



### Литература

1. Мирхайдарова Г.Х. Постановка задачи принятия решений об организации дорожного движения на основе данных о дорожно-транспортных происшествиях: материалы Международной научно-практической конференции(часть 2). Стерлитамак.2017. С.175-177.
2. Статистика ДТП за 2015 год по г. Уфе: [Электронный ресурс] URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 1.01.2017 г.)

Д.В. Маслаков, А.А. Шиповских

### СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ СЕТОЧНЫХ УРАВНЕНИЙ ZHANG, CHEN, ZHENG

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

#### ВВЕДЕНИЕ

Метод разностного решения уравнений Максвелла (FDTD метод [1]) широко используется для моделирования распространения излучения в вычислительной электродинамике, оптике и фотонике. Классическая явная схема Yee [1] наряду с многочисленными достоинствами характеризуется условной устойчивостью, что затрудняет ее применение в случаях, когда характеристические неоднородности исследуемого объекта моделирования уступают по размерам длине падающей волны. В силу этого, сравнение различных реализаций неявной схемы FDTD-метода [2] на языке MatLab, аналогично работе [4] для явной, представляется актуальным.

#### РАЗНОСТНАЯ СХЕМА ZHANG, CHEN, ZHENG

Уравнения Zheng, Chen, Zhang в виде разностного аналога.

Первая подитерация:

$$E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+\frac{1}{2}} = E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k}^n + \frac{\Delta t}{2\varepsilon\Delta y} \left( H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} - H_z|_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} \right) - \frac{\Delta t}{2\varepsilon\Delta z} \left( H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^n - H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k-\frac{1}{2}}^n \right); \quad 1)$$

$$H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} = H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^n - \frac{\Delta t}{2\mu\Delta z} \left( E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k+1}^n - E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k-1}^n \right); \quad 2)$$

$$H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} = H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^n + \frac{\Delta t}{2\mu\Delta y} \left( E_x|_{i+\frac{1}{2},j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+\frac{1}{2}} \right). \quad 3)$$

Вторая подитерация:



$$E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+1} = E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{\Delta t}{2\varepsilon\Delta y} \left( H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} - H_z|_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} \right) - \frac{\Delta t}{2\varepsilon\Delta z} \left( H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^{n+1} - H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k-\frac{1}{2}}^{n+1} \right); \quad (4)$$

$$H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^{n+1} = H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{2\mu\Delta z} \left( E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k+1}^{n+1} - E_x|_{i+1,j,k}^{n+1} \right); \quad (5)$$

$$H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^{n+1} = H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{\Delta t}{2\mu\Delta y} \left( E_x|_{i+\frac{1}{2},j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+\frac{1}{2}} \right). \quad (6)$$

В качестве граничных условий примем случай заключения области вычислительного эксперимента в идеальную проводящую оболочку. В начальный момент времени поле отсутствовало, т.е.  $E_x$ ,  $H_z$  и  $H_y$  при  $t = 0$ .

Излучение в области вычислительного эксперимента вводится посредством задания падающей волны из середины, в данном случае функция, заданная в области  $(z_0)$ :  $E(y_0, z_0, t) = \sin(\omega t)$ .

#### МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Уравнения (2), (3), (5) и (6) решаются явно, в то время как уравнения (1) и (4) нельзя так решить. Подставив уравнение (3) в (1) и (5) в (4), получим такие уравнения, из которых можно составить СЛАУ вида  $Ax = b$ , где получится трёхдиагональная матрица  $A$ , для решения которой используется метод прогонки, являющийся адаптацией метода Гаусса к этому случаю, и метод однопараметрической итерации, итерационный метод решения СЛАУ.

#### РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА МЕТОДОМ ПРОГОНКИ

Для реализации алгоритма использовался стандартный метод пакета MatLab.

gammaXX – переменные, полученные в результате преобразований уравнений (1) – (6).

```
for t=1:Nt
```

```
    Exx=Ex; %сохранение результатов с предыдущего шага по времени
    %начало первой подитерации
```

```
    %составление правой части СЛАУ, полученной при подставлении уравнения (3) в (1)
```

```
    f=gammaZE*(Hy(1:Ny-2,2:Nz-1)-Hy(1:Ny-2,1:Nz-2))-
    gammaYE*(Hz(2:Ny-1,1:Nz-2)-Hz(1:Ny-2,1:Nz-2))-Exx(2:Ny-1,2:Nz-1);
    f(:,1)=f(:,1)-gammaYE*gammaYU*Ex(2:Ny-1,1);
```

```
    for k=2:Nz-1 %вычисления СЛАУ методом прогонки
```

```
        Ex(2:Ny-1,k)=mldivide(C,f(:,k-1)); %решение уравнения
```

```
    end
```

```
    Hy=Hy-gammaZU*(Exx(2:Ny-1,2:Nz)-Exx(2:Ny-1,1:Nz-1)); %решение уравнения (2)
```

```
    Hz=Hz+gammaYU*(Ex(2:Ny,2:Nz-1)-Ex(1:Ny-1,2:Nz-1)); %решение уравнения (3)
```

```
    % Аналогичные вычисления для второй подитерации
```

```
end
```

#### РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ИТЕРАЦИЙ



Для реализации алгоритма использовался однопараметрический метод итераций [3].

$c_{\text{tay}}$  – параметр, при котором величина погрешности приближений убывает с номером приближений наиболее быстро;

$c_{\text{mainDiag}}$  – главная диагональ матрицы;

$c_{\text{highDiag}}$  – верхняя диагональ матрицы;

$c_{\text{lowDiag}}$  – нижняя диагональ матрицы;

$\text{gammaXX}$  – переменные, полученные в результате преобразований уравнений (1) – (6).

```
for t=1:Nt
    Exx=Ex; %сохранение результатов с предыдущего шага по времени
    %начало первой подитерации
    %составление правой части СЛАУ, полученной при подставлении уравнения (3) в (1)
    f=gammaZE*(Hy(1:Ny-2,2:Nz-1)-Hy(1:Ny-2,1:Nz-2))-
    gammaYE*(Hz(2:Ny-1,1:Nz-2)-Hz(1:Ny-2,1:Nz-2))-Exx(2:Ny-1,2:Nz-1);
    f(:,1)=f(:,1)-gammaYE*gammaYU*Ex(2:Ny-1,1);
    for k=2:Nz-1 %вычисления однопараметрическим методом итераций
        g = c_tay*f(:,k-1);
        ExInMeth = c_mainDiag.*P;% промежуточный вектор, необходимый
        для вычислений однопараметрическим методом итераций
        ExInMeth(1:Ny-3) = ExInMeth(1:Ny-3) + c_highDiag.*P(2:Ny-2);
        ExInMeth(2:Ny-2) = ExInMeth(2:Ny-2) + c_lowDiag.*P(1:Ny-3);
        ExInMeth = ExInMeth + g;
        for j=1:6
            ExTemp = ExInMeth;
            ExInMeth = c_mainDiag.*ExTemp;
            ExInMeth(1:Ny-3) = ExInMeth(1:Ny-3) +
            c_highDiag.*ExTemp(2:Ny-2);
            ExInMeth(2:Ny-2) = ExInMeth(2:Ny-2) +
            c_lowDiag.*ExTemp(1:Ny-3);
            ExInMeth = ExInMeth + g;
        end
        Ex(2:Ny-1,k) = ExInMeth;
    end
    Hy=Hy-gammaZU*(Exx(2:Ny-1,2:Nz)-Exx(2:Ny-1,1:Nz-1)); %решение
    уравнения (2)
    Hz=Hz+gammaYU*(Ex(2:Ny,2:Nz-1)-Ex(1:Ny-1,2:Nz-1)); %решение
    уравнения (3)
    %Аналогичные вычисления для второй подитерации
end
```

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Для эксперимента будем использовать компьютер со следующими характеристиками:

- процессор: Intel Core i7-3537U 2,5 GHz,
- оперативная память: 8 ГБ 1600 МГц DDR3;
- видеокарта: GeForce NVidia 750M 4Gb
- операционная система: Windows 8.1



- язык программирования Matlab версии 9.2.0.

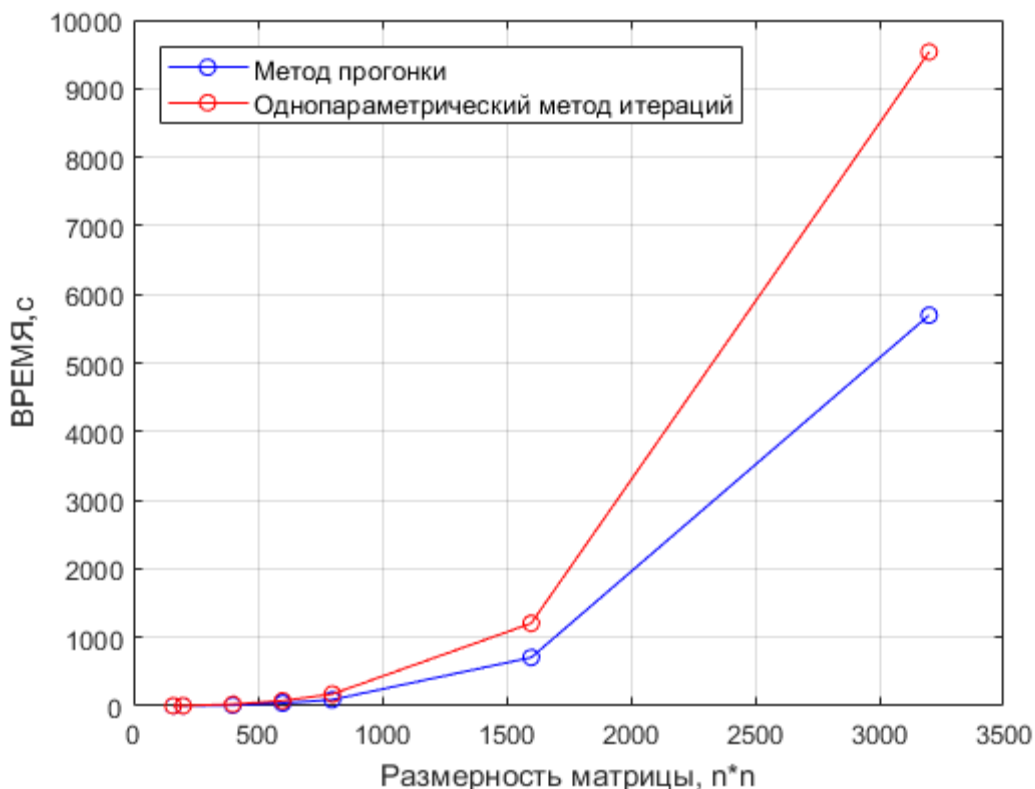


Рис. 1. Время выполнения алгоритмов, реализованных методом прогонки и методом однопараметрической итерации

На рисунке видно, что значения величин на графике увеличиваются с ростом размера матрицы. Время выполнения алгоритма, реализованного однопараметрическим методом итераций, занимает больше времени, чем алгоритм на основе метода прогонки для тех же размерностей матрицы.

### Заключение

В данной работе были синтезированы алгоритмы, реализующие вычисления по схеме Zhang, Chen, Zheng методом прогонки и однопараметрическим методом итераций для двумерного случая.

Алгоритм, реализующий вычисления методом прогонки, оказался быстрее и легче в реализации, это означает, что для решения неявного метода лучше использовать метод прогонки.

### Литература

- 1 Taflove A. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method: 3rd. ed. / A. Taflove, S. Hagness – Boston: Artech House Publishers, 2005. – 852 p.
- 2 Z. Chen, F. Zheng: “Toward the development of a three-dimensional unconditionally stable finite -difference time-domain method”, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 48 pp, 1050-1058, 2000.
- 3 Косарев В. И.: 12 лекций по вычислительной математике. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М: Физматкнига, 2013. – 240 с.



4 Alef Z. The Finite-Difference Time-Domain Method for Electromagnetics with MATLAB Simulations: SciTech Publishing, Inc., 2009. – XXVIII, 426 p.

Ш. Насырова, А. Артыков, М. Холиков

## СИСТЕМНОЕ МЫШЛЕНИЕ В АНАЛИЗЕ И РАСЧЕТЕ СУШКИ МАТЕРИАЛА В МИКРОВОЛНОВОМ АППАРАТЕ

(Узбекистан, Навоийский государственный педагогический институт, Ташкентский химико-технологический институт  
Ташкентский государственный технический университет)

При многоступенчатом анализе аппарат сушки представлен как основная система, где для изучения объекта сушки определены его входные, выходные параметры.

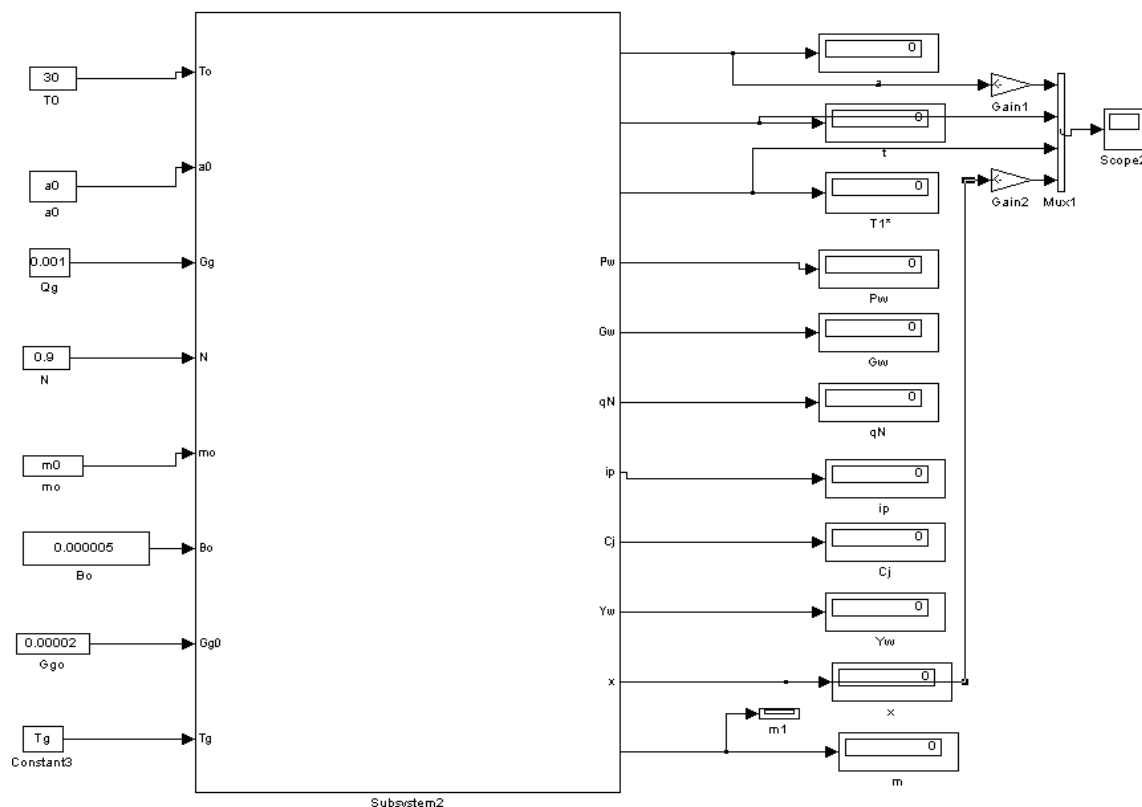


Рис. 1. Компьютерное отображение автоматизированного расчета процесса сушки в аппарате

Основная выбранная система расчленяется на отдельные системы-элементы. Это система подвода материала, система - рабочая зона, система - элемент отвода материала. В свою очередь рабочая зона расчленена на системы, ими являются элемент подвода энергии, газовая фаза и фаза высушиваемого материала. Определены входные и выходные параметры для каждой подсистемы