Константы

```
In[430]:= If[True,
     у... [истина
        Α
                 = - 0.024 (**);
        В
                 = 1.69 (**);
        CC
                 = 0.5 (**);
                = 10^{-5}
                             (* K^{-1} *);
        α
        TΘ
                = 300
                              (* K *);
        Young = 1.75 * 10^{11} (* \Pi a *);
                = 1.1 * 10^8 (* \Pia *);
                = 0.000628571;
        €f
        ι
                = 10
                              (* Длина стержня *);
        Τf
                = 22.2
                                (* Конечный момент времени *);
                             (* Шаг времени *);
                = 0.2
                = 50
                              (* Просто константа *);
        а
                              (* Число узлов сетки *);
                = 100
        n
                             (* Шаг сетки *);
        h
                = 0.1
       ];
In[431]:=
```

Определение всех необходимых функций

```
In[432]:= F[x_{-}] := aSin[\frac{\pi x}{l}]; In[433]:= T1[x_{-}, t_{-}] := T0 + F[x]tSin[t]; In[433]:= T1[x_{-}, t_{-}] := T0 + F[x]Cos[2t]Sin[3t]; In[435]:= eT[T_{-}] := eT[T_{-}]
```

Аналитическое решение (перемещения)

```
In[437]:= uAnalytical =
         First[Flatten[
        [первый | уплостить
             DSolve[{
            решить дифференциальные уравнения
                D[D[u[x, t], \{x, 1\}] - \epsilon T[T1[x, t]], \{x, 1\}] = 0,
               [... | дифференциировать
                u[0, t] = 0,
                u[l, t] = 0
              }, u[x, t], {x, t}]]
       5 t Sin[t] - t x Sin[t] - 5 t Cos\left[\frac{\pi x}{10}\right] Sin[t]
Out[437]=
```

Численное решение (метод конечных разностей)

Проверки для шага и количества точек (можем выставлять и то, и то)

Составляем разностное уравнение

$$\ln[440] := \frac{d^2 u}{dx^2} == f;$$

$$\ln[441] := \frac{u_{i+1} - 2 u_i + u_{i-1}}{h^2} == f$$

$$\cot[441] = 100 (u_9 - 2 u_{10} + u_{11}) == \frac{\pi t Cos \left[\frac{\pi x}{10}\right] Sin[t]}{20000}$$

Создаем массив точек и значений функции f в них, далее решаем СЛАУ: Au = $F(f(x_1), ..., f(x_n))$. В идеале прогонкой

```
ln[442]:= points = Table[i*h, {i, 0, n}];
                   таблица значений
log_{10[443]} = values = \{0\} \sim Join \sim Table[f/. \{x \rightarrow points[i]\}, \{i, 1, n-1\}] \sim Join \sim \{0\};
                         |сое ··· |таблица значений
```

In[445]:= **H** // MatrixForm

_матричная форма

Out[445]//MatrixForm=

atr	xForm=														
	1	0	0	0	0	Θ	0	Θ	Θ	Θ	Θ	0	0	0	0
	100	- 200	100	0	0	Θ	0	0	Θ	Θ	Θ	0	0	0	0
	0	100	-200	100	0	Θ	0	0	0	Θ	0	0	0	0	0
	0	0	100	-200	100	Θ	0	0	0	Θ	0	0	0	0	0
	0	0	0	100	-200	100	0	0	0	Θ	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	100	-200	100	Θ	Θ	Θ	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	100	-200	100	Θ	Θ	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	100	-200	100	Θ	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	100	-200	100	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	0	100	-200	100	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	0	0	100	- 200	100	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	0	Θ	0	100	- 200	100	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	Θ	Θ	0	Θ	100	- 200	100	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	Θ	Θ	0	Θ	Θ	100	- 200	100
	0	0	0	0	Θ	Θ	0	Θ	Θ	0	Θ	Θ	0	100	- 200
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	0	0	0	0	Θ	Θ	0	Θ	Θ	0	Θ	Θ	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	0	Θ	Θ	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	0	Θ	Θ	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	0	Θ	Θ	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	Θ	Θ	0	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	Θ	Θ	0	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	Θ	0	Θ	Θ	0	Θ	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Θ	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	Θ	0	0	Θ	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	Θ	0	0	Θ	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	Θ	0	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ	0	Θ	0	Θ	0	0
0	0	Θ	0	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ	0	Θ	0	Θ	0	0
0	0	0	0	0	Θ	Θ	0	0	0	Θ	0	0	0	0
0	0	0	0	0	Θ	Θ	0	0	0	Θ	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	Θ	Θ	0	0	Θ	0	Θ	0	0
0	0	0	0	0	Θ	Θ	0	0	0	Θ	0	0	0	0
0	0	0	0	0	Θ	Θ	0	0	0	Θ	0	0	0	0
0	0	0	0	0	Θ	Θ	0	0	0	Θ	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	Θ	0	Θ	0	Θ	0	Θ	0	Θ	0	0	0	0
0	0	Θ	0	Θ	0	Θ	0	Θ	0	Θ	0	0	0	0
0	0	Θ	0	Θ	0	Θ	0	Θ	0	Θ	0	0	0	0
0	0	Θ	0	Θ	0	0	0	Θ	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	Θ	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Θ	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	Θ	0	Θ	0	0	0	0	Θ	0	Θ	0	0
0	0	0	0	0	0	0	Θ	0	Θ	Θ	0	Θ	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Θ	0	0	Θ	0
0	0	0	0	0	Θ	0	0	Θ	0	Θ	0	0	Θ	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Θ	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 0	0
0	0 0	0 0	0	0	0 0	0	0	0 0	0	0 0	0	0 0	0	0 0
0	0	0	0	0 0	0	0 0	0 0	0	0 0	0	0 0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	6	0	6	6	6	0	6	0	6	<u>ه</u>	0	0	0

Численно найденные значения перемещений путем решения ДУ

```
In[446]:= uNumerical = LinearSolve[H, values]
                    решить линейные уравнения
```

```
\{0, \dots 99 \dots, 0\}
Out[446]=
           large output
                             show less
                                             show more
                                                               show all
                                                                             set size limit...
```

Нахождение деформаций $\left(\frac{du}{dx}\right)$

```
uNumerical[i+1] - uNumerical[i], {i, 1, n}];
In[447]:= duNumerical = Table
                                                h
                      <u></u> таблица значений
```

Решение на каждом временном слое

```
ln[448] = \sigma = Table[0, \{i, 1, n\}];
           таблица значений
      \sigma fv = Table[\sigma f, \{i, 1, n\}];
             _таблица значений
      \epsilon = Table[0, {i, 1, n}];
            таблица значений
      \epsilon e = Table[0, \{i, 1, n\}];
              _таблица значений
      ecrk = Table[0, {i, 1, n}];
               таблица значений
      T = Table[0, {i, 1, n}];
           таблица значений
```

```
data = {};
For tt = 0, tt <= Tf, tt = tt+\tau,
[цикл ДЛЯ
   temp = {};
   For [i = 1, i < n, ++i, 
Цикл ДЛЯ
     T[[i]] = T1[points[[i]], tt] /. t \rightarrow tt;
     \varepsilon[[i]] = duNumerical[[i]] /. t \rightarrow tt;
     \epsilon e[i] = \epsilon[i] - \epsilon T[T[i]] - \epsilon crk[i] /. t \rightarrow tt;
     If Young * εe[i] < σfv[i],</pre>
     условный оператор
       \sigma[[i]] = Young * \epsilon e[[i]],
       \sigma \text{fv[[i]]} = \sigma f \left( A + B e^{-CC * \frac{\sigma[[i] - \sigma T[T[[i]]]}{\sigma f}} \right);
       \sigma[i] = \sigma fv[i]; ecrk[i] = e[i] - eT[T[i]] - \frac{\sigma[i]}{Young};
     ];
     AppendTo[temp, {tt, T[i], \sigma[i], \varepsilon[i], \varepsilon[i] - \varepsilonT[T[i]], \varepsiloncrk[i]}}
     _добавить в конец к
   AppendTo[data, temp]
   добавить в конец к
  ];
```

Картиночки

-0.006

