается асимптотическое стремление графиков  $\beta \rightarrow 1$  и  $\alpha \rightarrow 0$  при увеличении значения плазменной частоты  $\omega_p$ , однако в этом случае наблюдается резкое возрастание начальных значений  $\beta$  и  $\alpha$  при больших значениях  $\omega_p$  (случаи 3 и 4 на рис. 2).

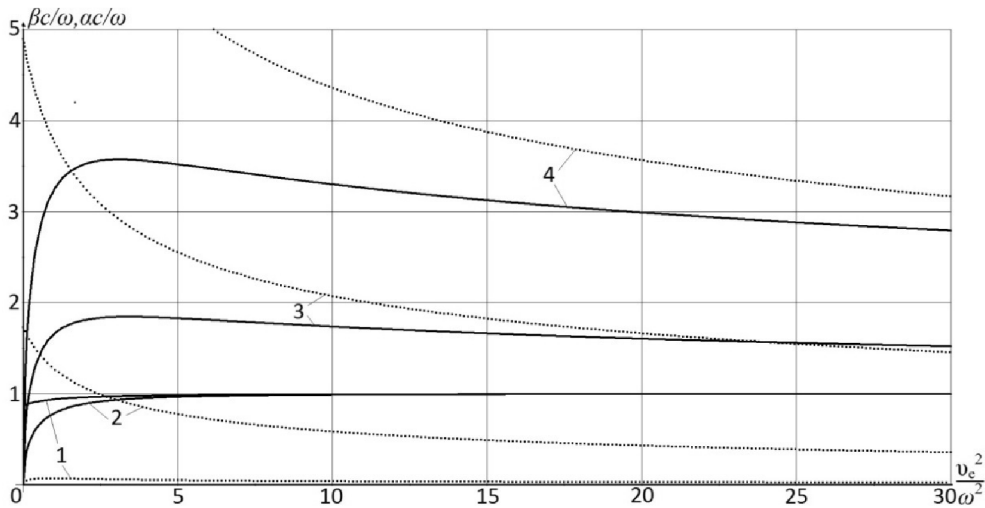


Рис.2. Фазовая постоянная (сплошные линии) и постоянная затухания (пунктирные линии) волн в ионизированном газе ( $v_e \gg \omega_p$ ): 1)  $\omega_p/\omega = 0,5$ ; 2)  $\omega_p/\omega = 2$ ; 3)  $\omega_p/\omega = 5$ ; 4)  $\omega_p/\omega = 10$ .

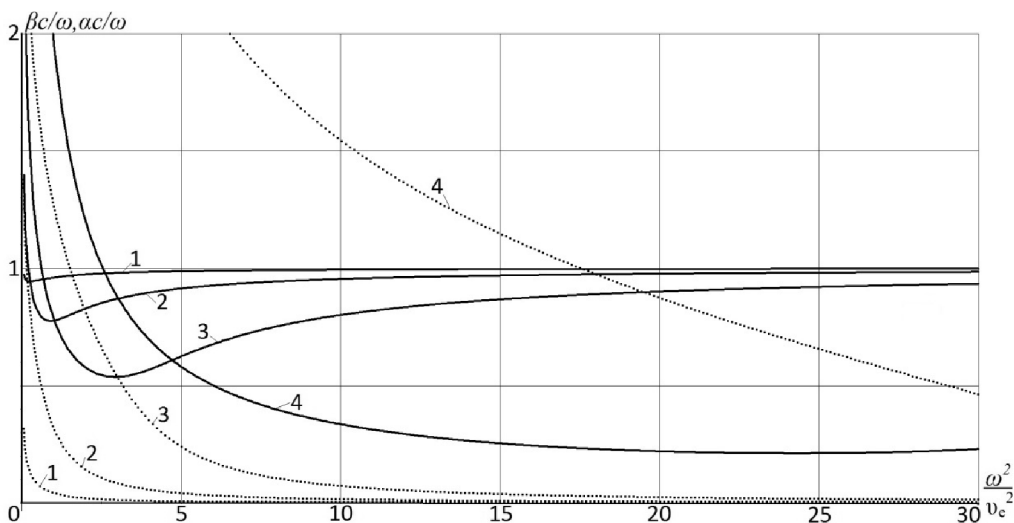


Рис.3. Фазовая постоянная (сплошные линии) и постоянная затухания (пунктирные линии) волн при различных отношениях  $\nu_e/\omega_p$ :

1)  $v_e/\omega_p = 0,4$ ; 2)  $v_e/\omega_p = 1$ ; 3)  $v_e/\omega_p = 2$ ; 4)  $v_e/\omega_p = 6$ .

Рис.3, для случая В, представляет изменения постоянных  $\beta$  и  $\alpha$  при различном отношении  $v_e/\omega_p$ , т.е. при различном состоянии вещества: от плазменного до ионизированного.

**Выводы.** Получены графики для фазовой постоянной  $\beta$  и постоянной затухания  $\alpha$  для плазменного состояния вещества ( $v_e < \omega_p$ ) и состояния ионизированного газа ( $v_e > \omega_p$ ), а также и граничных состояний. Показано что графики имеют особенности в области начальных значений и характерное поведение графиков фазовой постоянной ( $\beta \rightarrow 1$ ), и графика постоянной затухания ( $\alpha \rightarrow 0$ ). В дальнейшем предполагается детальное рассмотрение данных особенностей, что необходимо учитывать при технической реализации исследований.

### Литература

1. Кучуркин А.А. Влияние плазменной оболочки, образующейся при торможении КА, на радиосвязь// Труды IX международной конференции «Физика и технические приложения волновых процессов». – Миасс – Челябинск: ЧелГУ. – 2010 г. – С. 177 – 178.
2. Кучуркин А.А., Тамбовцев В.И., Тепляков А.В. СВЧ диагностика газоразрядной плазмы. Труды МФТИ. - 2010, - Т. 2, - № 37. С. 122 - 125.
3. Голант В.Е. СВЧ методы исследования плазмы – М.: Наука, 1968, – 328 с.