

НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО ЗАДАНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ В ПРОСТРАНСТВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

И.Дж. ИСЛАМОВ

*Азербайджанский Технический Университет
AZ 1073, Баку, пр.Г. Джавида, 25*

В работе исследуется зависимость скорости сходимости релаксационного процесса от значения параметра ω . Сравняется скорость сходимости методов верхней и нижней релаксации. Вычислена зависимость разности потенциалов от расстояния между двумя линейными зарядами. Сравняются полученные численные результаты с известным аналитическим решением этой задачи. Исследуется зависимость скорости сходимости метода релаксаций и точности численного решения от шага сетки. Созданы алгоритмы, позволяющие визуализацию процесса распределения напряженности электрического поля.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время нахождение потенциала электрического поля при неизвестном местоположении исходных зарядов, но заданном электрическом потенциале на границах области, создаваемого системой неподвижных проводников, помещенных в вакуум и подключенных к батареям, является актуальной задачей электростатики. Здесь можно измерить потенциал каждого проводника, но задать распределение электрических зарядов на проводниках, зависящее от их формы, весьма сложно. С другой стороны, полученные более точные теоретические результаты позволяют оптимально проектировать и сконструировать вышеуказанных электростатических систем. С этой целью в данной работе предложен новый подход к определению потенциала электрического поля, создаваемого заданным распределением в пространстве электрических зарядов, которое дает возможность более точно определить распределения напряженности электрического поля.

Известно [1], что прямой метод вычисления потенциала электрического поля $\varphi(x, y, z)$ в электростатических задачах состоит в решении уравнения Лапласа

$$\Delta\varphi(x, y, z) = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

и уравнения Пуассона

$$\Delta\varphi(x, y, z) = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = -\rho(x, y, z). \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) относятся к классу дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического типа. Следует отметить, что в ряде случаев искомое пространственное поле оказывается близким к полю вращения, особенно, в области наиболее важной для практики - области высоких напряженностей вблизи токоведущих проводников, имеющей наибольшее практическое значение. Поэтому далее для простоты расчетов будем рассматривать частный случай эллиптических уравнений для поля $\varphi(x, y)$, зависящего от двух пространственных переменных. Совершенно очевидно, что для полного решения задачи уравнения (1), (2) необходимо дополнить граничными условиями. Существуют три типа граничных условий:

1) граничные условия Дирихле (значения φ задаются на некоторой замкнутой кривой в плоскости (x, y) и, возможно, на некоторых дополнительных кривых,

расположенных внутри области); 2) граничные условия Неймана (на границе задается нормальная производная потенциала φ); 3) смешанная краевая задача (на границе задается линейная комбинация потенциала φ и его нормальной производной). Для исследуемого случая удовлетворяются граничные условия Дирихле.

МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ

Рассмотрим методы численного решения более общего уравнения (2), предполагая, что решение ищется в единичном квадрате. В качестве первого шага получения численного решения преобразуем уравнение (2) к виду удобному для численного решения. Для этого в плоскости (x,y) задаем сетку из $(N+1)\times(N+1)$ узлов, покрывающую рассматриваемую область. Для простоты выбираем шаг сетки h по каждой координатной оси равномерным и одинаковым. Узлы сетки будем обозначать парой индексов (i,j) , пробегающих значения от 0 до N . В выбранных обозначениях координаты точки (i,j) равны $(x=ih, y=jh)$. Обозначив значения функций φ и ρ в узловых точках соответственно $\varphi_{ij}=\varphi(x_i,y_j)$, $\rho_{ij}=\rho(x_i,y_j)$, и используя для аппроксимации производной 3-точечную формулу [2-4], получаем разностную аппроксимацию уравнения (2)

$$\frac{\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} - 2\varphi_{ij}}{h^2} + \frac{\varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} - 2\varphi_{ij}}{h^2} = -\rho_{ij}, \quad (3)$$

где $\varphi_0 = \varphi(0)$, $\varphi_N = \varphi(1)$.

Уравнение (3) задает систему линейных уравнений относительно неизвестных переменных $\varphi(i=1, N-1)$, причем матрица системы уравнений является трехдиагональной (т.е. в матрице отличными от нуля оказываются только элементы, расположенные на главной диагонали и двух диагоналях, расположенных выше и ниже главной диагонали). Для небольшого числа точек (например, $N \leq 100$) данную систему уравнений можно решить прямыми методами [3] или использовать специальный прямой метод, разработанный для решения "трехдиагональных" систем [2]. Однако, на практике при численном решении эллиптических уравнений приходится использовать сетки, имеющие значительно большее количество узлов, т.к. типичный в настоящее время компьютер с процессором Pentium IV/3ГГц/512МБ позволяет рассчитать за три часа нелинейную задачу с 15 миллионами узлов. Поэтому целесообразно ограничиться рассмотрением только итерационных методов (на примере метода релаксации), применяемых в случае больших разреженных матриц.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕЛАКСАЦИЙ

Перепишем уравнение (3), решив его относительно переменной φ_i :

$$\varphi_{ij} = \frac{1}{4} [\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} + h^2 \rho_{ij}]. \quad (4)$$

Несмотря на то, что значения $\varphi_{i-1,j}$, $\varphi_{i+1,j}$, $\varphi_{i,j-1}$, $\varphi_{i,j+1}$, входящие в правую часть (4), неизвестны, их можно интерпретировать как "уточнение" значений $\varphi_{i,j}$ через значения в соседних точках. Метод решения уравнения (4) (метод Гаусса-Зейделя) состоит в следующем:

- 1) выбрать некоторое начальное приближение для решения уравнения (4);
- 2) продвигаясь по сетке (например, слева направо), уточнить решения уравнения в соответствии с (4). При многократном повторении описанного процесса начальное приближение может сойтись ("срелаксировать") к точному решению.

На практике вместо уравнения (4) используют обобщенное уравнение, в котором на каждом шаге релаксации $\varphi_{i,j}$ заменяется линейной комбинацией из своего старого значения и “улучшенного” по формуле (4)

$$\varphi_{i,j} \rightarrow \varphi'_{i,j} = (1 - \omega)\varphi_{i,j} + \frac{\omega}{4}(\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} + h^2 \rho_{i,j}) \quad (5)$$

Для исследования сходимости описанной процедуры вычислим изменение функционала энергии E , задаваемого следующей формулой

$$E' - E = -\frac{\omega(2 - \omega)}{h} \left[\frac{1}{4}(\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} - h^2 \rho_{i,j}) - \varphi_{i,j} \right]^2 \quad (6)$$

Из (6) видно, что при $\omega \in]0; 2[$ энергия не возрастает и, следовательно, итерационный процесс будет сходиться к требуемому минимальному значению. Существование посторонних минимумов энергии свидетельствует о плохой обусловленности линейной системы. Параметр ω определяет скорость сходимости итерационного процесса - скорость релаксации. При $\omega < 1$ используется метод “нижней релаксации”, при $\omega > 1$ - метод “верхней релаксации”.

Алгоритм, содержащий решение данной краевой задачи, можно представить следующим образом:

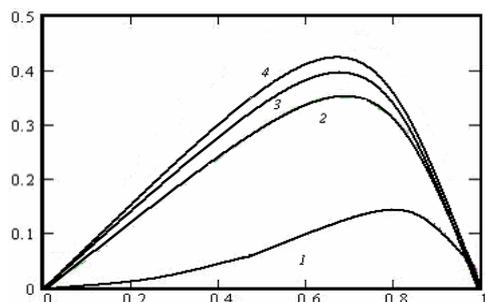
- 1) задание функции $\rho(x, y)$;
- 2) задание функции, реализующей итерационную процедуру, здесь E - количество точек в которых вычисляются значения функции; ω - параметр, задающий метод релаксации; N of $Iter$ - число итераций; $\rho(x, y)$ - имя функции

$$iteration(N, \omega, N_Iter, \rho(x, y)) = \left. \begin{array}{l} h \leftarrow \frac{1}{N} \\ \text{for } i, j \in 0 \dots N \\ \quad x \leftarrow ih, jh \\ \quad \rho_{i,j} \leftarrow \rho(x, y) \\ \varphi_{i,j} \leftarrow 0 \\ \text{for } N_Iter \in 0 \dots N_Iter - 1, \text{ if } N_Iter \neq 0 \\ \quad \text{for } i, j \in 1 \dots N - 1 \\ \quad \quad \varphi_{i,j} \leftarrow (1 - \omega)\varphi_{i,j} + \frac{\omega}{4}(\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} + h^2 \rho_{i,j}) \\ \quad \quad \varphi \end{array} \right|$$

- 3) задание функции, являющейся точным решением краевой задачи $F(x, y)$;
- 4) построение графиков решений краевой задачи для различного числа итераций (Рис. 1)

$$N_i = 100, j = 0 \dots N_i, y_j = \frac{1}{N_i}.$$

$$N = 20, k = 0 \dots N, z_k = \frac{k}{N}.$$

**Рис.1.**

Графики решений краевой задачи для различного числа итераций:

1-iteration(N,1,150,ρ)_k; 2- iteration(N,1,50,ρ)_k; 3- iteration(N,1,10,ρ)_k; 4-F(y_i).

Продемонстрировать сходимость итерационного процесса можно построив зависимость функционала энергии, как функцию числа итераций. Для этого описанный выше алгоритм необходимо дополнить следующим алгоритмом.

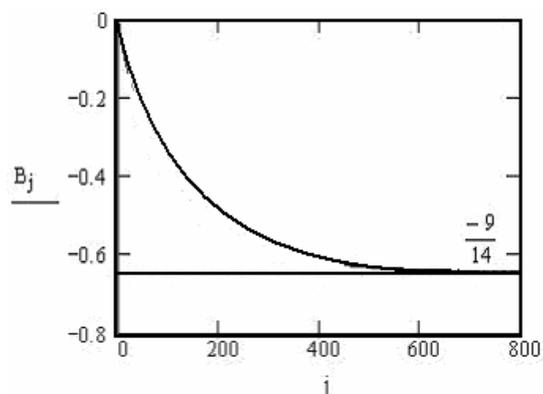
5) Задание функции, возвращающей значение энергии

```

iter_e(N, ω, N_Inter, ρ(x, y)) =
    h ← 1/N
    for i, j ∈ 0...N
        x ← ih, jh
        ρi,j ← ρ(x, y)
        φi,j ← 0
    for k ∈ 0...N_Inter
        for i, j ∈ 1...N-1
            φi,j ← (1-ω)φi,j + ω/4(φi+1,j + φi-1,j + φi,j+1 + φi,j-1 + h2ρi,j)
            e ← 0
            for i, j ∈ 1...N
                e ← e + (φi,j - φi-1,j)2 / 4h + h2ρi,jφi,j
            Ek ← e
    E

```

6) Вычисление значений энергии на каждом шаге релаксационного процесса (Рис.2) Ni=800, B=iter_e(50,1,Ni,ρ), j=0...Ni.

**Рис. 2.**

Результат вычисления значений энергии на каждом шаге релаксационного процесса.

При применении данного метода необходимо учитывать следующие условия [1]:

- выбор хорошего начального приближения уменьшает необходимое число итераций;
- необходимо использовать оптимальное значение параметра релаксации, которое может быть оценено аналитически или получено эмпирическим путем;
- процесс может оказаться более эффективным, если несколько итераций провести по некоторой сеточной подобласти, в которой сеточное решение известно наиболее слабо, что позволяет сэкономить затраты на релаксацию уже отрелаксировавших частей решения;
- провести расчет на относительно грубой сетке, для которой объем вычислений невелик, а затем экстраполировать полученное решение на более мелкую сетку и использовать эти значения в качестве начального приближения для последующих итераций.

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА

Продемонстрируем метод релаксации на примере решения краевой задачи двумерного уравнения Пуассона (2) для квадратной области ($0 \leq x \leq 1 \text{ см}$, $0 \leq y \leq 1 \text{ см}$) с известными потенциалами на границах ($u(x,0)=u(x,1)=0$, $u(0,y)=u(1,y)=0$), предполагая, что внутри области имеется ячейка ($0,4 \leq x \leq 0,6$, $0,4 \leq y \leq 0,6$), в которой заряд распределен равномерно с плотностью ρ ($\rho=700 \text{ В/см}^2$). Алгоритм, содержащий решение данной краевой задачи, выглядит следующим образом:

1) задание функции, реализующей итерационную процедуру, здесь N - количество точек в которых вычисляются значения функции; ω - параметр, задающий метод релаксации; N_of_Iter - число итераций; φ - матрица, содержащая значения потенциала на границе области и начальное приближение во внутренних узлах; $\rho(x,y)$ - имя функции, описывающей распределение потенциала.

$$\begin{aligned}
 & h \leftarrow \frac{1}{N} \\
 & \text{for } i, j \in 0 \dots N \\
 & \quad y \leftarrow ih, jh \\
 & \quad \text{for } i, j \in 0 \dots N \\
 & \quad \quad x \leftarrow ih, jh \\
 \text{iter2}(N, \omega, N_of_Iter, \varphi, \rho(x, y)) = & \quad \rho_{i,j} \leftarrow \rho(x, y) \\
 & \quad \text{for } k \in 0 \dots N_of_Iter \\
 & \quad \quad \text{for } j \in 1 \dots N-1 \\
 & \quad \quad \quad \text{for } i \in 1 \dots N-1 \\
 & \quad \quad \quad \varphi_{i,j} \leftarrow (1-\omega)\varphi_{i,j} + \frac{\omega}{4}(\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} + h^2 \rho_{i,j}) \\
 & \quad \quad \quad D_k \leftarrow \varphi \\
 & \quad \quad D
 \end{aligned}$$

2) задание узлов сетки и краевых условий

$$N = 14, i = 0 \dots N, j = 0 \dots N,$$

$$kx = 1 \dots N - 1, ky = 1 \dots N - 1, \mu_{i,0} = 0,$$

$$\mu_{i,N} = 0, \mu_{0,j} = 0, \mu_{N,j} = 0.$$

3) задание функции, описывающей распределение плотности заряда в ячейке

$$f(x, y) = |700 \text{if}(0,4 \leq x \leq 0,6)(0,4 \leq y \leq 0,6)$$

otherwise.

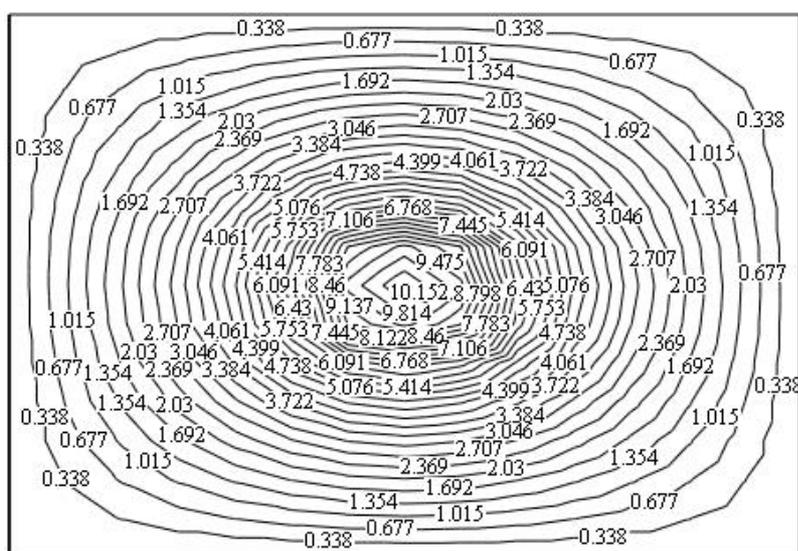
4) задание начального приближения и числа итераций

$$\mu_{kx,ky} = 12, N_i = 100, k = 0 \dots N_i.$$

5) Вычисление потенциала

$$Bl_k = \text{iter2}(N, 1, 2, k, \mu, \rho(x, y))_k.$$

6) Построение карты эквипотенциальных уровней (100-я) FRAME=100 (Рис. 3).



Bl_{FRAME}

Рис. 3.

Карты эквипотенциальных поверхностей.

Для вывода карты эквипотенциальных поверхностей после n -ой итерации достаточно присвоить соответствующее значение встроенной переменной FRAME. Однако, наиболее наглядно динамика процесса релаксации выглядит при последовательном рассмотрении изменения карты эквипотенциальных поверхностей при каждой итерации.

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ЛАПЛАСА

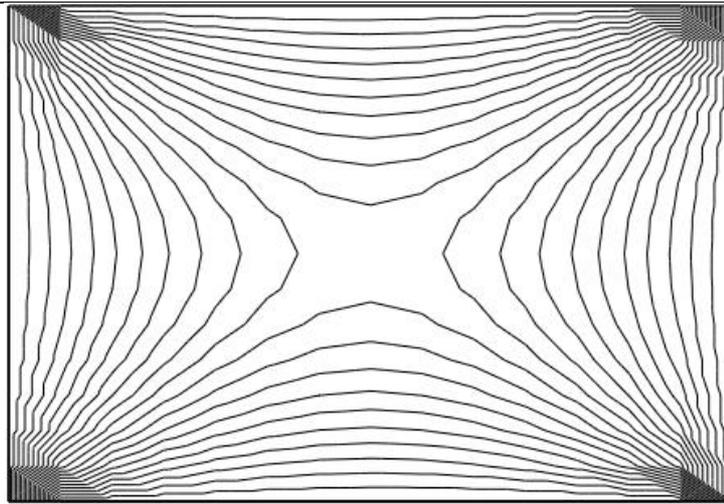
Рассмотрим решения краевой задачи двумерного уравнения Лапласа (1) для квадратной области ($0 \leq x \leq 1$ см, $0 \leq y \leq 1$ см) с известными потенциалами на границах ($\varphi(x,0) = \varphi(x,1) = 10$ В, $\varphi(0,y) = 5$, $\varphi(1,y) = 5$ В) полученного на сетке, состоящей из 15×15 узлов (Рис. 4).

$$\rho(x, y) = 0, \mu_{kx,ky} = 12,$$

$$\mu_{i,0} = 10, \mu_{i,N} = 10, \mu_{0,j} = 5, \mu_{N,j} = 5,$$

$$Bl_k = \text{iter2}(N, 1, 2, k, \mu, \rho(x, y))_k,$$

$$FRAME = 100.$$



B1FRAME

Рис. 4.

Карты эквипотенциальных линий при наличии изломов.

Из Рис.4 видно, что линии, расположенные на карте эквипотенциальных уровней оказываются негладкими (имеют в некоторых точках изломы). Наличие изломов, в свою очередь, у линий равных потенциалов свидетельствует о наличии разрывов у производной функции $\vec{\nabla}\varphi(x,y)$, описывающей напряженность электрического поля. С другой стороны, как известно из теории функций комплексного переменного, функция $f(x,y)$, удовлетворяющая уравнению Лапласа аналитической [2]. Необходимым и достаточным условием аналитичности функции $f(x,y)$ является непрерывность ее производных, которому, как очевидно, не отвечает полученное нами численное решение. Обнаруженный “дефект” численного решения связан с большим шагом сетки, на которой ищется решение уравнения (1). Для его устранения можно использовать два способа:

- находить численное решение на сетке с меньшим шагом;
- используя найденное числовое решение на сетке, состоящей из 15×15 узлов, находить значения в точках, не совпадающих с узлами сетки, с помощью интерполяционной процедуры.

СПЛАЙН-ИНТЕРПОЛЯЦИЯ

Рассмотрим решение задачи о сплайн-интерполяции функции, зависящей от двух переменных, в пакете Mathcad. При этом мы опишем только дополнения к документу для решения уравнений Лапласа и Пуассона, а потому, далее используются введенные выше обозначения переменных и продолжается сквозная нумерация шагов решения.

7) Задание векторов, содержащих координаты узлов сетки $X2_i=1/N$, $Y2_i=1/N$.

8) Создание $n \times 2$ матрицы, содержащей координаты узловых точек, лежащих на диагонали прямоугольной сетки $M_{xy}=\text{augment}(X2,Y2)$.

9) Создание $n \times n$ матрицы M_z , чей (ij) -ый элемент есть координата z , соответствующая точке $x = M_{xy_{i,0}}$ и $y = M_{xy_{j,1}}$:

$$M_z = B1_{Ni}, n = \text{rows}(M_z).$$

10) Вычисление вектора коэффициентов сплайна в узлах определенных M_{xy} , M_z :

$$S = \text{cspline}(M_{xy}, M_z)$$

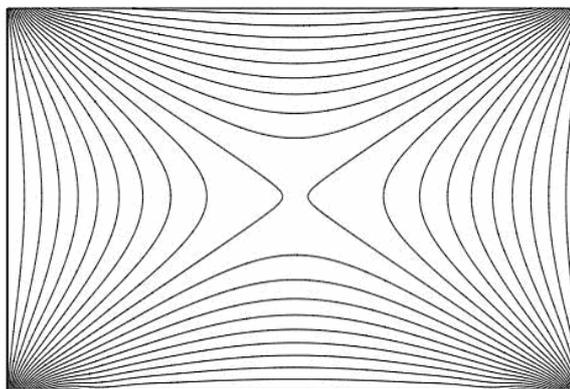
11) Задание интерполяционной функции $fit(x, y) = \text{interp}\left[S, M_{xy}, M_z, \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}\right]$.

12) Задание координатной сетки, в узлах которой вычисляются интерполяционные значения

$$\begin{aligned} x1 &= M_{xy0,0}, x2 = M_{xym-1,0}, N_x = 6,1n, N_y = 6,1n, \\ y1 &= M_{xy0,1}, y2 = M_{xym-1,1}, i2 = 0 \dots N_{x-1}, j2 = 0 \dots N_{y-1}, \\ X_{i2} &= x1 + \frac{(x2 - x1)}{N_x} i2, Y_{j2} = y1 + \frac{(y2 - y1)}{N_y} j2. \end{aligned}$$

13) Вычисление значений интерполирующей функции в узлах координатной сетки $FIT_{i2,j2} = fit(X_{i2}, Y_{j2})$.

14) Построение карты эквипотенциальных линий



FIT

Рис. 5.

Карты эквипотенциальных линий без изломов.

Сравнение зависимостей, представленных на Рис.4 и Рис.5, показывает, что, используя сплайн-интерполяцию, удалось устранить недостатки численного решения, проявляющиеся в наличии изломов линий равного потенциала.

Помимо этого, наличие интерполирующей функции позволяет вычислить напряженность и построить карту силовых линий электростатического поля. Для этого необходимо дополнить алгоритм следующими шагами.

15) Задание функции, вычисляющей частные производные $\frac{\partial \varphi(x,y)}{\partial x}, \frac{\partial \varphi(x,y)}{\partial y}$

сетки, координаты которой задаются в векторах x_i, y_i , и возвращающей вектор комплексных чисел вида

$$\begin{aligned} \Delta x &\leftarrow \frac{\max(X) - \min(X)}{100} \\ \Delta y &\leftarrow \frac{\max(Y) - \min(Y)}{100} \\ \text{for } i &\in 0 \dots \text{rows}(X) - 1 \\ \text{for } j &\in 0 \dots \text{rows}(Y) - 1 \\ \text{Vector}(X, Y, \rho(x, y)) &= \begin{cases} E_{x_{i,j}} \leftarrow \frac{\rho(X_i + \Delta x, Y_j) - \rho(X_i - \Delta x, Y_j)}{2\Delta x} \\ E_{y_{i,j}} \leftarrow \frac{\rho(X_i, Y_j + \Delta y) - \rho(X_i, Y_j - \Delta y)}{2\Delta y} \\ B_{i,j} \leftarrow \frac{E_{x_{i,j}} + iE_{y_{i,j}}}{\sqrt{(E_{x_{i,j}})^2 + (E_{y_{i,j}})^2}} \end{cases} \\ &B \end{aligned}$$

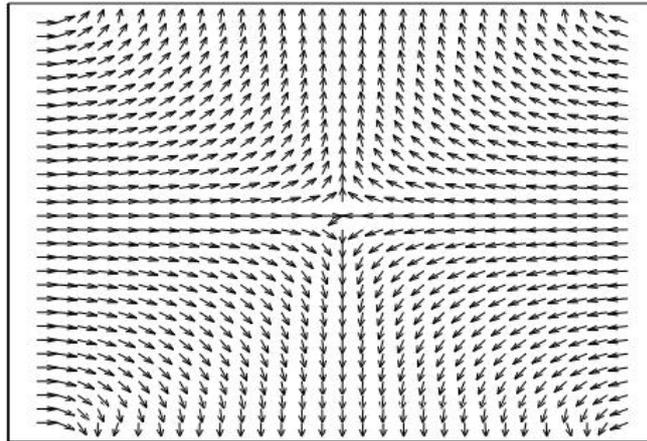
16) Задание координатной сетки, в узлах которой вычисляются значения напряженности электрического поля

$$N_x = 2n, N_y = 2n, i = 0 \dots N_{x-1}, j = 0 \dots N_{y-1},$$
$$X1_i = x1 + \frac{(x2 - x1)}{N_x} i, Y1_j = y1 + \frac{(y2 - y1)}{N_y} j.$$

17) Вычисление вектора, содержащего комплексные числа единичной длины

$$B2 = \text{Vector}(X1, Y1, fit).$$

18) Визуализация напряженности электростатического поля (Рис. 6)



B2

Рис. 6.

Визуализация напряженности электростатического поля.

ВЫВОДЫ

1. Разработан новый алгоритм, позволяющий создавать анимационный клип процесса релаксации численного решения уравнения Лапласа к точному решению, используя сплайн-интерполяцию карты силовых эквипотенциальных линий на каждом шаге итерации.
2. Создана анимационный клип, позволяющий в процессе релаксации проследить эволюцию напряженности электрического поля.
3. Обоснована необходимость использования оптимальное значение параметра релаксации, которое может быть оценено аналитически или получено эмпирическим путем.
4. Показано, что процесс может оказаться более эффективным если несколько итераций провести по некоторой сеточной подобласти, в которой сеточное решение известно наиболее слабо, что позволяет сэкономить затраты на релаксацию уже отрелаксировавших частей решения.
5. Проведен расчет на относительно грубой сетке, для которой объем вычислений невелик, а затем экстраполировано полученное решение на более мелкую сетку и использованы эти значения в качестве начального приближения для последующих итераций.

1. С. Кунин, *Вычислительная физика*. М.: Мир, (1992).
2. Р.П. Федоренко, *Введение в вычислительную физику*. М.: Изд-во Моск. физ.-техн. ин-та, (1994).

3. С.В.Поршнев, *Методика использования пакета Mathcad для решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений*, *Вычислительные Вычислительные методы и программирование*, 2 Раздел3 (2001) 16 (Интернет журнал: <http://num-meth.srcc.msu.su>).
4. С.В.Поршнев, *Методика использования пакета Mathcad для изучения итерационных методов решения краевых задач для двумерных эллиптических уравнений*, *Вычислительные методы и программирование*, 2 Раздел 3 (2001) 714 (Интернет журнал: <http://num-meth.srcc.msu.su>).
5. И.Дж.Исламов, *Transaction of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, XXIV №2 (2004) 48.
6. И.Дж.Исламов, *Transaction of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, XXIII №2 (2003) 142.

FƏZADA ELEKTRİK YÜKLƏRİNİN YAYILMASI NƏTİCƏSİNDƏ YARANAN ELEKTRİK SAHƏSİNİN POTENSİALININ TƏYİNİNƏ YENİ YANAŞMA

İ.C. İSLAMOV

İşdə ω parametrinin qiymətinin relaksasiya prosesinin yığılma sürətindən asılılığı tədqiq edilmişdir. Yuxarı və aşağı relaksasiya metodlarının yığılma sürətləri müqayisə edilmişdir. Alınmış ədədi nəticələr bu məsələnin analitik həlli ilə alınmış nəticələrlə müqayisə edilmişdir. Şəbəkənin addımından asılı olaraq ədədi metodla alınmış nəticələr relaksasiya metodu ilə alınmış nəticələrlə müqayisə edilmişdir. Elektrik sahəsinin intensivliyinin yayılması prosesinin vizuallaşmasına imkan verən alqoritmlər işlənib hazırlanmışdır.

NEW APPROACH TO DEFINITION OF POTENTIAL OF THE ELECTRIC FIELD CREATED BY SET DISTRIBUTION IN SPACE OF ELECTRIC CHARGES

I.J. ISLAMOV

Dependence of speed of convergence relaxation process from value of parameter has been investigated. Speed of convergence of methods of the top and bottom relaxation was compared. Dependence of a potential difference on distance between two linear charges was calculated. The received numerical results were compared to the known analytical decision of this problem. Dependence of speed of convergence of a method of relaxations and accuracy of the numerical decision from a step of a grid has been investigated. The algorithms, allowing visualization of process of distribution of intensity of an electric field have been created.

Редактор: М.Алиев