

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

```

xm = 40 * 10^-3; (*mm*)
(*V = 300; (*mm/sec*) *)
r = 125 * 10^-3;
l1 = 100 * 10^-3;
l2 = 100 * 10^-3;
hcorp = 140 * 10^-3;
dt = 0.1;
M = 1.2;
m =  $\frac{M}{2}$ ;
mn = 0.4;
(*t = V/2xm*)
(*acc = -2.5*t+14.375*)
x = Table[i, {i, xm, -xm, -10 * 10^-3}];
      |таблица значений
Table[(x[[i + 1]] - x[[i]]) / dt, {i, 1, Length[x] - 1}];
      |таблица значений |длина
lenx = Length[x] - 1;
      |длина
t = Table[0 + i * dt, {i, 0, Length[x] - 1}];
      |таблица значений |длина
(*Переопределение новых обобщенных координат  $\alpha$   $\beta$ 
  (от горизонтали) с учетом старых положений  $\theta$   $\gamma$  как известных углов,
  чтобы сохранить реальные положения и походку*)
 $\gamma_1$  = Table[ $\left(\frac{\pi}{2} - \text{ArcCos}\left[\frac{\text{Sqrt}[x^2[[i]] + \text{hcorp}^2]}{2\ l1}\right] + \text{ArcTan}\left[\frac{x[[i]]}{\text{hcorp}}\right]\right)$ , {i, 1, Length[x]}];
      |таблица значений |арккосинус |арктангенс |длина

 $\theta_1$  = Table[ $2\ \text{ArcSin}\left[\frac{\text{Sqrt}[x^2[[i]] + \text{hcorp}^2]}{2\ l1}\right]$ , {i, 1, Length[x]}];
      |таблица значений |арксинус |длина

 $\phi$  = Table[( $\pi - \theta_1[[i]]$ ) / 2, {i, 1, Length[x]}];
      |таблица значений |длина
 $\psi$  = Table[( $\pi - \gamma_1[[i]] - \phi[[i]]$ ), {i, 1, Length[x]}];
      |таблица значений |длина
 $\alpha$  = Table[ $\left(\frac{\pi}{2} - \psi[[i]]\right)$ , {i, 1, Length[x]}];
      |таблица значений |длина
 $\alpha_1$  = Table[ $\left(\frac{\pi}{2} + \alpha[[i]] + \phi[[i]]\right)$ , {i, 1, Length[x]}];
      |таблица значений |длина
 $\beta_1$  =  $\gamma_1$ ;

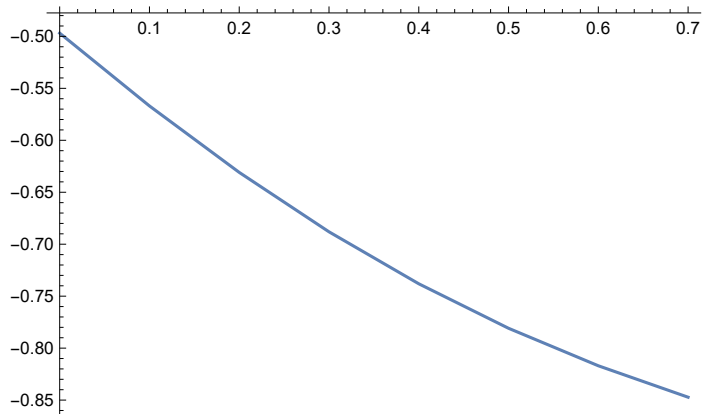
```

```

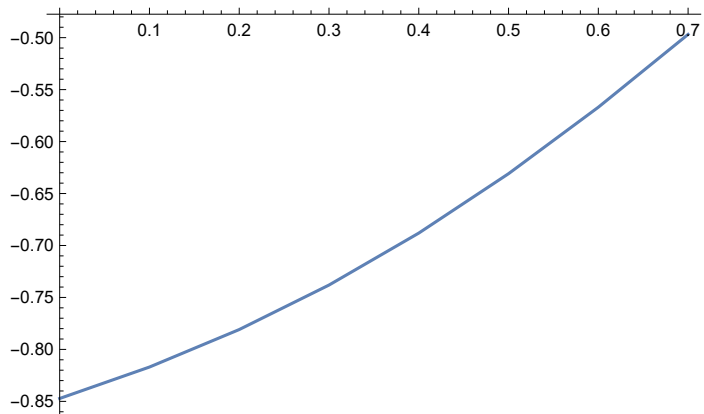
In[22]:= dα1 = Table[(α1[[i + 1]] - α1[[i]]) / dt, {i, 1, Length[α1] - 1}];
           |таблица значений |длина
ListLinePlot[Transpose[{t[[1 ;; lenx]], dα1}]]
           |линейный гра... |транспозиция
dβ1 = Table[(β1[[i + 1]] - β1[[i]]) / dt, {i, 1, Length[β1] - 1}];
           |таблица значений |длина
ListLinePlot[Transpose[{t[[1 ;; lenx]], dβ1}]]
           |линейный гра... |транспозиция

```

Out[23]=



Out[25]=

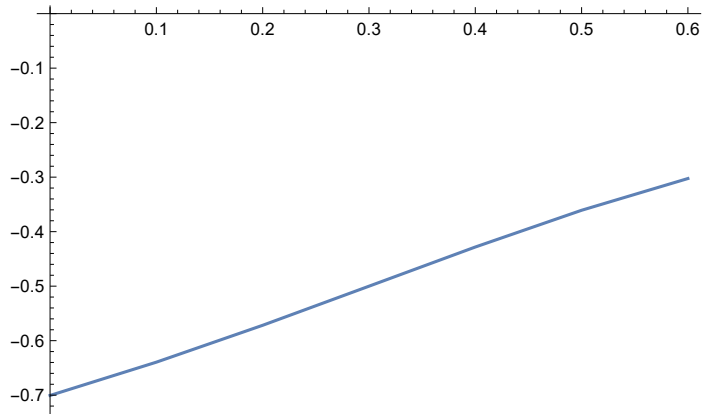


```

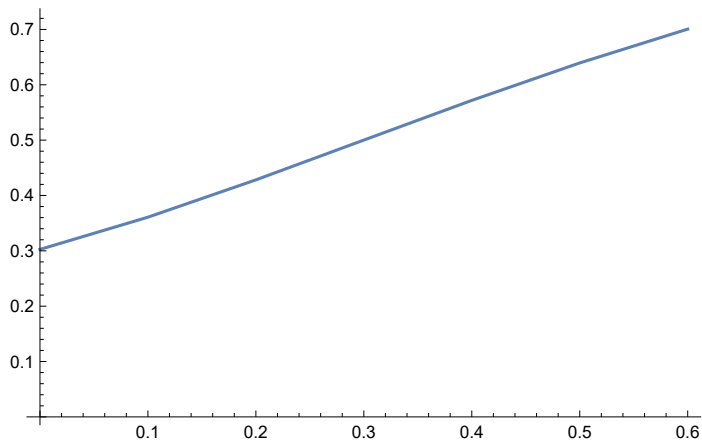
In[26]:= dda1 = Table[ (dα1[[i + 1]] - dα1[[i]]) / dt, {i, 1, Length[α1] - 2}];
           |таблица значений |длина
ddβ1 = Table[ (dβ1[[i + 1]] - dβ1[[i]]) / dt, {i, 1, Length[β1] - 2}];
           |таблица значений |длина
ListLinePlot[Transpose[{t[[1 ;; lenx - 1]], dda1}]]
|линейный гра... |транспозиция
ListLinePlot[Transpose[{t[[1 ;; lenx - 1]], ddβ1}]]
|линейный гра... |транспозиция

```

Out[28]=



Out[29]=



```

In[*]:= (*Vnum=Table[-l1*dα1[[i]]*Sin[α1[[i]]]-l2*dβ1[[i]]*Sin[β1[[i]]],{i,1,Length[dα1]}];*)
           |таблица значений |синус |синус |длина
(*ListLinePlot[Transpose[{t[[1;;lenx]],Vnum}],ImageSize→Large]*)
           |линейный гра... |транспозиция |размер из... |крупный
In[*]:= (*Динамика*)

```

```

In[30]:=  $\mu = 0.27$ ; (*Коэффициент трения*)
Vcx = -11 * ( $\alpha'[\tau]$ ) * Sin[ $\alpha[\tau]$ ] - 12 *  $\beta'[\tau]$  * Sin[ $\beta[\tau]$ ];
      |синус      |синус
Vcy = 11 * ( $\alpha'[\tau]$ ) * Cos[ $\alpha[\tau]$ ] + 12 *  $\beta'[\tau]$  * Cos[ $\beta[\tau]$ ];
      |косинус    |косинус
Vc = Sqrt[Vcx2 + Vcy2];
      |квадратный корень
(*Скорость точки на корпусе (совпадает с креплением двигателя)*)
Vax = -11 * ( $\alpha'[\tau]$ ) * Sin[ $\alpha[\tau]$ ];
      |синус
Vay = 11 * ( $\alpha'[\tau]$ ) * Cos[ $\alpha[\tau]$ ];
      |косинус
Va = Sqrt[Vax2 + Vay2];
      |квадратный корень
(*Скорость точки на голени(совпадает с креплением двигателя)*)
T =  $\frac{1}{2} * (m + mn) * Vc^2 + \frac{1}{2} * mn * Va^2$ ;
П =  $m * 9.86 * (11 * \text{Sin}[\pi - \alpha[\tau]] + 12 * \text{Sin}[\gamma[\tau]])$ ;
      |синус      |синус
L = T - П;
(* $\theta$ *)
Rd $\alpha$  = D[L,  $\alpha[\tau]$ ];
      |дифференцировать
Ld $\alpha$  = D[L,  $\alpha'[\tau]$ ];
      |дифференцировать
FLd $\alpha$  = D[Ld $\alpha$ ,  $\tau$ ];
      |дифференцировать
(* $\gamma$ *)
Rd $\beta$  = D[L,  $\beta[\tau]$ ];
      |дифференцировать
Ld $\beta$  = D[L,  $\beta'[\tau]$ ];
      |дифференцировать
FLd $\beta$  = D[Ld $\beta$ ,  $\tau$ ];
      |дифференцировать
eq1 = FLd $\alpha$  - Rd $\alpha$  == (M1 -  $\alpha'[\tau] * \mu$ );
eq2 = FLd $\beta$  - Rd $\beta$  == (M2 -  $\beta'[\tau] * \mu$ ) - (M1 -  $\alpha'[\tau] * \mu$ );

```

```

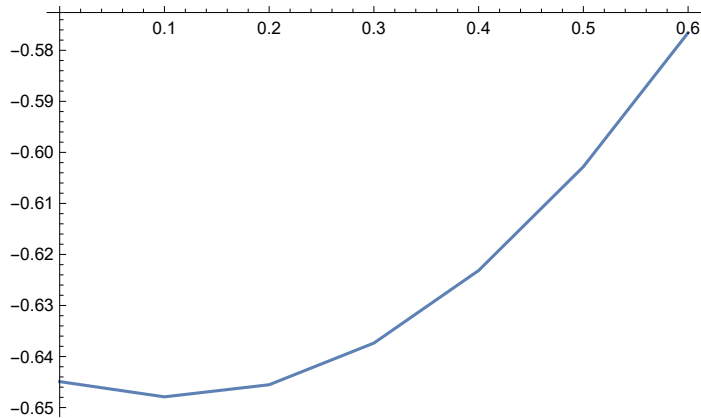
In[48]:= sol = Table[Flatten[Solve[{
  табл... | упростить | решить уравнения
  eq1 /. {α[τ] → α1[[i]], β[τ] → β1[[i]], α'[τ] → dα1[[i]],
    β'[τ] → dβ1[[i]], α''[τ] → ddα1[[i]], β''[τ] → ddβ1[[i]]},
  eq2 /. {α[τ] → α1[[i]], β[τ] → β1[[i]], α'[τ] → dα1[[i]], β'[τ] → dβ1[[i]],
    α''[τ] → ddα1[[i]], β''[τ] → ddβ1[[i]]}}, {M1, M2}], 1], {i, 1, Length[α1] - 2}];
  длина

ListLinePlot[Transpose[{t[[1 ;; Length[α1] - 2]], M1 /. sol}]]
  линейный гра... | транспозиция | длина

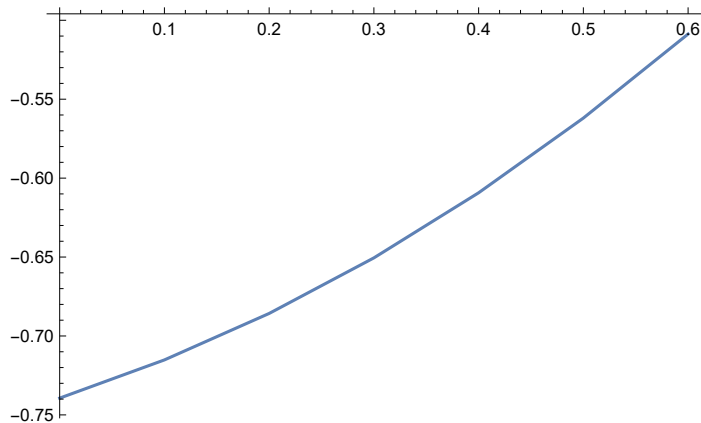
ListLinePlot[Transpose[{t[[1 ;; Length[α1] - 2]], M2 /. sol}]]
  линейный гра... | транспозиция | длина

```

Out[49]=



Out[50]=



(\*Для Manipulate на скорую руку все в функцию\*)

```

  варьировать
MyFunc[xi_, dx_] := {
  x = Table[i, {i, xi * 10^-3, -xi * 10^-3, -dx * 10^-3}];
  таблица значений
  Table[(x[[i + 1]] - x[[i]]) / dt, {i, 1, Length[x] - 1}];
  таблица значений | длина
  lenx = Length[x] - 1;
  длина
  t = Table[0 + i * dt, {i, 0, Length[x] - 1}];
  таблица значений | длина
  γ1 = Table[
    (π/2 - ArcCos[Sqrt[x^2[[i]] + hcorp^2] / (2 * 11)] + ArcTan[x[[i]] / hcorp]),
    {i, 1, Length[x]};
  таблица значений | арккосинус | арктангенс | длина

```

```


$$\theta_1 = \text{Table}\left[\frac{2 \arcsin\left[\frac{\sqrt{x^2[i] + h_{\text{corp}}^2}}{2 \cdot 11}\right]}{1}, \{i, 1, \text{Length}[x]\}\right];$$


$$\phi = \text{Table}\left[\frac{(\pi - \theta_1[i])}{2}, \{i, 1, \text{Length}[x]\}\right];$$


$$\psi = \text{Table}\left[(\pi - \gamma_1[i] - \phi[i]), \{i, 1, \text{Length}[x]\}\right];$$


$$\alpha = \text{Table}\left[\left(\frac{\pi}{2} - \psi[i]\right), \{i, 1, \text{Length}[x]\}\right];$$


$$\alpha_1 = \text{Table}\left[\left(\frac{\pi}{2} + \alpha[i] + \phi[i]\right), \{i, 1, \text{Length}[x]\}\right];$$


$$\beta_1 = \gamma_1;$$


$$d\alpha_1 = \text{Table}\left[\frac{(\alpha_1[i+1] - \alpha_1[i])}{dt}, \{i, 1, \text{Length}[\alpha_1] - 1\}\right];$$


$$d\beta_1 = \text{Table}\left[\frac{(\beta_1[i+1] - \beta_1[i])}{dt}, \{i, 1, \text{Length}[\beta_1] - 1\}\right];$$


$$dd\alpha_1 = \text{Table}\left[\frac{(d\alpha_1[i+1] - d\alpha_1[i])}{dt}, \{i, 1, \text{Length}[\alpha_1] - 2\}\right];$$


$$dd\beta_1 = \text{Table}\left[\frac{(d\beta_1[i+1] - d\beta_1[i])}{dt}, \{i, 1, \text{Length}[\beta_1] - 2\}\right];$$


$$\mu = 0.27;$$


$$V_{cx} = -11 * (\alpha'[\tau]) * \sin[\alpha[\tau]] - 12 * \beta'[\tau] * \sin[\beta[\tau]];$$


$$V_{cy} = 11 * (\alpha'[\tau]) * \cos[\alpha[\tau]] + 12 * \beta'[\tau] * \cos[\beta[\tau]];$$


$$V_c = \sqrt{V_{cx}^2 + V_{cy}^2};$$


$$V_{ax} = -11 * (\alpha'[\tau]) * \sin[\alpha[\tau]];$$


$$V_{ay} = 11 * (\alpha'[\tau]) * \cos[\alpha[\tau]];$$


$$V_a = \sqrt{V_{ax}^2 + V_{ay}^2};$$


$$M_p = m * 9.86 * 0.105;$$


$$T = \frac{1}{2} * (m + mn) * V_c^2 + \frac{1}{2} * mn * V_a^2;$$


$$\Pi = m * 9.86 * (11 * \sin[\pi - \alpha[\tau]] + 12 * \sin[\gamma[\tau]]);$$


$$L = T - \Pi;$$


$$(\ast \theta \ast)$$


$$Rd\alpha = D[L, \alpha[\tau]];$$


$$Ld\alpha = D[L, \alpha'[\tau]];$$


$$FLd\alpha = D[Ld\alpha, \tau];$$


$$(\ast \gamma \ast)$$


$$Rd\beta = D[L, \beta[\tau]];$$


$$Ld\beta = D[L, \beta'[\tau]];$$


```

```


$$FLd\beta = D[Ld\beta, \tau];$$


$$eq1 = FLd\alpha - Rd\alpha == (M1 - \alpha'[\tau] * \mu);$$


$$eq2 = FLd\beta - Rd\beta == (M2 - \beta'[\tau] * \mu) - (M1 - \alpha'[\tau] * \mu);$$

sol = Table[Flatten[Solve[{
    eq1 /. { $\alpha[\tau] \rightarrow \alpha1[i]$ ,  $\beta[\tau] \rightarrow \beta1[i]$ ,  $\alpha'[\tau] \rightarrow d\alpha1[i]$ ,
     $\beta'[\tau] \rightarrow d\beta1[i]$ ,  $\alpha''[\tau] \rightarrow dd\alpha1[i]$ ,  $\beta''[\tau] \rightarrow dd\beta1[i]$ },
    eq2 /. { $\alpha[\tau] \rightarrow \alpha1[i]$ ,  $\beta[\tau] \rightarrow \beta1[i]$ ,  $\alpha'[\tau] \rightarrow d\alpha1[i]$ ,  $\beta'[\tau] \rightarrow d\beta1[i]$ ,
     $\alpha''[\tau] \rightarrow dd\alpha1[i]$ ,  $\beta''[\tau] \rightarrow dd\beta1[i]$ }}, {M1, M2}], 1], {i, 1, Length[ $\alpha1$ ] - 2}];

gr1 = ListLinePlot[Transpose[{t[[1 ;; Length[ $\alpha1$ ] - 2]], M1 /. sol}],
    PlotStyle -> {Thick, Black}, PlotLegends -> {"Момент двигателей в бедре"},
    LabelStyle -> {18, Black, FontFamily -> "Times"}, AxesLabel -> {"t, с", "Mi, Н м"}];

gr2 = ListLinePlot[Transpose[{t[[1 ;; Length[ $\alpha1$ ] - 2]], M2 /. sol}],
    PlotStyle -> {Thick, Orange}, PlotLegends -> {"Момент двигателей в колене"},
    LabelStyle -> {18, Black, FontFamily -> "Times"}, AxesLabel -> {"t, с", "Mi, Н м"}];

gr3 = ListLinePlot[Table[{t[[i]], 1}, {i, 1, Length[ $\alpha1$ ] - 2}],
    PlotStyle -> {Dashed, Thick, Black}, PlotLegends -> {"Предельный момент двигателей"},
    LabelStyle -> {18, Black, FontFamily -> "Times"}, AxesLabel -> {"t, с", "Mi, Н м"}];

gr4 = ListLinePlot[Table[{t[[i]], -1}, {i, 1, Length[ $\alpha1$ ] - 2}],
    PlotStyle -> {Dashed, Thick, Black}, PlotLegends -> {"Предельный момент двигателей"},
    LabelStyle -> {18, Black, FontFamily -> "Times"}, AxesLabel -> {"t, с", "Mi, Н м"}];

Show[gr4, gr2, gr1, PlotRange -> {{0, Automatic}, {-1, 0}}]

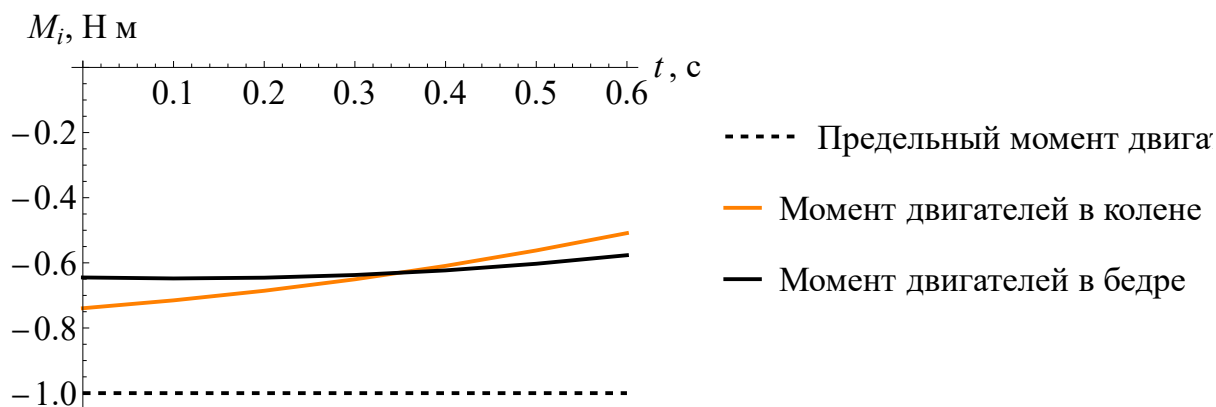
```

In[\*]:=

In[\*]:= (\*Первое значение – ширина шага,  
второе dx точность вычисления. Меньше точность → больше скорость,  
так как меньше углов и положений для серводвигателя за цикл шага.\*)

In[58]:= MyFunc[40, 10][[1]]

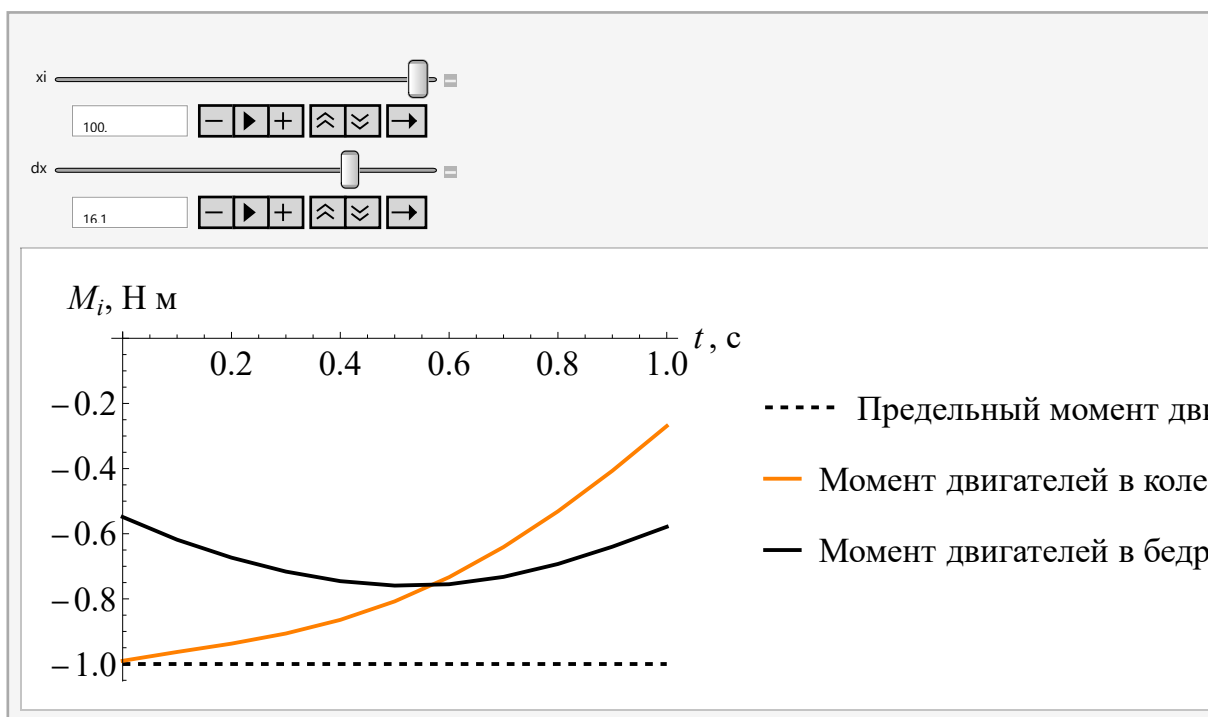
Out[58]=



Manipulate[MyFunc[xi, dx][[1]], {xi, 1, 100}, {dx, 0.1, 20, 1}]

[варьировать](#)

Out[59]=





In[60]:= MyFunc [100, 16.1] [[1]]

Out[60]=

