

```
clc;  
close all;  
clear;  
opengl software;
```

Практическая часть (1).

```
disp('Нагрев тела, изготовленного из металла.');
```

Нагрев тела, изготовленного из металла.

Ввод начальных параметров.

```
TextSize = 15;  
  
% Характеристики материала:  
  
% lambda = 0.30; % теплопроводность материала стенки, Вт/(м*К)  
% c = 600; % теплоемкость материала стенки, Дж/(кг*К)  
% rho = 1800; % плотность материала стенки, кг/м^3  
% a = lambda / (rho * c); % коэффициент температуропроводности  
% alpha = 1000; % коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2*К)  
% T_init = 300; % начальная температура стенки, К  
% T_gaz = 2600; % температура потока, К  
% delta_mm = 20; % толщина стенки, мм  
% delta = delta_mm * 1e-3; % толщина стенки, м  
%  
% t_fin = 100; % продолжительность нагрева, с  
% time_steps = 50; % количество шагов по времени  
% N = 200; % количество узлов сетки  
% dh = delta / (N - 1); % шаг по пространству  
% dt = t_fin / time_steps; % шаг по времени  
  
lambda = 20; % теплопроводность материала стенки, Вт/(м*К)  
c = 300; % теплоемкость материала стенки, Дж/(кг*К)  
rho = 7800; % плотность материала стенки, кг/м^3  
a = lambda / (rho * c); % коэффициент температуропроводности  
alpha = 4000; % коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2*К)  
T_init = 300; % начальная температура стенки, К  
T_gaz = 2600; % температура потока, К  
delta_mm = 4; % толщина стенки, мм  
delta = delta_mm * 1e-3; % толщина стенки, м  
  
t_fin = 2; % продолжительность нагрева, с  
time_steps = 50; % количество шагов по времени  
N = 200; % количество узлов сетки  
dh = delta / (N - 1); % шаг по пространству
```

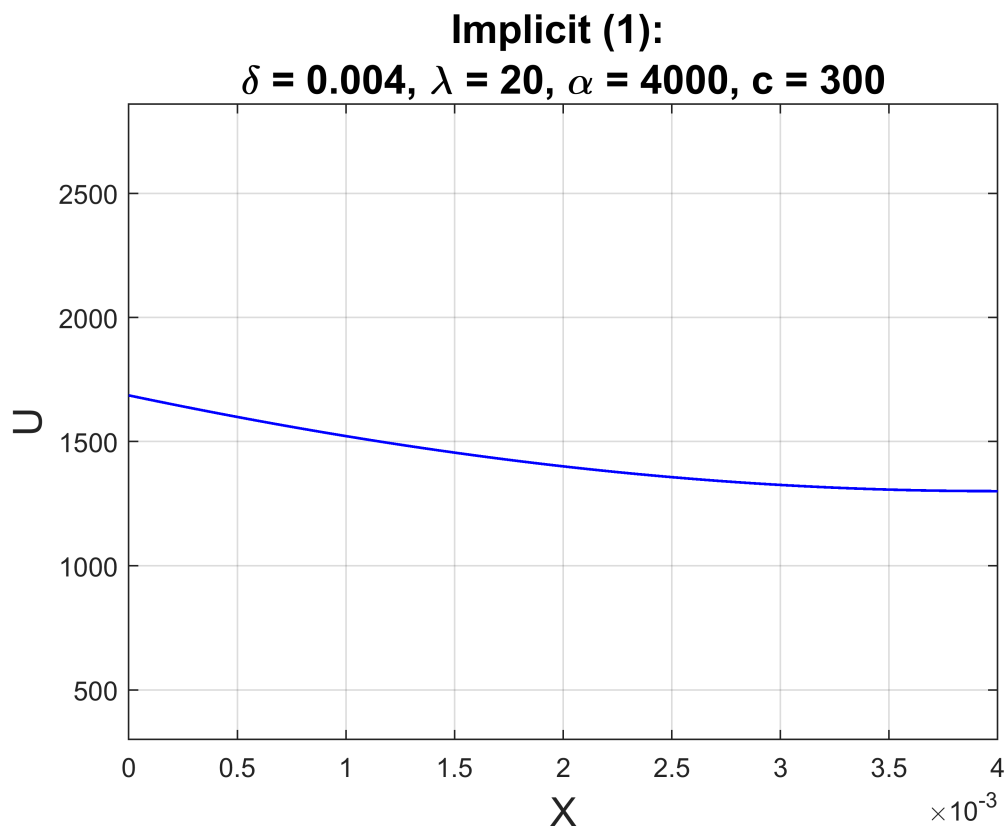
```
dt = t_fin / time_steps; % шаг по времени
```

Назначение узлов сетки.

```
x = 0:dh:delta; % сетка по x
```

Решение неявной схемой (первая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость.
Порядок аппроксимации: $O(t, h^2)$.

```
[Uimpl1, q_impl1, t_i1] = Implicit1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, TextSize);
```



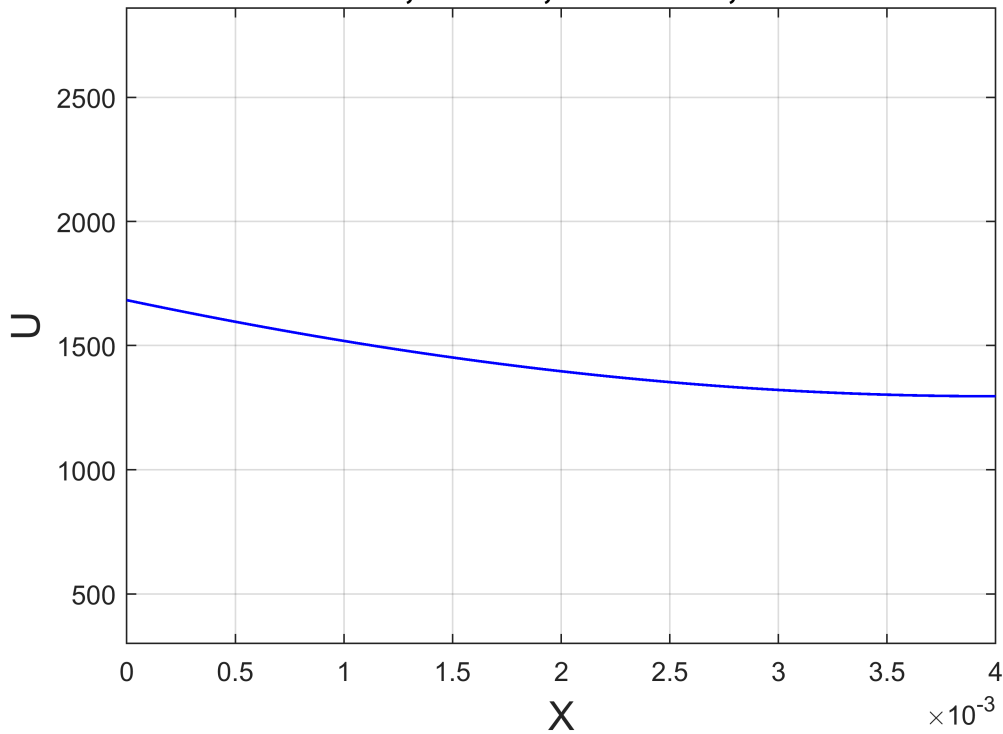
Исследовательская часть (1).

Решение неявной схемой (вторая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость.
Порядок аппроксимации: $O(t, h^2)$.

```
[Uimpl2, q_impl2, t_i2] = Implicit2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, TextSize);
```

Implicit (2):

$\delta = 0.004$, $\lambda = 20$, $\alpha = 4000$, $c = 300$

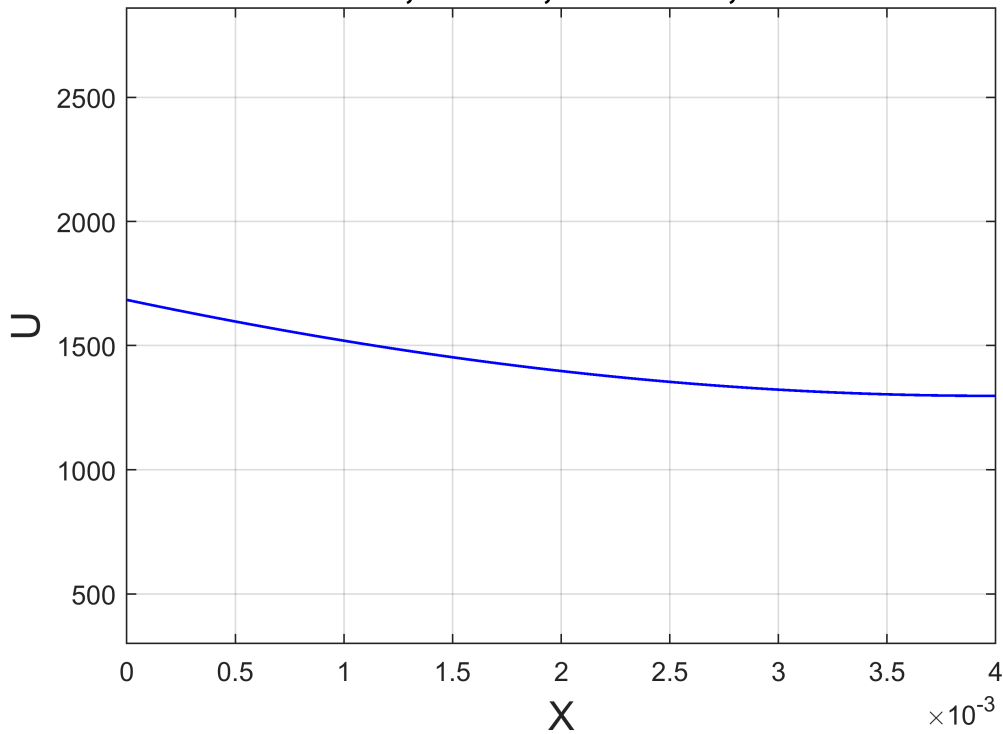


Решение схемой Кранка — Николсона (первая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации: $O(t^2, h^2)$.

```
[Ucn1, q_cn1, t_cn1] = CrankNicolson1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, TextSize);
```

Crank — Nicolson (1):

$\delta = 0.004$, $\lambda = 20$, $\alpha = 4000$, $c = 300$

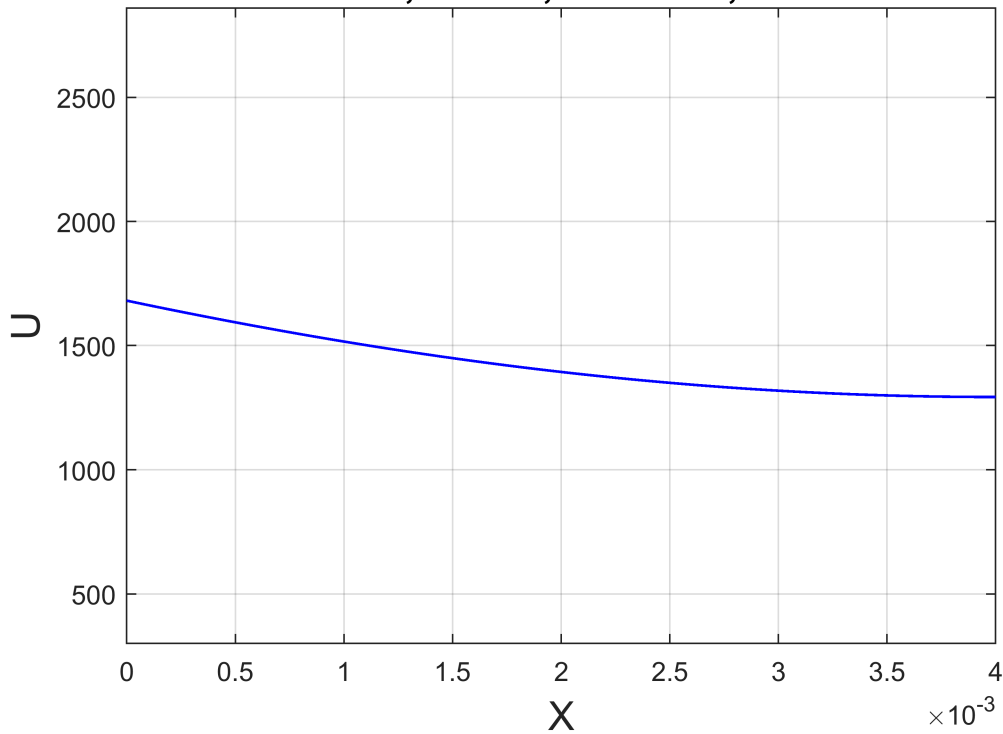


Решение схемой Кранка — Николсона (вторая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации: $O(t^2, h^2)$.

```
[Ucn2, q_cn2, t_cn2] = CrankNicolson2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, TextSize);
```

Crank — Nicolson (2):

$\delta = 0.004$, $\lambda = 20$, $\alpha = 4000$, $c = 300$

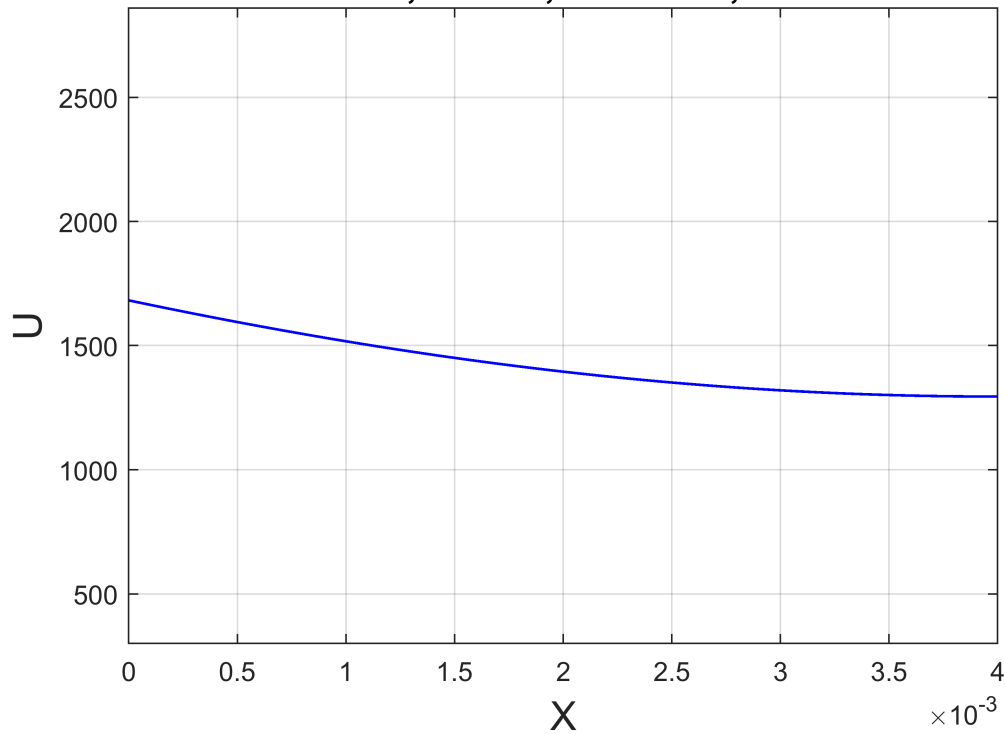


Решение схемой Рихтмайера — Мортон (первая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации при $\theta = 0.5$: $O(t^2, h^2)$, при $\theta = 0.5 + h^2 / (12 * a * t)$: $O(t^2, h^4)$.

```
theta = 0.5;
```

```
[Urm1, q_rm1, t_rm1] = RichtmyerMorton1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize);
```

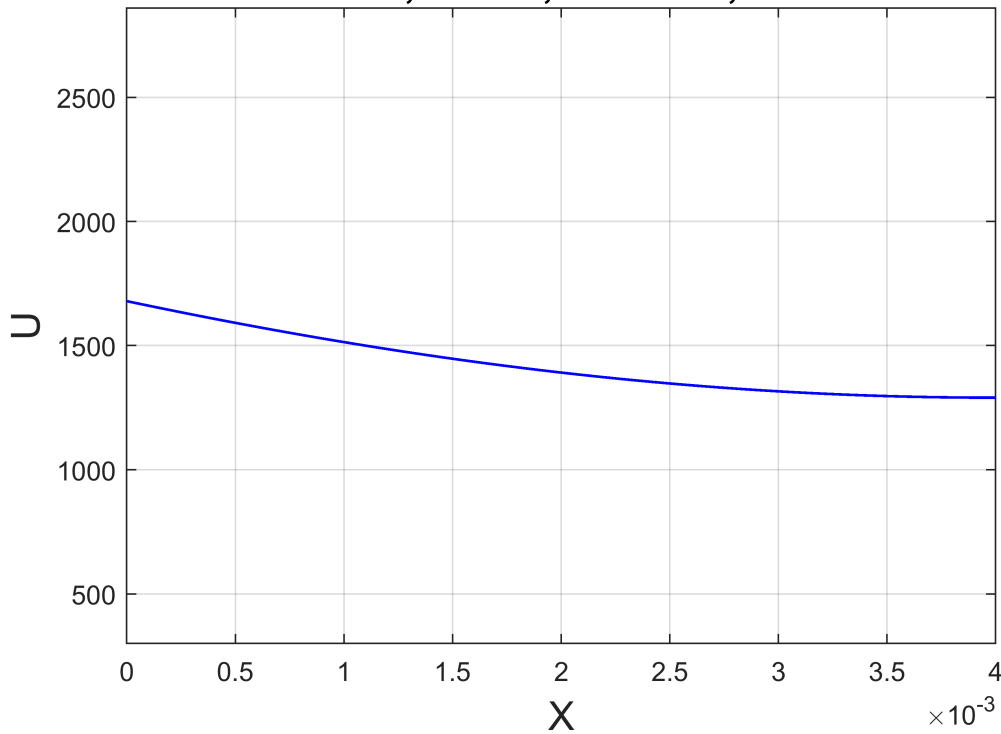
Richtmyer — Morton (1), $\theta = 0.5$:
 $\delta = 0.004$, $\lambda = 20$, $\alpha = 4000$, $c = 300$



Решение схемой Рихтмайера — Мортон (вторая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации при $\theta = 0.5$: $O(t^2, h^2)$, при $\theta = 0.5 + h^2 / (12 * a * t)$: $O(t^2, h^4)$.

```
[Urm2, q_rm2, t_rm2] = RichtmyerMorton2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...
    t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize);
```

Richtmyer — Morton (2), $\theta = 0.5$:
 $\delta = 0.004$, $\lambda = 20$, $\alpha = 4000$, $c = 300$



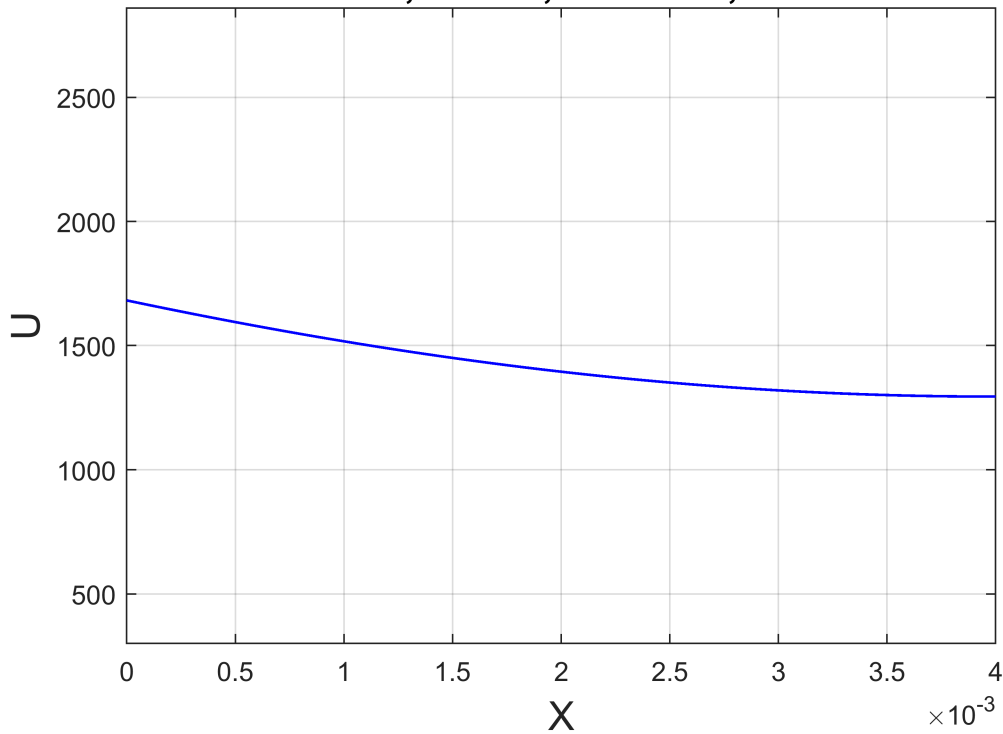
Решение схемой Рихтмайера — Мортон (первая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации при $\theta = 0.5$: $O(t^2, h^2)$, при $\theta = 0.5 + h^2 / (12 * a * t)$: $O(t^2, h^4)$.

```
theta = 0.5 + dh^2 / (12 * a * dt);
```

```
[Urm3, q_rm3, t_rm3] = RichtmyerMorton1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize);
```

Richtmyer — Morton (1), $\theta = 0.5001$:

$\delta = 0.004$, $\lambda = 20$, $\alpha = 4000$, $c = 300$

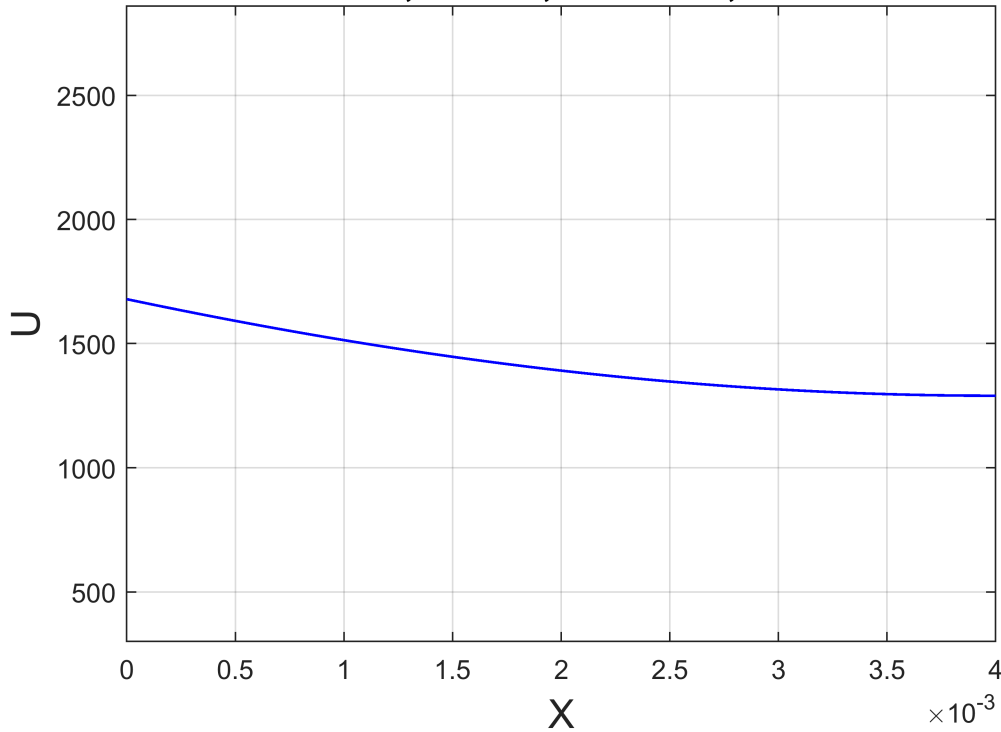


Решение схемой Рихтмайера — Мортон (вторая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации при $\theta = 0.5$: $O(t^2, h^2)$, при $\theta = 0.5 + h^2 / (12 * a * t)$: $O(t^2, h^4)$.

```
[Urm4, q_rm4, t_rm4] = RichtmyerMorton2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize);
```

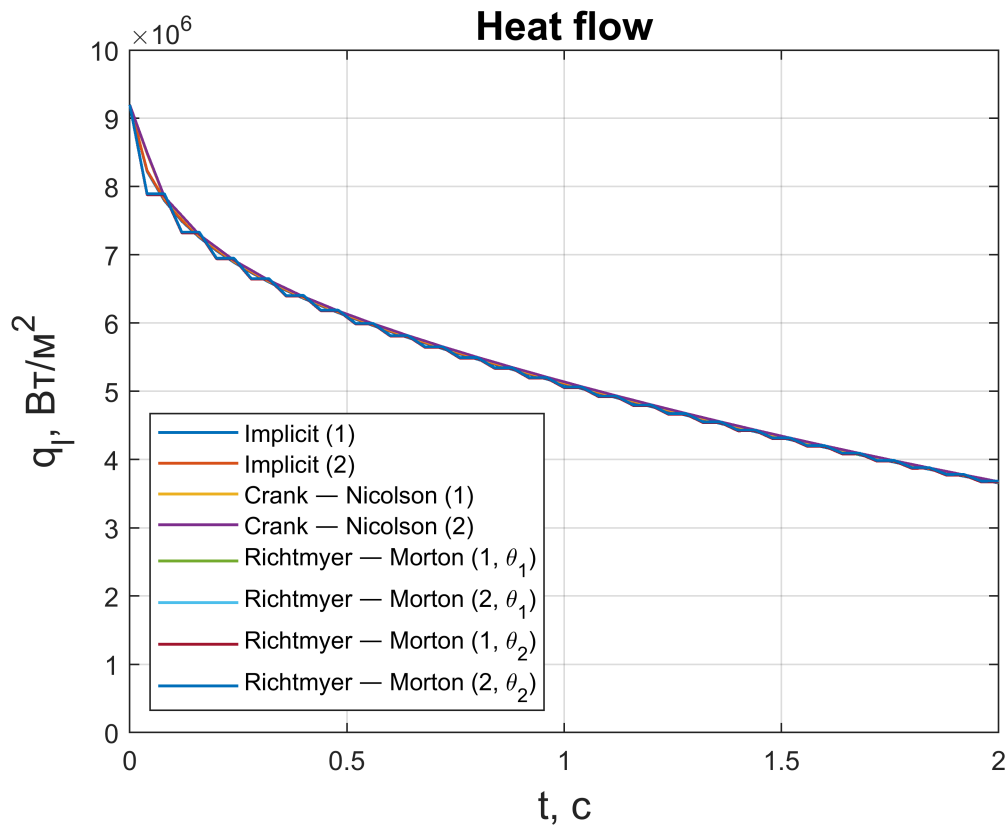

Richtmyer — Morton (2), $\theta = 0.5001$:

$\delta = 0.004$, $\lambda = 20$, $\alpha = 4000$, $c = 300$



Вывод теплового потока для различных схем.

```
plot(t_i1, q_impl1, t_i2, q_impl2, t_cn1, q_cn1, t_cn2, q_cn2, ...  
      t_rm1, q_rm1, t_rm2, q_rm2, t_rm3, q_rm3, t_rm4, q_rm4, 'LineWidth', 1);  
grid on;  
title('Heat flow', 'FontSize', TextSize);  
xlabel('t, c', 'FontSize', TextSize);  
ylabel('q_l, Вт/м^2', 'FontSize', TextSize);  
axis([0, t_fin, 0, 10e6]);  
legend({'Implicit (1)', 'Implicit (2)', 'Crank — Nicolson (1)', ...  
        'Crank — Nicolson (2)', 'Richtmyer — Morton (1, \theta_1)', ...  
        'Richtmyer — Morton (2, \theta_1)', 'Richtmyer — Morton (1, \theta_2)', ...  
        'Richtmyer — Morton (2, \theta_2)'}, 'Location', 'best');
```



Практическая часть (2).

```
disp('Нагрев тела, изготовленного из малотеплопроводного материала.');
```

Нагрев тела, изготовленного из малотеплопроводного материала.

Ввод начальных параметров.

% Характеристики материала:

```
lambda = 0.2; % теплопроводность материала стенки, Вт/(м*К)
c = 800; % теплоемкость материала стенки, Дж/(кг*К)
rho = 2000; % плотность материала стенки, кг/м^3
a = lambda / (rho * c); % коэффициент температуропроводности
alpha = 4000; % коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2*К)
T_init = 300; % начальная температура стенки, К
T_gaz = 2600; % температура потока, К
delta_mm = 4; % толщина стенки, мм
delta = delta_mm * 1e-3; % толщина стенки, м

t_fin = 2; % продолжительность нагрева, с
time_steps = 50; % количество шагов по времени
N = 200; % количество узлов сетки
dh = delta / (N - 1); % шаг по пространству
```

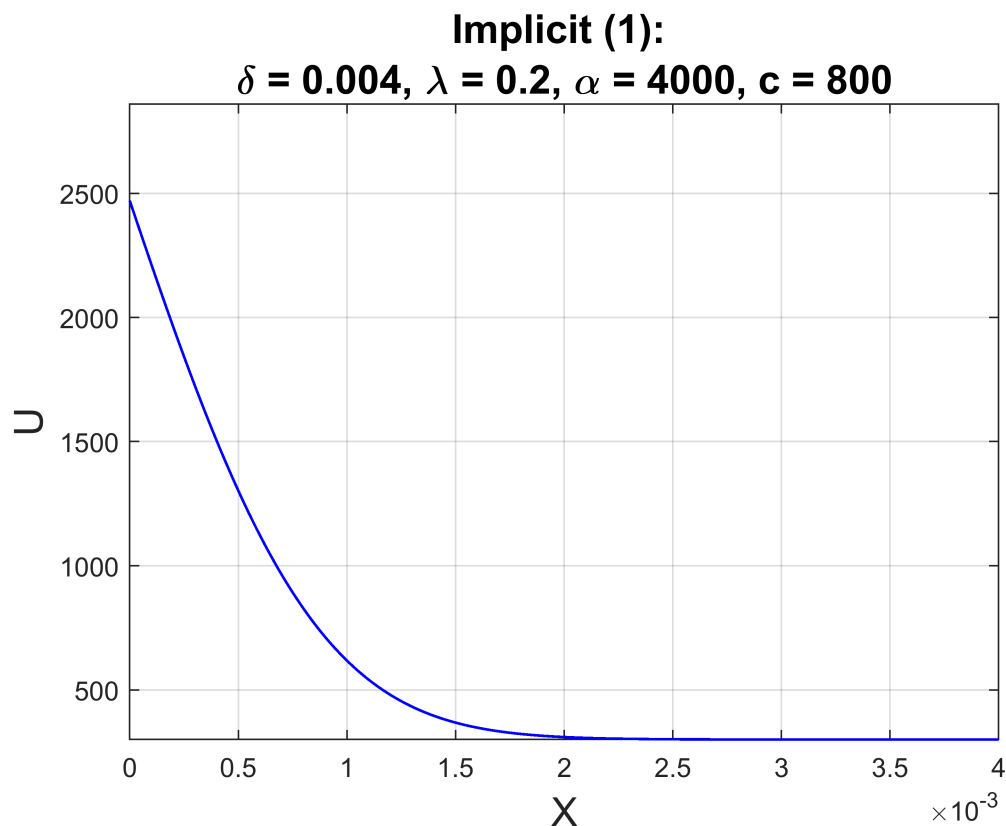
```
dt = t_fin / time_steps; % шаг по времени
```

Назначение узлов сетки.

```
x = 0:dh:delta; % сетка по x
```

Решение неявной схемой (первая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость.
Порядок аппроксимации: $O(t, h^2)$.

```
[Uimpl1, q_impl1, t_i1] = Implicit1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, TextSize);
```



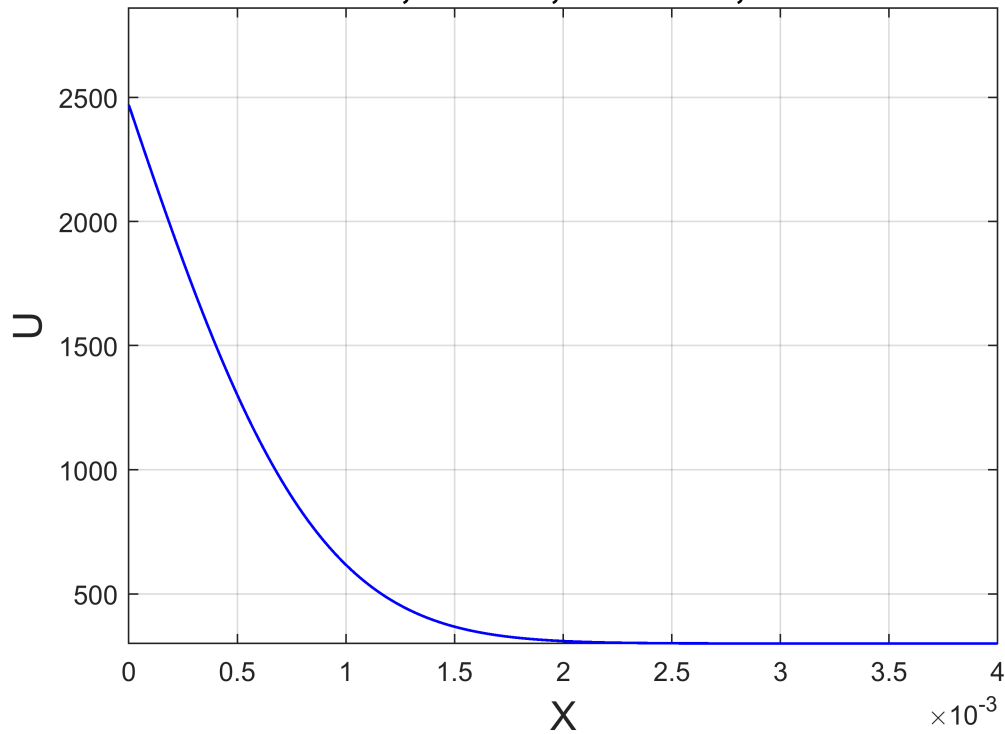
Исследовательская часть (2).

Решение неявной схемой (вторая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость.
Порядок аппроксимации: $O(t, h^2)$.

```
[Uimpl2, q_impl2, t_i2] = Implicit2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, TextSize);
```

Implicit (2):

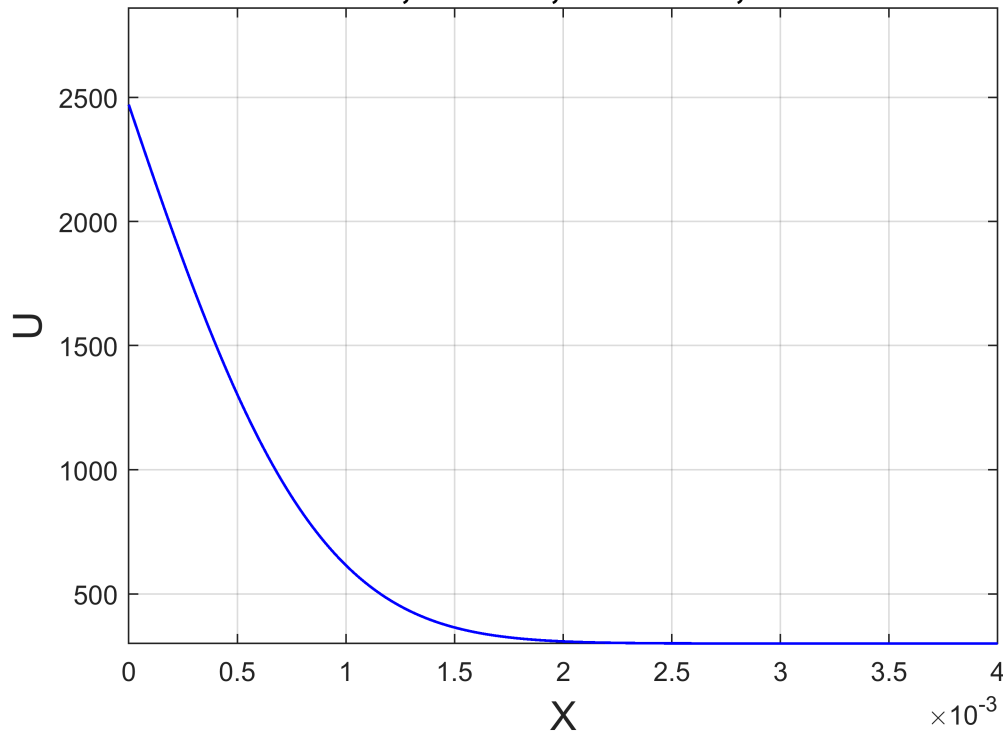
$\delta = 0.004$, $\lambda = 0.2$, $\alpha = 4000$, $c = 800$



Решение схемой Кранка — Николсона (первая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации: $O(t^2, h^2)$.

```
[Ucn1, q_cn1, t_cn1] = CrankNicolson1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, TextSize);
```

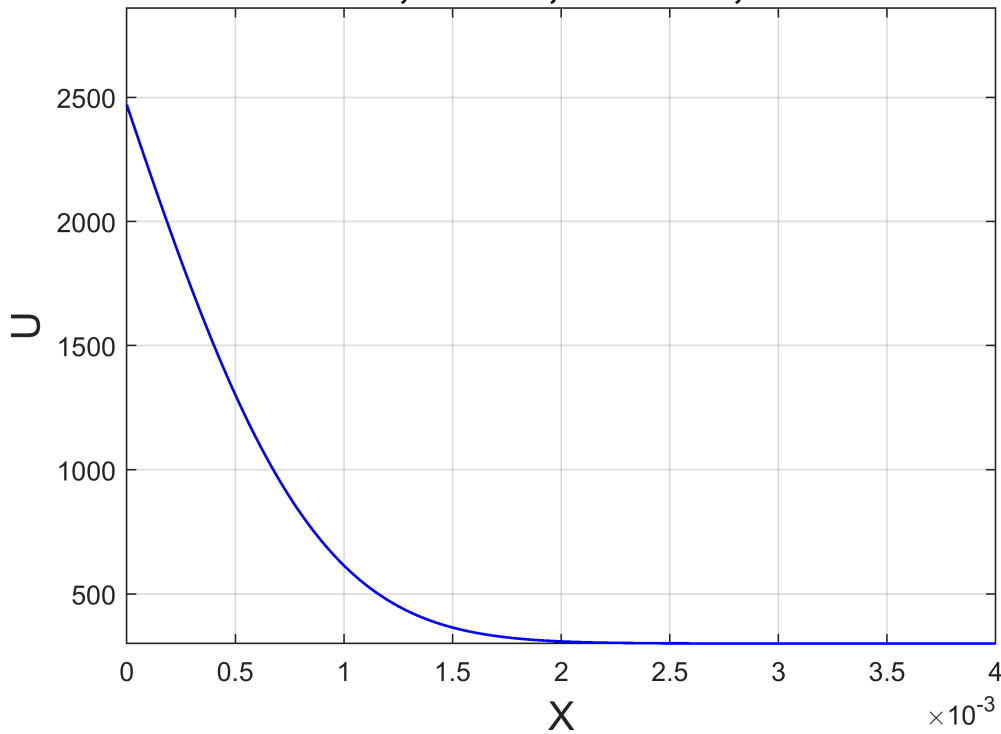
Crank — Nicolson (1):
 $\delta = 0.004$, $\lambda = 0.2$, $\alpha = 4000$, $c = 800$



Решение схемой Кранка — Николсона (вторая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации: $O(t^2, h^2)$.

```
[Ucn2, q_cn2, t_cn2] = CrankNicolson2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...
    t_fin, N, dh, dt, TextSize);
```

Crank — Nicolson (2):
 $\delta = 0.004$, $\lambda = 0.2$, $\alpha = 4000$, $c = 800$

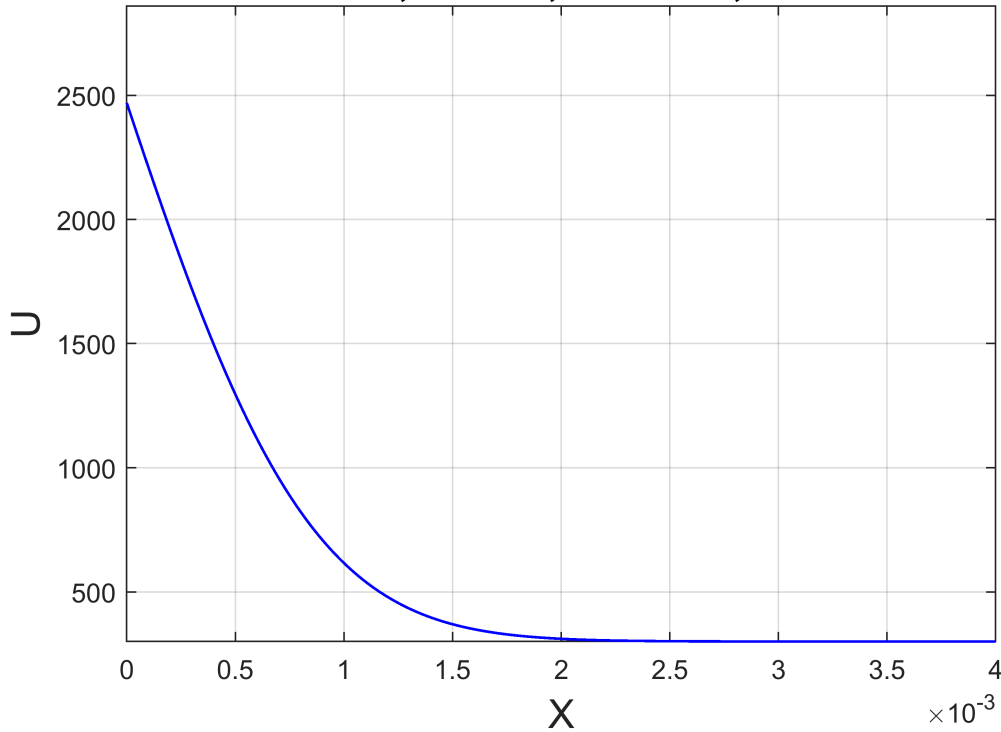


Решение схемой Рихтмайера — Мортон (первая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации при $\theta = 0.5$: $O(t^2, h^2)$, при $\theta = 0.5 + h^2 / (12 * a * t)$: $O(t^2, h^4)$.

```
theta = 0.5;

[Urm1, q_rm1, t_rm1] = RichtmyerMorton1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...
    t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize);
```

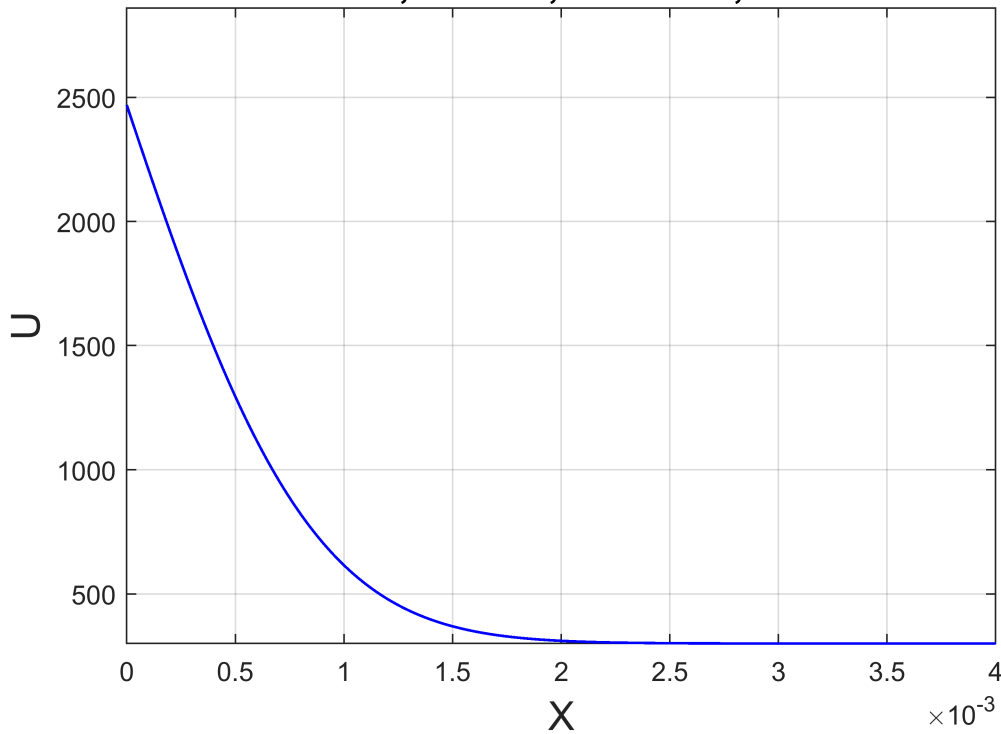
Richtmyer — Morton (1), $\theta = 0.5$:
 $\delta = 0.004$, $\lambda = 0.2$, $\alpha = 4000$, $c = 800$



Решение схемой Рихтмайера — Мортон (вторая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации при $\theta = 0.5$: $O(t^2, h^2)$, при $\theta = 0.5 + h^2 / (12 * a * t)$: $O(t^2, h^4)$.

```
[Urm2, q_rm2, t_rm2] = RichtmyerMorton2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...
    t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize);
```

Richtmyer — Morton (2), $\theta = 0.5$:
 $\delta = 0.004$, $\lambda = 0.2$, $\alpha = 4000$, $c = 800$



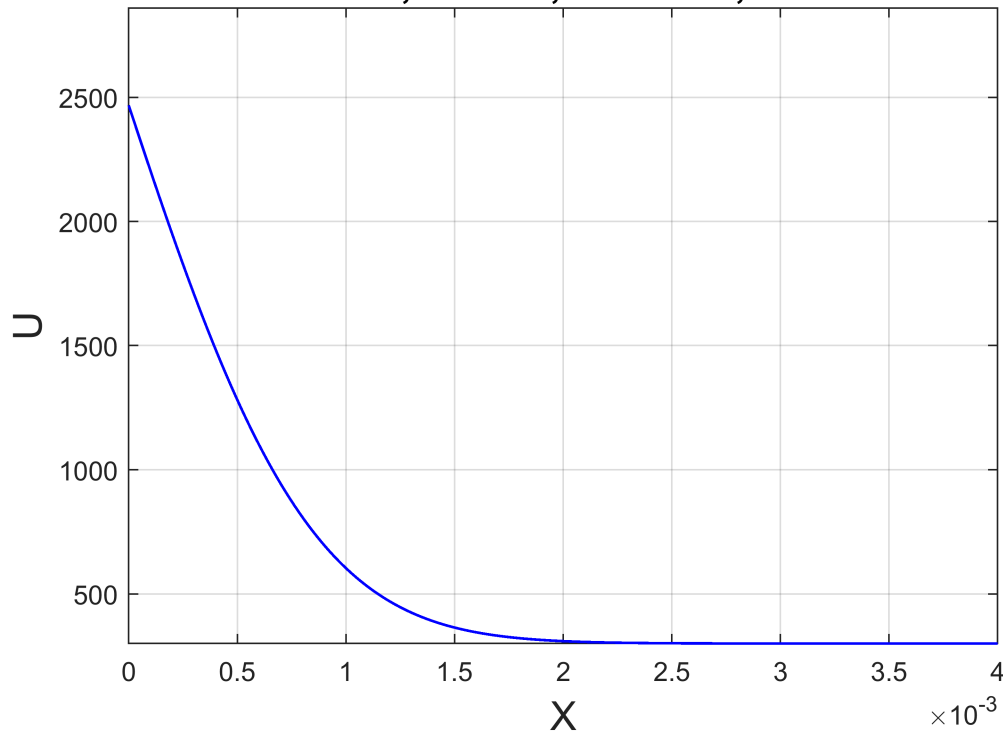
Решение схемой Рихтмайера — Мортон (первая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации при $\theta = 0.5$: $O(t^2, h^2)$, при $\theta = 0.5 + h^2 / (12 * a * t)$: $O(t^2, h^4)$.

```
theta = 0.5 + dh^2 / (12 * a * dt);
```

```
[Urm3, q_rm3, t_rm3] = RichtmyerMorton1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize);
```


Richtmyer — Morton (1), $\theta = 0.50673$:

$\delta = 0.004$, $\lambda = 0.2$, $\alpha = 4000$, $c = 800$

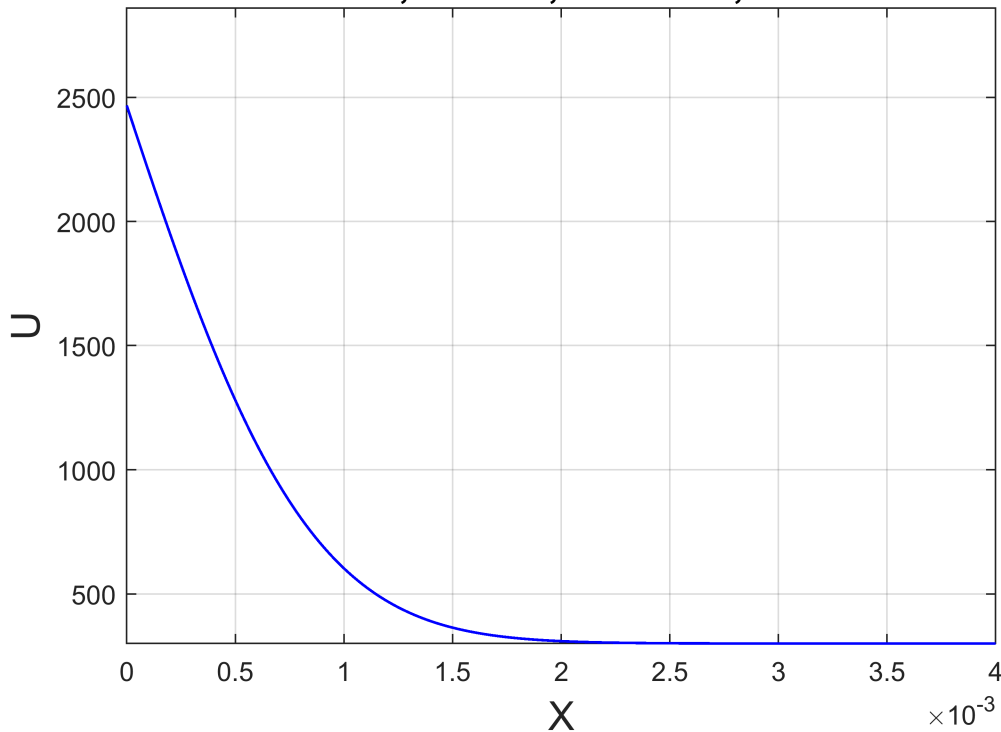


Решение схемой Рихтмайера — Мортон (вторая аппроксимация граничных условий). Абсолютная устойчивость. Порядок аппроксимации при $\theta = 0.5$: $O(t^2, h^2)$, при $\theta = 0.5 + h^2 / (12 * a * t)$: $O(t^2, h^4)$.

```
[Urm4, q_rm4, t_rm4] = RichtmyerMorton2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...  
    t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize);
```

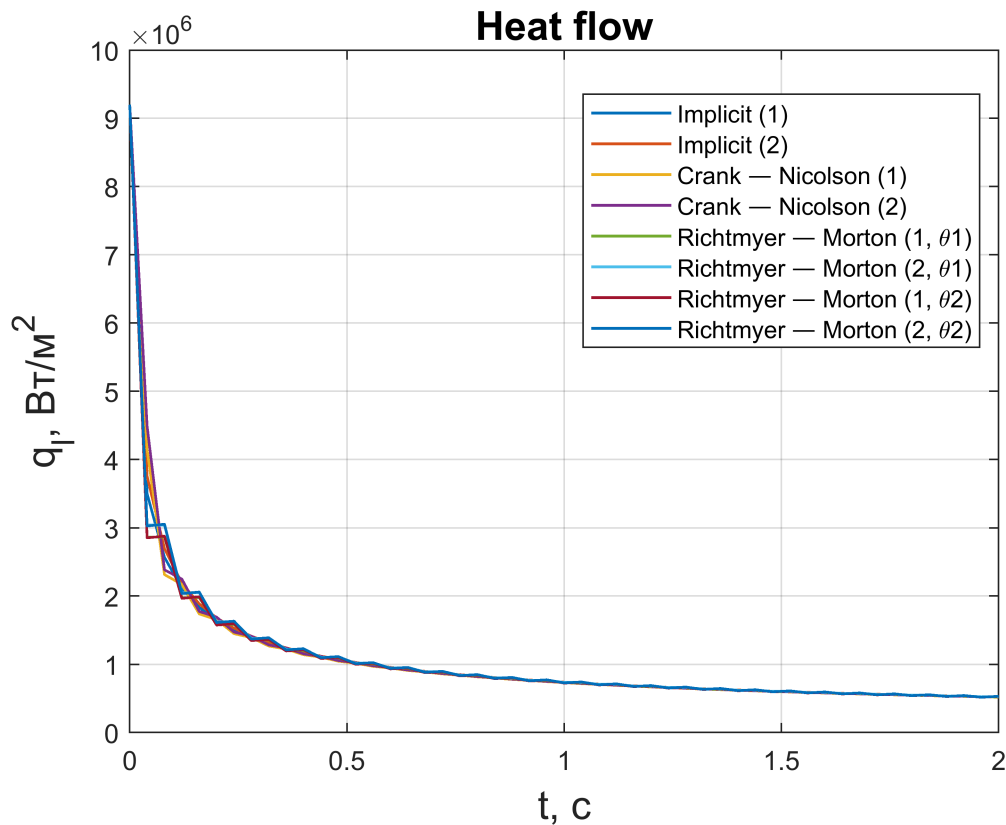
Richtmyer — Morton (2), $\theta = 0.50673$:

$\delta = 0.004$, $\lambda = 0.2$, $\alpha = 4000$, $c = 800$



Вывод теплового потока для различных схем.

```
plot(t_i1, q_impl1, t_i2, q_impl2, t_cn1, q_cn1, t_cn2, q_cn2, ...  
     t_rm1, q_rm1, t_rm2, q_rm2, t_rm3, q_rm3, t_rm4, q_rm4, 'LineWidth', 1);  
grid on;  
title('Heat flow', 'FontSize', TextSize);  
xlabel('t, c', 'FontSize', TextSize);  
ylabel('q_l, Вт/м^2', 'FontSize', TextSize);  
axis([0, t_fin, 0, 10e6]);  
legend({'Implicit (1)', 'Implicit (2)', 'Crank — Nicolson (1)', ...  
       'Crank — Nicolson (2)', 'Richtmyer — Morton (1, \theta1)', ...  
       'Richtmyer — Morton (2, \theta1)', 'Richtmyer — Morton (1, \theta2)', ...  
       'Richtmyer — Morton (2, \theta2)'}, 'Location', 'best');
```



Использованные функции.

Неявная схема. Метод прогонки. Первая аппроксимация граничных условий.

```
function [Uold, q_l, t] = Implicit1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...
    t_fin, N, dh, dt, TextSize)

% Начальные условия:
Uold = T_init * ones(1, N);
Unew = Uold;
i = 1;
t(i) = 0;
q_l(i) = abs(alpha * (T_gaz - Uold(1)));

% Коэффициенты разностной схемы:
A = 1;
B = 1 + dh^2 / (2 * dt * a);
C = 1;
Bi = alpha * dh / lambda; % коэффициент Био (безразмерный коэффициент теплоотдачи)

while t(i) <= t_fin

    % Начальные значения векторов прогоночных коэффициентов:

    K = zeros(1, N-1);
    L = K;
```

```

K(1) = 1 / (1 + Bi);
L(1) = Bi * T_gaz / (1 + Bi);

t(i+1) = t(i) + dt;

% Прямая прогонка:

for j = 2:N-1

    K(j) = -1 / (K(j-1) - 2 * B);
    L(j) = (-(dh^2 / (dt * a)) * Uold(j) - L(j-1)) / (K(j-1) - 2 * B);

end

Unew(N) = L(N-1) / (1 - K(N-1));

% Обратная прогонка

for j = N-1:-1:1

    Unew(j) = K(j) * Unew(j+1) + L(j);

end

Uold = Unew;

% Вывод графиков:
plot(x, Unew, 'b', 'LineWidth', 1);
grid on;
title(['Implicit (1): ', newline, '\delta = ', num2str(delta), ...
    ', \lambda = ', num2str(lambda), ...
    ', \alpha = ', num2str(alpha), ', c = ', num2str(c)], 'FontSize', TextSize);
xlabel('X', 'FontSize', TextSize);
ylabel('U', 'FontSize', TextSize);
axis([0, delta, T_init, 1.1*T_gaz]);
pause(0.05);

% Тепловой поток:
q_l(i+1) = abs(alpha * (T_gaz - Uold(1)));

i = i + 1;

end

end

```

Схема Кранка — Николсона. Первая аппроксимация граничных условий.

```

function [Uold, q_l, t] = CrankNicolson1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...
    t_fin, N, dh, dt, TextSize)

% Начальные условия:
Uold = T_init * ones(1, N);

```

```

i = 1;
t(i) = 0;
q_l(i) = abs(alpha * (T_gaz - Uold(1)));

% Коэффициенты разностной схемы:
Bi = alpha * dh / lambda; % коэффициент Био (безразмерный коэффициент теплоотдачи)
LBV = Bi * T_gaz / (1 + Bi); % левое граничное значение
RBV = 0; % правое граничное значение

A = [ones(1, N-2), -1];
B = [1, -2*(1+dh^2/(a*dt))*ones(1, N-2), 1];
C = [-1/(1+Bi), ones(1, N-2)];

M = full(gallery('tridiag', A, B, C));

while t(i) <= t_fin

    t(i+1) = t(i) + dt;

    D = ([LBV, -1*Uold(1:N-2)+2*(1-dh^2/(a*dt))*Uold(2:N-1)-1*Uold(3:N), RBV])';

    Unew = mldivide(M, D);

    Uold = Unew';

    % Вывод графиков:
    plot(x, Unew, 'b', 'LineWidth', 1);
    grid on;
    title(['Crank – Nicolson (1): ', newline, '\delta = ', num2str(delta), ...
        ', \lambda = ', num2str(lambda), ...
        ', \alpha = ', num2str(alpha), ', c = ', num2str(c)], 'FontSize', TextSize);
    xlabel('X', 'FontSize', TextSize);
    ylabel('U', 'FontSize', TextSize);
    axis([0, delta, T_init, 1.1*T_gaz]);
    pause(0.05);

    % Тепловой поток:
    q_l(i+1) = abs(alpha * (T_gaz - Uold(1)));

    i = i + 1;

end

end

```

Схема Рихтмайера — Мортон. Первая аппроксимация граничных условий.

```

function [Uold2, q_l, t] = RichtmyerMorton1(x, lambda, c, a, alpha, T_init, ...
    T_gaz, delta, t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize)

% Начальные условия:
Uold1 = T_init * ones(1, N);
Uold2 = Uold1;
i = 1;

```

```

t(i) = 0;
q_l(i) = abs(alpha * (T_gaz - Uold2(1)));

% Коэффициенты разностной схемы:
Bi = alpha * dh / lambda; % коэффициент Био (безразмерный коэффициент теплоотдачи)
LBV = Bi * T_gaz / (1 + Bi); % левое граничное значение
RBV = 0; % правое граничное значение

A = [ones(1, N-2), -1];
B = [1, -(dh^2/(a*dt))*(1-theta+2*a*dt/dh^2)*ones(1, N-2), 1];
C = [-1/(1+Bi), ones(1, N-2)];

M = full(gallery('tridiag', A, B, C));

while t(i) <= t_fin

    t(i+1) = t(i) + dt;

    D = ([LBV, -(dh^2/(a*dt))*(1-2*theta)*Uold2(2:N-1)-...
        theta*(dh^2/(a*dt))*Uold1(2:N-1), RBV]);

    Unew = mldivide(M, D);

    Uold1 = Uold2;
    Uold2 = Unew';

    % Вывод графиков:
    plot(x, Unew, 'b', 'LineWidth', 1);
    grid on;
    title(['Richtmyer – Morton (1), \theta = ', num2str(theta), ': ', newline, ...
        '\delta = ', num2str(delta), ', \lambda = ', num2str(lambda), ...
        ', \alpha = ', num2str(alpha), ', c = ', num2str(c)], 'FontSize', TextSize);
    xlabel('X', 'FontSize', TextSize);
    ylabel('U', 'FontSize', TextSize);
    axis([0, delta, T_init, 1.1*T_gaz]);
    pause(0.05);

    % Тепловой поток:
    q_l(i+1) = abs(alpha * (T_gaz - Uold2(1)));

    i = i + 1;

end

end

```

Неявная схема. Метод прогонки. Вторая аппроксимация граничных условий.

```

function [Uold, q_l, t] = Implicit2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...
    t_fin, N, dh, dt, TextSize)

% Начальные условия:
Uold = T_init * ones(1, N);
i = 1;

```

```

t(i) = 0;
q_l(i) = abs(alpha * (T_gaz - Uold(1)));

% Коэффициенты разностной схемы:
Bi = alpha * dh / lambda; % коэффициент Био (безразмерный коэффициент теплоотдачи)
LBV = 2 * Bi * T_gaz / (3 + 2 * Bi); % левое граничное значение
RBV = 0; % правое граничное значение

A = [ones(1, N-2), -4/3];
B = [1, -2*(1+dh^2/(2*a*dt))*ones(1, N-2), 1];
C = [-4/(3+2*Bi), ones(1, N-2)];

M = full(gallery('tridiag', A, B, C));
M(1,3) = 1 / (3 + 2 * Bi);
M(N,N-2) = 1 / 3;

while t(i) <= t_fin

    t(i+1) = t(i) + dt;

    D = ([LBV, -(dh^2/(a*dt))*Uold(2:N-1), RBV])';

    Unew = mldivide(M, D);

    Uold = Unew';

    % Вывод графиков:
    plot(x, Unew, 'b', 'LineWidth', 1);
    grid on;
    title(['Implicit (2): ', newline, '\delta = ', num2str(delta), ...
        ', \lambda = ', num2str(lambda), ...
        ', \alpha = ', num2str(alpha), ', c = ', num2str(c)], 'FontSize', TextSize);
    xlabel('X', 'FontSize', TextSize);
    ylabel('U', 'FontSize', TextSize);
    axis([0, delta, T_init, 1.1*T_gaz]);
    pause(0.05);

    % Тепловой поток:
    q_l(i+1) = abs(alpha * (T_gaz - Uold(1)));

    i = i + 1;

end

end
end

```

Схема Кранка — Николсона. Вторая аппроксимация граничных условий.

```

function [Uold, q_l, t] = CrankNicolson2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, T_gaz, delta, ...
    t_fin, N, dh, dt, TextSize)

% Начальные условия:
Uold = T_init * ones(1, N);
i = 1;

```

```

t(i) = 0;
q_l(i) = abs(alpha * (T_gaz - Uold(1)));

% Коэффициенты разностной схемы:
Bi = alpha * dh / lambda; % коэффициент Био (безразмерный коэффициент теплоотдачи)
LBV = 2 * Bi * T_gaz / (3 + 2 * Bi); % левое граничное значение
RBV = 0; % правое граничное значение

A = [ones(1, N-2), -4/3];
B = [1, -2*(1+dh^2/(a*dt))*ones(1, N-2), 1];
C = [-4/(3+2*Bi), ones(1, N-2)];

M = full(gallery('tridiag', A, B, C));
M(1,3) = 1 / (3 + 2 * Bi);
M(N,N-2) = 1 / 3;

while t(i) <= t_fin

    t(i+1) = t(i) + dt;

    D = ([LBV, -1*Uold(1:N-2)+2*(1-dh^2/(a*dt))*Uold(2:N-1)-1*Uold(3:N), RBV])';

    Unew = mldivide(M, D);

    Uold = Unew';

    % Вывод графиков:
    plot(x, Unew, 'b', 'LineWidth', 1);
    grid on;
    title(['Crank – Nicolson (2): ', newline, '\delta = ', num2str(delta), ...
        ', \lambda = ', num2str(lambda), ...
        ', \alpha = ', num2str(alpha), ', c = ', num2str(c)], 'FontSize', TextSize);
    xlabel('X', 'FontSize', TextSize);
    ylabel('U', 'FontSize', TextSize);
    axis([0, delta, T_init, 1.1*T_gaz]);
    pause(0.05);

    % Тепловой поток:
    q_l(i+1) = abs(alpha * (T_gaz - Uold(1)));

    i = i + 1;

end

end

```

Схема Рихтмайера — Мортон. Вторая аппроксимация граничных условий.

```

function [Uold2, q_l, t] = RichtmyerMorton2(x, lambda, c, a, alpha, T_init, ...
    T_gaz, delta, t_fin, N, dh, dt, theta, TextSize)

% Начальные условия:
Uold1 = T_init * ones(1, N);
Uold2 = Uold1;

```



```

i = 1;
t(i) = 0;
q_l(i) = abs(alpha * (T_gaz - Uold2(1)));

% Коэффициенты разностной схемы:
Bi = alpha * dh / lambda; % коэффициент Био (безразмерный коэффициент теплоотдачи)
LBV = 2 * Bi * T_gaz / (3 + 2 * Bi); % левое граничное значение
RBV = 0; % правое граничное значение

A = [ones(1, N-2), -4/3];
B = [1, -(dh^2/(a*dt))*(1-theta+2*a*dt/dh^2)*ones(1, N-2), 1];
C = [-4/(3+2*Bi), ones(1, N-2)];

M = full(gallery('tridiag', A, B, C));
M(1,3) = 1 / (3 + 2 * Bi);
M(N,N-2) = 1 / 3;

while t(i) <= t_fin

    t(i+1) = t(i) + dt;

    D = ([LBV, -(dh^2/(a*dt))*(1-2*theta)*Uold2(2:N-1)-...
        theta*(dh^2/(a*dt))*Uold1(2:N-1), RBV]);

    Unew = mldivide(M, D);

    Uold1 = Uold2;
    Uold2 = Unew';

    % Вывод графиков:
    plot(x, Unew, 'b', 'LineWidth', 1);
    grid on;
    title(['Richtmyer – Morton (2), \theta = ', num2str(theta), ': ', newline, ...
        '\delta = ', num2str(delta), ', \lambda = ', num2str(lambda), ...
        ', \alpha = ', num2str(alpha), ', c = ', num2str(c)], 'FontSize', TextSize);
    xlabel('X', 'FontSize', TextSize);
    ylabel('U', 'FontSize', TextSize);
    axis([0, delta, T_init, 1.1*T_gaz]);
    pause(0.05);

    % Тепловой поток:
    q_l(i+1) = abs(alpha * (T_gaz - Uold2(1)));

    i = i + 1;

end

end

```