

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ВОЛН С МАСКИРУЮЩИМИ ОБОЛОЧКАМИ

Курсовая работа студента II курса
Никитченко Александра Денисовича

Научные руководители:
Боголюбов Александр Николаевич, д. ф.-м.н, проф.
Могилевский Илья Ефимович, к.ф.-м.н., доц

Цели

- 1) Создание компьютерной программы, моделирующей взаимодействие электромагнитной волны с маскирующей оболочкой.
- 2) Применение этой программы в исследованиях, посвященных электромагнитной маскировке.
- 2) Ознакомление с теоретическими основами электромагнитной маскировки методом волнового обтекания.

Задача

В работе решалась следующая система уравнений:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$$

Метод решения

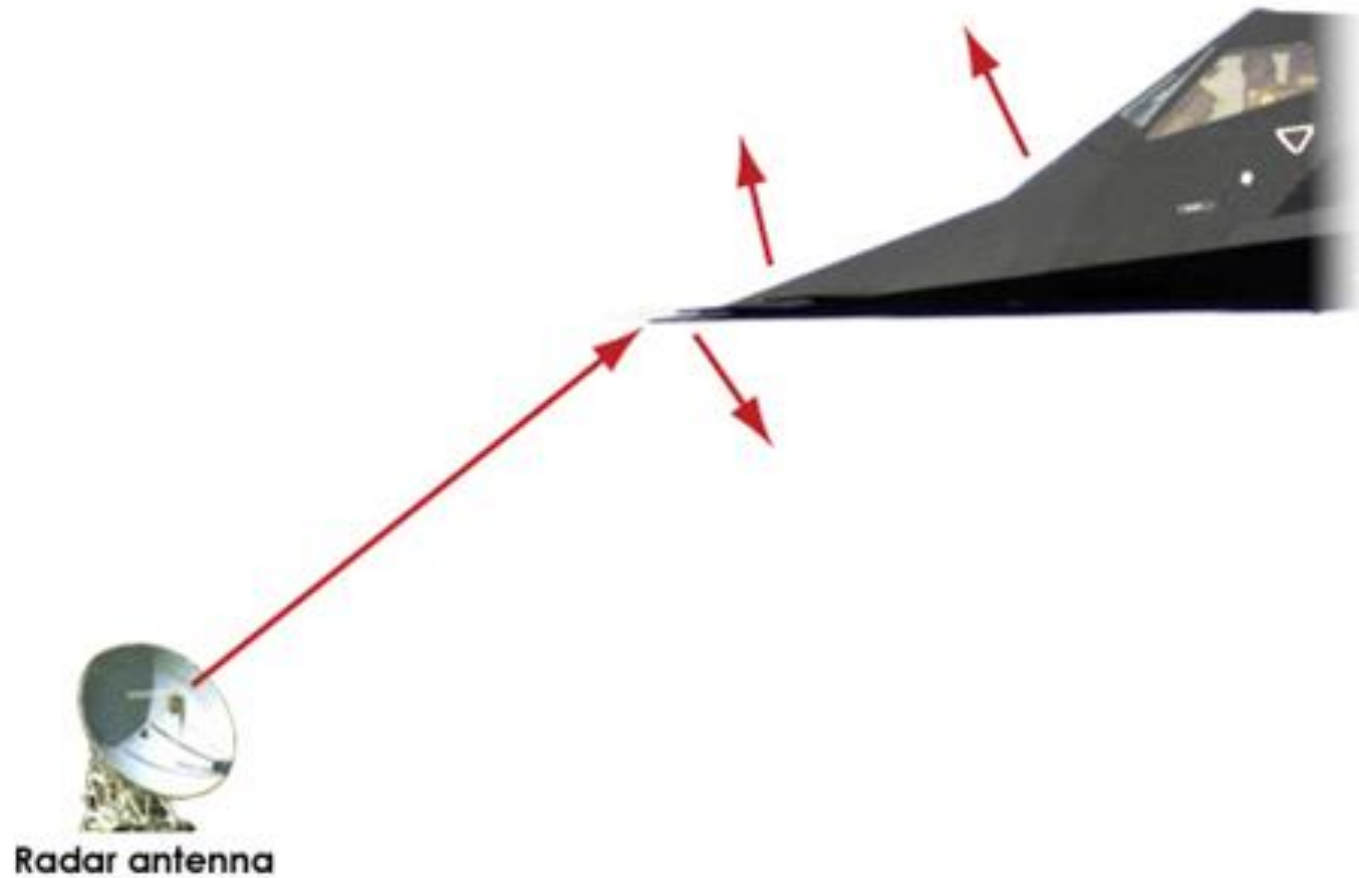
Задача будет решаться численно при помощи метода конечных разностей во временной области (FDTD).

Результаты

Был изучен метод волнового обтекания. Был реализован и протестирован численный метод FDTD. В результате численного моделирования были получены распределения полей при распространении плоской волны в вакууме и при падении плоской волны на стеклянный шарик.



Хамелеон маскируется в
тропическом лесу



Принцип работы
технологии “Стелс”



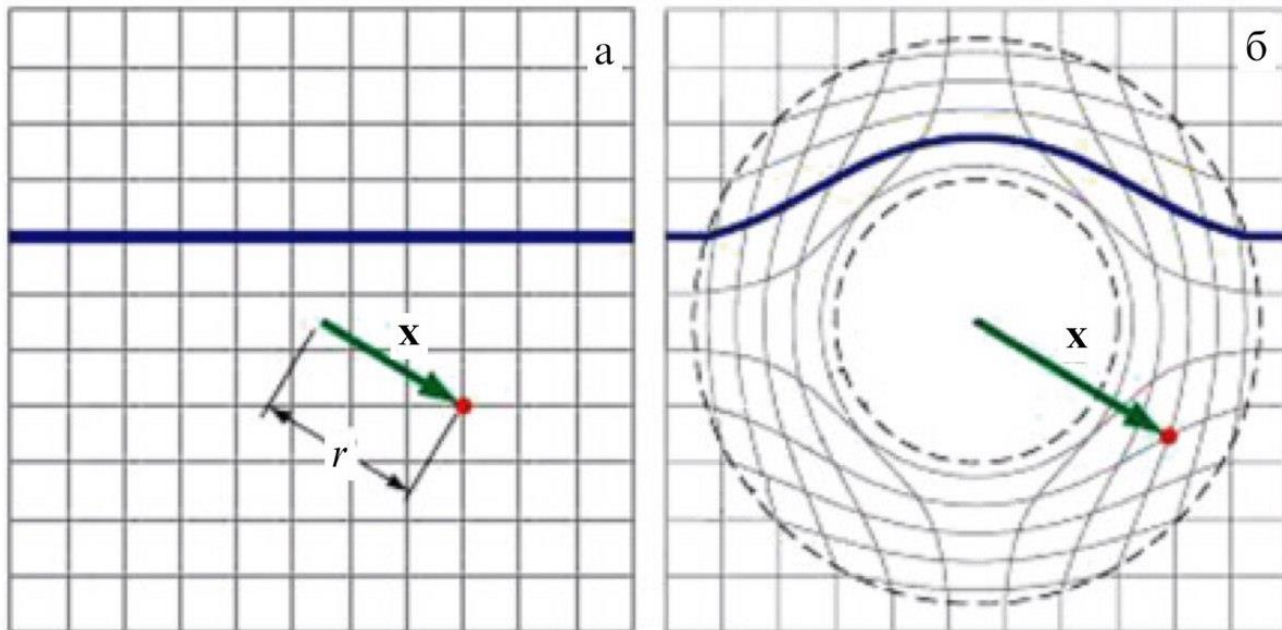
Джон Пендри

$$r' = R_1 + r \frac{R_2 - R_1}{R_2}, \quad \theta' = \theta, \quad \varphi' = \varphi$$

$$\varepsilon_{rr} = \mu_{rr} = \frac{R_2}{R_2 - R_1} \frac{(r - R_1)^2}{r^2}, \quad \varepsilon_{\theta\theta} = \mu_{\theta\theta} = \frac{R_2}{R_2 - R_1},$$

$$\varepsilon_{\phi\phi} = \mu_{\phi\phi} = \frac{R_2}{R_2 - R_1}.$$

Пример координатных преобразований с соответствующим распределением параметров



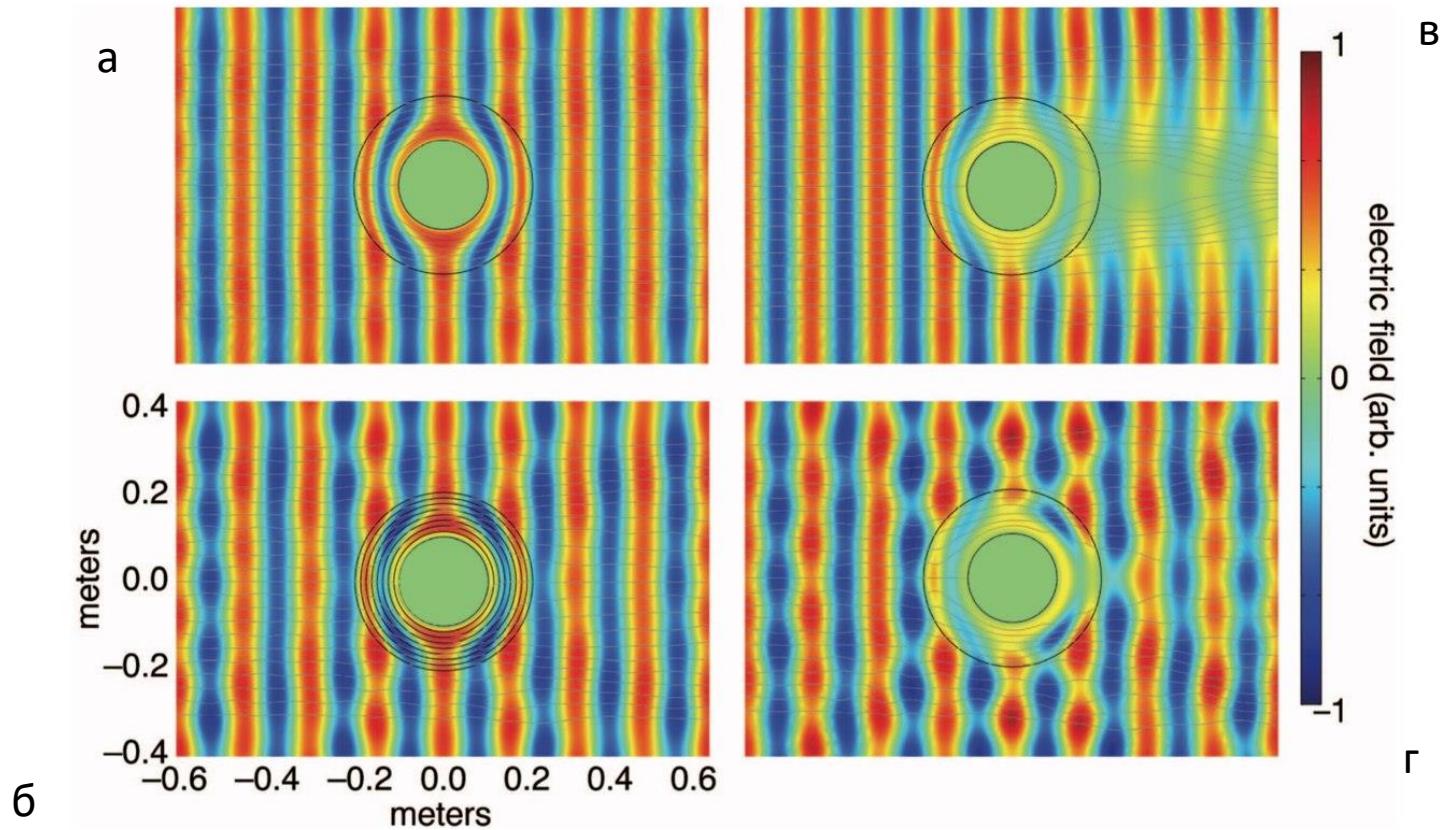
Искривление пространства

$$r' = \frac{b-a}{b} r + a, \quad \varphi' = \varphi, \quad z' = z,$$

$$\varepsilon_{rr} = \mu_{rr} = \frac{r-a}{r}, \quad \varepsilon_{\phi\phi} = \mu_{\phi\phi} = \frac{r}{r-a},$$

$$\varepsilon_{zz} = \mu_{zz} = \left(\frac{b}{b-a} \right)^2 \frac{r-a}{r},$$

Координатные преобразования с соответствующим распределением параметров

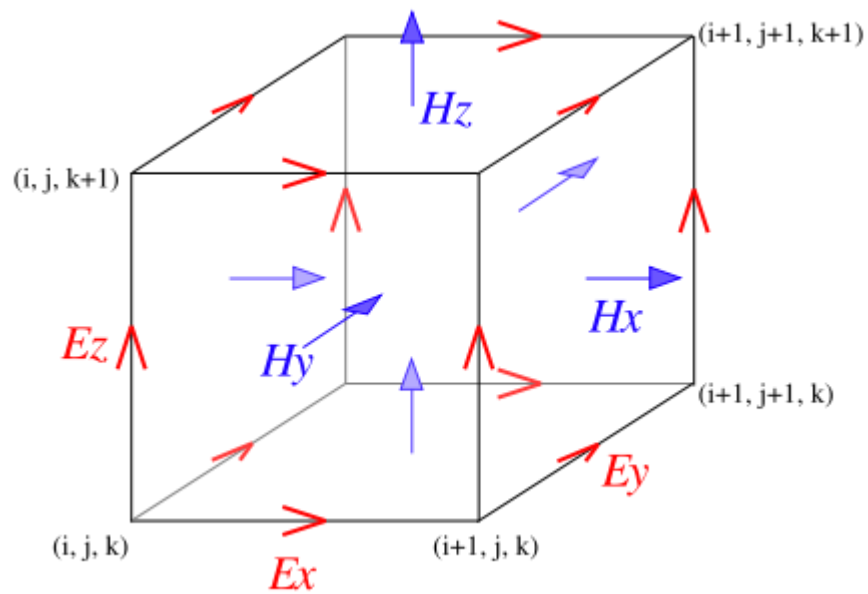


а – оболочка с идеальными параметрами

б – восьмислойное приближение

в – оболочка с идеальными параметрами и тангенсом угла потерь 0,1

г – покрытие с упрощенными параметрами



Ячейка пространства, участвующая в расчетах

$$H_{x(i,j,k)}^{n+\frac{1}{2}} = H_{x(i,j,k)}^{n-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\mu} \left(\frac{E_{z(i,j+1,k)}^n - E_{z(i,j,k)}^n}{\Delta y} - \frac{E_{y(i,j,k+1)}^n - E_{y(i,j,k)}^n}{\Delta z} \right)$$

$$H_{y(i,j,k)}^{n+\frac{1}{2}} = H_{y(i,j,k)}^{n-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\mu} \left(\frac{E_{x(i,j,k+1)}^n - E_{x(i,j,k)}^n}{\Delta z} - \frac{E_{z(i+1,j,k)}^n - E_{z(i,j,k)}^n}{\Delta x} \right)$$

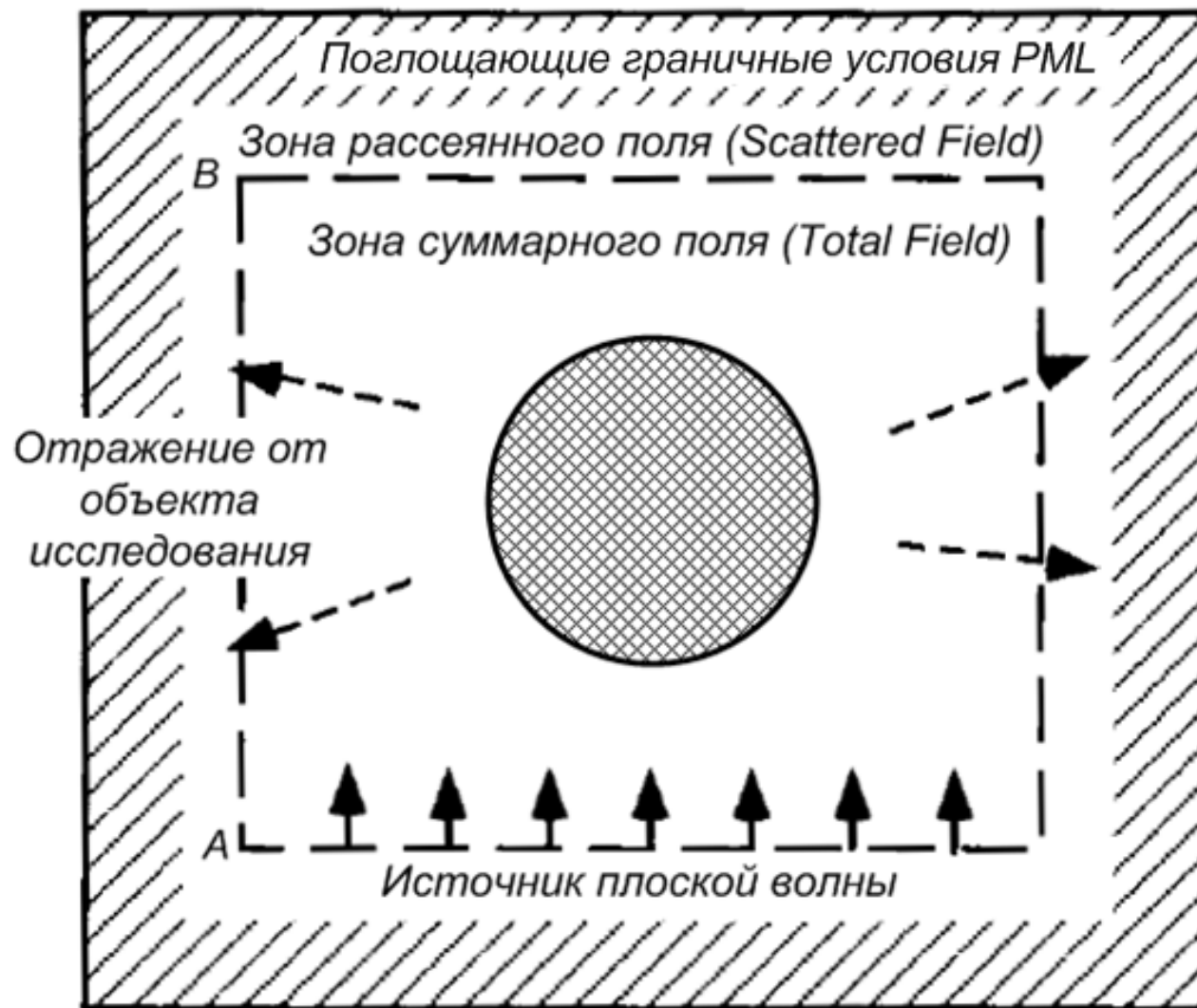
$$H_{z(i,j,k)}^{n+\frac{1}{2}} = H_{z(i,j,k)}^{n-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\mu} \left(\frac{E_{y(i+1,j,k)}^n - E_{y(i,j,k)}^n}{\Delta x} - \frac{E_{x(i,j+1,k)}^n - E_{x(i,j,k)}^n}{\Delta y} \right)$$

$$E_{x(i,j,k)}^{n+1} = \left(\frac{1 - \frac{\sigma \Delta t}{2\varepsilon}}{1 + \frac{\sigma \Delta t}{2\varepsilon}} \right) E_{x(i,j,k)}^n + \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left(\frac{H_{z(i,j,k)}^{n+\frac{1}{2}} - H_{z(i,j-1,k)}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} - \frac{H_{y(i,j,k)}^{n+\frac{1}{2}} - H_{y(i,j,k-1)}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta z} \right)$$

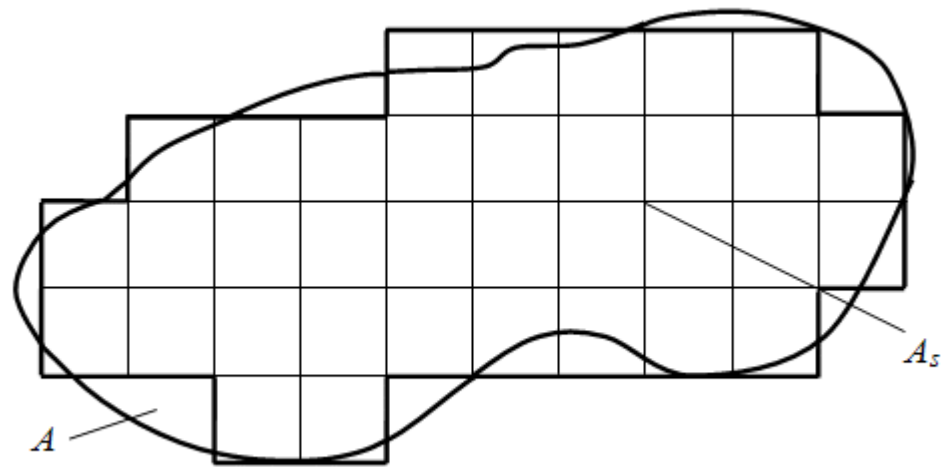
$$E_{y(i,j,k)}^{n+1} = \left(\frac{1 - \frac{\sigma \Delta t}{2\varepsilon}}{1 + \frac{\sigma \Delta t}{2\varepsilon}} \right) E_{y(i,j,k)}^n + \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left(\frac{H_{x(i,j,k)}^{n+\frac{1}{2}} - H_{x(i,j,k-1)}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta z} - \frac{H_{z(i,j,k)}^{n+\frac{1}{2}} - H_{z(i-1,j,k)}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} \right)$$

$$E_{z(i,j,k)}^{n+1} = \left(\frac{1 - \frac{\sigma \Delta t}{2\varepsilon}}{1 + \frac{\sigma \Delta t}{2\varepsilon}} \right) E_{z(i,j,k)}^n + \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left(\frac{H_{y(i,j,k)}^{n+\frac{1}{2}} - H_{y(i-1,j,k)}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} - \frac{H_{x(i,j,k)}^{n+\frac{1}{2}} - H_{x(i,j-1,k)}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} \right)$$

Итерационные формулы алгоритма Йе



Пространство счета



Отображение тела на сетку

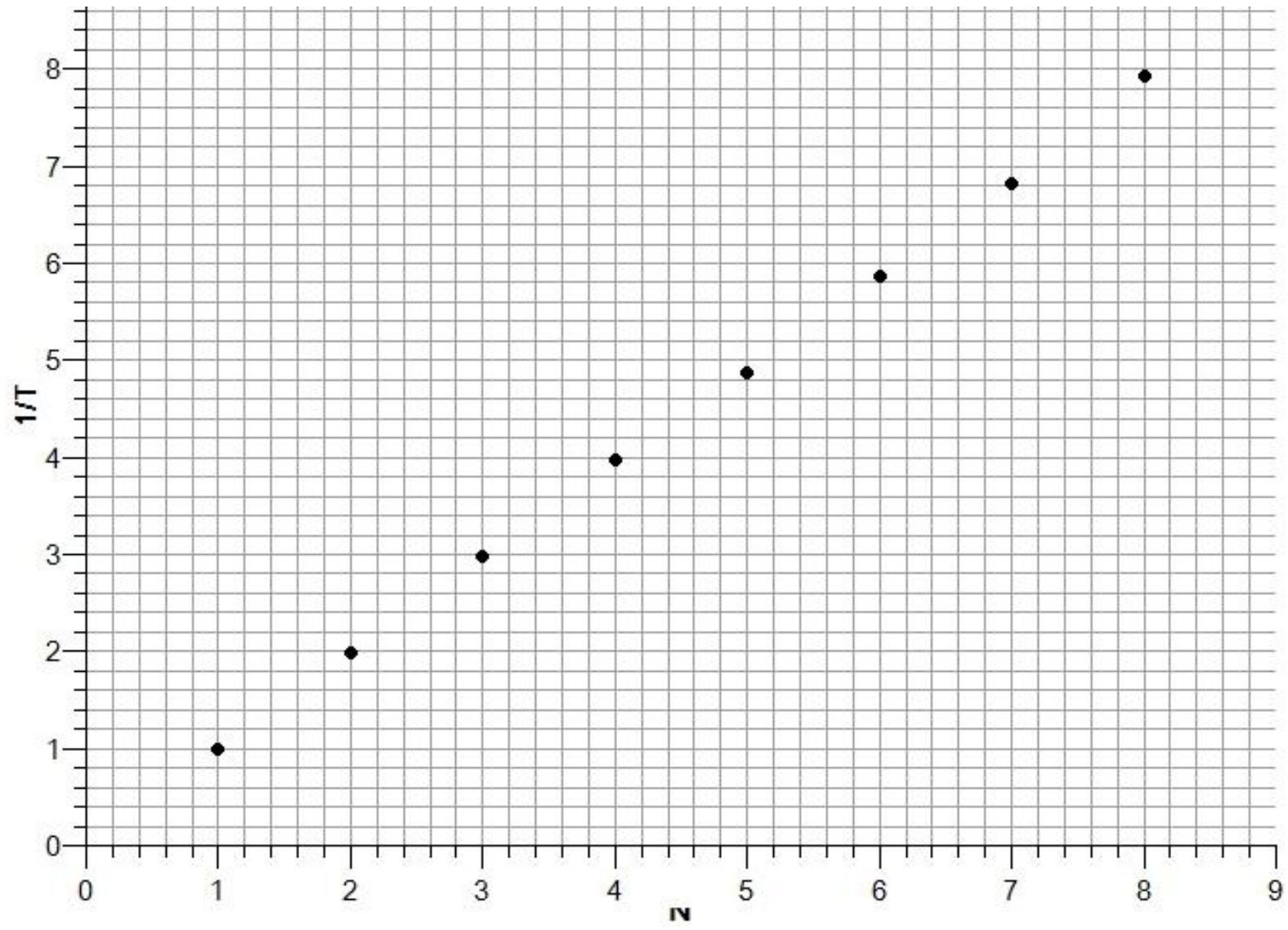
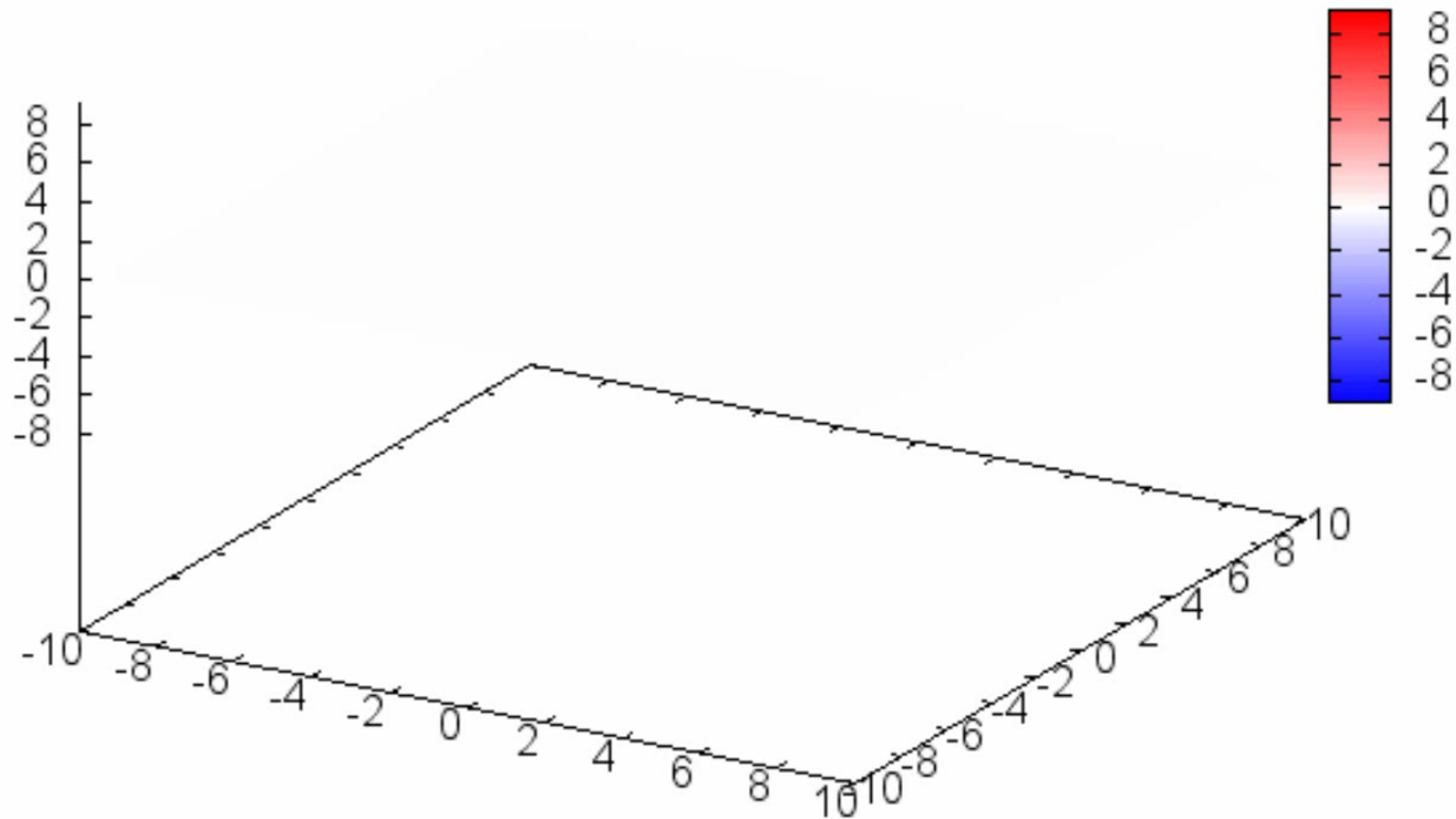


Рис. 5. Зависимость относительного обратного времени от числа процессоров

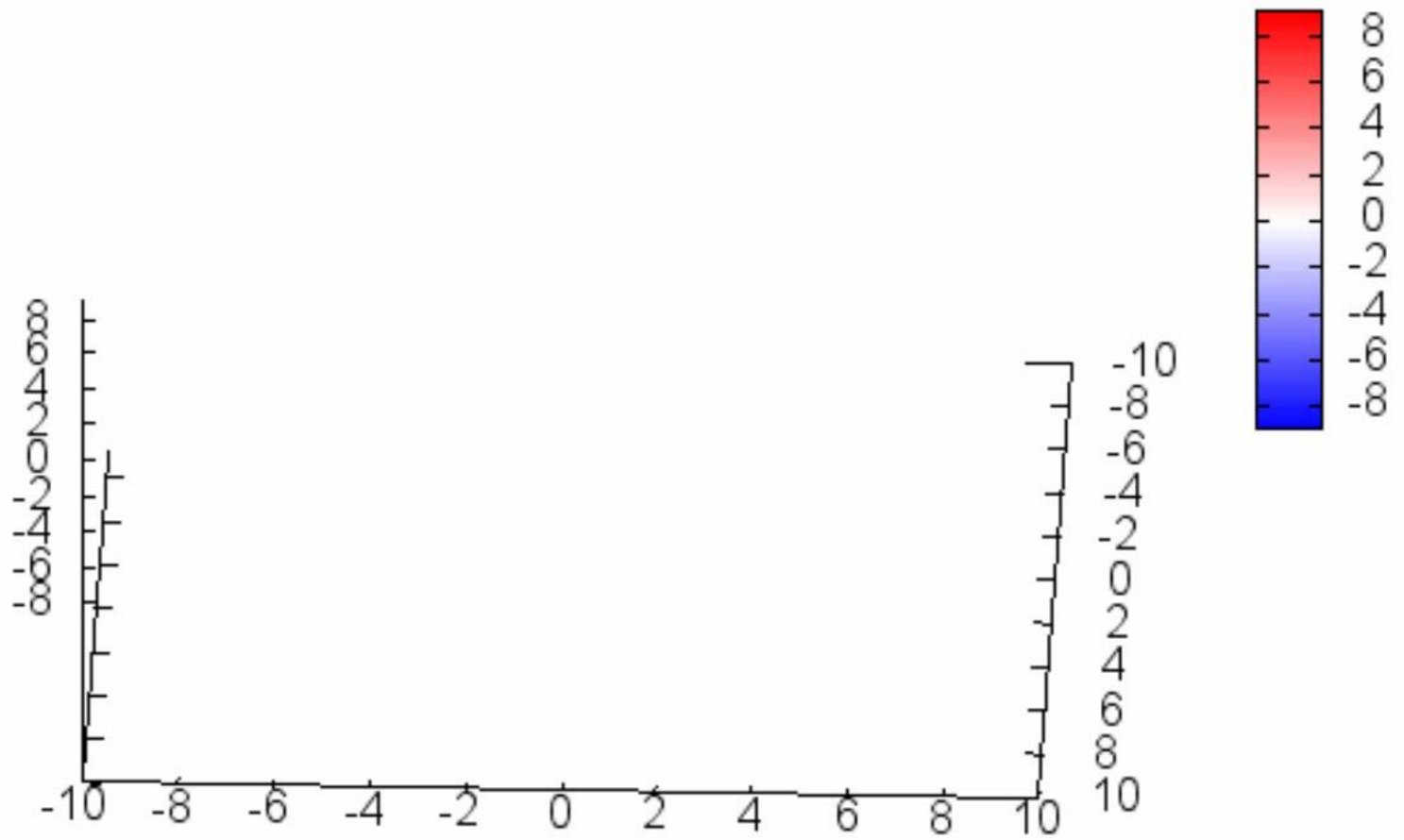
fn u 3:4:5

Распространение плоской волны в вакууме



fn u 3:4:5

Падение плоской ЭМ волны на
стеклянный шарик



Вывод

Сравнение результатов моделирования и известного точного решения позволяет говорить о высокой точности реализованного численного метода и о его пригодности для дальнейшего использования. Программа позволяет адекватно моделировать процессы взаимодействия электромагнитных волн с различными объектами, как для двумерных, так и для трёхмерных задач. Есть возможность для улучшения программы, прежде всего для оптимизации и расширения функционала библиотеки.