

Дипломная работа

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО
ИМПУЛЬСА В СРЕДЕ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ**

Мишанов И.В., 504 гр.,
Научный руководитель: Трофимов В.А.



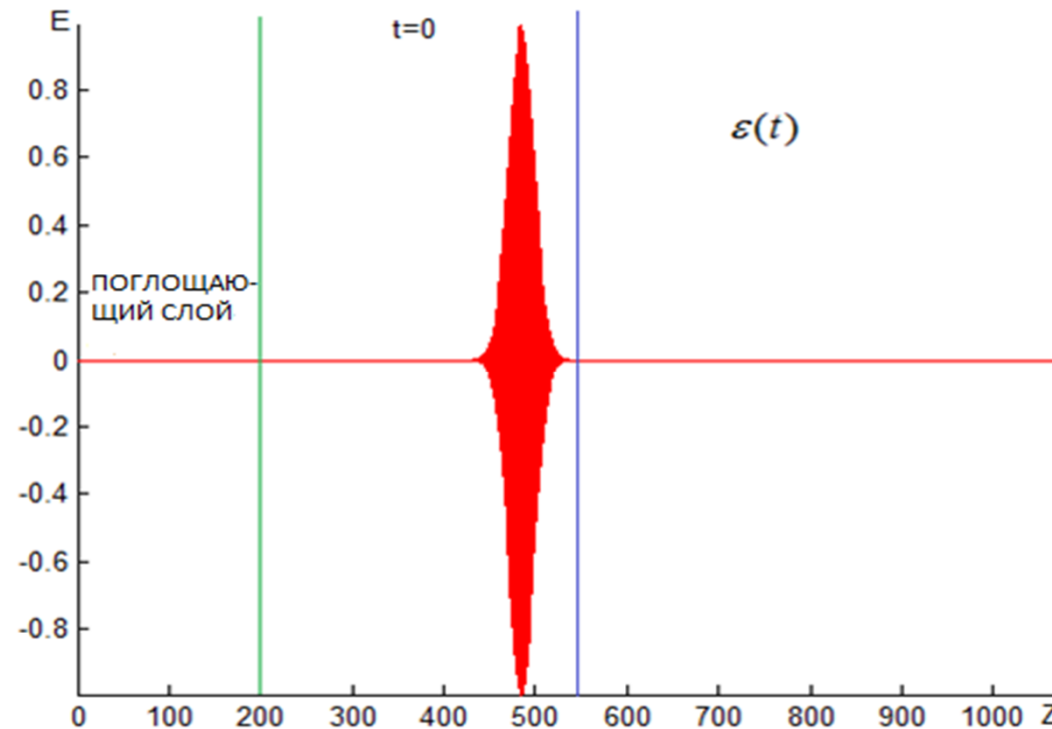
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

$$\frac{\partial D}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial z}, \quad \frac{\partial(\mu H)}{\partial t} = -\frac{\partial E}{\partial z}, \quad D = \varepsilon(t)E, \\ 0 < z \leq L_z, \quad 0 < t \leq L_t$$

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 1, & 0 < z < L_z / 2 + z_0, \\ \varepsilon_1 + b \cdot \cos(\Omega \cdot t), & z_0 + L_z / 2 \leq z \leq L_z, \end{cases}$$

$$\text{ИЛИ } \varepsilon(t) = \begin{cases} 1, & 0 < z < L_z / 2 + z_0, \\ \varepsilon_1 + b \cdot \exp\left(-\left(\frac{t - t_0}{\tau_\varepsilon}\right)^2\right) \cdot \cos(\Omega \cdot t), & z_0 + L_z / 2 \leq z \leq L_z \end{cases}$$

ПАДАЮЩИЙ ЛАЗЕРНЫЙ ИМПУЛЬС



$$E_{|t=0} = E_0(z), \quad H_{|t=0} = H_0(z),$$

$$E_0(z) = \exp\left(-\left(\frac{z-L_z/2}{a}\right)^2\right) \cdot \cos(\omega \cdot (z-L_z/2) + \varphi), \quad 0 \leq z \leq L_z.$$

Разностная схема

Введем на рассматриваемой области $[0, L_t] \times [0, L_z]$ равномерные сетки с шагами h и τ по z и t соответственно:

$$\omega_t = \left\{ t_i = i\tau; i = \overline{0, N_t}; \tau = \frac{L_t}{N_t} \right\}, \tilde{\omega}_t = \left\{ \tilde{t}_i = (i + 0,5)\tau; i = \overline{0, N_t - 1}; \tau = \frac{L_t}{N_t} \right\},$$
$$\omega_z = \left\{ z_j = jh; j = \overline{0, N_z}; h = \frac{L_z}{N_z} \right\}, \tilde{\omega}_z = \left\{ \tilde{z}_j = (j + 0,5)h; j = \overline{0, N_z - 1}; h = \frac{L_z}{N_z} \right\}$$

В начальный момент времени поле зададим в виде:

$$E(0, z_j) = E_{0,j} = e^{-((z_j - \frac{L_z}{2})/a)^2} \cos\left(\omega\left(z_j - \frac{L_z}{2}\right)\right), \quad 0 < z_j < L_z, \quad z_j = hj, \quad j = \overline{0, N_z},$$

$$H(0.5\tau, z_{j+0.5}) = H_{0.5,j+0.5} = e^{-\left(\frac{z_j - \frac{L_z}{2}}{a}\right)^2} \cos\left(\omega\left(z_j - \frac{L_z}{2}\right)\right), \quad 0 < z_j < L_z,$$
$$z_j = hj, \quad j = \overline{0, N_z}$$

Таким образом, разностная схема для исходной системы имеет вид:

$$\frac{E_{i+1,j+1} \varepsilon_{i+1,j+1} - E_{i+1,j} \varepsilon_{i+1,j}}{\tau} = - \frac{H_{i+1.5,j+0.5} - H_{i+0.5,j+0.5}}{h},$$
$$\frac{H_{i+0.5,j+1.5} - H_{i+0.5,j+0.5}}{\tau} = - \frac{E_{i+1,j+1} - E_{i,j+1}}{h}$$

ПОГЛОЩАЮЩИЙ СЛОЙ

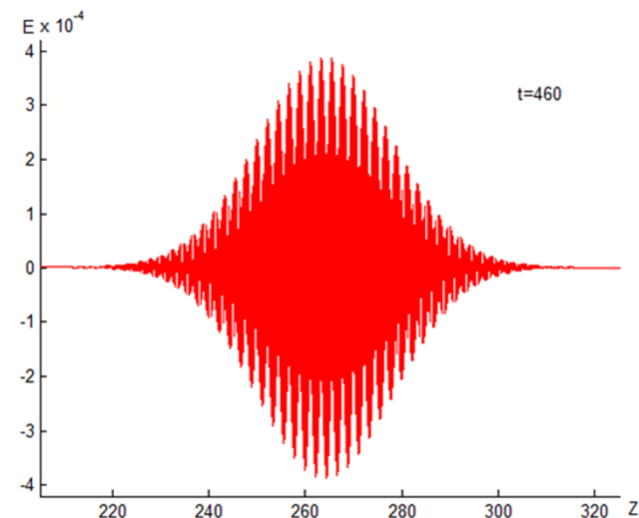
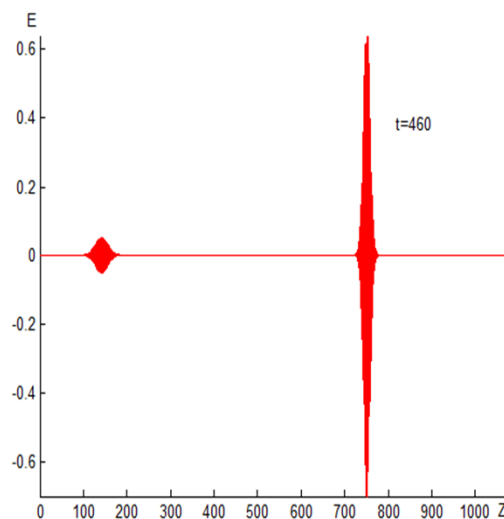
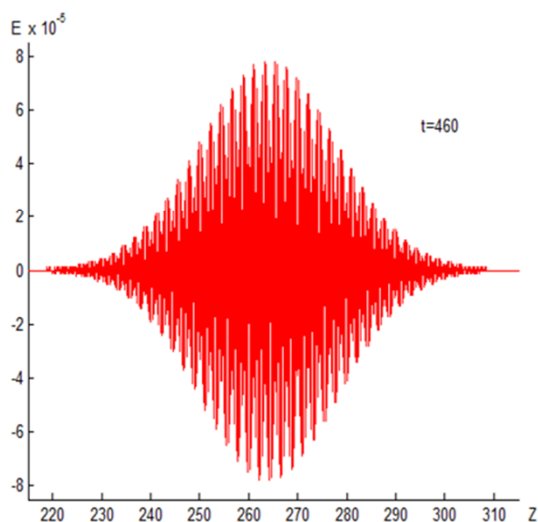
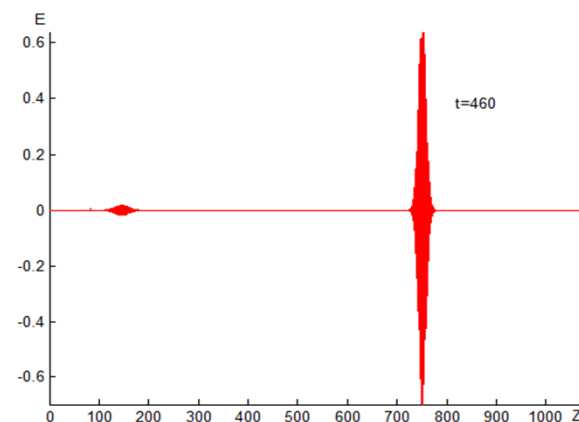
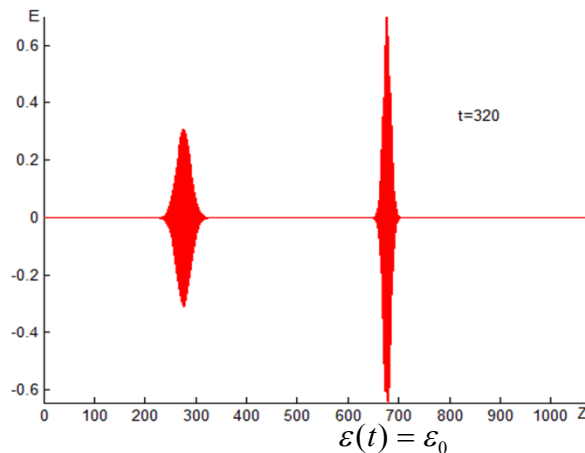
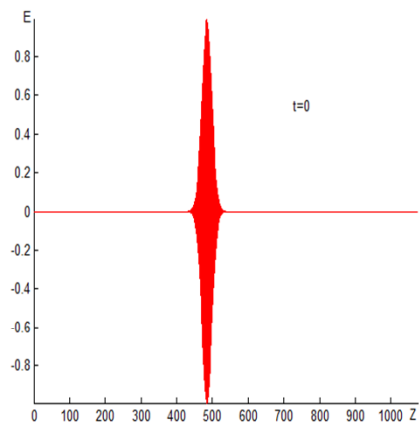
В данном случае использовались следующие уравнения в поглощающем слое:

$$\frac{\partial E}{\partial z} - \frac{\partial E}{\partial t} - \sigma_E E = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial z} - \frac{\partial H}{\partial t} - \sigma_H H = 0.$$

Рассматривалось неоднородное распределение электрической и магнитной проводимости по пространственной координате в поглощающем слое. Для иллюстрации эффективности такого подхода сравним два вида расчетов: с неоднородным поглощением и с однородным. В последнем случае проводимость равна 0.05. Для неоднородного поглощения проводимость изменялась в соответствии с правилом:

$$\sigma_E = \sigma_H = 0.01 \cdot 1.01^i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, K.$$

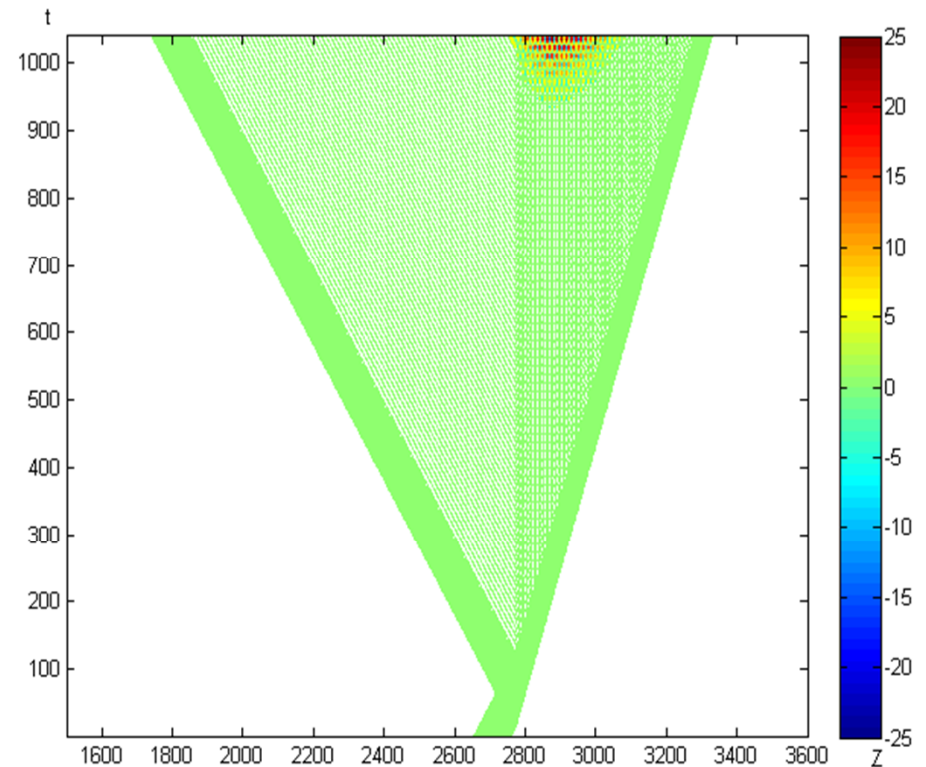
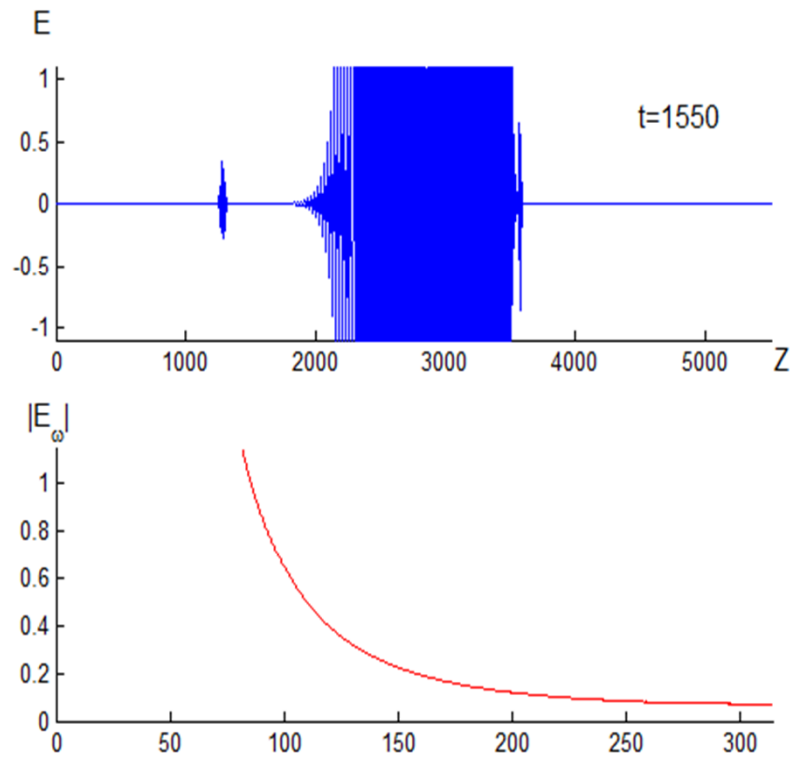
ПОГЛОЩАЮЩИЙ СЛОЙ: среда с независящей от времени диэлектрической проницаемостью ($\varepsilon(t) = \varepsilon_0 = 3.5$), $\omega = 20$, $z_0 = 1$



Поглощение возрастает вдоль z

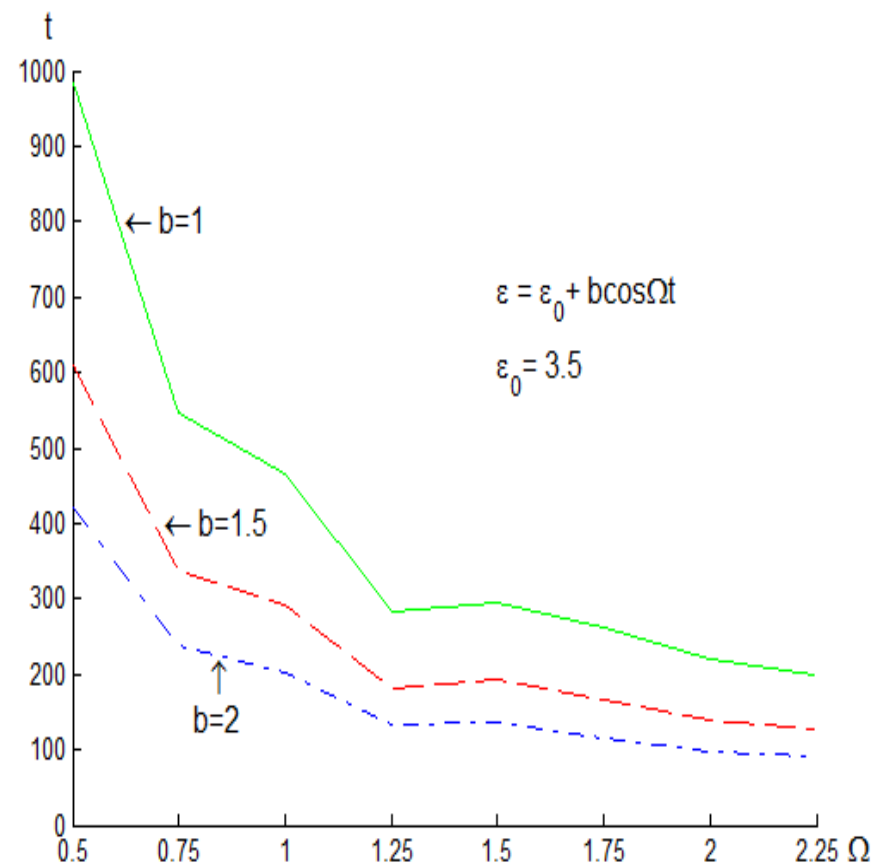
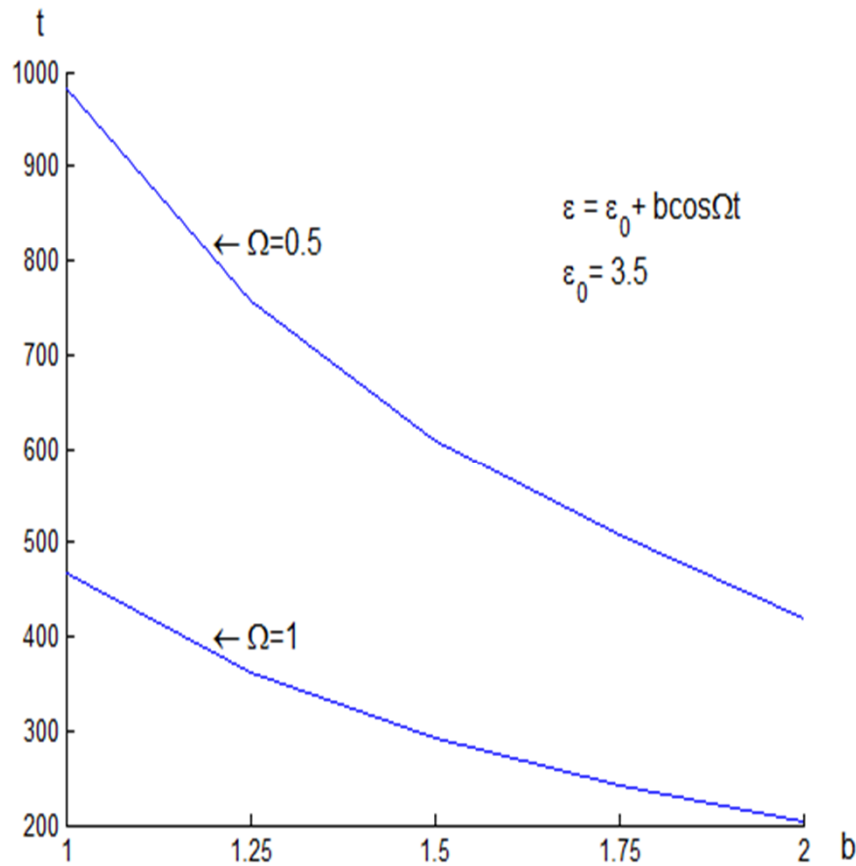
Постоянное поглощение вдоль z

НЕОГРАНИЧЕННЫЙ РОСТ АМПЛИТУДЫ ИМПУЛЬСА В СРЕДЕ С ЗАВИСЯЩЕЙ ОТ ВРЕМЕНИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ



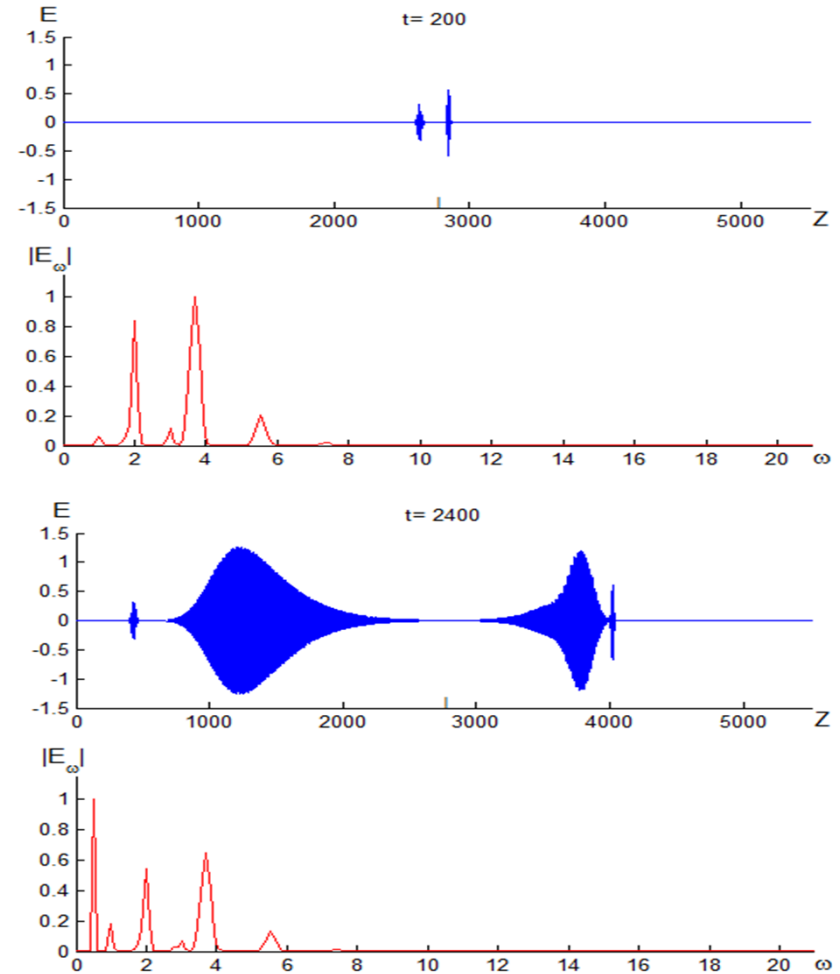
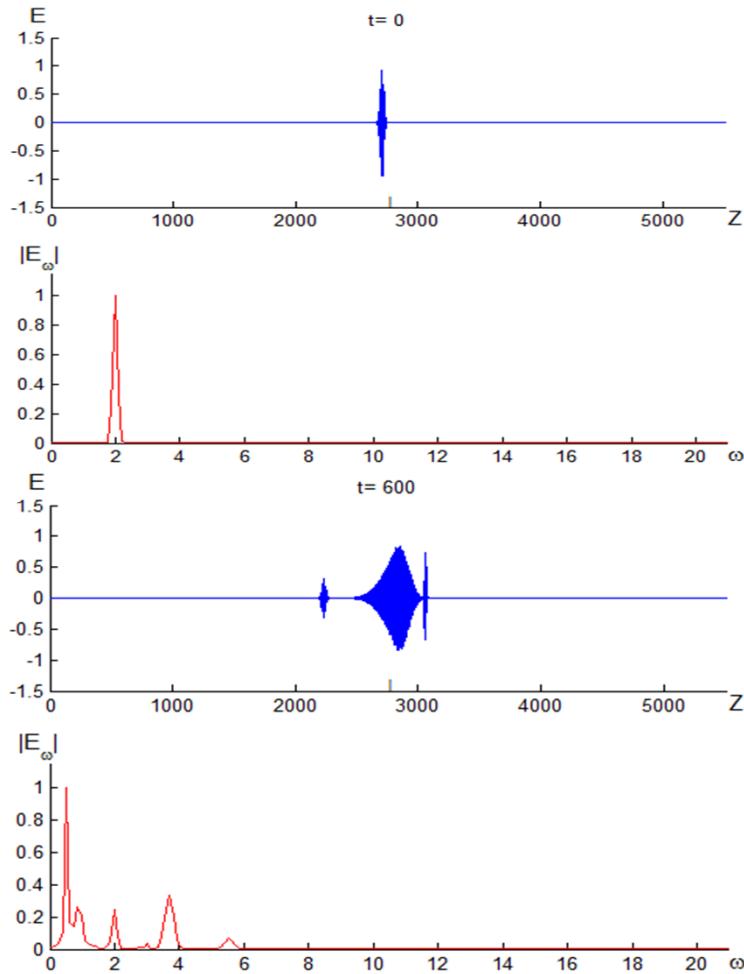
$$\omega=2, a=20, z_0=8, \Omega=0.5, b=1 \quad \omega=2, a=20, z_0=10, \Omega=0.5, b=1$$

НЕОГРАНИЧЕННЫЙ РОСТ АМПЛИТУДЫ ИМПУЛЬСА В СРЕДЕ С ЗАВИСЯЩЕЙ ОТ ВРЕМЕНИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ



$$\omega = 2, a = 20, z_0 = 8$$

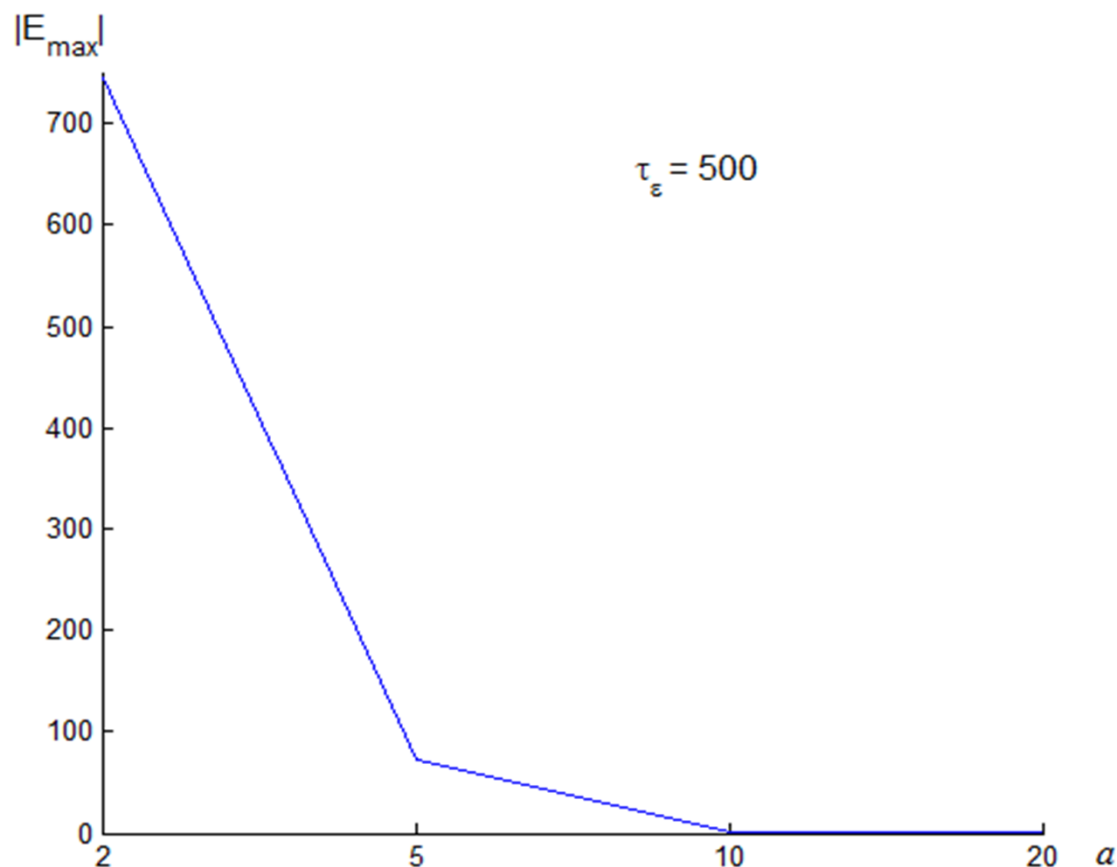
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИМПУЛЬСА В СРЕДЕ С ЗАВИСЯЩЕЙ ОТ ВРЕМЕНИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ



$$\tau_\varepsilon = 500, \quad \omega = 2, \quad \Omega = 1, \quad b = 1, \quad a = 20, \quad z_0 = 8, \quad t_0 = 20$$

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИМПУЛЬСА В СРЕДЕ С
ЗАВИСЯЩЕЙ ОТ ВРЕМЕНИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ. Зависимость модуля
амплитуды электрического поля от длительности
импульса.**

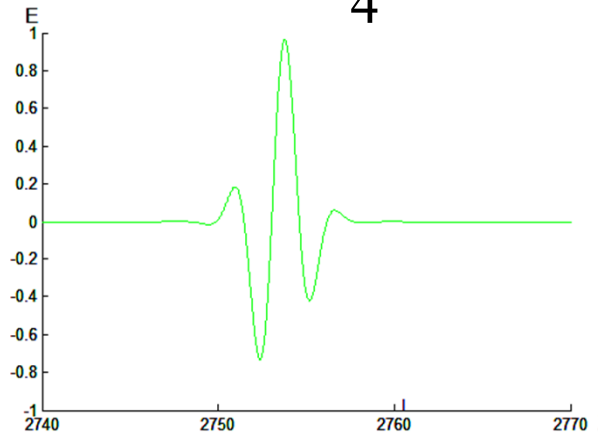
$$\omega = 2, \quad \Omega = 1, \quad b = 1, \\ z_0 = 8, \quad t_0 = 20$$



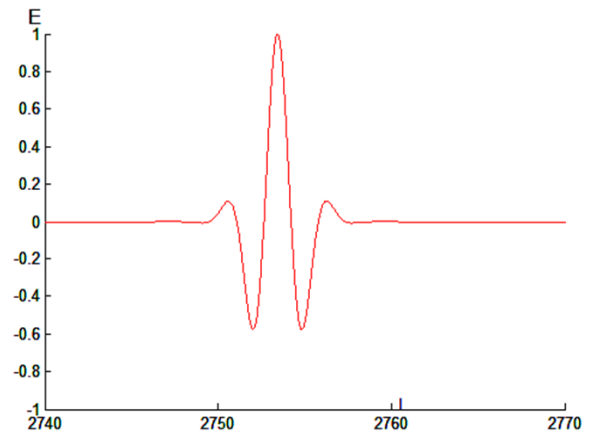
Зависимость формы импульса и его спектра от абсолютной фазы.

$$\omega = 2, a = 2, z_0 = 8, \Omega = 1, b = 1, \tau_\varepsilon = 500$$

$$\varphi = -\frac{\pi}{4}$$



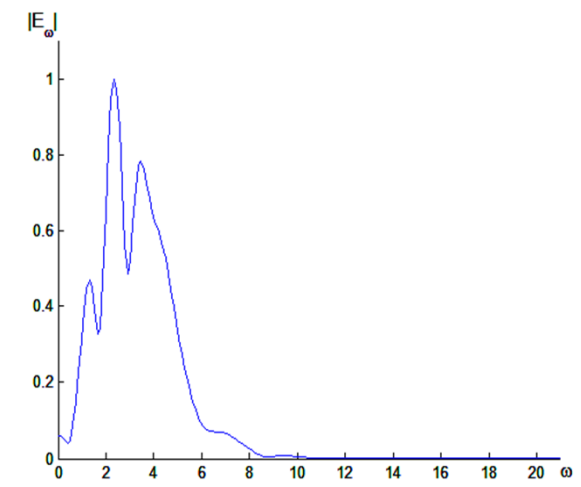
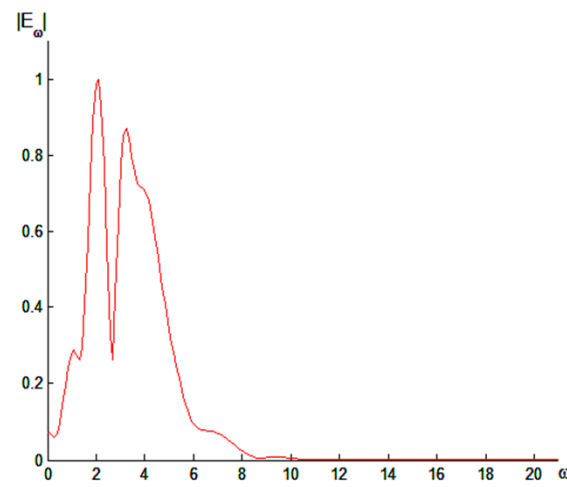
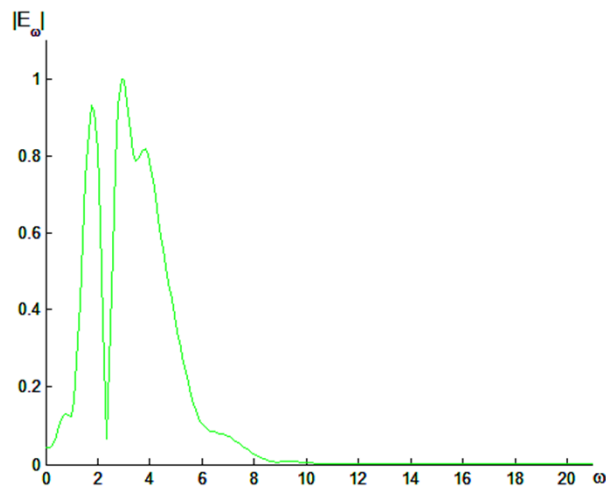
$$\varphi = 0$$



$$\varphi = \frac{\pi}{4}$$



$t = 0$ Форма импульса



$t = 72$ Спектр сигнала

Результаты

- Показано, что характеристики лазерного импульса, распространяющегося в среде с зависящей от времени диэлектрической проницаемостью, существенно зависят от длины падающего импульса, его абсолютной фазы, а также от параметров возмущения среды.
- Показана возможность уменьшения амплитуды отраженного от поглощающей области сигнала за счет задания коэффициента поглощения, изменяющегося по закону геометрической прогрессии.
- Результаты данной работы представлялись на международной конференции Optics and optoelectronics (Прага, 2013 г.) и были опубликованы в журнале Proceedings SPIE.

Спасибо за внимание!