

Дано:

$$\underline{\underline{G}} := 100 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad P_6 := 10^5 \text{ Па}$$

$$\alpha_1 := 40^\circ \quad k := 1.4$$

$$\alpha_2 := 12^\circ$$

$$P^*1 := 11.1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$T^*1 := 900 \text{ К}$$

$$\underline{\underline{R}} := 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

**Гидродинамические функции:**

$$\tau(\lambda) := 1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda^2 \quad \Pi(\lambda) := \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda^2\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \underline{\underline{\varepsilon}}(\lambda) := \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

$$q(\lambda) := \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \lambda \cdot \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot \lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

В сечении 3:  $\lambda_3 := 1$

Начальное приближение:  $S_3 := 1$

Given

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P^*1}{\sqrt{T^*1}} \cdot q(\lambda_3) \cdot S_3$$

$\underline{\underline{S3}} := \text{Find}(S_3) = 0.0669$  -находим из уравнения выше  $S_3$

$$d_3 := \sqrt{4 \cdot \frac{S_3}{\pi}} = 0.29185 \text{ м}$$

$$d_{\text{кр}} := d_3 = 0.29185 \text{ м} \quad \text{критический диаметр}$$

$$L_{\text{dz}} := d_{\text{кр}} = 0.29185 \text{ м} \quad \text{длина дозвуковой части сопла}$$

$$d_1 := d_3 + 2L_{\text{dz}} \cdot \tan\left(\frac{\alpha_1}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) = 0.5043 \text{ м} \quad \text{диаметр первого сечения}$$

\* $\pi/180$  для перевода из градусов в радианы

сверхзвук:  
для сечения №6:

Начальное приближение:  $\lambda_6 := 1$

Given

$$\frac{P_6}{P^*1} = \left[ 1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot (\lambda_6)^2 \right]^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\lambda_6 := \text{Find}(\lambda_6) = 1.72731$$

По полученной  $\lambda_6$  рассчитали:

$\tau$  и  $q$

$$\tau(\lambda_6) = 0.50273$$

$$q(\lambda_6) = 0.48828$$

из уравнения расхода определим  
площадь сечения(из которой  
определим диаметр)

Начальное приближение:  $S_6 := 1$

Given

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P^*1}{\sqrt{T^*1}} \cdot q(\lambda_6) \cdot S_6$$

$$S_6 := \text{Find}(S_6) = 0.1370 \text{ м}^2$$

$$d_6 := \sqrt{4 \cdot \frac{S_6}{\pi}} = 0.41767 \text{ м}$$

$$L_{szv} := \frac{d_6 - d_3}{2 \tan\left(\frac{\alpha_2}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = 0.59853 \text{ м} \quad \text{Длина сверхзвуковой части сопла}$$

$$a_{kp} := \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot R \cdot T^*1} = 548.95355 \quad \text{скорость звука в критическом сечении}$$

$$\lambda_1 := 1$$

Найдем необходимые данные во всех сечениях:

Given

$$\lambda_1 < 1$$

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P^*1}{\sqrt{T^*1}} \cdot q(\lambda_1) \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$$

$$\lambda_1 := \text{Find}(\lambda_1) = 0.21652$$

**сечение 1:**

$$T_1 := T^*1 = 900 \text{ К}$$

$$P_1 := P^*1 = 1.11 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$a_1 := \sqrt{k \cdot R \cdot T_1} = 601.34848 \text{ м/с}$$

$$\lambda_1 = 0.21652$$

$$v_1 := \lambda_1 \cdot a_{kp} = 118.8619 \text{ м/с}$$

$$M_1 := \frac{v_1}{a_1} = 0.19766$$

### для сечения 2:

$$d2 := \frac{d1 + d3}{2} = 0.39808 \text{ м} \quad S2 := \frac{\pi \cdot d2^2}{4} = 0.1244 \text{ м}^2$$

Начальное приближение:  $\lambda2 := 1$

Given

$$\lambda2 < 1 \quad (<1 \text{ Так как поток дозвуковой})$$

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P^*1}{\sqrt{T^*1}} \cdot q(\lambda2) \cdot S2$$

$$\lambda2 := \text{Find}(\lambda2) = 0.35985$$

$$T2 := T^*1 \cdot \tau(\lambda2) = 880.5757 \text{ К}$$

$$P2 := P^*1 \cdot \Pi(\lambda2) = 1.02839 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$v2 := \lambda2 \cdot a_{\text{кр}} = 197.54323 \text{ м/с}$$

$$a2 := \sqrt{k \cdot R \cdot T2} = 594.82378 \text{ м/с}$$

$$\lambda2 = 0.35985$$

$$M2 := \frac{v2}{a2} = 0.3321$$

### Сечение 3:

$$P3 := P^*1 \cdot \Pi(\lambda3) = 5.86393 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$T3 := T^*1 \cdot \tau(\lambda3) = 750 \text{ К}$$

$$v3 := \lambda3 \cdot a_{\text{кр}} = 548.95355 \text{ м/с}$$

$$a3 := \sqrt{k \cdot R \cdot T3} = 548.95355 \text{ м/с}$$

$$\lambda3 = 1$$

$$M3 := \frac{v3}{a3} = 1$$

#### Сечение 4:

$$d4 := 2 \tan\left(\frac{\alpha 2}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{L_{SZV}}{3} + d3 = 0.33379 \text{ м} \quad S4 := \frac{\pi \cdot d4^2}{4} = 0.0875 \text{ м}^2$$

Начальное приближение:  $\lambda 4 := 1$

Given

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P*1}{\sqrt{T*1}} \cdot q(\lambda 4) \cdot S4$$

$$\lambda 4 := \text{Find}(\lambda 4) = 1.46453$$

$$T4 := T*1 \cdot \tau(\lambda 4) = 578.273 \text{ К}$$

$$P4 := P*1 \cdot \Pi(\lambda 4) = 2.36015 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$v4 := \lambda 4 \cdot a_{kp} = 803.95814 \text{ м/с}$$

$$a4 := \sqrt{k \cdot R \cdot T4} = 482.02724 \text{ м/с}$$

$$\lambda 4 = 1.46453$$

$$M4 := \frac{v4}{a4} = 1.66787$$

#### Сечение 5:

$$d5 := 2 \tan\left(\frac{\alpha 2}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{L_{SZV} \cdot 2}{3} + d3 = 0.37572 \text{ м} \quad S5 := \frac{\pi \cdot d5^2}{4} = 0.1108 \text{ м}^2$$

$\lambda 5 := 1$  начальное приближение

Given

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P*1}{\sqrt{T*1}} \cdot q(\lambda 5) \cdot S5$$

$$\lambda 5 := \text{Find}(\lambda 5) = 1.62308$$

$$T5 := T*1 \cdot \tau(\lambda 5) = 504.8427 \text{ К} \quad P5 := P*1 \cdot \Pi(\lambda 5) = 1.46731 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$v5 := \lambda 5 \cdot a_{kp} = 890.9943 \text{ м/с} \quad a5 := \sqrt{k \cdot R \cdot T5} = 450.38409 \text{ м/с}$$

$$\lambda 5 = 1.62308 \quad M5 := \frac{v5}{a5} = 1.9783$$

## Сечение 6:

$$P6 := P \cdot 1 \cdot \Pi(\lambda6) = 1 \times 10^5 \quad \text{Па}$$

$$T6 := T \cdot 1 \cdot \tau(\lambda6) = 452.45855 \quad \text{К}$$

$$v6 := \lambda6 \cdot a_{kp} = 948.21452 \quad \text{м/с}$$

$$a6 := \sqrt{k \cdot R \cdot T6} = 426.37759 \quad \text{м/с}$$

$$\lambda6 = 1.72731$$

$$M6 := \frac{v6}{a6} = 2.22388$$

Составим матрицы полученных значений

$$P_{-} := \begin{pmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \\ P6 \end{pmatrix} \quad T_{-} := \begin{pmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \\ T4 \\ T5 \\ T6 \end{pmatrix} \quad v_{-} := \begin{pmatrix} v1 \\ v2 \\ v3 \\ v4 \\ v5 \\ v6 \end{pmatrix} \quad a_{-} := \begin{pmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \\ a4 \\ a5 \\ a6 \end{pmatrix} \quad \lambda_{-} := \begin{pmatrix} \lambda1 \\ \lambda2 \\ \lambda3 \\ \lambda4 \\ \lambda5 \\ \lambda6 \end{pmatrix} \quad M_{-} := \begin{pmatrix} M1 \\ M2 \\ M3 \\ M4 \\ M5 \\ M6 \end{pmatrix}$$

$$L_{-} := \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{L_{dz}}{2} \\ L_{dz} \\ L_{dz} + \frac{L_{szv}}{3} \\ L_{dz} + \frac{L_{szv} \cdot 2}{3} \\ L_{dz} + L_{szv} \end{pmatrix}$$

Расстояния от начала до сечений

результаты измерений занесем в матрицу

$$\text{result} := \begin{pmatrix} P1 & T1 & v1 & a1 & \lambda1 & M1 \\ P2 & T2 & v2 & a2 & \lambda2 & M2 \\ P3 & T3 & v3 & a3 & \lambda3 & M3 \\ P4 & T4 & v4 & a4 & \lambda4 & M4 \\ P5 & T5 & v5 & a5 & \lambda5 & M5 \\ P6 & T6 & v6 & a6 & \lambda6 & M6 \end{pmatrix}$$

изменения x: от 0 до  $L_{dz} + L_{szv}$

$$x := 0, 0.01 \dots L_{dz} + L_{szv}$$

Проинтерполируем :

$$P(x) := \text{interp}(\text{lspline}(L, P_{-}), L, P_{-}, x)$$

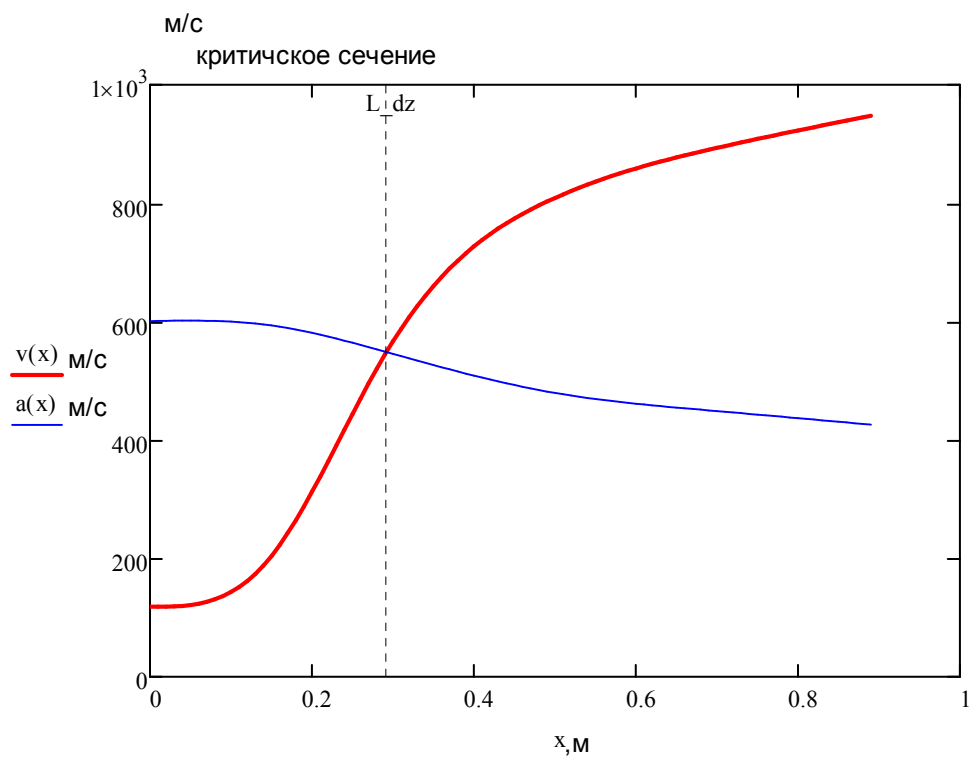
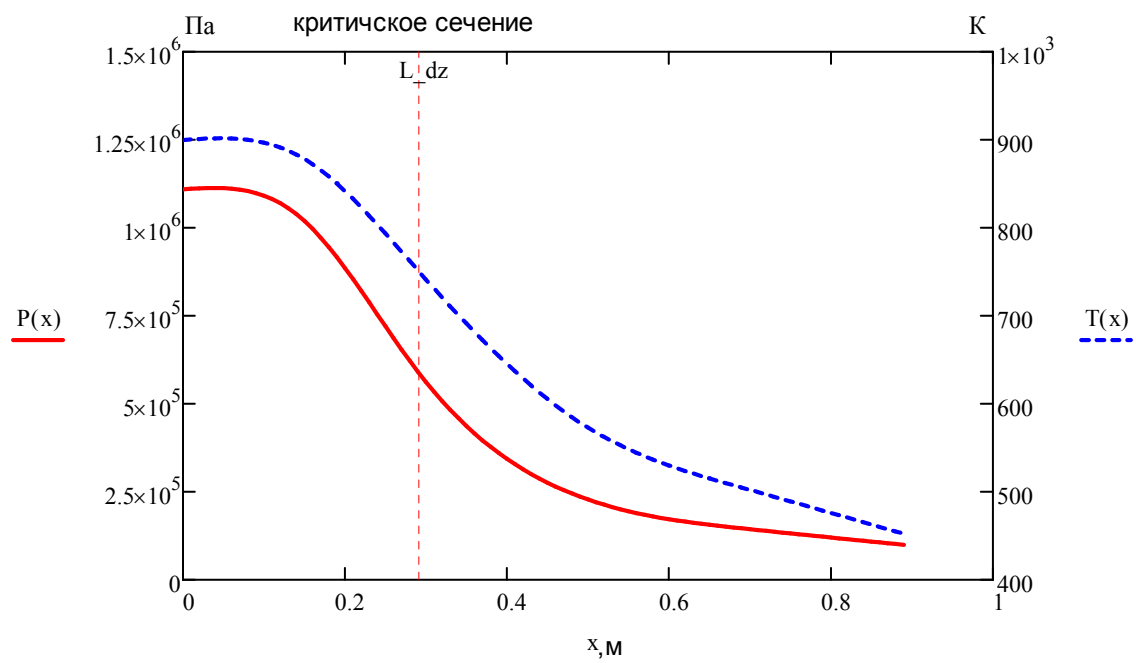
$$T(x) := \text{interp}(\text{lspline}(L, T_{-}), L, T_{-}, x)$$

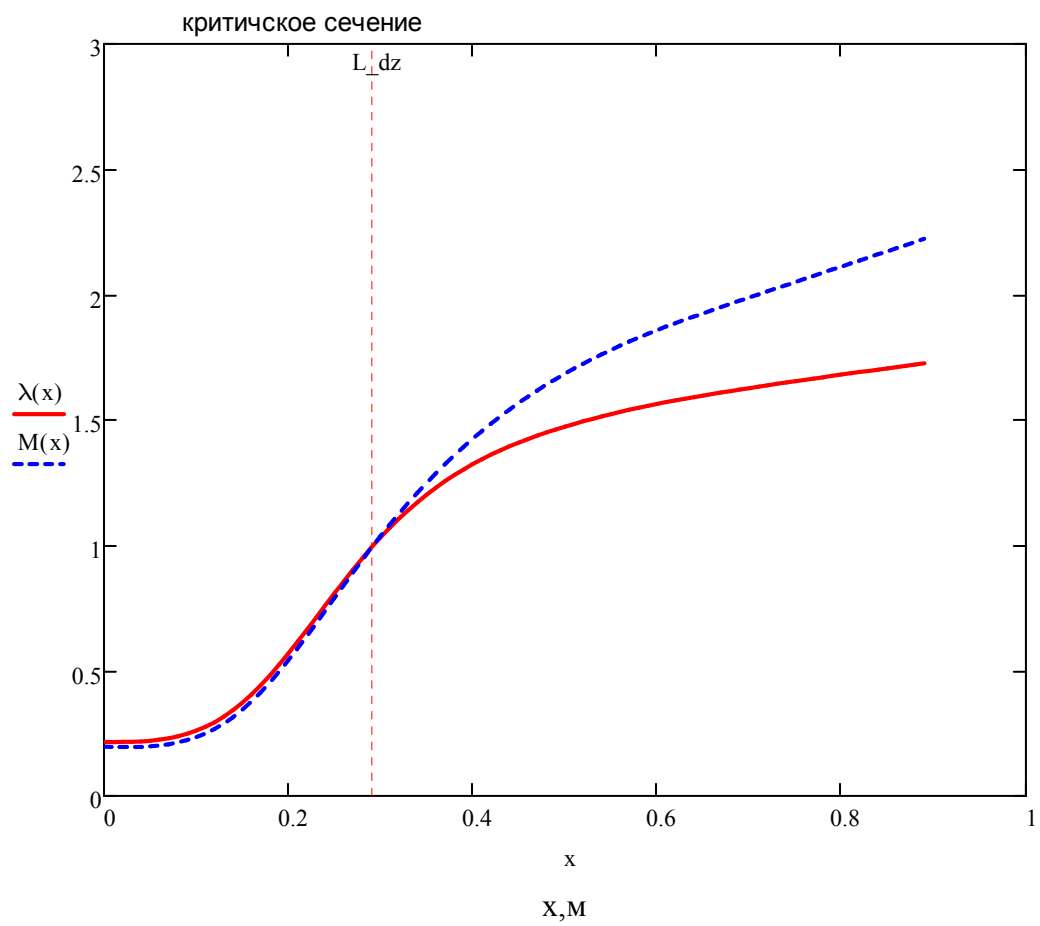
$$v(x) := \text{interp}(\text{lspline}(L, v_{-}), L, v_{-}, x)$$

$$a(x) := \text{interp}(\text{lspline}(L, a_{-}), L, a_{-}, x)$$

$$\lambda(x) := \text{interp}(\text{lspline}(L, \lambda_{-}), L, \lambda_{-}, x)$$

$$M(x) := \text{interp}(\text{lspline}(L, M_{-}), L, M_{-}, x)$$

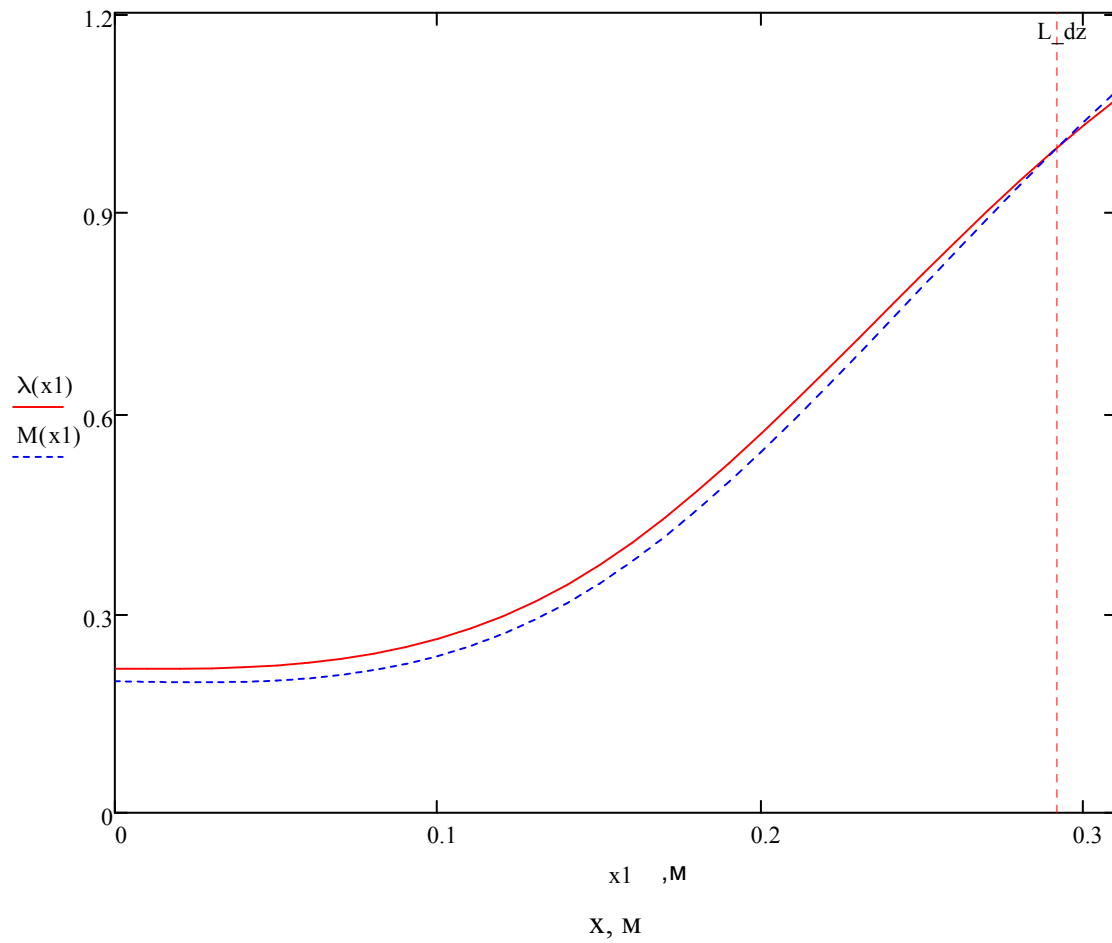




диапазон изменения координаты  $x_1$  от 0 до  $L_{dz}+0.02$

$x_1 := 0, 0.01 \dots L_{dz} + 0.02$

увеличенные графики  $\lambda$  и  $M$  в дозвуке:



сечение	P, Па	T, K	$v$ , м/с	$a$ , м/с	$\lambda$	$M$
I	$1.11 \cdot 10^6$	900.000	118.862	601.348	0.217	0.198
II	$1.028 \cdot 10^6$	880.576	197.543	594.824	0.360	0.332
III	$5.863 \cdot 10^5$	750.000	548.954	548.954	1.000	1.000
IV	$2.360 \cdot 10^5$	578.273	803.958	482.027	1.465	1.668
V	$1.467 \cdot 10^5$	504.843	890.994	450.384	1.623	1.978
VI	$1 \cdot 10^5$	452.459	948.215	426.378	1.727	2.224



## Задача 2:

Основные формулы:

$$S_{\text{ск}} = S_{\text{пск}} \quad P_{\text{пск}}^* = P^* \cdot 1 \cdot \frac{q(\lambda_{\text{ск}})}{q\left(\frac{1}{\lambda_{\text{ск}}}\right)}$$

$$\lambda_{\text{пск}} = \frac{1}{\lambda_{\text{ск}}}$$

давление на выходе для второй задачи:

$$P_{6\_2} := \frac{P^* \cdot 1}{2} + 2 \cdot 10^5 = 7.55 \times 10^5$$

Предположим, что скачек произошел в каком-то сечении.  
Определим  $P_{\text{пск}}^*$  в сечениях II III IV V VI:

$\lambda$  в каждом сечении:

$$i := 2, 3 \dots 5$$

$$P_{\text{пск}i}^* := P^* \cdot 1 \cdot \frac{q(\lambda_{-i})}{q\left(\frac{1}{\lambda_{-i}}\right)}$$

$$\lambda_{-} = \begin{pmatrix} 0.21652 \\ 0.35985 \\ 1 \\ 1.46453 \\ 1.62308 \\ 1.72731 \end{pmatrix}$$

Сечение	$P_{\text{пск}}^*, \text{Па}$
III	$1.11 \cdot 10^6$
IV	$9.64432 \cdot 10^5$
V	$8.11419 \cdot 10^5$
VI	$6.85197 \cdot 10^5$

Из уравнения расхода найдем  $\lambda_6$  (приведенную скорость в 6 сечении) для каждого  $P_{\text{пск}}^*$

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P_{\text{пск}}^*}{\sqrt{T^* \cdot 1}} \cdot q(\lambda_6) \cdot S_6$$

Сечение	$\lambda_6$
III	0.32345
IV	0.37844
V	0.46393
VI	0.57893

$$\lambda_6 := \begin{pmatrix} 0.32345 \\ 0.37844 \\ 0.46393 \\ 0.57893 \end{pmatrix}$$

Найдем давления P6\_ в 6 сечении для каждого случая(скачка в каждом сечении):

$$P6_{-i} := P_{пск}^* \cdot \Pi(\lambda_{-6_{i-2}})$$

$$P6_{-i} = \text{Па}$$

1.04372·10 <sup>6</sup>	III
8.86236·10 <sup>5</sup>	IV
7.1403·10 <sup>5</sup>	V
5.60329·10 <sup>5</sup>	VI

Т.к нам задано давление при выходе P6\_2:

$$P6_2 = 7.55 \times 10^5$$

Видно что скачек произойдет между 4 и 5 сечениями

Для повышения точности разобьем участок между 4 и 5 сечениями и по той же схеме проведем расчеты P6\_ и λ\_6\_ для этих участков.

Для этого определим диаметры сечений:

длина сверхзвуковой части сопла до сечений в которых будет вестись расчет

$$L_s := \frac{L_{szv}}{3}, \frac{L_{szv}}{3} + \frac{L_{szv}}{24} \dots \frac{2}{3} \cdot L_{szv}$$

L\_szv / 3 -начало 4 сечения

L\_szv / 24 -шаг

(т.к 8 частей, а весь участок L\_szv/3 то длина одной части L\_szv/24)

(2/3)\*L\_szv - 5 сечение

$$L_s = \text{м}$$

0.19951
0.22445
0.24939
0.27432
0.29926
0.3242
0.34914
0.37408
0.39902

- расстояние до каждого сечения между 4 и 5 сечением (от критического сечения)

Функция зависимости диаметра сечения от расстояния до него

$$d_{-}(L_s) := 2 \tan\left(\frac{\alpha_2}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot L_s + d_3$$

$$d_{-}(L_s) = \text{м}$$

0.33379
0.33903
0.34428
0.34952
0.35476
0.36
0.36524
0.37049
0.37573

- диаметр каждого сечения между 4 и 5 сечением

\*1 диаметр -диаметр 4 сечения  
последний - диаметр 5 сечения

Зависимость площади от Ls:

$$S_{-}(L_s) := \frac{\pi \cdot d_{-}(L_s)^2}{4}$$

Найдем  $\lambda_i$  в каждом сечении из уравнения расхода:

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P^*1}{\sqrt{T^*1}} \cdot q(\lambda_i) \cdot S_-(Ls)$$

$$\lambda_i := \begin{pmatrix} 1.46456 \\ 1.48936 \\ 1.51229 \\ 1.53372 \\ 1.55375 \\ 1.57256 \\ 1.59035 \\ 1.60711 \\ 1.62309 \end{pmatrix} \quad \text{приведенная скорость в каждом из сечений между 4 и 5 сечениями}$$

$S_-(Ls) =$

0.08751
0.09028
0.09309
0.09595
0.09885
0.10179
0.10478
0.1078
0.11088

Теперь, когда все необходимые параметры сечения нам известны рассчитаем давление на выходе ( $P6_-$ ) и  $\lambda_{6_-}$  для каждой точки:

$i := 0, 1..8$

$$P_{пск}^*_i := P^*1 \cdot \frac{q(\lambda_{-i})}{q\left(\frac{1}{\lambda_{-i}}\right)}$$

$$P_{пск}^* = \begin{pmatrix} 9.64407 \times 10^5 \\ 9.44057 \times 10^5 \\ 9.24008 \times 10^5 \\ 9.0422 \times 10^5 \\ 8.84831 \times 10^5 \\ 8.65858 \times 10^5 \\ 8.47252 \times 10^5 \\ 8.29155 \times 10^5 \\ 8.11405 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Из уравнения расхода определим  $\lambda_{6_-}$  (приведенную скорость на выходном сечении при расчете каждой точки)

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P_{пск}^*}{\sqrt{T^*1}} \cdot q(\lambda_{6_-}) \cdot S_6$$

$$\lambda_{6_-} := \begin{pmatrix} 0.37845 \\ 0.38779 \\ 0.3975 \\ 0.40762 \\ 0.4181 \\ 0.42895 \\ 0.44022 \\ 0.45184 \\ 0.46394 \end{pmatrix}$$

Найдем получившееся давление на выходе P6\_ для каждой точки

$$i := 0, 1..8$$

$$P6\_i := P_{пск}^* \cdot \Pi(\lambda_{6\_i})$$

$$P6\_ = \begin{pmatrix} 8.86209 \times 10^5 \\ 8.63804 \times 10^5 \\ 8.41608 \times 10^5 \\ 8.19572 \times 10^5 \\ 7.97842 \times 10^5 \\ 7.76432 \times 10^5 \\ 7.55278 \times 10^5 \\ 7.34538 \times 10^5 \\ 7.14014 \times 10^5 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

Давление в 6 сечении для разных точек(случаев скачка)

$$P6f(x) := \text{linterp}(\lambda\_i, P6\_, x) \quad \text{-проинтерполируем точки и найдем значение } \lambda_{ск}$$

$$x := 1.46456, 1.46456 + 0.01..1.62309 \quad \text{-диапазон изменения } \lambda\_i \text{ (от } \lambda_4 \text{ до } \lambda_5 \text{ с шагом 0.01)}$$

$$\lambda_{ск} := 1$$

Given

$$P6f(\lambda_{ск}) = P6\_2$$

$$\lambda_{ск} := \text{Find}(\lambda_{ск}) = 1.59057 \quad \lambda \text{ скачка}$$

$$\lambda_{пск} := \frac{1}{\lambda_{ск}} = 0.6287 \quad \lambda \text{ после скачка}$$

Найдем площадь сечения в котором произойдет скачек:

$$S_{ск} := 1 \quad \text{начальное приближение}$$

Given

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P^*1}{\sqrt{T^*1}} \cdot q(\lambda_{ск}) \cdot S_{ск}$$

По найденной  $\lambda_{ск}$  определим давление торможения после скачка:

$$P^*_{пск} := P^*1 \cdot \frac{q(\lambda_{ск})}{q\left(\frac{1}{\lambda_{ск}}\right)} = 8.47013 \times 10^5$$

$$S_{ск} := \text{Find}(S_{ск}) = 0.10482 \quad \text{м}^2$$

$$d_{ск} := \sqrt{4 \cdot \frac{S_{ск}}{\pi}} = 0.36532 \quad \text{м} \quad \text{-диаметр сечения в котором произошел скачек.}$$

Определим расстояние от критического сечения до сечения в котором произойдет скачек:

$$X_{ck} := 1$$

Given

$$d_{ck} = 2 \tan\left(\frac{\alpha_2}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot X_{ck} + d_3$$

$$X_{ck} := \text{Find}(X_{ck}) = 0.34951 \text{ м}$$

Определим необходимые параметры после скачка:

$$P_{ck} := P^* \cdot \Pi(\lambda_{ck}) = 1.63297 \times 10^5 \text{ Па} \quad \text{Давление в сечении скачка}$$

$$P_{пск} := P^*_{пск} \cdot \Pi(\lambda_{пск}) = 6.67272 \times 10^5 \text{ Па} \quad \text{Давление в сечении скачка сразу после скачка}$$

$$\lambda_{5\_пск} := 1 \quad \text{начальное приближение}$$

Given

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P^*_{пск}}{\sqrt{T^*1}} \cdot q(\lambda_{5\_пск}) \cdot S_5 \quad \lambda_{5\_пск} < 1 \quad < 1 \text{ т.к после скачка дозвук.}$$

$$\lambda_{5\_пск} := \text{Find}(\lambda_{5\_пск}) = 0.57863 \quad \lambda \text{ в 5 сечении после скачка}$$

$$\lambda_{6\_пск} := 1$$

Given

$$G = 0.0404 \cdot \frac{P^*_{пск}}{\sqrt{T^*1}} \cdot q(\lambda_{6\_пск}) \cdot S_6 \quad \lambda_{6\_пск} < 1$$

$$\lambda_{6\_пск} := \text{Find}(\lambda_{6\_пск}) = 0.44037 \quad \lambda \text{ в 6 сечении после скачка}$$

$$P_{5пск} := P^*_{пск} \cdot \Pi(\lambda_{5\_пск}) = 6.92807 \times 10^5 \text{ Па} \quad \text{давления в 5 и 6 сечениях после скачка}$$

$$P_{6пск} := P^*_{пск} \cdot \Pi(\lambda_{6\_пск}) = 7.55006 \times 10^5 \text{ Па}$$

координаты сечения скачка, 5 сечения и 6:

$$X := \begin{pmatrix} X_{ck} + L_{dz} \\ \frac{2L_{szv}}{3} + L_{dz} \\ L_{szv} + L_{dz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.64136 \\ 0.69087 \\ 0.89038 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{пск} := \begin{pmatrix} \lambda_{пск} \\ \lambda_{5\_пск} \\ \lambda_{6\_пск} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.6287 \\ 0.57863 \\ 0.44037 \end{pmatrix} \quad \lambda \text{ после скачка, в 5 и в 6 сечениях}$$

давление после скачка, в 5 и в 6 сечениях:

$$P_{пск} := \begin{pmatrix} P_{пск} \\ P_{5пск} \\ P_{6пск} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6.67272 \times 10^5 \\ 6.92807 \times 10^5 \\ 7.55006 \times 10^5 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

Результаты вычисления по второй задаче:

сечение	$\lambda$	P, Па	P*, Па
I	0.21652	$1.11 \cdot 10^6$	$1.11 \cdot 10^6$
II	0.35985	$1.02839 \cdot 10^6$	$1.11 \cdot 10^6$
III	1	$5.86393 \cdot 10^5$	$1.11 \cdot 10^6$
IV	1.46453	$2.36015 \cdot 10^5$	$1.11 \cdot 10^6$
ск	1.59057	$1.63297 \cdot 10^5$	$1.11 \cdot 10^6$
пск	0.6287	$6.67272 \cdot 10^5$	$8.47013 \cdot 10^5$
V	0.57863	$6.92807 \cdot 10^5$	$8.47013 \cdot 10^5$
VI	0.44037	$7.55006 \cdot 10^5$	$8.47013 \cdot 10^5$

### Построим графики:

$x_{\text{пск}} := X_{\text{ск}} + L_{\text{dz}}, L_{\text{dz}} + X_{\text{ск}} + 0.01 \dots L_{\text{szv}} + L_{\text{dz}}$  -изменение координаты X после скачка

$P_{\text{пск}}(x_{\text{пск}}) := \text{interp}(\text{pspline}(X, P_{\text{пск}}), X, P_{\text{пск}}, x_{\text{пск}})$  -интерполяция значений(чтобы была парабола а не две прямые

$\lambda_{\text{пск}}(x_{\text{пск}}) := \text{interp}(\text{pspline}(X, \lambda_{\text{пск}}), X, \lambda_{\text{пск}}, x_{\text{пск}})$  построенные по 3 точкам)

$x_{\text{до}} := 0, 0.01 \dots L_{\text{dz}} + X_{\text{ск}}$  -изменение координаты X до скачка

$P^*_{\text{до}}(x_{\text{до}}) := P^*_1$  -давление торможения до скачка

$P^*_{\text{пск}}(x_{\text{пск}}) := P^*_{\text{пск}}$  -давление торможения после скачка

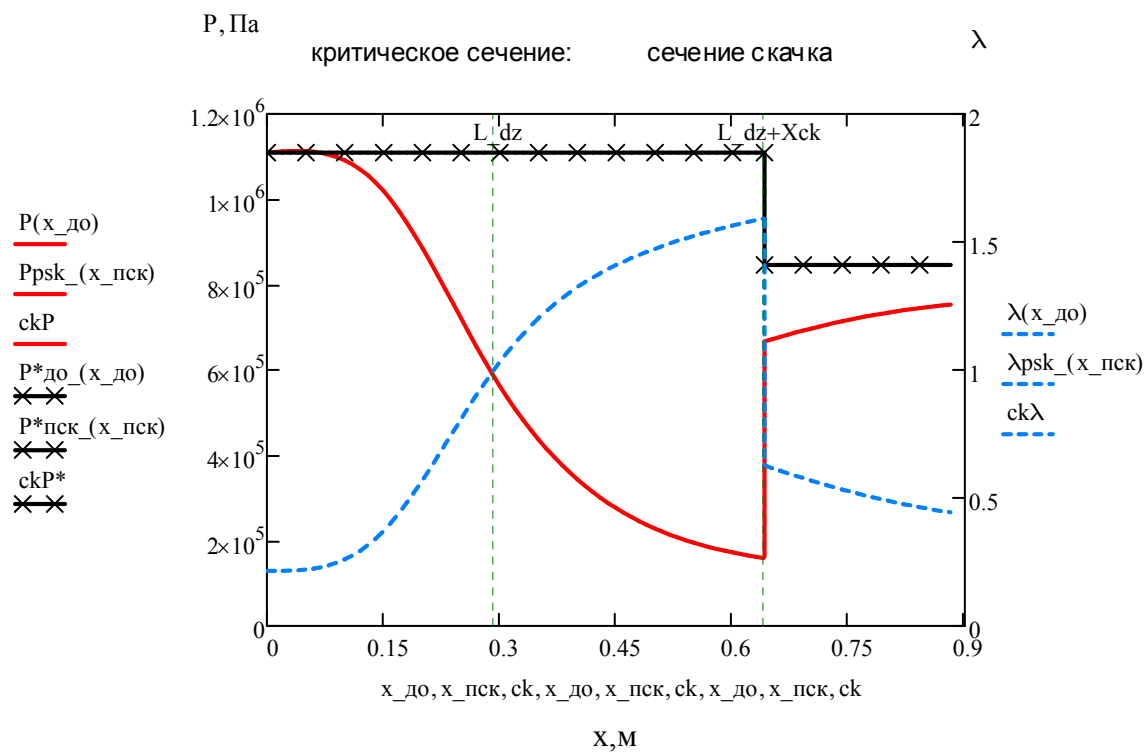
для построения прямых, соединяющих значения до скачка и после

$$ckP := \begin{pmatrix} P_{\text{ск}} \\ P_{\text{пск}} \end{pmatrix}$$

$$ck\lambda := \begin{pmatrix} \lambda_{\text{ск}} \\ \lambda_{\text{пск}} \end{pmatrix}$$

$$ckP^* := \begin{pmatrix} P^*_1 \\ P^*_{\text{пск}} \end{pmatrix}$$

$$ck := \begin{pmatrix} L_{\text{dz}} + X_{\text{ск}} \\ L_{\text{dz}} + X_{\text{ск}} \end{pmatrix}$$



### Задача 3:

Задано :

$P_{6\_3} := P_6 = 1 \times 10^5$  Па      давление в 6 сечении равно давлению в 6 сечении в первой задаче

$\lambda_3 := 0.8$

$T^*_3 := T^*_1 = 900$  К

Размеры такие же как в первой задаче

Приравняв уравнения расхода для 3 и 6 сечений получим:

$$0.0404 \cdot \frac{P^*_3}{\sqrt{T^*_3}} \cdot q(\lambda_3) \cdot S_3 = 0.0404 \cdot \frac{P^*_3}{\sqrt{T^*_3}} \cdot q(\lambda_6) \cdot S_6$$

Откуда:

$$q(\lambda_6) = q(\lambda_3) \cdot \frac{S_3}{S_6}$$

Откуда выразим  $\lambda_6$ :

$\lambda_6 := 1$  начальное приближение

Given

$$q(\lambda_6) = q(\lambda_3) \cdot \frac{S_3}{S_6} \quad \lambda_6 < 1 \quad (\text{до звук})$$

$$\lambda_6 := \text{Find}(\lambda_6) = 0.30649$$

$$P^*_3 := \frac{P_{6\_3}}{\Pi(\lambda_6)} = 1.05678 \times 10^5 \text{ Па}$$

Определим расход:

$$G_3 := 0.0404 \cdot \frac{P^*_3}{\sqrt{T^*_3}} \cdot q(\lambda_6) \cdot S_6 = 9.06234 \text{ кг/с}$$

Площади сечений:  $S :=$

$$\begin{pmatrix} \frac{\pi d_1^2}{4} \\ \frac{\pi d_2^2}{4} \\ \frac{\pi d_3^2}{4} \\ \frac{\pi d_4^2}{4} \\ \frac{\pi d_5^2}{4} \\ \frac{\pi d_6^2}{4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.19974 \\ 0.12446 \\ 0.0669 \\ 0.08751 \\ 0.11088 \\ 0.13701 \end{pmatrix} \text{ м}^2$$



### Найдем необходимые параметры:

Из уравнения расхода найдем  $\lambda$  в каждом сечении

$$G_3 = 0.0404 \cdot \frac{P^*3}{\sqrt{T^*3}} \cdot q(\lambda_i) \cdot S$$

$$\lambda_{-} := \begin{pmatrix} 0.20570769565821529988 \\ 0.34057152321899313553 \\ 0.8 \\ 0.51698279139270648018 \\ 0.38795688453086823087 \\ 0.30649383474700579244 \end{pmatrix}$$

$$i := 0, 1 \dots 5$$

$$P_{-i} := P^*3 \cdot \Pi(\lambda_{-i})$$

$$P_{-} = \begin{pmatrix} 1.03093 \times 10^5 \\ 9.86993 \times 10^4 \\ 7.12088 \times 10^4 \\ 9.00994 \times 10^4 \\ 9.66874 \times 10^4 \\ 1 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

### Результаты

Сечение	$\lambda$	P, Па
I	0.20571	1.03093*10^5
II	0.34057	9.86993*10^4
III	0.80000	7.12088*10^4
IV	0.51698	9.00994*10^4
V	0.38796	9.66874*10^4
VI	0.30649	1*10^5

Построение графика:

$$P_d := \begin{pmatrix} 1.03 \times 10^5 \\ 9.8 \times 10^4 \\ 7.12 \times 10^4 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{значения давлений} \\ \text{в сечениях до Зего} \end{array} \quad X_{do} := \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{L_{dz}}{2} \\ L_{dz} \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{координаты} \\ \text{сечений} \end{array}$$

$$P_p := \begin{pmatrix} 7.12088 \times 10^4 \\ 9.00994 \times 10^4 \\ 9.66874 \times 10^4 \\ 1 \times 10^5 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{значения давлений в сечениях} \\ \text{от третьего(включительно)} \end{array} \quad X_p := \begin{pmatrix} L_{dz} \\ L_{dz} + \frac{L_{szv}}{3} \\ L_{dz} + \frac{2L_{szv}}{3} \\ L_{dz} + L_{szv} \end{pmatrix}$$

$$\lambda_d := \begin{pmatrix} 0.20570 \\ 0.34057 \\ 0.8 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{значения } \lambda \text{ в сечениях} \\ \text{до Зего} \end{array} \quad \lambda_p := \begin{pmatrix} 0.8 \\ 0.51698 \\ 0.38796 \\ 0.30649 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{значения } \lambda \text{ в сечениях} \\ \text{от Зего} \end{array}$$

изменение координаты x до 3 сечения

$$x_d := 0, 0.01 \dots L_{dz}$$

изменение координаты x после 3 сечения

$$x_p := L_{dz}, L_{dz} + 0.01 \dots L_{dz} + L_{szv}$$

$$P_d(x_d) := \text{interp}(\text{lspline}(X_{do}, P_d), X_{do}, P_d, x_d)$$

$$P_p(x_p) := \text{interp}(\text{pspline}(X_p, P_p), X_p, P_p, x_p)$$

Интерполяция точек

$$\lambda_d(x_d) := \text{interp}(\text{pspline}(X_{do}, \lambda_d), X_{do}, \lambda_d, x_d)$$

$$\lambda_p(x_p) := \text{interp}(\text{pspline}(X_p, \lambda_p), X_p, \lambda_p, x_p)$$

