Лабораторная работа 4

Решение уравнений гиперболического типа

Выполнил: Гапанович А. В. (4 группа)
Вариант 1

Для решения дана следующая задача:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + u\frac{\partial U}{\partial x} = 0$$

С условием распространения треугольного импульса:

$$U(x,0) = \begin{cases} 200x, x\epsilon\,[0,0.5] \\ 200(1-x), x\epsilon\,[0.5,1] \end{cases}$$

Цель:

- получить аналитическое решение
- явная двухслойная схема (FTCS метод)
- явная схема Лакса-Вендрофа,
- схема Рихтмайера (двухшаговый метод типа Лакса-Вендрофа)
- схема МакКормака (предиктор-корректорная схема типа Лакса-Вендрофа)
- противопотоковый метод первого порядка
- противопотоковый метод второго порядка

In [6]:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import math
```

In [44]:

```
u = 0.2
l = 10
N_s = 500 #кол-во узлов по пространствен. коорд.

time_sum = 10
time_1 = 0.1
time_2 = 0.5
time_3 = 1
time_4 = 5
time_5 = 10

c_1 = 0.1
c_2 = 0.5
c_3 = 1
c_4 = 1.5

def fun_initial(x):
    if (x < 1/2):
        res = 200 * x
    elif (x < 1):
        res = 200 * (1-x)
    else:
        res = 0
    return res
def border_left(t):
    return 0
def border_right(t):
    return 0
```

1. Аналитическое решение.

```
In[7]:= pde = D[y[x, t], t] + D[y[x, t], x] == 0;
          дифференциро··· дифференцировать
        sol = NDSolve[{pde, y[x, 0] == Piecewise[{{200*x, 0 ≤ x < 0.5}, {200*(1 - x), 0.5 ≤ x ≤ 1}}], y[0, t] == 0, y[1, t] == 0}, y[x, t], {x, 0, 1}, {t, 0, 10}];
              численно решить ДУ        кусочно-заданная функция
        Plot3D[sol[[1, 1, 2]], {x, 0, 1}, {t, 0, 10}, PlotRange → All]
        график функции 2-х переменных                  отображае···  всё
```

2. Явная двухслойная схема

$$\frac{U_{i,j+1} - U_{i,j}}{\tau} + u\frac{U_{i+1,j} - U_{i-1,j}}{2h} = 0$$

In [45]:

```
def explicit_schem( N_s, c):
    h = l / N_s
    tau = h * c / u
    N_t = int(time_sum / tau)
    print("Конвекционное число = ", c)
    matrix = np.zeros((N_t + 1, N_s + 1))

    for i in range(N_s + 1):
        matrix[0][i] = fun_initial(i * h)

    for j in range(N_t + 1):
        matrix[j][0] = border_left(j * tau)
        matrix[j][N_s] = border_right(j * tau)

    for i in range(N_t):
        for j in range(N_s):
            matrix[i + 1][j] = matrix[i][j] - c /2 * (matrix[i][j + 1] - matrix[i][j -
    return matrix
```

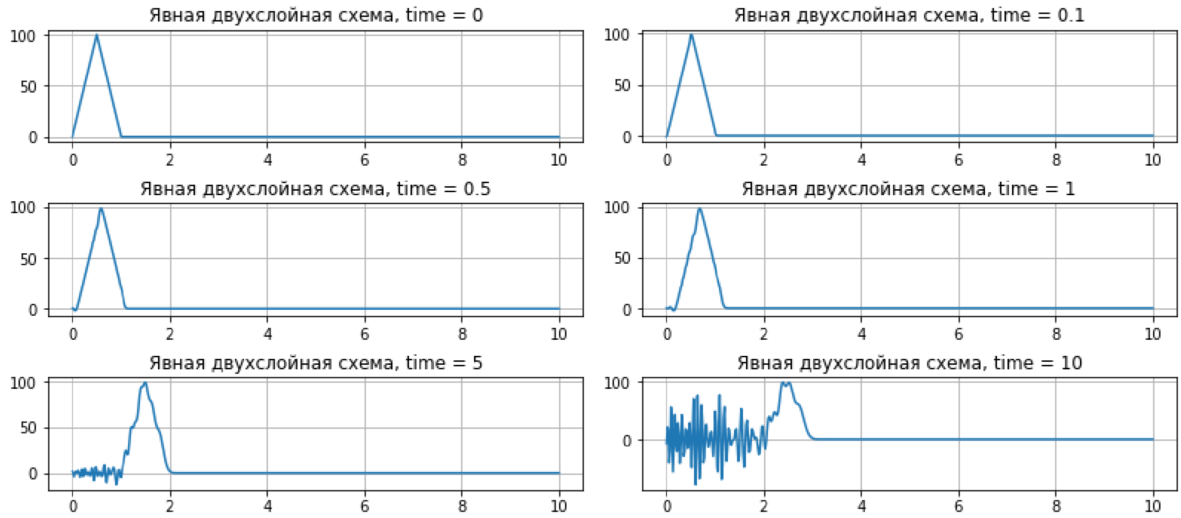
In [46]:

```
def draw_explicit_schem(c, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5):
    matrix_1 = explicit_schem(N_s, c)
    N_t, size_x = np.shape(matrix_1)
    x = np.linspace(0, l, size_x)
    moment_1 = int((N_t*time_1)/time_sum)
    moment_2 = int((N_t*time_2)/time_sum)
    moment_3 = int((N_t*time_3)/time_sum)
    moment_4 = int((N_t*time_4)/time_sum)
    moment_5 = int((N_t*time_5)/time_sum)
    fg = plt.figure(figsize=(11, 6), constrained_layout=True)
    gs = fg.add_gridspec(4, 2)
    fig_ax_1 = fg.add_subplot(gs[1, 0])
    plt.title('Явная двухслойная схема, time = 0')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_1[0, :])
    fig_ax_2 = fg.add_subplot(gs[1, 1])
    plt.title('Явная двухслойная схема, time = 0.1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_1[moment_1, :])
    fig_ax_3 = fg.add_subplot(gs[2, 0])
    plt.title('Явная двухслойная схема, time = 0.5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_1[moment_2, :])
    fig_ax_4 = fg.add_subplot(gs[2, 1])
    plt.title('Явная двухслойная схема, time = 1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_1[moment_3, :])
    fig_ax_5 = fg.add_subplot(gs[3, 0])
    plt.title('Явная двухслойная схема, time = 5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_1[moment_4, :])
    fig_ax_6 = fg.add_subplot(gs[3, 1])
    plt.title('Явная двухслойная схема, time = 10')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_1[moment_5-1, :])
```

In [47]:

```
1 draw_explicit_schem(c_1, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

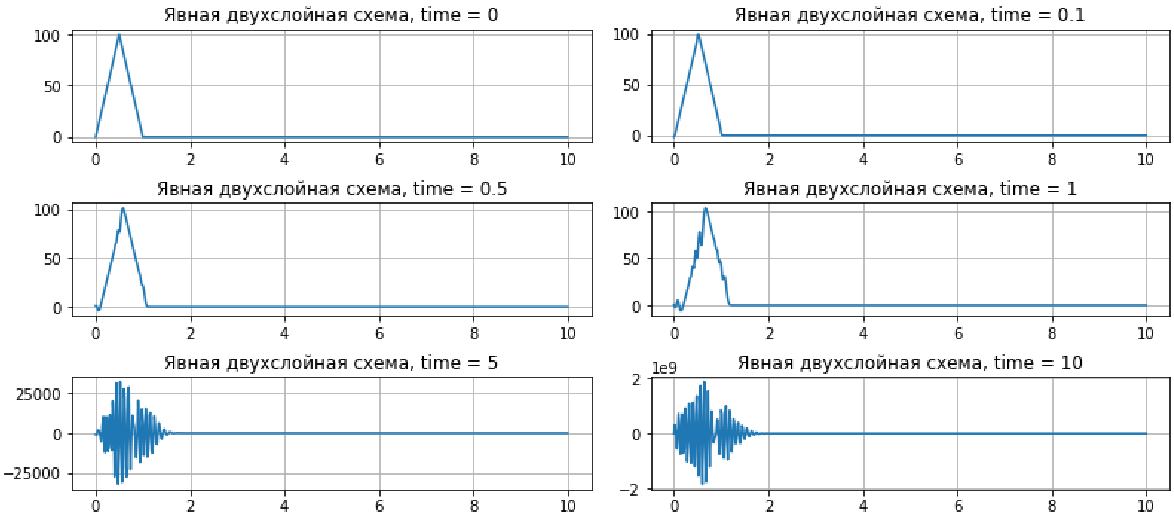
Конвекционное число = 0.1



In [48]:

```
1 draw_explicit_schem(c_2, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

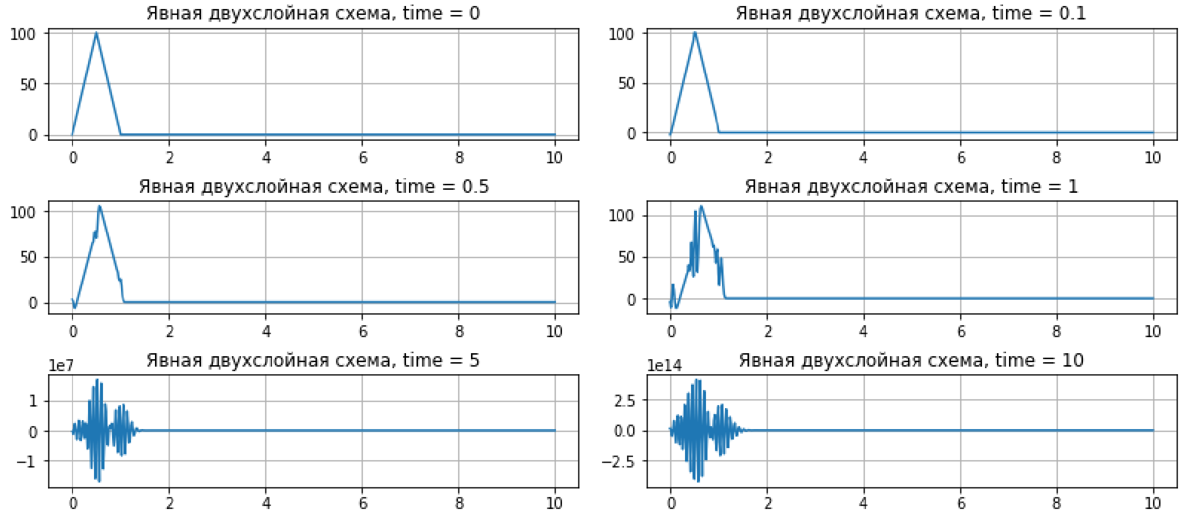
Конвекционное число = 0.5



In [49]:

```
draw_explicit_schem(c_3, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

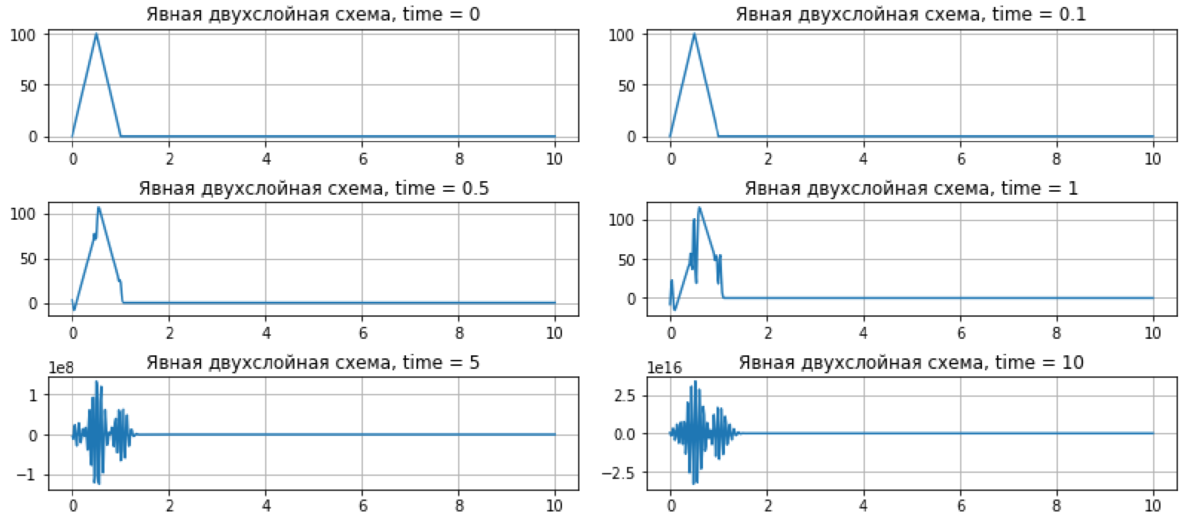
Конвекционное число = 1



In [50]:

```
draw_explicit_schem(c_4, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

Конвекционное число = 1.5



3. Схема Лакса-Вендрофа

$$U_{i,j+1} = U_{i,j} - u\left(\frac{U_{i+1,j} - U_{i-1,j}}{2h}\right)\tau + \frac{1}{2}u^2\left(\frac{U_{i+1,j} - 2U_{i,j} + U_{i-1,j}}{h^2}\right)$$

In [51]:

```
def Lax_Wendroff_schem(N_s, c):
    h = l / N_s
    tau = h * c / u
    N_t = int(time_sum / tau)
    print("Конвекционное число = ", c)
    matrix = np.zeros((N_t + 1, N_s + 1))

    for i in range(1, N_s):
        matrix[0][i] = fun_initial(i * h)

    for j in range(N_t + 1):
        matrix[j][0] = border_left(j * tau)
        matrix[j][N_s] = border_right(j * tau)

    for i in range(N_t):
        for j in range(1, N_s):
            matrix[i+1][j] = (matrix[i][j] - c / 2 * (matrix[i][j+1]-matrix[i][j-1]) +
    return matrix
```

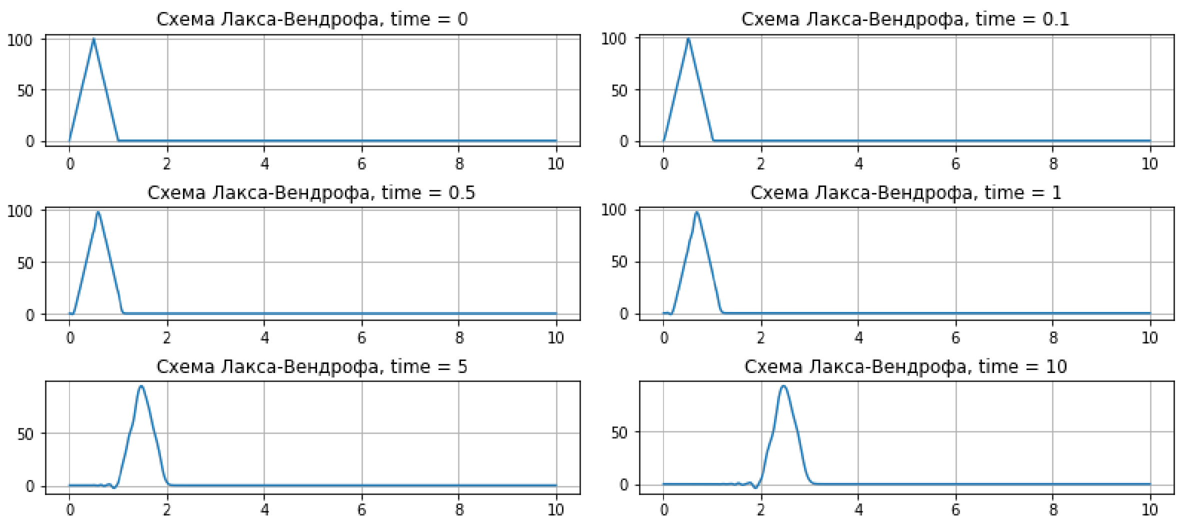
In [52]:

```python
def draw_Lax_Wendroff_schem(c, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5):
    matrix_2 = Lax_Wendroff_schem(N_s, c)
    N_t, size_x = np.shape(matrix_2)
    x = np.linspace(0, l, size_x)
    moment_1 = int((N_t*time_1)/time_sum)
    moment_2 = int((N_t*time_2)/time_sum)
    moment_3 = int((N_t*time_3)/time_sum)
    moment_4 = int((N_t*time_4)/time_sum)
    moment_5 = int((N_t*time_5)/time_sum)
    fg = plt.figure(figsize=(11, 6), constrained_layout=True)
    gs = fg.add_gridspec(4, 2)
    fig_ax_1 = fg.add_subplot(gs[1, 0])
    plt.title('Схема Лакса-Вендрофа, time = 0')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_2[0, :])
    fig_ax_2 = fg.add_subplot(gs[1, 1])
    plt.title('Схема Лакса-Вендрофа, time = 0.1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_2[moment_1, :])
    fig_ax_3 = fg.add_subplot(gs[2, 0])
    plt.title('Схема Лакса-Вендрофа, time = 0.5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_2[moment_2, :])
    fig_ax_4 = fg.add_subplot(gs[2, 1])
    plt.title('Схема Лакса-Вендрофа, time = 1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_2[moment_3, :])
    fig_ax_5 = fg.add_subplot(gs[3, 0])
    plt.title('Схема Лакса-Вендрофа, time = 5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_2[moment_4, :])
    fig_ax_6 = fg.add_subplot(gs[3, 1])
    plt.title('Схема Лакса-Вендрофа, time = 10')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_2[moment_5-1, :])
```

In [53]:

```python
draw_Lax_Wendroff_schem(c_1, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

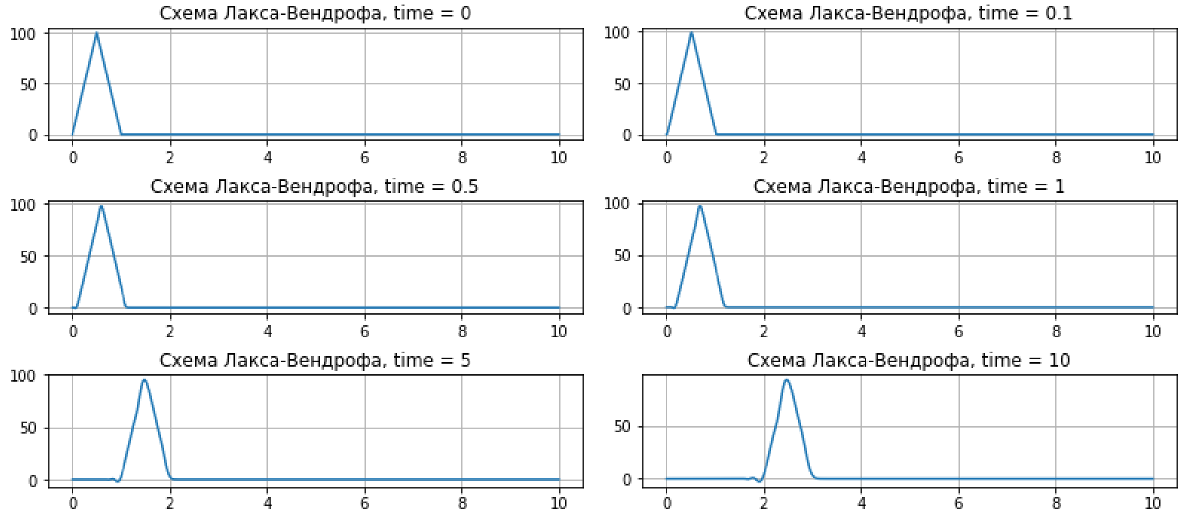
```
Конвекционное число =  0.1
```



In [54]:

```
1  draw_Lax_Wendroff_schem(c_2, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

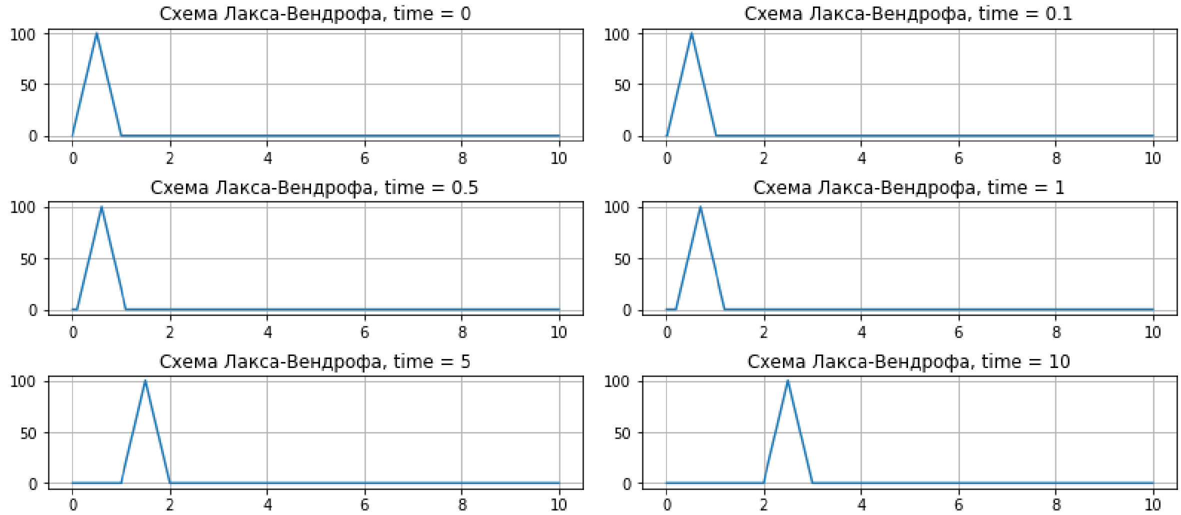
Конвекционное число = 0.5



In [55]:

```
1  draw_Lax_Wendroff_schem(c_3, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

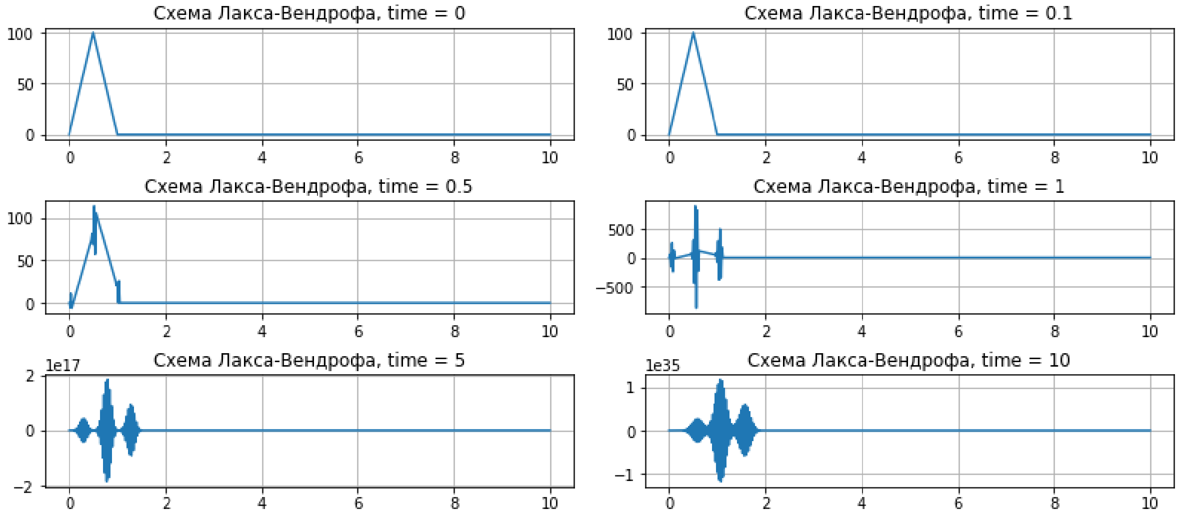
Конвекционное число = 1



In [56]:

```
1 draw_Lax_Wendroff_schem(c_4, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

```
Конвекционное число =  1.5
```



4. Схема Рихтмайера (двухшаговый метод типа Лакса-Вендрофа)

$$U_{i,j+1} = \frac{1}{2}\left(U_{i+1,j} + U_{i-1,j}\right) - \frac{c}{2}\left(U_{i+1,j} - U_{i-1,j}\right)$$
$$U_{i,j+2} = U_{i,j} - c\left(U_{i+1,j+1} - U_{i-1,j+1}\right)$$

In [57]:

```
def Richtmeier_schem(N_s, c):
    h = l / N_s
    tau = h * c / u
    N_t = int(time_sum / tau)
    print("Конвекционное число = ", c)
    matrix = np.zeros((N_t + 1, N_s + 1))

    for i in range(1, N_s):
        matrix[0][i] = fun_initial(i * h)

    for j in range(N_t + 1):
        matrix[j][0] = border_left(j * tau)
        matrix[j][N_s] = border_right(j * tau)

    for i in range(N_t):
        #prev = tmp1
        tmp_1 = (matrix[i][1] + matrix[i][0]) / 2 - c / 2* (matrix[i][1] - matrix[i][0]
        for j in range(1, N_s):
            tmp_2 = (matrix[i][j + 1] + matrix[i][j]) / 2 - c /2 * (matrix[i][j + 1] -
            matrix[i + 1][j] = matrix[i][j] - c * (tmp_2 - tmp_1)
            tmp_1 = tmp_2
    return matrix
```

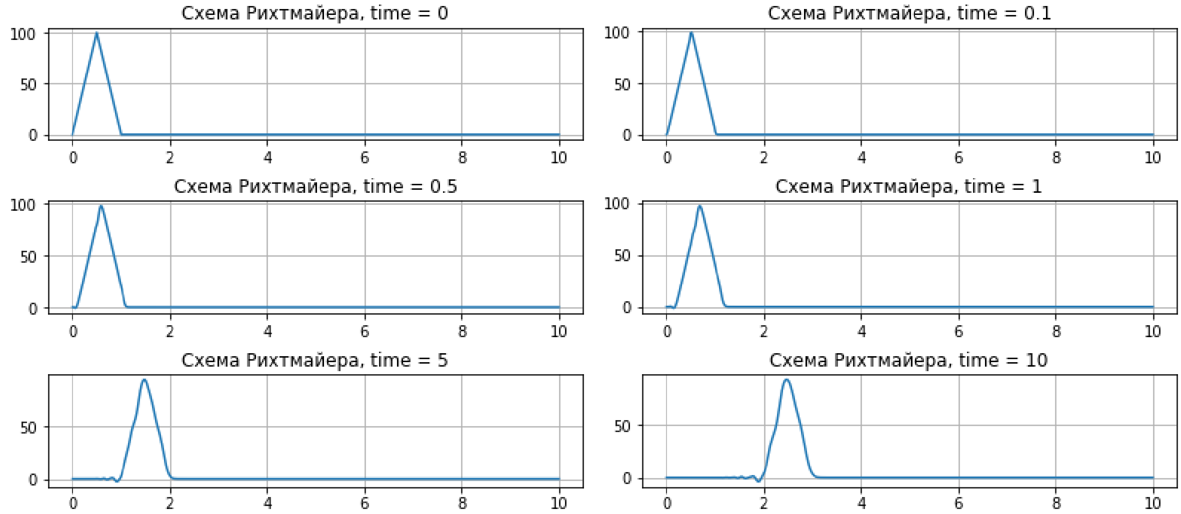
In [58]:

```
def draw_Richtmeier_schem(c, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5):
    matrix_3 = Richtmeier_schem(N_s, c)
    N_t, size_x = np.shape(matrix_3)
    x = np.linspace(0, l, size_x)
    moment_1 = int((N_t*time_1)/time_sum)
    moment_2 = int((N_t*time_2)/time_sum)
    moment_3 = int((N_t*time_3)/time_sum)
    moment_4 = int((N_t*time_4)/time_sum)
    moment_5 = int((N_t*time_5)/time_sum)
    fg = plt.figure(figsize=(11, 6), constrained_layout=True)
    gs = fg.add_gridspec(4, 2)
    fig_ax_1 = fg.add_subplot(gs[1, 0])
    plt.title('Схема Рихтмайера, time = 0')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_3[0, :])
    fig_ax_2 = fg.add_subplot(gs[1, 1])
    plt.title('Схема Рихтмайера, time = 0.1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_3[moment_1, :])
    fig_ax_3 = fg.add_subplot(gs[2, 0])
    plt.title('Схема Рихтмайера, time = 0.5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_3[moment_2, :])
    fig_ax_4 = fg.add_subplot(gs[2, 1])
    plt.title('Схема Рихтмайера, time = 1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_3[moment_3, :])
    fig_ax_5 = fg.add_subplot(gs[3, 0])
    plt.title('Схема Рихтмайера, time = 5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_3[moment_4, :])
    fig_ax_6 = fg.add_subplot(gs[3, 1])
    plt.title('Схема Рихтмайера, time = 10')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_3[moment_5-1, :])
```

In [59]:

```
1  draw_Richtmeier_schem(c_1, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

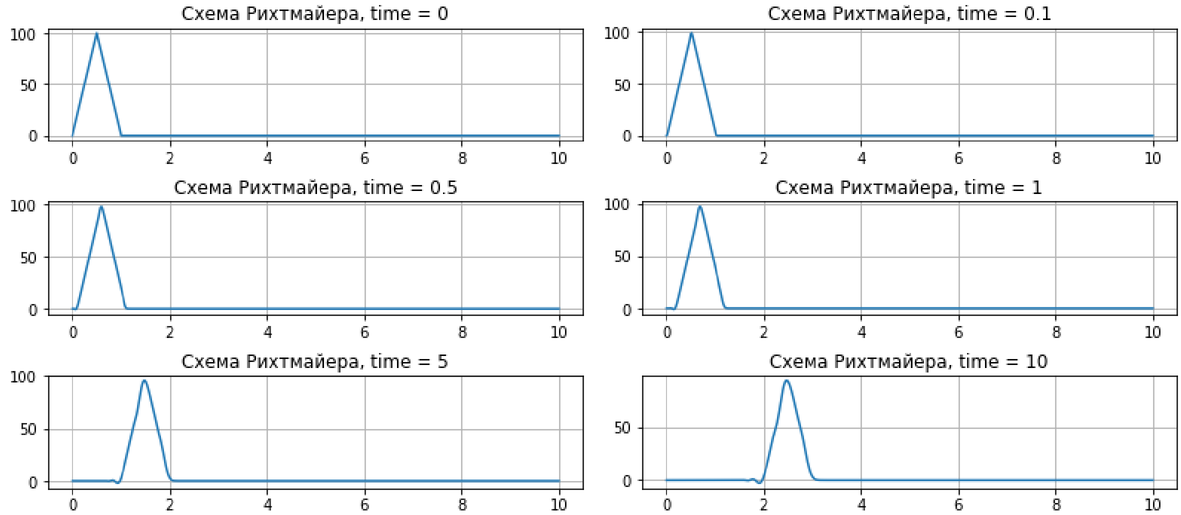
Конвекционное число = 0.1



In [60]:

```
1  draw_Richtmeier_schem(c_2, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

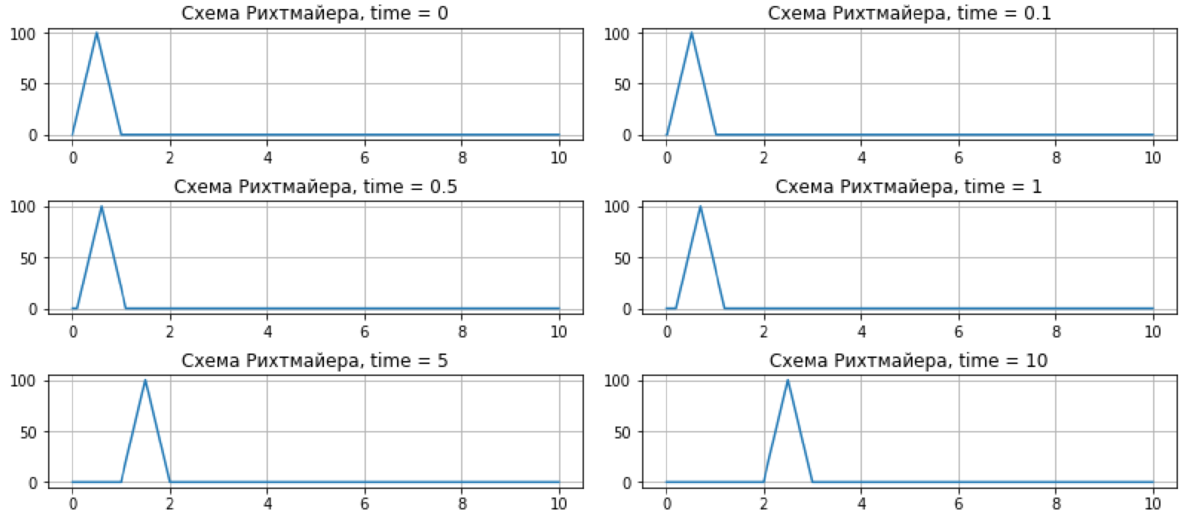
Конвекционное число = 0.5



In [61]:

```
draw_Richtmeier_schem(c_3, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

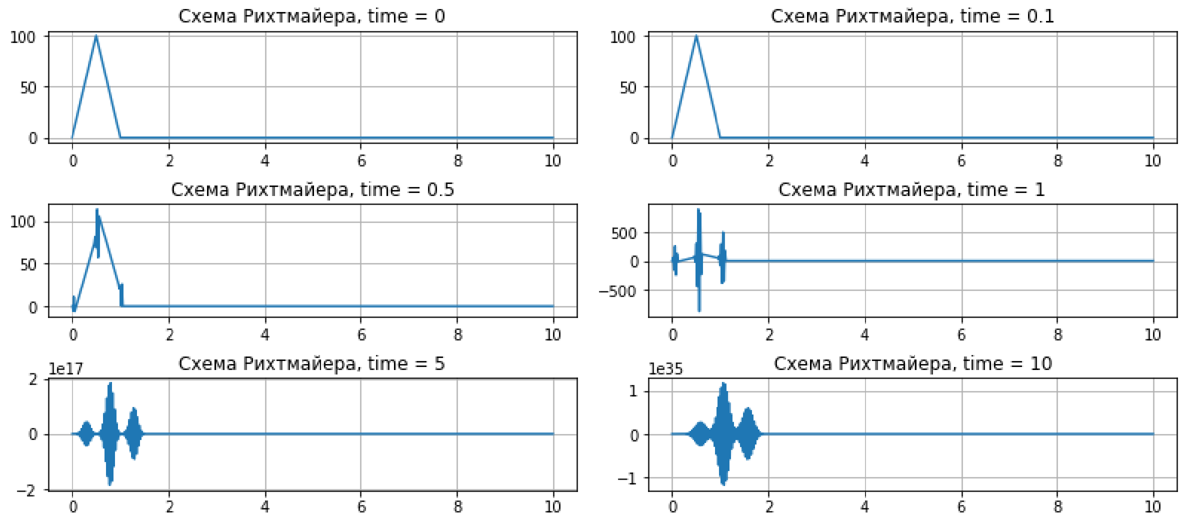
Конвекционное число = 1



In [62]:

```
draw_Richtmeier_schem(c_4, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

Конвекционное число = 1.5



5. Схема МакКормака (предиктор-корректорная схема типа Лакса-Вендрофа)

$$\bar{U}_{i,j+1} = U_{i,j} - c\left(U_{i+1,j} - U_{i,j}\right)$$
$$U_{i,j+1} = \frac{1}{2}\left[U_{i,j} + \bar{U}_{i,j+1} - c\left(\bar{U}_{i,j+1} - \bar{U}_{i-1,j+1}\right)\right]$$

In [63]:

```
def McCormacks_schem(N_s, c):
    h = l / N_s
    tau = h * c / u
    N_t = int(time_sum / tau)
    print("Конвекционное число = ", c)
    matrix = np.zeros((N_t + 1, N_s + 1))

    for i in range(1, N_s):
        matrix[0][i] = fun_initial(i * h)

    for j in range(N_t + 1):
        matrix[j][0] = border_left(j * tau)
        matrix[j][N_s] = border_right(j * tau)

    matrix_ = np.zeros((N_t + 1, N_s + 1))

    for i in range(N_t):
        for j in range(1, N_s):
            matrix_[i + 1][j] = matrix[i][j] - c * (matrix[i][j + 1] - matrix[i][j])
            matrix[i + 1][j] = ((matrix[i][j] + matrix_[i + 1][j] -
                                 c * (matrix_[i + 1][j] - matrix_[i + 1][j- 1])) / 2)
    return matrix
```

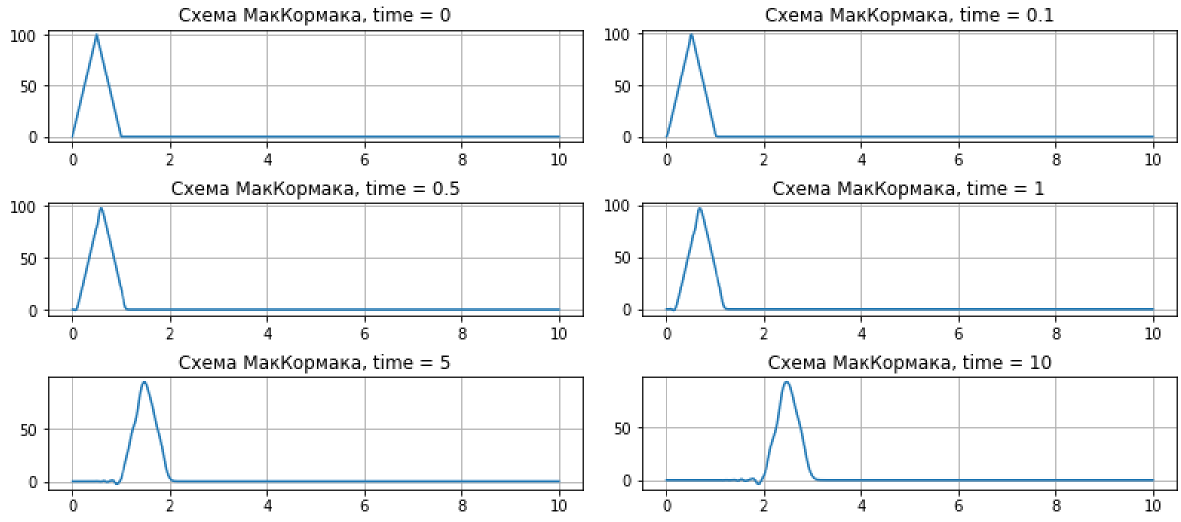
In [64]:

```
def draw_McCormacks_schem(c, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5):
    matrix_4 = McCormacks_schem(N_s, c)
    N_t, size_x = np.shape(matrix_4)
    x = np.linspace(0, l, size_x)
    moment_1 = int((N_t*time_1)/time_sum)
    moment_2 = int((N_t*time_2)/time_sum)
    moment_3 = int((N_t*time_3)/time_sum)
    moment_4 = int((N_t*time_4)/time_sum)
    moment_5 = int((N_t*time_5)/time_sum)
    fg = plt.figure(figsize=(11, 6), constrained_layout=True)
    gs = fg.add_gridspec(4, 2)
    fig_ax_1 = fg.add_subplot(gs[1, 0])
    plt.title('Схема МакКормака, time = 0')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_4[0, :])
    fig_ax_2 = fg.add_subplot(gs[1, 1])
    plt.title('Схема МакКормака, time = 0.1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_4[moment_1, :])
    fig_ax_3 = fg.add_subplot(gs[2, 0])
    plt.title('Схема МакКормака, time = 0.5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_4[moment_2, :])
    fig_ax_4 = fg.add_subplot(gs[2, 1])
    plt.title('Схема МакКормака, time = 1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_4[moment_3, :])
    fig_ax_5 = fg.add_subplot(gs[3, 0])
    plt.title('Схема МакКормака, time = 5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_4[moment_4, :])
    fig_ax_6 = fg.add_subplot(gs[3, 1])
    plt.title('Схема МакКормака, time = 10')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_4[moment_5-1, :])
```

In [65]:

```
draw_McCormacks_schem(c_1, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

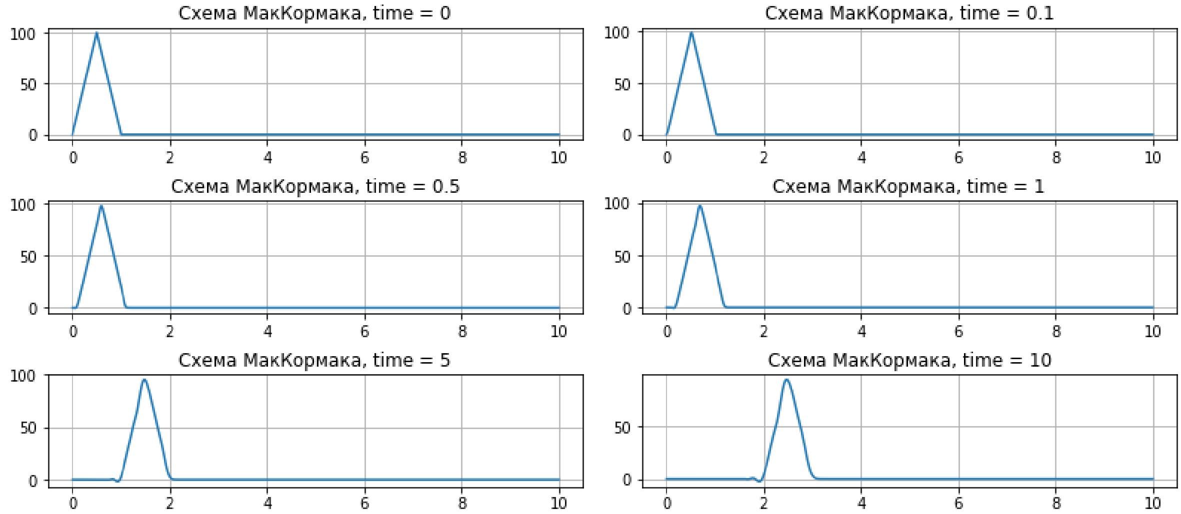
Конвекционное число = 0.1



In [66]:

```
1  draw_McCormacks_schem(c_2, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

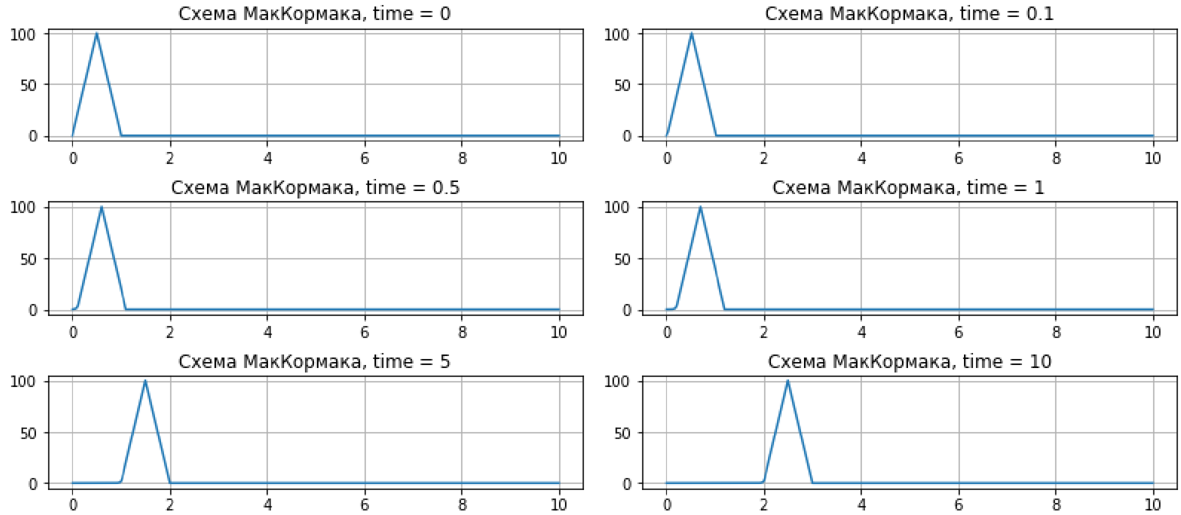
```
Конвекционное число =  0.5
```



In [67]:

```
1  draw_McCormacks_schem(c_3, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

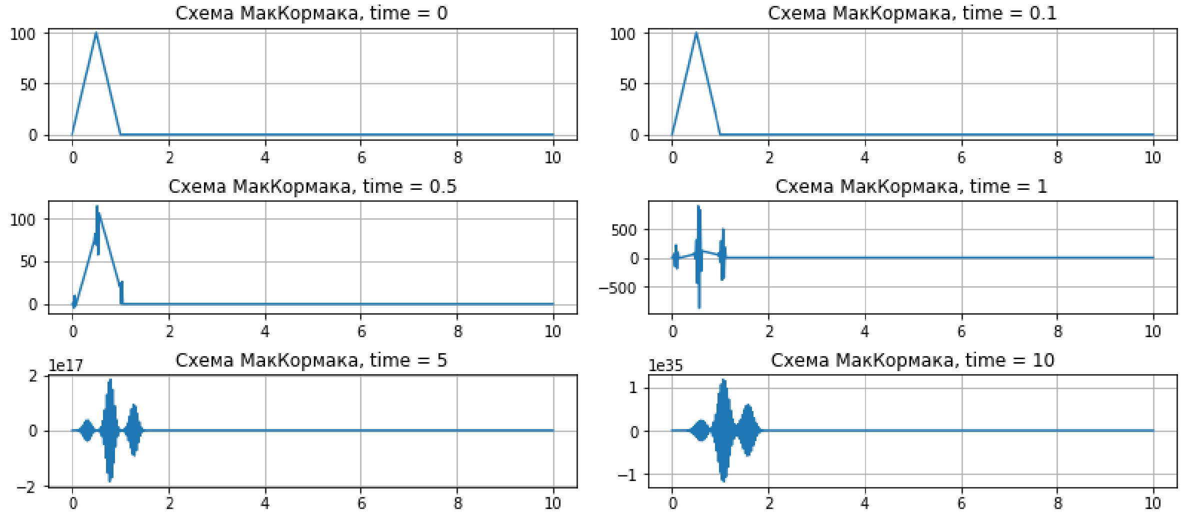
```
Конвекционное число =  1
```



In [68]:

```
draw_McCormacks_schem(c_4, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

Конвекционное число = 1.5



6. Противопотоковый метод первого порядка

$$\frac{U_{i,j+1} - U_{i,j}}{\tau} + u\frac{U_{i,j} - U_{i-1,j}}{h} = 0$$

In [69]:

```
def Counterflow_method_1(N_s, c):
    h = l / N_s
    tau = h * c / u
    N_t = int(time_sum / tau)
    print("Конвекционное число = ", c)
    matrix = np.zeros((N_t + 1, N_s + 1))

    for i in range(1, N_s):
        matrix[0][i] = fun_initial(i * h)

    for j in range(N_t + 1):
        matrix[j][0] = border_left(j * tau)
        matrix[j][N_s] = border_right(j * tau)

    for k in range(N_t):
        for j in range(1, N_s):
            matrix[k + 1][j] = matrix[k][j] - c * (matrix[k][j] - matrix[k][j - 1])
    return matrix
```

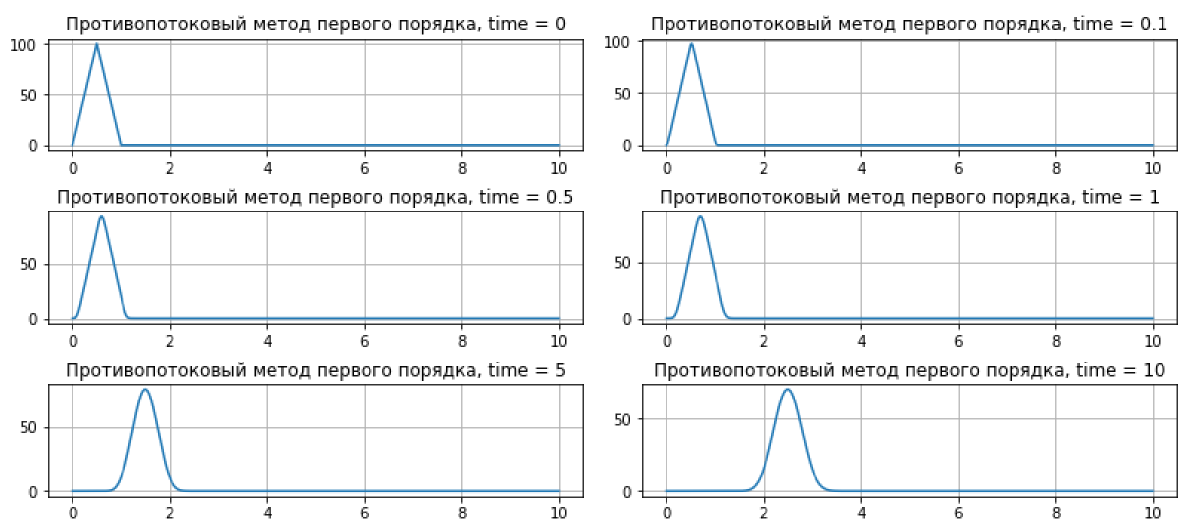
In [70]:

```
def draw_Counterflow_method_1(c, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5):
    matrix_5 = Counterflow_method_1(N_s, c)
    N_t, size_x = np.shape(matrix_5)
    x = np.linspace(0, 1, size_x)
    moment_1 = int((N_t*time_1)/time_sum)
    moment_2 = int((N_t*time_2)/time_sum)
    moment_3 = int((N_t*time_3)/time_sum)
    moment_4 = int((N_t*time_4)/time_sum)
    moment_5 = int((N_t*time_5)/time_sum)
    fg = plt.figure(figsize=(11, 6), constrained_layout=True)
    gs = fg.add_gridspec(4, 2)
    fig_ax_1 = fg.add_subplot(gs[1, 0])
    plt.title('Противопотоковый метод первого порядка, time = 0')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_5[0, :])
    fig_ax_2 = fg.add_subplot(gs[1, 1])
    plt.title('Противопотоковый метод первого порядка, time = 0.1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_5[moment_1, :])
    fig_ax_3 = fg.add_subplot(gs[2, 0])
    plt.title('Противопотоковый метод первого порядка, time = 0.5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_5[moment_2, :])
    fig_ax_4 = fg.add_subplot(gs[2, 1])
    plt.title('Противопотоковый метод первого порядка, time = 1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_5[moment_3, :])
    fig_ax_5 = fg.add_subplot(gs[3, 0])
    plt.title('Противопотоковый метод первого порядка, time = 5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_5[moment_4, :])
    fig_ax_6 = fg.add_subplot(gs[3, 1])
    plt.title('Противопотоковый метод первого порядка, time = 10')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_5[moment_5-1, :])
```

In [71]:

```
draw_Counterflow_method_1(c_1, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

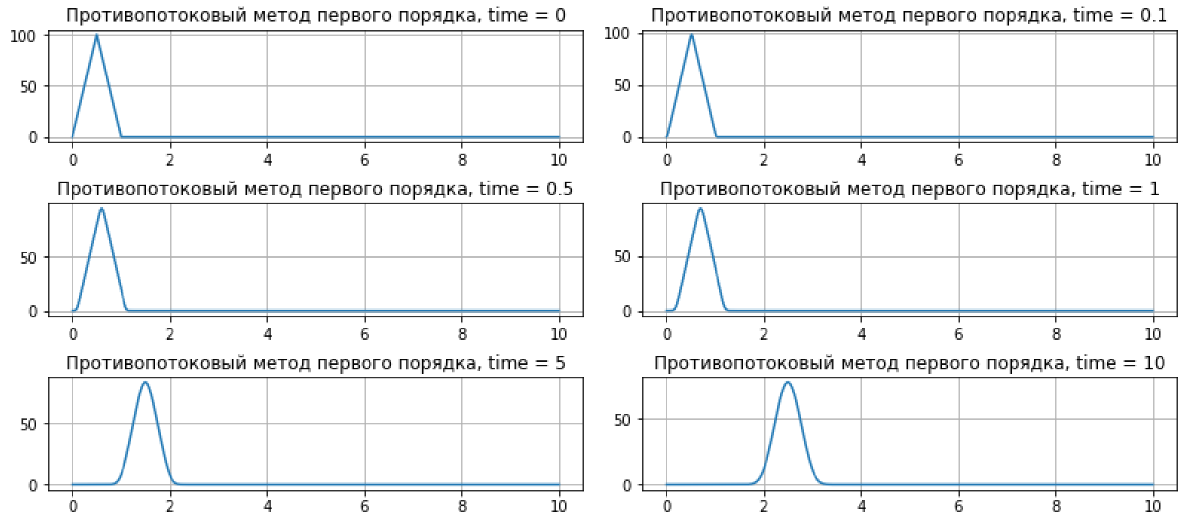
Конвекционное число = 0.1



In [72]:

```
1  draw_Counterflow_method_1(c_2, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

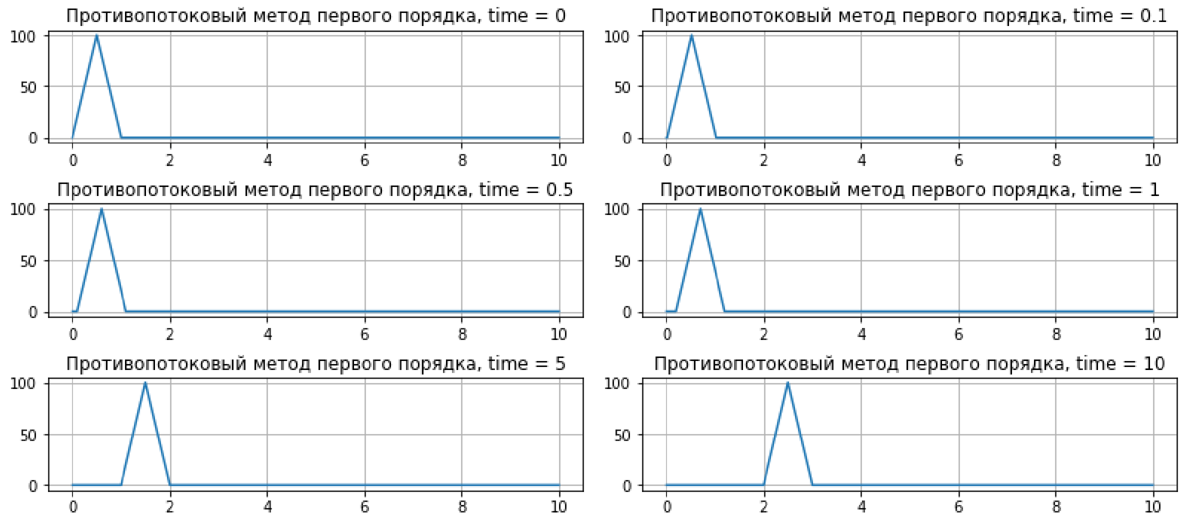
Конвекционное число = 0.5



In [73]:

```
1  draw_Counterflow_method_1(c_3, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

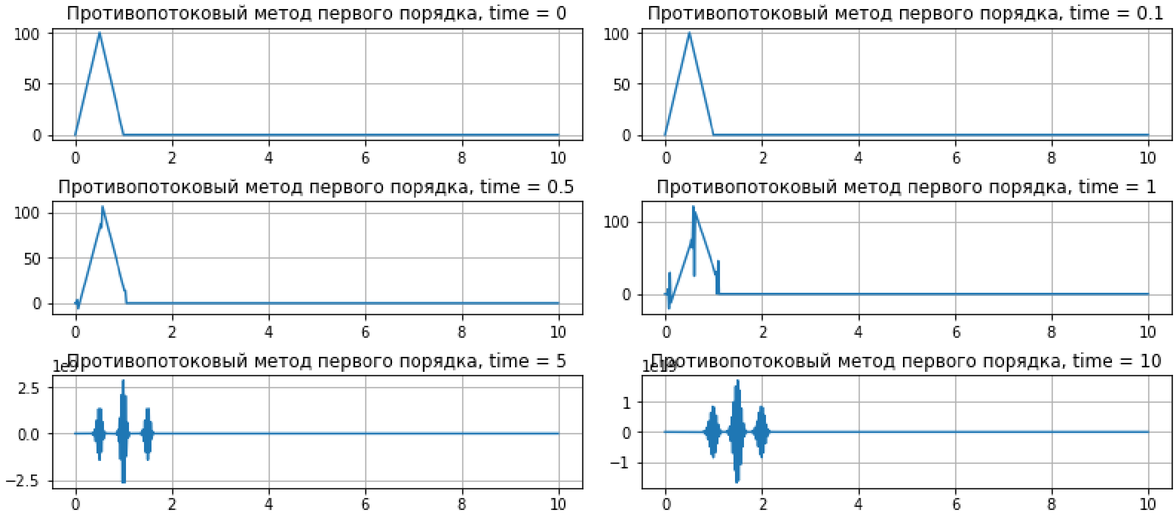
Конвекционное число = 1



In [74]:

```
1  draw_Counterflow_method_1(c_4, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

Конвекционное число = 1.5



7. Противопотоковый метод первого порядка

$$U_{i,j+1} = U_{i,j} - c\left(U_{i,j} - U_{i-1,j}\right) - \frac{c(1-c)}{2}\left(U_{i,j} - 2U_{i-1,j} + U_{i-2,j}\right)$$

In [75]:

```
def Counterflow_method_2(N_s, c):
    h = l / N_s
    tau = h * c / u
    N_t = int(time_sum / tau)
    print("Конвекционное число = ", c)
    matrix = np.zeros((N_t + 1, N_s + 1))

    for i in range(1, N_s):
        matrix[0][i] = fun_initial(i * h)

    for j in range(N_t + 1):
        matrix[j][0] = border_left(j * tau)
        matrix[j][N_s] = border_right(j * tau)

    for i in range(1, N_t + 1):
        matrix[i][1] = matrix[i - 1][1] - c * (matrix[i - 1][1] - matrix[i - 1][0])


    for i in range(N_t):
        for j in range(2, N_s):
            matrix[i+1][j] = (matrix[i][j] - c*(matrix[i][j] - matrix[i][j-1]) -
                              c*(1-c)*(matrix[i][j] - 2 * matrix[i][j-1]
                                       + matrix[i][j-2]) / 2)

    return matrix
```

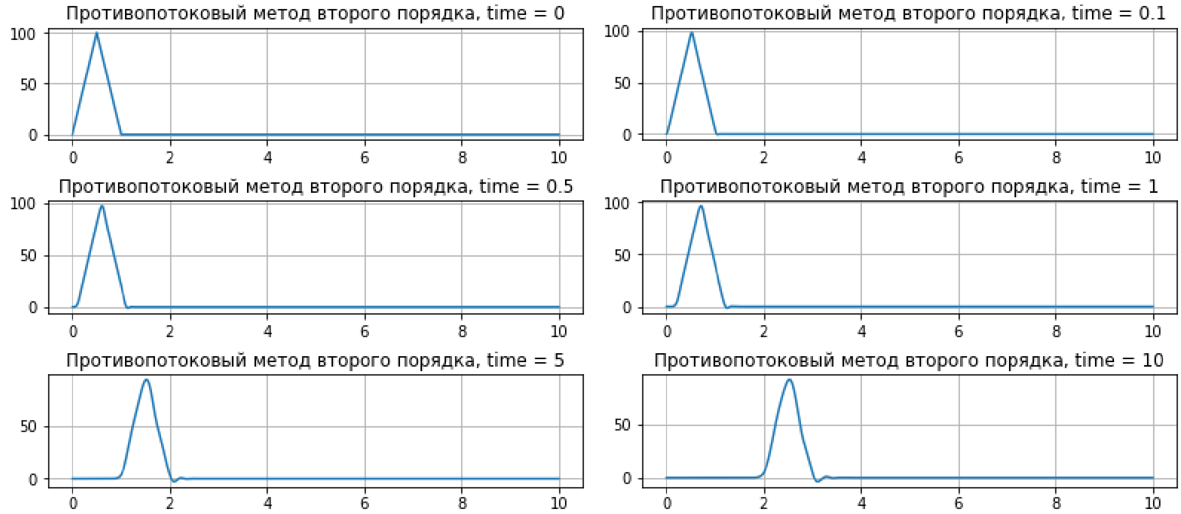
In [76]:

```
def draw_Counterflow_method_2(c, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5):
    matrix_6 = Counterflow_method_2(N_s, c)
    N_t, size_x = np.shape(matrix_6)
    x = np.linspace(0, l, size_x)
    moment_1 = int((N_t*time_1)/time_sum)
    moment_2 = int((N_t*time_2)/time_sum)
    moment_3 = int((N_t*time_3)/time_sum)
    moment_4 = int((N_t*time_4)/time_sum)
    moment_5 = int((N_t*time_5)/time_sum)
    fg = plt.figure(figsize=(11, 6), constrained_layout=True)
    gs = fg.add_gridspec(4, 2)
    fig_ax_1 = fg.add_subplot(gs[1, 0])
    plt.title('Противопотоковый метод второго порядка, time = 0')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_6[0, :])
    fig_ax_2 = fg.add_subplot(gs[1, 1])
    plt.title('Противопотоковый метод второго порядка, time = 0.1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_6[moment_1, :])
    fig_ax_3 = fg.add_subplot(gs[2, 0])
    plt.title('Противопотоковый метод второго порядка, time = 0.5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_6[moment_2, :])
    fig_ax_4 = fg.add_subplot(gs[2, 1])
    plt.title('Противопотоковый метод второго порядка, time = 1')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_6[moment_3, :])
    fig_ax_5 = fg.add_subplot(gs[3, 0])
    plt.title('Противопотоковый метод второго порядка, time = 5')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_6[moment_4, :])
    fig_ax_6 = fg.add_subplot(gs[3, 1])
    plt.title('Противопотоковый метод второго порядка, time = 10')
    plt.grid(True)
    plt.plot(x, matrix_6[moment_5-1, :])
```

In [77]:

```
1  draw_Counterflow_method_2(c_1, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

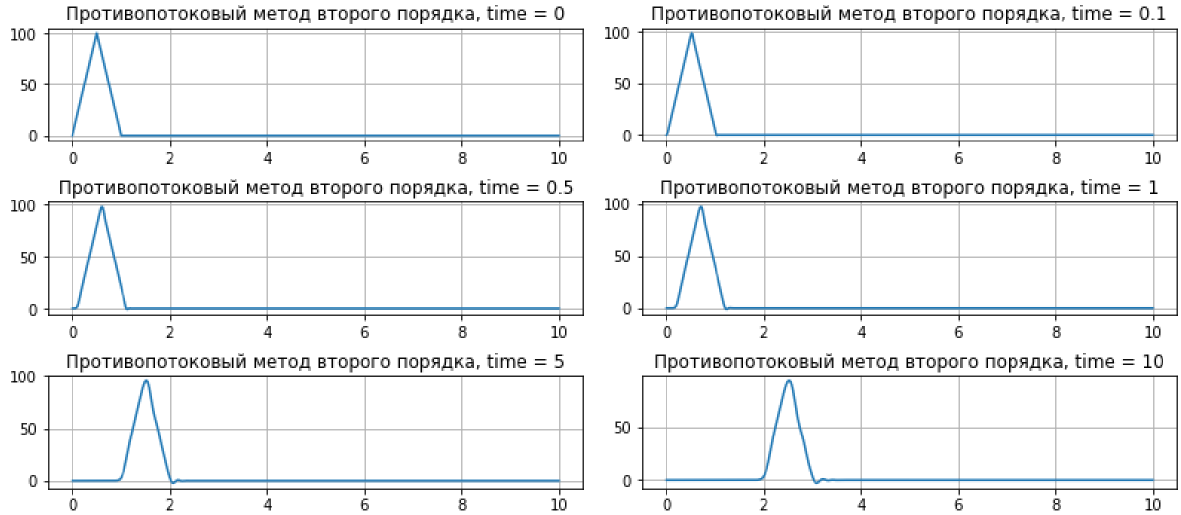
Конвекционное число = 0.1



In [78]:

```
1  draw_Counterflow_method_2(c_2, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

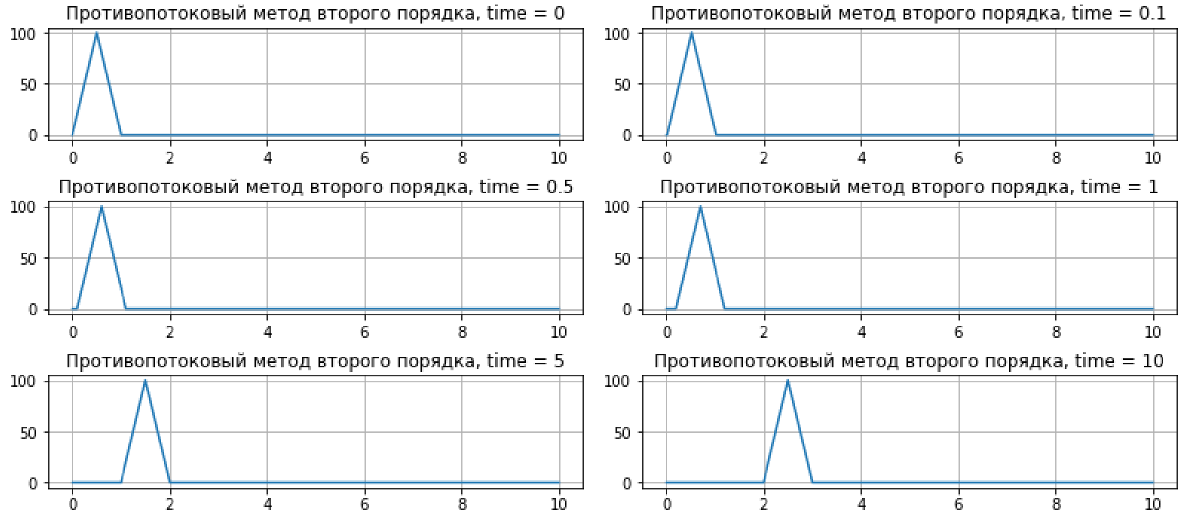
Конвекционное число = 0.5



In [79]:

```
draw_Counterflow_method_2(c_3, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

Конвекционное число = 1



In [80]:

```
draw_Counterflow_method_2(c_4, time_1, time_2, time_3, time_4, time_5)
```

Конвекционное число = 1.5