

Константы

```
If[True,  
  y... [истина  
    A      = - 0.024 ;  
    B      = 1.69 ;  
    CC     = 0.5 ;  
    α      = 10-5      (* К-1 *) ;  
    T0     = 300      (* К *) ;  
    Young  = 1.75 * 1011 (* Па *) ;  
    σf     = 1.1 * 108 (* Па *) ;  
    εf     = 0.000628571 ;  
    l      = 10      (* Длина стержня *) ;  
    Tf     = 4      (* Конечный момент времени *) ;  
    τ      = 0.005   (* Шаг времени *) ;  
    a      = 50      (* Просто константа *) ;  
    n      = 10      (* Число узлов сетки *) ;  
    h      = 0.1     (* Шаг сетки *) ;  
  ] ;
```

In[76]:=

Определение всех необходимых функций

```
In[77]:= F[x_] := a Sin[ $\frac{\pi x}{l}$ ];  
          [синус]
```

```
In[78]:= T1[x_, t_] := T0 + F[x] t Sin[t];  
          [синус]  
          T2[x_, t_] := T0 + F[x] Cos[ $\pi t^2$ ] (t + 1);  
          [косинус]
```

```
In[80]:= TT = T2;
```

Тепловые деформации

```
In[81]:= εT [T_] := α (T - T0);
```

Полные деформации

```
ε[u_] := D[u, {x, 1}];  
          [дифференцировать]
```

Аналитическое решение (перемещения)

```
In[83]:= uAnalytical =  
  First[Flatten[  
    |первый |уплостить  
    DSolve[{  
      |решить дифференциальные уравнения  
      D[D[u[x, t], {x, 1}] - εT[TT[x, t]], {x, 1}] == 0,  
      |... |дифференцировать  
      u[0, t] == 0,  
      u[l, t] == 0  
    }, u[x, t], {x, t}]]  
  ][[2]] // FullSimplify  
    |упростить в полном объеме
```

$$\text{Out[83]} = -\frac{1}{1000 \pi} (1 + t) \cos[\pi t^2] \left(-5 + x + 5 \cos\left[\frac{\pi x}{10}\right] \right)$$

Численное решение (метод конечных разностей)

```
In[84]:= f = D[εT[TT[x, t]], {x, 1}]  
    |дифференцировать
```

$$\text{Out[84]} = \frac{\pi (1 + t) \cos[\pi t^2] \cos\left[\frac{\pi x}{10}\right]}{20000}$$

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

```
In[85]:= If[NumberQ[n],  
  |y... |число?  
  h =  $\frac{l}{n}$ ,  
  
  If[NumberQ[h], n = IntegerPart[ $\frac{l}{h}$ ]; h =  $\frac{l}{n}$ ]  
  |y... |число? |целая часть  
];
```

Составляем разностное уравнение

$$\text{In[86]} = \frac{d^2 u}{dx^2} == f;$$

$$\text{In[87]} = \frac{u_{i+1} - 2 u_i + u_{i-1}}{h^2} == f;$$

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

```
In[88]:= points = Table[i*h, {i, 0, n}];  
    |таблица значений
```

```
In[89]:= values = {0}~Join~Table[f /. {x → points[[i]]}, {i, 1, n-1}]~Join~{0};  
    |сое... |таблица значений |соединить
```

```
In[90]:= H = Table[
  |таблица значений
  Table[
    |таблица значений
    If[i == j,
      |условный оператор
      If[i == 0 || i == n, 1,  $\frac{-2}{h^2}$ ],
      |условный оператор
      If[(i == j - 1 || i == j + 1) && j != 0 && j != n,  $\frac{1}{h^2}$ , 0]
    ]
  , {i, 0, n}],
  {j, 0, n}
];
```

```
In[91]:= H // MatrixForm
|матричная форма
```

```
Out[91]//MatrixForm=

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

```

Численно найденные значения перемещений путем решения ДУ

```
In[92]:= uNumerical = LinearSolve[H, values];
|решить линейные уравнения
```

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

```
In[93]:= duNumerical = Table[ $\frac{1}{h}$ (uNumerical[[i + 1]] - uNumerical[[i]]), {i, 1, n}];
|таблица значений
```

Решение на каждом временном слое

```

In[94]:= σ = Table[0, {i, 1, n}];
           |таблица значений
σfv = Table[σf, {i, 1, n}];
           |таблица значений
ε = Table[0, {i, 1, n}];
           |таблица значений
εε = Table[0, {i, 1, n}];
           |таблица значений
εcrk = Table[0, {i, 1, n}];
           |таблица значений
T = Table[0, {i, 1, n}];
           |таблица значений

data = {};
For[tt = 0, tt <= Tf, tt = tt + τ,
   |цикл ДЛЯ
   temp = {};
   For[i = 1, i < n, ++i,
      |цикл ДЛЯ
      T[[i]] = TT[points[[i]], tt] /. t → tt;
      ε[[i]] = duNumerical[[i]] /. t → tt;
      εε[[i]] = ε[[i]] - εT[T[[i]]] - εcrk[[i]] /. t → tt;
      If[Young * εε[[i]] < σfv[[i]],
         |условный оператор
         σ[[i]] = Young * εε[[i]],
         σfv[[i]] = σf (A + B e-CC *  $\frac{\epsilon[[i]] - \epsilon T[T[[i]]]}{\epsilon f}$ );

         σ[[i]] = σfv[[i]]; εcrk[[i]] = ε[[i]] - εT[T[[i]]] -  $\frac{\sigma[[i]]}{\text{Young}}$ ;

         εε[[i]] = (First@Flatten@Solve[σf (A + B e-CC *  $\frac{x + \epsilon crk[[i]]}{\epsilon f}$ ) == σfv[[i]], x])[[2]];
           |первый |уплостить |решить уравнения
      ];
      AppendTo[temp, {tt, T[[i]], σ[[i]], ε[[i]], ε[[i]] - εT[T[[i]]], εcrk[[i]]}]
           |добавить в конец к
   ];
   AppendTo[data, temp]
           |добавить в конец к
];

```

Графики

```

tε = ListPlot[Table[{data[[i, 2, 1]], data[[i, 2, 4]]},
    {i, 1, IntegerPart@  $\frac{T_f}{\tau}$ }], Joined → True,
    ImageSize -> Large, AxesLabel -> {"t", "ε"}, AxesStyle -> Black];

tecrk = ListPlot[Table[{data[[i, 2, 1]], data[[i, 2, -1]]},
    {i, 1, IntegerPart@  $\frac{T_f}{\tau}$ }], Joined → True,
    ImageSize -> Large, AxesLabel -> {"t", "εcrk"}, AxesStyle -> Black];

tσ = ListPlot[Table[{data[[i, 2, 1]], data[[i, 2, 3]]},
    {i, 1, IntegerPart@  $\frac{T_f}{\tau}$ }], Joined → True,
    ImageSize -> Large, AxesLabel -> {"t", "σ"}, AxesStyle -> Black];

deσ = ListPlot[Table[{data[[i, 2, 5]], data[[i, 2, 3]]},
    {i, 1, IntegerPart@  $\frac{T_f}{\tau}$ }], Joined → True, ImageSize -> Large,
    AxesLabel -> {"ε - εT", "σ"}, AxesStyle -> Black];

normdeσ = ListPlot[Table[{ $\frac{\text{data}[[i, 2, 4]]}{\epsilon_f}$ ,  $\frac{\text{data}[[i, 2, 3]]}{\sigma_f}$ },
    {i, 1, IntegerPart@  $\frac{T_f}{\tau}$ }], Joined → True,
    ImageSize -> Large, Ticks -> {Table[i, {i, 1, 10}], Automatic},
    AxesLabel -> {" $\frac{\epsilon}{\epsilon_f}$ ", " $\frac{\sigma}{\sigma_f}$ "}, AxesStyle -> Black];

```

```

tT = ListPlot[Table[{data[[i, 2, 1]], data[[i, 2, 2]]},
    [диаграмм... [таблица значений
    {i, 1, IntegerPart@  $\frac{Tf}{\tau}$ }], Joined → True,
    [целая часть [соединё... [истина
    ImageSize -> Large, AxesLabel → {"t", "T"}, AxesStyle → Black];
    [размер изобр... [крупный [обозначения на осях [стиль осей [чёрный

```

Сохраняем графики

```

In[108]:= SetDirectory[NotebookDirectory[]];
    [задать рабочую... [директория файла блокнота
options = StringJoin[ToString@TT~StringJoin~"/", StringJoin["h_",
    [соединить с... [преобразовать ... [соединить строки [соединить строки
    ToString[h] ~StringJoin~"_"], StringJoin["tau_", ToString[τ]]];
    [преобразовать ... [соединить строки [соединить строки [преобразовать в строку
With[
    [используя
    {directory = FileNameJoin[{ParentDirectory@NotebookDirectory[],
        [соединить пути [вышестоящая дирек... [директория файла блокнота
        StringJoin["LaTeX/pic/", options ]}}],
        [соединить строки
    Switch[FileType[directory],
        [перек... [тип файла
        None, CreateDirectory[directory],
        [ни о... [создать директорию
        Directory,
        [директория
        Print["Overriding files in directory: "~StringJoin~directory]
        [печатать [соединить строки
    ];
    Export[FileNameJoin[{directory, "epsilon(t).pdf"}], tε];
    [экспор... [соединить пути
    Export[FileNameJoin[{directory, "epsilon_crk(t).pdf"}], tεcrk];
    [экспор... [соединить пути
    Export[FileNameJoin[{directory, "sigma(t).pdf"}], tσ];
    [экспор... [соединить пути
    Export[FileNameJoin[{directory, "sigma(epsilon).pdf"}], deσ];
    [экспор... [соединить пути
    Export[FileNameJoin[{directory, "norm_sigma(epsilon).pdf"}], normdeσ];
    [экспор... [соединить пути
    Export[FileNameJoin[{directory, "T(t).pdf"}], tT];
    [экспор... [соединить пути
]

```

Overriding files in directory:

```

/Users/arsenytokarev/Desktop/CoruseWorks/ThermalDestruction/LaTeX/pic/
T2/h_1_tau_0.005

```