Исходные данные

Коэф. запаса: $safety = 1.3$

Горючее: Fuel = "Керосин"

turbine = "ТВД"

Высота движения (м): $H_{\upsilon} = 0$

Массовый расход перед Т (кг/с):
Массовый расход утечек Т (кг/с):
Массовый расход на охл Т (кг/с):

$$\begin{pmatrix} G_г \\ G_{leak} \\ G_{cooling} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{ll} \begin{pmatrix} 32.30 \\ 106.96 \cdot 10^{-3} \\ 3240.8 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} & \text{if turbine = "ТВД"} \\ \begin{pmatrix} 35.43 \\ 35.65 \cdot 10^{-3} \\ 810.2 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} & \text{if turbine = "ТНД"} \end{array} \right. =$$

	1
1	32.30
2	0.11
3	3.24

Мощность Т (Вт): $N_T = 10^6 \cdot \left| \begin{array}{l} 14.893 \text{ if turbine = "ТВД"} \\ 15.181 \text{ if turbine = "ТНД"} \end{array} \right. = 14.893 \cdot 10^6$

Полное давление перед Т (Па): $P^*_г = 10^3 \cdot \left| \begin{array}{l} 2731.8 \text{ if turbine = "ТВД"} \\ 927.5 \text{ if turbine = "ТНД"} \end{array} \right. = 2731.8 \cdot 10^3$

Полная температура перед Т (К): $T^*_г = \left| \begin{array}{l} 1773 \text{ if turbine = "ТВД"} \\ 1368.9 \text{ if turbine = "ТНД"} \end{array} \right. = 1773.0$

Коэф. избытка воздуха в Т: $\alpha_{ох} = \left| \begin{array}{l} 2.267 \text{ if turbine = "ТВД"} \\ 2.493 \text{ if turbine = "ТНД"} \end{array} \right. = 2.267$

Полное давление отбора охлаждающего воздуха (К): $P^*_{cooling} = 10^3 \cdot \left| \begin{array}{l} 2845.6 \text{ if turbine = "ТВД"} \\ 319.4 \text{ if turbine = "ТНД"} \end{array} \right. = 2845.6 \cdot 10^3$

Полная температура отбора охлаждающего воздуха (К): $T^*_{cooling} = \left| \begin{array}{l} 806.9 \text{ if turbine = "ТВД"} \\ 418.2 \text{ if turbine = "ТНД"} \end{array} \right. = 806.9$

Коэф. сохранения полного давления охлаждения: $\sigma_{cooling} = 0.97$

Подогрев охл. от КС [К]: $\Delta T_{охл.подогрев} = 40$

Газовая постоянная (Дж/кг/К): $R_{газ}(\alpha_{ох}, Fuel) = 288.5$

Допустимая температура Л (К): $T_{Л.доп} = 1373$

Абс. скорость перед Т (м/с):

Абс. скорость после Т (м/с):

$$\begin{pmatrix} c_Г \\ c_Т \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{ll} \begin{pmatrix} 100 \\ 180 \end{pmatrix} & \text{if turbine = "ТВД"} \\ \begin{pmatrix} 180 \\ 260 \end{pmatrix} & \text{if turbine = "ТНД"} \end{array} \right. =$$

	1
1	100.0
2	180.0

[1, c.15] $80 \le c_Т \le 400 = 1$

Лопаточный КПД Т: $\eta_Л = 88\%$

$88\% \le \eta_Л \le 95\% = 1$

Угол входа в Т: $\alpha_Г = 90 \cdot °$

Окр. скорость Л последней ступени на ср. диаметре Т (м/с):

$$u_Т = \left| \begin{array}{ll} 520 & \text{if turbine = "ТВД"} \\ 260 & \text{if turbine = "ТНД"} \end{array} \right. = 520.0$$

Исходные данные

Основне размеры Т

$z := ORIGIN..N_{г}$

Полное давление отбора охлаждающего воздуха (К): $P^*_{cooling} := P^*_{cooling} \cdot \sigma_{cooling} = 2760.2 \cdot 10^{3}$

Полная температура отбора охлаждающего воздуха (К): $T^*_{cooling} := T^*_{cooling} + \Delta T_{охл.подогрев} = 846.9$

Массовый расход перед Т (кг/с): $G_{г} := G_{г} - G_{leak} = 32.2$

Массовый расход после Т (кг/с): $G_{т} := G_{г} + G_{cooling} = 35.4$

Удельная работа Т (Дж/кг): $L^*_{T} := \frac{N_{T}}{mean(G_{г}, G_{т})} = 440.4 \cdot 10^{3}$

$L^*_{T} \le 550 \cdot 10^{3} = 1$

Располагаемый теплоперепад в Т (Дж/кг): $H_{T} := \frac{L^*_{T} + 0.5 c_{т}^{2}}{\eta_{л}} = 518.9 \cdot 10^{3}$

$$\begin{pmatrix} iteration \\ k_г \\ P_г \\ T_г \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} iteration = 0 \\ k_г = k_{ад}\left(Cp_{газ}\left(P^*{}_г, T^*{}_г, \alpha_{ox}, Fuel\right), R_{газ}\left(\alpha_{ox}, Fuel\right)\right) \\ \text{while } 1 > 0 \\ \quad \left| \begin{array}{l} iteration = iteration + 1 \\ Cp_г = \dfrac{k_г}{k_г - 1} \cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox}, Fuel\right) \\ T_г = T^*{}_г - \dfrac{c_г^{\,2}}{2 \cdot Cp_г} \\ P_г = P^*{}_г \cdot \left(\dfrac{T_г}{T^*{}_г}\right)^{\frac{k_г}{k_г - 1}} \\ k'_г = k_{ад}\left(Cp_{газ}\left(P_г, T_г, \alpha_{ox}, Fuel\right), R_{газ}\left(\alpha_{ox}, Fuel\right)\right) \\ \text{if } \left|eps\left("rel", k_г, k'_г\right)\right| \le epsilon \\ \quad \left| \begin{array}{l} k_г = k'_г \\ break \end{array} \right. \\ k_г = k'_г \end{array} \right. \\ \left(iteration \;\; k_г \;\; P_г \;\; T_г\right)^T \end{array} \right. =$$

	1
1	1.0
2	1.3
3	2705198.4
4	1769.2

Количество итераций: $iteration = 1$

Показатель адиабаты перед Т: $k_г = 1.283$

Статическое давление перед Т (Па): $P_г = 2705.2 \cdot 10^3$

Статическая температура перед Т (К): $T_г = 1769.2$

Теплоемкость перед Т (Дж/кг/К): $Cp_г = Cp_{газ}\left(P_г, T_г, \alpha_{ox}, Fuel\right) = 1309$

$$\begin{pmatrix} \text{iteration} \\ k_т \\ P_т \\ T_т \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{iteration} = 0 \\ k_т = k_г \\ \text{while } 1 > 0 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{iteration} = \text{iteration} + 1 \\ k_{ср} = \text{mean}(k_г, k_т) \\ Cp = \dfrac{k_{ср}}{k_{ср} - 1} \cdot R_{газ}(\alpha_{ох}, \text{Fuel}) \\ P_т = P^*_г \cdot \left(1 - \dfrac{H_T}{Cp \cdot T^*_г}\right)^{\frac{k_{ср}}{k_{ср}-1}} \\ T_т = T^*_г - \dfrac{H_T \cdot \eta_л}{Cp} \\ k'_т = k_{ад}(Cp_{газ}(P_т, T_т, \alpha_{ох}, \text{Fuel}), R_{газ}(\alpha_{ох}, \text{Fuel})) \\ \text{if } |\text{eps}(\text{"rel"}, k_т, k'_т)| \le \text{epsilon} \\ \quad \left| \begin{array}{l} k_т = k'_т \\ \text{break} \end{array} \right. \\ k_т = k'_т \end{array} \right. \\ (\text{iteration} \;\; k_т \;\; P_т \;\; T_т)^T \end{array} \right. =$$

	1
1	1
2	1.293
3	866477.23
4	1424.088

Количество итераций: $\text{iteration} = 1$

Показатель адиабаты после Т: $k_т = 1.293$

Статическое давление после Т (Па): $P_т = 866.5 \cdot 10^3$ $\quad P_т \ge P_{атм}(H_\upsilon) = 1$

Статическая температура после Т (К): $T_т = 1424.1$

Теплоемкость после Т (Дж/кг/К): $Cp_т = Cp_{газ}(P_т, T_т, \alpha_{ох}, \text{Fuel}) = 1271.6$

Ср. показатель адиабаты Т: $k = \mathrm{mean}(k_Г, k_Т) = 1.288$

Ср. теплоемкость Т (Дж/кг/К): $Cp = \frac{k}{k-1} \cdot R_{газ}(\alpha_{ox}, Fuel) = 1289.8$

Степень понижения давления: $\pi_T = \frac{P^*_Г}{P_Т} = 3.15$

Удельный объём перед Т (м³/кг):
Удельный объём после Т (м³/кг):

$$\begin{pmatrix} v_Г \\ v_Т \end{pmatrix} = R_{газ}(\alpha_{ox}, Fuel) \cdot \begin{pmatrix} \frac{T_Г}{P_Г} \\ \frac{T_Т}{P_Т} \end{pmatrix} =$$

	1
1	0.189
2	0.474

Площадь кольцевого сечения перед Т ($м^2$):
Площадь кольцевого сечения после Т ($м^2$):

$$\begin{pmatrix} F_Г \\ F_Т \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{G_Г \cdot v_Г}{c_Г} \\ \frac{G_Т \cdot v_Т}{c_Т} \end{pmatrix} =$$

	1
1	60741
2	93341

$\cdot 10^{-6}$

Основне размеры Т

$y_0 = 0.55$

Коэф. использования скорости: $\mu_c = \mathrm{mean}(0.7, 1) = 0.9$ $\quad 0.7 \le \mu_c \le 1 = 1$

Определение количества ступеней Т

$$\begin{pmatrix} Z_{recomend} \\ \alpha_{возв} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} c_{cp} \leftarrow \mathrm{mean}(c_Г, c_Т) \\ \alpha_{возв} \leftarrow 0.025 \\ \text{while } 1 > 0 \\ \quad \left| \begin{array}{l} Z \leftarrow \mathrm{round}\left[\dfrac{2 \cdot H_Т \cdot \dfrac{(1+\alpha_{возв})}{(\mu_c \cdot c_{cp})^2} - 1}{\dfrac{u_Т^{\;2}}{(\mu_c \cdot c_{cp})^2 \cdot y_0^{\;2}} - 1}\right] \\ \text{break if } \left| \mathrm{eps}\left[\text{"rel"}, \alpha_{возв}, \dfrac{Z-1}{2 \cdot Z} \cdot \left(\pi_Т^{\frac{k-1}{k}} - 1\right) \cdot (1-\eta_л)\right] \right| < \mathrm{epsilon} \\ \alpha_{возв} \leftarrow \dfrac{Z-1}{2 \cdot Z} \cdot \left(\pi_Т^{\frac{k-1}{k}} - 1\right) \cdot (1-\eta_л) \\ \text{if } \alpha_{возв} = 0 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \begin{pmatrix} Z \\ \alpha_{возв} \end{pmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ \text{break} \end{array} \right. \end{array} \right. \\ \begin{pmatrix} Z \\ \alpha_{возв} \end{pmatrix} \end{array} \right. =$$

	1
1	1.000
2	0.000

Рекомендуемое количество ступеней: $Z_{recomend} = 1$

Количество ступеней: $Z := \left| \begin{array}{l} 1 \text{ if turbine} = \text{"ТВД"} \\ 4 \text{ if turbine} = \text{"ТНД"} \end{array} \right. = 1$

Дискретизация ступеней: $i := 1..Z$

Дискретизация сечений: $ii := 1..2 \cdot Z + 1$

Определение количества ступеней Т

Выбранный материал Л: $material\_blade_i = \begin{cases} \text{"ВКНА-1В"} & \text{if } 1523 \le T^*_г \\ \text{"ВЖМ7"} & \text{if } 1323 \le T^*_г < 1523 \\ \text{"ЖС-36"} & \text{if } 1123 \le T^*_г < 1323 \end{cases}$

Коэф. формы: $k_n = 6.8$

Модуль Юнга I рода материала Л (Па): $E\_blade = 210 \cdot 10^9$

Коэф. Пуассона материала Л (): $\mu\_steel = 0.3$

Плотность материала Л (кг/м^3): $\rho\_blade_i = \begin{cases} 7938 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ВКНА-1В"} \\ 8390 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ВЖМ7"} \\ 8760 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ЖС-36"} \\ NaN & \text{otherwise} \end{cases}$

Предел длительной прочности Л РК (Па): $\sigma\_blade\_long_i = 10^6 \cdot \begin{cases} 205 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ВКНА-1В"} \\ 120 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ВЖМ7"} \\ 120 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ЖС-36"} \\ NaN & \text{otherwise} \end{cases}$

$material\_blade^T =$

	1
1	"ВКНА-1В"

$\rho\_blade^T =$

	1
1	7938

$\sigma\_blade\_long^T =$

	1
1	205

$\cdot 10^6$

Частота вращения Т

Max частота вращения ротора на входе (об/мин): $\sqrt{\frac{\sigma\_blade\_long_Z}{safety \cdot k_n \cdot F_г}} = 19539$

Max частота вращения ротора на выходе (об/мин): $n_{max} = \sqrt{\frac{\sigma\_blade\_long_Z}{safety \cdot k_n \cdot F_т}} = 15762$

Рекомендукмая ном. частота вращения (об/мин): $n = n_{max} \cdot 0.95 = 14974$

$$n = \begin{vmatrix} 15000 \ \text{ if } turbine = \text{"ТВД"} \\ 5300 \ \text{ if } turbine = \text{"ТНД"} \end{vmatrix} = 15000$$

Ном. частота вращения (рад/с): $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 1570.8$

Ср. диаметр перед Т (м):
Ср. диаметр после Т (м):

$$\begin{pmatrix} D_{г.ср} \\ D_{т.ср} \end{pmatrix} = \frac{2}{\omega} \cdot \begin{pmatrix} u_г \\ u_т \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 662.1 \\ 662.1 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3}$$

Длина Л первой ступени Т (м):
Длина Л последней ступени Т (м):

$$\begin{pmatrix} l_г \\ l_т \end{pmatrix} = \frac{1}{\pi} \cdot \begin{pmatrix} \frac{F_г}{D_{г.ср}} \\ \frac{F_т}{D_{т.ср}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 29.20 \\ 44.88 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{l_г}{D_{г.ср}} = \frac{1}{22} \qquad \frac{l_т}{D_{т.ср}} = \frac{1}{14}$$

Диаметр периферии после Т (м):
Диаметр корня после Т (м):

$$\begin{pmatrix} D_{т.пер} \\ D_{т.кор} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{т.ср} + l_т \\ D_{т.ср} - l_т \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 707.0 \\ 617.2 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3}$$

Частота вращения Т

Равномерное распределение мощности Т по ступеням (Вт): $N_{ст_i} = \frac{N_T}{Z}$

$N_{ст}^T = $

	1
1	14.89

$\cdot 10^6$

Вид проточной части:
("const", "кор", "ср", "пер","доля от предыдушего диаметра периферии")

$$ЗППЧ = \begin{pmatrix} \left| \begin{array}{ll} \text{"const"} & \text{if } Z = 1 \\ \text{"кор"} & \text{otherwise} \end{array} \right. & \text{"1.07"} & \text{"1.065"} & \text{"1.03"} & \text{"пер"} & \text{"пер"} \\ \left| \begin{array}{ll} \text{"пер"} & \text{if } Z = 1 \\ \text{"1.055"} & \text{otherwise} \end{array} \right. & \text{"1.07"} & \text{"1.05"} & \text{"кор"} & \text{"пер"} & \text{"пер"} \end{pmatrix}^T$$

Определение проточной части ОТ

Линейное распределение кольцевых площадей по сечениям:

$$F = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..2Z+1 \\ \quad F_i = \frac{F_т - F_г}{st(Z,3) - 1} \cdot i + \left(F_г - \frac{F_т - F_г}{st(Z,3) - 1} \right) \\ \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } a \in 2..3 \\ \quad\quad F_{st(i,a)} = F_{st(i,a-1)} \text{ if } ЗППЧ_{i,a-1} = \text{"const"} \\ F \end{array} \right.$$

$F^T = $

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	60741	60741	93341						

$\cdot 10^{-6}$

$$D = \begin{array}{|l} \text{for } i \in 2Z+1 \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \quad\quad D_{i,r} = \begin{array}{|ll} D_{\text{т.кор}} & \text{if } r = 1 \\ D_{\text{т.ср}} & \text{if } r = av(N_r) \\ D_{\text{т.пер}} & \text{if } r = N_r \end{array} \\ \text{for } i \in Z..1 \\ \quad \text{for } a \in 2..1 \\ \quad\quad \text{for } r \in 1..N_r \end{array}$$

$$D_{st(i,a),r} = \begin{array}{|l} \text{if } ЗППЧ_{i,a} = \text{"const"} \\ \quad \begin{array}{|ll} D_{st(i,a+1),av(N_r)} - \dfrac{F_{st(i,a)}}{\pi \cdot D_{st(i,a+1),av(N_r)}} & \text{if } r = 1 \\ D_{st(i,a+1),av(N_r)} & \text{if } r = av(N_r) \\ D_{st(i,a+1),av(N_r)} + \dfrac{F_{st(i,a)}}{\pi \cdot D_{st(i,a+1),av(N_r)}} & \text{if } r = N_r \end{array} \\ \text{if } ЗППЧ_{i,a} = \text{"кор"} \\ \quad \begin{array}{|ll} D_{st(i,a+1),1} & \text{if } r = 1 \\ \dfrac{1}{2} \cdot \left[D_{st(i,a+1),1} + \sqrt{\left(D_{st(i,a+1),1}\right)^2 + \dfrac{4 \cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} \right] & \text{if } r = av(N_r) \\ \sqrt{\left(D_{st(i,a+1),1}\right)^2 + \dfrac{4 \cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} & \text{if } r = N_r \end{array} \\ \text{if } ЗППЧ_{i,a} = \text{"ср"} \\ \quad \begin{array}{|ll} D_{st(i,a+1),av(N_r)} - \dfrac{F_{st(i,a)}}{\pi \cdot D_{st(i,a+1),av(N_r)}} & \text{if } r = 1 \\ D_{st(i,a+1),av(N_r)} & \text{if } r = av(N_r) \\ D_{st(i,a+1),av(N_r)} + \dfrac{F_{st(i,a)}}{\pi \cdot D_{st(i,a+1),av(N_r)}} & \text{if } r = N_r \end{array} \\ \text{if } ЗППЧ_{i,a} = \text{"пер"} \\ \quad \begin{array}{|ll} \sqrt{\left(D_{st(i,a+1),N_r}\right)^2 - \dfrac{4 \cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} & \text{if } r = 1 \\ \dfrac{1}{2} \cdot \left[\sqrt{\left(D_{st(i,a+1),N_r}\right)^2 - \dfrac{4 \cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} + D_{st(i,a+1),N_r} \right] & \text{if } r = av(N_r) \\ D \quad \text{if } r = N & \end{array} \end{array}$$

$D^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	650.0	650.0	617.2						
2	678.5	678.5	662.1						
3	707.0	707.0	707.0						

$\cdot 10^{-3}$

$$R = \frac{D}{2}$$

$R^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	325.0	325.0	308.6						
2	339.2	339.2	331.0						
3	353.5	353.5	353.5						

$\cdot 10^{-3}$

$$\bar{d} = \begin{array}{|l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } a \in 1..3 \\ \quad\quad \bar{d}_{st(i,a)} = \dfrac{D_{st(i,a),1}}{D_{st(i,a),N_r}} \\ \bar{d} \end{array}$$

$\bar{d}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.9194	0.9194	0.8730						

$\bar{d}^T \le 0.9 =$

	1	2	3
1	0	0	1

$$h = \begin{array}{|l} \text{for } i \in 1..2Z+1 \\ \quad h_i = \dfrac{F_i}{\pi \cdot D_{i,av(N_r)}} \\ h \end{array}$$

$h^T =$

	1	2	3
1	28.50	28.50	44.88

$\cdot 10^{-3}$

$D_{st(i,a+1),N_r}$ if $r = N_r$

if $(ЗППЧ_{i,a} \neq \text{"const"}) \wedge (ЗППЧ_{i,a} \neq \text{"кор"}) \wedge (ЗППЧ_{i,a} \neq \text{"ср"}) \wedge (ЗППЧ_{i,a} \neq \text{"пер"})$

$$\sqrt{\left(\frac{D_{st(i,a+1),N_r}}{\mathrm{str2num}(ЗППЧ_{i,a})}\right)^2 - \frac{4\cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} \quad \text{if } r = 1$$

$$\frac{1}{2}\cdot\left[\sqrt{\left(\frac{D_{st(i,a+1),N_r}}{\mathrm{str2num}(ЗППЧ_{i,a})}\right)^2 - \frac{4\cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} + \frac{D_{st(i,a+1),N_r}}{\mathrm{str2num}(ЗППЧ_{i,a})}\right] \quad \text{if } r = \mathrm{av}(N_r)$$

$$\frac{D_{st(i,a+1),N_r}}{\mathrm{str2num}(ЗППЧ_{i,a})} \quad \text{if } r = N_r$$

NaN otherwise

D

u = for $i \in 1..2\cdot Z + 1$

for $r \in 1..N_r$

$$u_{i,r} = \frac{\pi\cdot D_{i,r}\cdot n}{60}$$

u

$u^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	510.5	510.5	484.8						
2	532.9	532.9	520.0						
3	555.2	555.2	555.2						

$F^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	60741	60741	93341						

$\cdot 10^{-6}$

$\overline{d}_1 = 0.9194$ $\overline{d}_1 \le 0.9 = 0$

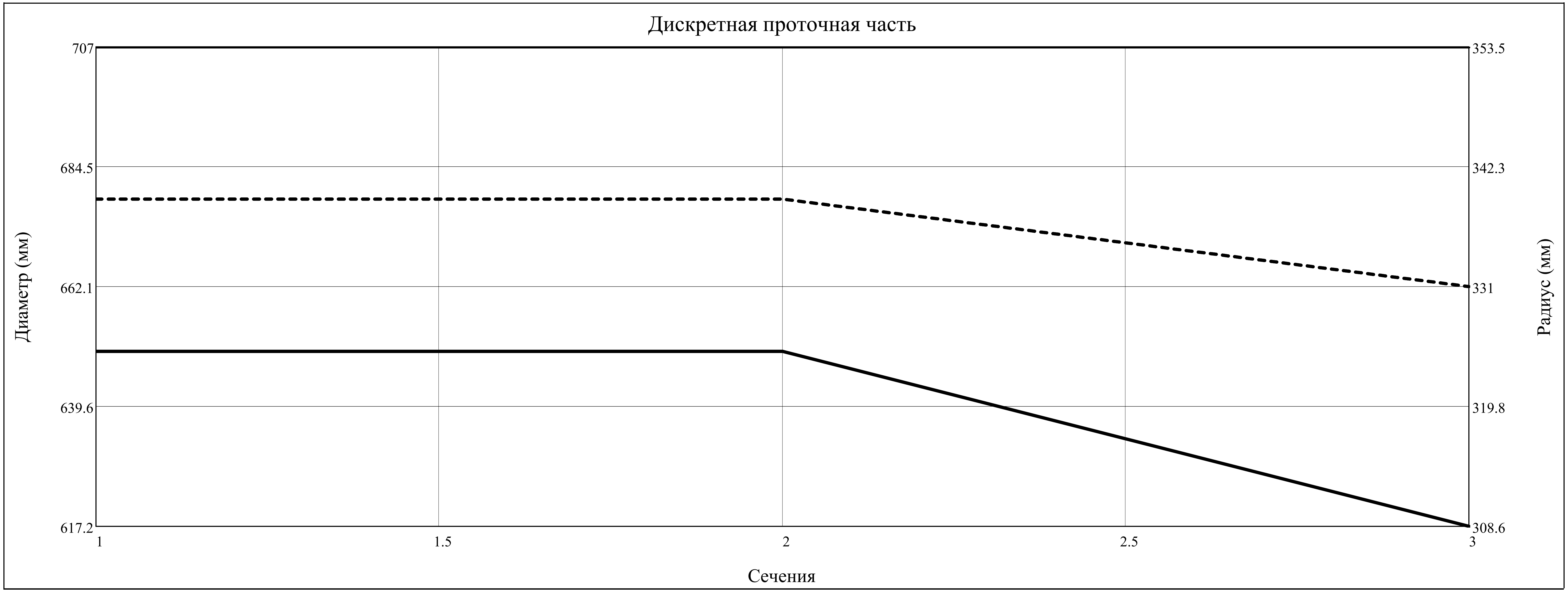
$\overline{d}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.9194	0.9194	0.8730						

$D^T =$

	1	2	3
1	650.0	650.0	617.2
2	678.5	678.5	662.1
3	707.0	707.0	707.0

$\cdot 10^{-3}$



$h^T =$

	1	2	3
1	28.50	28.50	44.88

$\cdot 10^{-3}$

Осевая ширина Л СА и РК [1, с.183]:

$$\begin{pmatrix} B_{CA} \\ B_{PK} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \begin{pmatrix} B_{CA_i} \\ B_{PK_i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{D_{st(i,2), av(N_r)} - 0.25 \cdot h_{st(i,2)}}{16.4} \\ \dfrac{D_{st(i,3), av(N_r)}}{22} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} B_{CA} \\ B_{PK} \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

$\text{stack}\left(B_{CA}^T, B_{PK}^T\right) =$

	1
1	40.9
2	30.1

$\cdot 10^{-3}$

Радиальный зазор (м):
Осевой зазор (м):
(Лучше выбирать большее значение)

$$\begin{pmatrix} \Delta_r \\ \Delta_a \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } a \in 1..3 \\ \quad\quad \Delta_{r_{st(i,a)}} = 0.001 \cdot D_{st(i,a), N_r} \\ \quad\quad \Delta_{a_i} = 0.25 \cdot B_{CA_i} \\ \begin{pmatrix} \Delta_r \\ \Delta_a \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

$\Delta_r^T =$

	1	2	3
1	0.707	0.707	0.707

$\cdot 10^{-3}$

$\Delta_a^T =$

	1
1	10.234

$\cdot 10^{-3}$

$$0.2 \le \frac{\Delta_{a_i}}{B_{CA_i}} \le 0.25 = \boxed{1}$$

$$\begin{pmatrix}\gamma_{ПЧпер}\\ \gamma_{ПЧ}\\ \gamma_{ПЧкор}\end{pmatrix} = \left|\begin{array}{l}
\text{for } i \in 1..Z\\
\quad \text{for } a \in 1..2\\
\quad\quad \text{for } r \in N_r\\
\quad\quad\quad \begin{pmatrix}k2\\k1\end{pmatrix} = \dfrac{0.5}{B_{CA_i}}\cdot\begin{pmatrix}D_{st(i,2),r} - D_{st(i,1),r}\\ 0\end{pmatrix} \text{ if } a = 1\\
\quad\quad\quad \begin{pmatrix}k2\\k1\end{pmatrix} = \dfrac{0.5}{B_{PK_i}}\cdot\begin{pmatrix}D_{st(i,3),r} - D_{st(i,2),r}\\ 0\end{pmatrix} \text{ if } a = 2\\
\quad\quad\quad \gamma_{ПЧпер_{st(i,a)}} = \operatorname{atan}\left(\dfrac{k2-k1}{1+k2\cdot k1}\right)\\
\text{for } i \in 1..Z\\
\quad \text{for } a \in 1..2\\
\quad\quad \begin{pmatrix}k2\\k1\end{pmatrix} = \dfrac{0.5}{B_{CA_i}}\cdot\begin{pmatrix}D_{st(i,2),N_r} - D_{st(i,1),N_r}\\ D_{st(i,2),1} - D_{st(i,1),1}\end{pmatrix} \text{ if } a = 1\\
\quad\quad \begin{pmatrix}k2\\k1\end{pmatrix} = \dfrac{0.5}{B_{PK_i}}\cdot\begin{pmatrix}D_{st(i,3),N_r} - D_{st(i,2),N_r}\\ D_{st(i,3),1} - D_{st(i,2),1}\end{pmatrix} \text{ if } a = 2\\
\quad\quad \gamma_{ПЧ_{st(i,a)}} = \operatorname{atan}\left(\dfrac{k2-k1}{1+k2\cdot k1}\right)\\
\text{for } i \in 1..Z\\
\quad \text{for } a \in 1..2\\
\quad\quad \text{for } r \in 1\\
\quad\quad\quad \begin{pmatrix}k2\\k1\end{pmatrix} = \dfrac{0.5}{B_{CA_i}}\cdot\begin{pmatrix}D_{st(i,2),r} - D_{st(i,1),r}\\ 0\end{pmatrix} \text{ if } a = 1\\
\quad\quad\quad \begin{pmatrix}k2\\k1\end{pmatrix} = \dfrac{0.5}{B_{PK_i}}\cdot\begin{pmatrix}D_{st(i,3),r} - D_{st(i,2),r}\\ 0\end{pmatrix} \text{ if } a = 2\\
\quad\quad\quad \gamma_{ПЧкор_{st(i,a)}} = \operatorname{atan}\left(\dfrac{k2-k1}{1+k2\cdot k1}\right)\\
\begin{pmatrix}\gamma_{ПЧпер}\\ \gamma_{ПЧ}\\ \gamma_{ПЧкор}\end{pmatrix}
\end{array}\right.$$

$\operatorname{stack}\left(\gamma_{ПЧкор}^{T}, \gamma_{ПЧ}^{T}, \gamma_{ПЧпер}^{T}\right) =$ $\cdot°$

	1	2
1	0.00	-28.56
2	-0.00	28.56
3	0.00	0.00

$\gamma_{ПЧ}^{T} \le 20\cdot° =$

	1	2
1	1	0

$\gamma_{ПЧ}^{T} \le 25\cdot° =$

	1	2
1	1	0

$\gamma_{ПЧкор}^{T} > -12\cdot° =$

	1	2
1	1	0

$\gamma_{ПЧкор}^{T} > -15\cdot° =$

	1	2
1	1	0

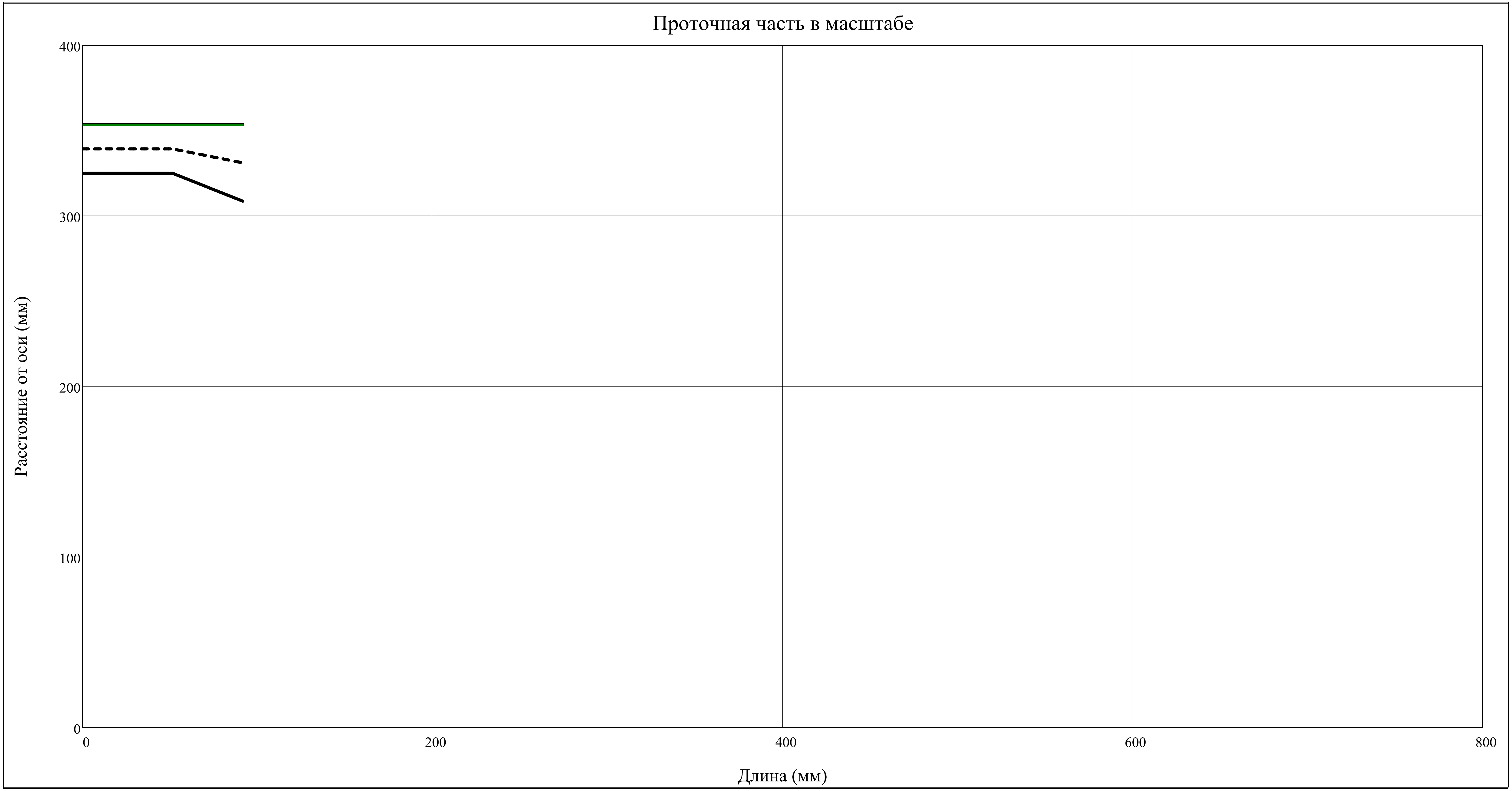
$$\begin{pmatrix} x_{ПЧ} \\ y_{ПЧпер} \\ y_{ПЧср} \\ y_{ПЧкор} \\ y_{Лпер} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} c \leftarrow 1 \\ x_{ПЧ_c} \leftarrow 0 \\ y_{ПЧпер_c} \leftarrow D_{st(c,1),N_r} \\ y_{Лпер_c} \leftarrow y_{ПЧпер_c} - \Delta_{r_c} \\ y_{ПЧср_c} \leftarrow D_{st(c,1),av(N_r)} \\ y_{ПЧкор_c} \leftarrow D_{st(c,1),1} \\ \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \left| \begin{array}{l} c \leftarrow c+1 \\ x_{ПЧ_c} \leftarrow x_{ПЧ_{c-1}} + 0.5\cdot\Delta_{a_i} + B_{CA_i} + 0.5\cdot\Delta_{a_i} \\ \begin{pmatrix} y_{ПЧпер_c} \\ y_{ПЧср_c} \\ y_{ПЧкор_c} \end{pmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} D_{st(i,2),N_r} \\ D_{st(i,2),av(N_r)} \\ D_{st(i,2),1} \end{pmatrix} \\ y_{Лпер_c} \leftarrow y_{ПЧпер_c} - \Delta_{r_i} \\ c \leftarrow c+1 \\ x_{ПЧ_c} \leftarrow x_{ПЧ_{c-1}} + 0.5\cdot\Delta_{a_i} + B_{PK_i} + 0.5\cdot\Delta_{a_i} \\ \begin{pmatrix} y_{ПЧпер_c} \\ y_{ПЧср_c} \\ y_{ПЧкор_c} \end{pmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} D_{st(i+1,1),N_r} \\ D_{st(i+1,1),av(N_r)} \\ D_{st(i+1,1),1} \end{pmatrix} \\ y_{Лпер_c} \leftarrow y_{ПЧпер_c} - \Delta_{r_i} \end{array} \right. \\ \begin{pmatrix} x_{ПЧ} \\ y_{ПЧпер} \\ y_{ПЧср} \\ y_{ПЧкор} \\ y_{Лпер} \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

$$Length = \sum_{i=1}^{Z} B_{CA_i} + \sum_{i=1}^{Z} \Delta_{a_i} + \sum_{i=1}^{Z} B_{PK_i} = 81.3\cdot10^{-3}$$

$$x = \min(x_{ПЧ}), \min(x_{ПЧ}) + \frac{\max(x_{ПЧ}) - \min(x_{ПЧ})}{N_{dis}} .. \max(x_{ПЧ})$$

$y_{ПЧпер}(l) = \mathrm{linterp}\left(x_{ПЧ}, 0.5 \cdot y_{ПЧпер}, l\right)$ $y_{ПЧср}(l) = \mathrm{linterp}\left(x_{ПЧ}, 0.5 \cdot y_{ПЧср}, l\right)$ $y_{ПЧкор}(l) = \mathrm{linterp}\left(x_{ПЧ}, 0.5 \cdot y_{ПЧкор}, l\right)$

$y_{Лпер}(l) = \mathrm{interp}\left(\mathrm{cspline}\left(x_{ПЧ}, 0.5 \cdot y_{Лпер}\right), x_{ПЧ}, 0.5 \cdot y_{Лпер}, l\right)$



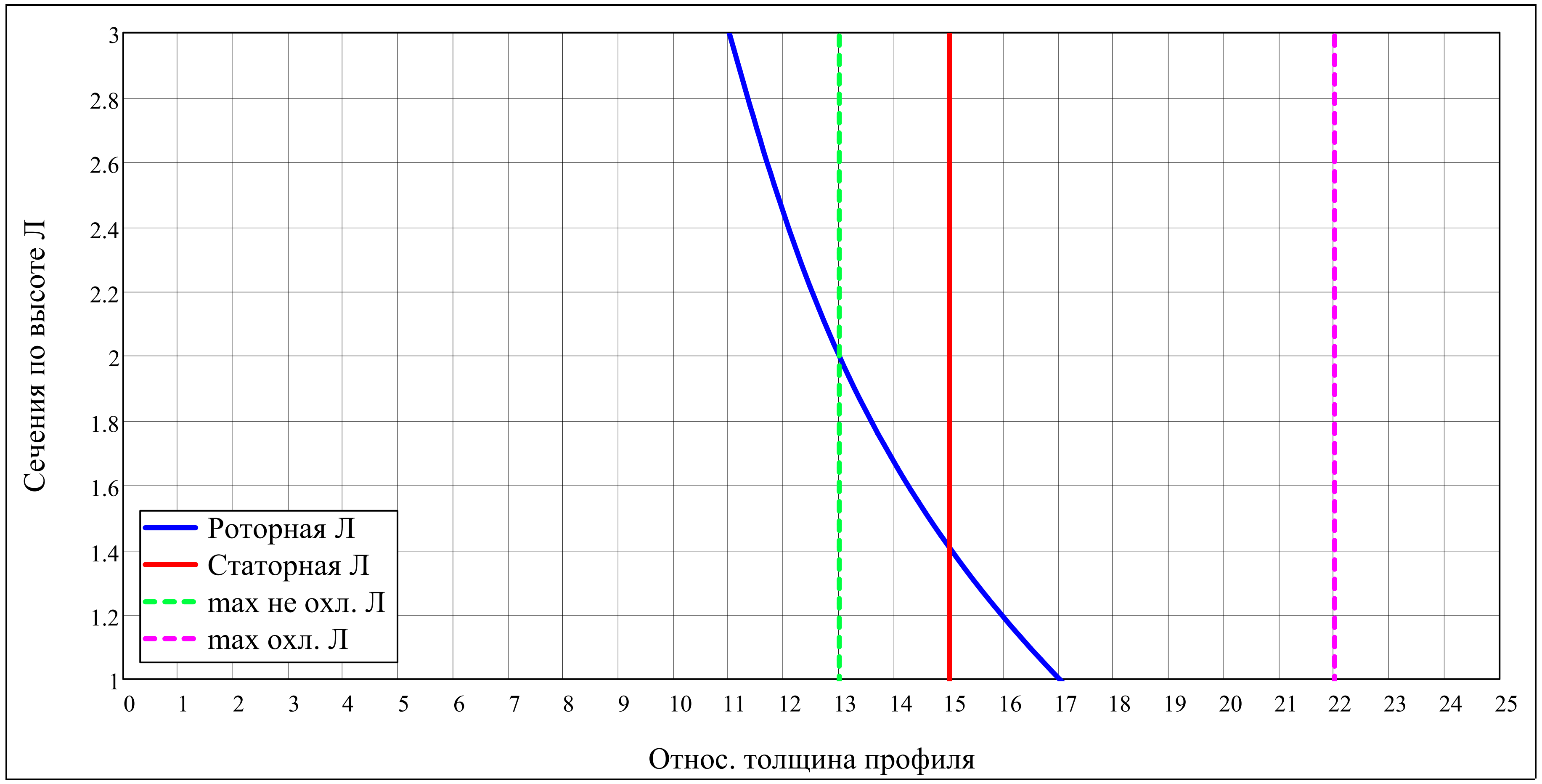
Определение проточной части ОТ

Относ. толщины и радиусы профилей

Относ. толщины Л РК и СА:

$$\bar{c}_{stator.}(r) = \left| \begin{array}{ll} \mathrm{interp}\left[\mathrm{cspline}\left[\begin{pmatrix}1\\ \mathrm{av}(N_r)\\ N_r\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}15\\ 15\\ 15\end{pmatrix}\%\right], \begin{pmatrix}1\\ \mathrm{av}(N_r)\\ N_r\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}15\\ 15\\ 15\end{pmatrix}\%, r\right] & \text{if } T_{Л.доп} < T^*_г \\ \mathrm{interp}\left[\mathrm{cspline}\left[\begin{pmatrix}1\\ \mathrm{av}(N_r)\\ N_r\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}7\\ 9\\ 11\end{pmatrix}\%\right], \begin{pmatrix}1\\ \mathrm{av}(N_r)\\ N_r\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}7\\ 9\\ 11\end{pmatrix}\%, r\right] & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\bar{c}_{rotor.}(r) = \left| \begin{array}{ll} \mathrm{interp}\left[\mathrm{cspline}\left[\begin{pmatrix}1\\ \mathrm{av}(N_r)\\ N_r\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}17\\ 13\\ 11\end{pmatrix}\%\right], \begin{pmatrix}1\\ \mathrm{av}(N_r)\\ N_r\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}17\\ 13\\ 11\end{pmatrix}\%, r\right] & \text{if } T_{Л.доп} < T^*_г \\ \mathrm{interp}\left[\mathrm{cspline}\left[\begin{pmatrix}1\\ \mathrm{av}(N_r)\\ N_r\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}14\\ 9\\ 7\end{pmatrix}\%\right], \begin{pmatrix}1\\ \mathrm{av}(N_r)\\ N_r\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}14\\ 9\\ 7\end{pmatrix}\%, r\right] & \text{otherwise} \end{array} \right.$$



$$\begin{pmatrix}\bar{c}_{stator}\\ \bar{c}_{rotor}\end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \qquad \begin{pmatrix}\bar{c}_{stator_{i,r}}\\ \bar{c}_{rotor_{i,r}}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\bar{c}_{stator.}(r)\\ \bar{c}_{rotor.}(r)\end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix}\bar{c}_{stator}\\ \bar{c}_{rotor}\end{pmatrix} \end{array} \right.$$

$\bar{c}_{stator}^{T} =$

	1
1	15.00
2	15.00
3	15.00

$\cdot\%$

$\bar{c}_{rotor}^{T} =$

	1
1	17.00
2	13.00
3	11.00

$\cdot\%$

$$\begin{pmatrix} \overline{r}\_inlet_{rotor} & \overline{r}\_inlet_{stator} \\ \overline{r}\_outlet_{rotor} & \overline{r}\_outlet_{stator} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \quad\quad \left| \begin{array}{l} \begin{pmatrix} \overline{r}\_inlet_{stator_{i,r}} \\ \overline{r}\_outlet_{stator_{i,r}} \end{pmatrix} = \overline{c}_{stator.}(r)\cdot\begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.2 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \overline{r}\_inlet_{rotor_{i,r}} \\ \overline{r}\_outlet_{rotor_{i,r}} \end{pmatrix} = \overline{c}_{rotor.}(r)\cdot\begin{pmatrix} 0.35 \\ 0.15 \end{pmatrix} \end{array} \right. \\ \begin{pmatrix} \overline{r}\_inlet_{rotor} & \overline{r}\_inlet_{stator} \\ \overline{r}\_outlet_{rotor} & \overline{r}\_outlet_{stator} \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

$\overline{r}\_inlet_{stator}^{T} =$

	1
1	6.000
2	6.000
3	6.000

$\cdot\%$

$\overline{r}\_inlet_{rotor}^{T} =$

	1
1	5.950
2	4.550
3	3.850

$\cdot\%$

$\overline{r}\_outlet_{stator}^{T} =$

	1
1	3.000
2	3.000
3	3.000

$\cdot\%$

$\overline{r}\_outlet_{rotor}^{T} =$

	1
1	2.550
2	1.950
3	1.650

$\cdot\%$

Относ. толщины и радиусы профилей

$$R_{L.cp} = \left(\begin{array}{l} 0.16 \ \text{if turbine = "ТВД"} \\ 0.13 \ \text{otherwise} \end{array} \quad 0.15 \quad 0.18 \quad 0.185 \quad 0.5 \quad 0.5 \right)^T$$

Поступенчатый расчет ОТ

$$\begin{pmatrix} iteration_{CA} & iteration_{PK} \\ k & R_L \\ H^*_{ст} & H_{ст} \\ H_{stator} & H_{rotor} \\ c_{ад} & w_{ад} \\ P^* & P \\ T^* & T \\ G & v \\ \rho^* & \rho \\ \alpha_{ox} & \alpha_{ox} \\ \alpha & \beta \\ \varepsilon_{stator} & \varepsilon_{rotor} \\ \theta_{CA} & \theta_{PK} \\ g_{охлCA} & g_{охлPK} \\ a^*_c & a^*_w \\ T_{ад} & T_{ад} \\ P^*_w & T^*_w \\ a_{зв} & a_{зв} \\ u & u \\ c & c \\ c_a & c_u \\ w & w \\ w_a & w_u \\ \lambda_c & M_c \\ \lambda_w & M_w \\ \upsilon_{stator} & \upsilon_{rotor} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} r = av(N_r) \\ \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{trace(concat("ступень i = ", num2str(i)))} \end{array} \right.$$

$$\begin{pmatrix} chord_{stator} & chord_{rotor} \\ \bar{t}_{оптСА} & \bar{t}_{оптРК} \\ t_{stator} & t_{rotor} \\ Z_{stator} & Z_{rotor} \\ \bar{\upsilon}_{stator} & \bar{\upsilon}_{rotor} \\ \xi_{трСА} & \xi_{трРК} \\ \xi_{крСА} & \xi_{крРК} \\ \xi_{ReСА} & \xi_{ReРК} \\ \xi_{\lambda СА} & \xi_{\lambda РК} \\ \xi_{прСА} & \xi_{прРК} \\ \xi_{втСА} & \xi_{втРК} \\ \xi_{тдСА} & \xi_{тдРК} \\ \xi_{смСА} & \xi_{смРК} \\ \xi_{\Delta r} & \xi_{вых} \\ \xi_{тр.в} & \xi_{тр.в} \\ L_{ст} & Lu_{ст} \\ \eta_{мощь} & \eta_{лоп} \\ \eta^*_{ст} & \eta^*_{ст} \\ \eta_{u1} & \eta_{u2} \\ \xi_{СА} & \xi_{РК} \\ Lu_{нагрузка} & Lu_{нагрузка} \end{pmatrix}$$

if $i = 1$

$\alpha_{ox_{st(i,1)}} \leftarrow \alpha_{ox}$

$k_{st(i,1),r} \leftarrow k_{г}$

$P^*_{st(i,1),r} \leftarrow P^*_{г}$

$P^*w_{st(i,1),r} \leftarrow 0$

$P_{st(i,1),r} \leftarrow P_{г}$

$T^*_{st(i,1),r} \leftarrow T^*_{г}$

$T^*w_{st(i,1),r} \leftarrow 0$

$T_{st(i,1),r} \leftarrow T_{г}$

$$v_{st(i,1),r} \leftarrow \frac{R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,1)}}, Fuel\right)\cdot T_{st(i,1),r}}{P_{st(i,1),r}}$$

$G_{st(i,1)} \leftarrow G_{г}$

$c_{st(i,1),r} \leftarrow c_{г}$

$\alpha_{st(i,1),r} \leftarrow \alpha_{г}$

$$\begin{pmatrix} c_{u_{st(i,1),r}} \\ c_{a_{st(i,1),r}} \end{pmatrix} \leftarrow c_{st(i,1),r}\cdot\begin{pmatrix} \cos\left(\alpha_{st(i,1),r}\right) \\ \sin\left(\alpha_{st(i,1),r}\right) \end{pmatrix}$$

$w_{st(i,1),r} \leftarrow 0$

$$\begin{pmatrix} a_{зв_{st(i,1),r}} \\ a^*c_{st(i,1),r} \\ a^*w_{st(i,1),r} \end{pmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} \sqrt{k_{st(i,1),r}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,1)}}, Fuel\right)\cdot T_{st(i,1),r}} \\ \sqrt{\dfrac{2\cdot k_{st(i,1),r}}{1+k_{st(i,1),r}}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,1)}}, Fuel\right)\cdot T^*_{st(i,1),r}} \\ \sqrt{\dfrac{2\cdot k_{st(i,1),r}}{1+k_{st(i,1),r}}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,1)}}, Fuel\right)\cdot T^*w_{st(i,1),r}} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \lambda_{c_{st(i,1),r}} \\ \lambda_{w_{st(i,1),r}} \end{pmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} \dfrac{c_{st(i,1),r}}{a^*c_{st(i,1),r}} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} M_{c_{st(i,1),r}} \\ M_{w_{st(i,1),r}} \end{pmatrix} \leftarrow \frac{1}{a_{зв_{st(i,1),r}}}\cdot\begin{pmatrix} c_{st(i,1),r} \\ w_{st(i,1),r} \end{pmatrix}$$

$iteration_{ст_i} \leftarrow 0$

while $1 > 0$

$iteration_{ст_i} \leftarrow iteration_{ст_i} + 1$

$$\mathrm{trace}\left(\mathrm{concat}\left(\text{"   iteration.ст = "},\mathrm{num2str}\left(iteration_{ст_i}\right)\right)\right)$$

$$H_{ст_i} \leftarrow N_{ст_i}\cdot\begin{cases}\dfrac{1}{G_{st(i,1)}\cdot 0.9} & \text{if } \left(iteration_{ст_i} = 1\right)\\[2ex] \dfrac{1}{\mathrm{mean}\left(G_{st(i,2)},G_{st(i,3)}\right)\cdot\eta_{мощь_i}} & \text{otherwise}\end{cases}$$

$$R_{L_{i,r}} \leftarrow R_{L.cp_i}$$

$$c_{ад_{st(i,1),r}} \leftarrow \sqrt{2\cdot H_{ст_i}}$$

$$H_{stator_i} \leftarrow H_{ст_i}\cdot\left(1 - R_{L_{i,r}}\right)$$

$$c_{ад_{st(i,2),r}} \leftarrow \sqrt{2\cdot H_{stator_i}}$$

$$\overline{\upsilon}_{stator_i} \leftarrow 1$$

$$iteration_{CA_i} \leftarrow 0$$

$$\text{while } 1 > 0$$

$$iteration_{CA_i} \leftarrow iteration_{CA_i} + 1$$

$$\mathrm{trace}\left(\mathrm{concat}\left(\text{"   iteration.CA = "},\mathrm{num2str}\left(iteration_{CA_i}\right)\right)\right)$$

$$c_{st(i,2),r} \leftarrow \overline{\upsilon}_{stator_i}\cdot c_{ад_{st(i,2),r}}$$

$$\theta_{CA_i} \leftarrow \theta_{глубина}\left(T^*{}_{st(i,1),r},T^*{}_{cooling},T_{Л.доп}\right)$$

$$g_{охлCA_i} \leftarrow \begin{cases}\dfrac{0.035\cdot\theta_{CA_i}}{1-\theta_{CA_i}} & \text{if } \dfrac{0.035\cdot\theta_{CA_i}}{1-\theta_{CA_i}} \ge 0\\[2ex] 0 & \text{otherwise}\end{cases}$$

$$G_{st(i,2)} \leftarrow G_{st(i,1)}\cdot\left(1 + g_{охлCA_i}\right)$$

$$\alpha_{ox_{st(i,2)}} \leftarrow \alpha_{ox_{st(i,1)}} + g_{охлCA_i}$$

$$\alpha_{окCA_i} \leftarrow \mathrm{mean}\left(\alpha_{ox_{st(i,1)}},\alpha_{ox_{st(i,2)}}\right)$$

$$k_{st(i,2),r} \leftarrow k_{st(i,1),r}$$

$$\text{while } 1 > 0$$

$$k_{CA_i} \leftarrow \mathrm{mean}\left(k_{st(i,1),r},k_{st(i,2),r}\right)$$

$$T_{ад_{st(i,2),r}} \leftarrow T^*{}_{st(i,1),r} - \frac{H_{stator_i}}{\dfrac{k_{CA_i}}{k_{CA_i}-1}\cdot R_{газ.cp}\left(\alpha_{ox_{st(i,1)}},\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right)}$$

$$k_{CA_i}$$

$$P_{st(i,2),r} = P*_{st(i,1),r}\cdot\left(\frac{T_{ад_{st(i,2),r}}}{T*_{st(i,1),r}}\right)^{\frac{k_{CA_i}}{k_{CA_i}-1}}$$

$$T_{st(i,2),r} = T*_{st(i,1),r} - \frac{H_{stator_i}\cdot\left(\overline{\upsilon}_{stator_i}\right)^2}{\frac{k_{CA_i}}{k_{CA_i}-1}\cdot R_{газ.ср}\left(\alpha_{ox_{st(i,1)}},\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right)}$$

$$Cp_2 = Cp_{газ}\left(P_{st(i,2),r},T_{st(i,2),r},\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right)$$

$$k' = k_{ад}\left(Cp_2,R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right)\right)$$

$$\text{if } \left|eps\left(\text{"rel"},k_{st(i,2),r},k'\right)\right| \le epsilon$$

$$k_{st(i,2),r} = k'$$

break

$$k_{st(i,2),r} = k'$$

$$T*_{ад_{st(i,2),r}} = T_{st(i,2),r} + \frac{\left(c_{st(i,2),r}\right)^2}{2\cdot Cp_{газ}\left(P_{st(i,2),r},T_{st(i,2),r},\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right)}$$

$$P*_{ад_{st(i,2),r}} = P_{st(i,2),r}\cdot\left(\frac{T*_{ад_{st(i,2),r}}}{T_{st(i,2),r}}\right)^{\frac{k_{st(i,2),r}}{k_{st(i,2),r}-1}}$$

$$\begin{pmatrix} T*_{см_{st(i,2),r}} \\ P*_{см_{st(i,2),r}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} T_{смешение}\left[P*_{ад_{st(i,2),r}},T*_{ад_{st(i,2),r}},G_{st(i,1)},\alpha_{ox_{st(i,1)}},P*_{cooling},T*_{cooling},\left(g_{охлCA_i}\cdot G_{st(i,1)}\right),\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right] \\ P_{смешение}\left[P*_{ад_{st(i,2),r}},G_{st(i,1)},P*_{cooling},\left(g_{охлCA_i}\cdot G_{st(i,1)}\right)\right] \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} T*_{st(i,2),r} \\ P*_{st(i,2),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T*_{см_{st(i,2),r}} \\ P*_{см_{st(i,2),r}} \end{pmatrix}$$

$$T_{st(i,2),r} = T*_{st(i,2),r} - \frac{\left(c_{st(i,2),r}\right)^2}{2\cdot Cp_{газ}\left(P_{st(i,2),r},T_{st(i,2),r},\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right)}$$

$$P_{st(i,2),r} = P*_{st(i,2),r}\cdot\left(\frac{T_{st(i,2),r}}{T*_{st(i,2),r}}\right)^{\frac{k_{st(i,2),r}}{k_{st(i,2),r}-1}}$$

$$k_{st(i,2),r} = k_{ад}\left(Cp_{газ}\left(P_{st(i,2),r},T_{st(i,2),r},\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right),R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right)\right)$$

$$v_{st(i,2),r} = \frac{R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,2)}},Fuel\right)\cdot T_{st(i,2),r}}{P_{st(i,2),r}}$$

$$\alpha_{st(i,2),r} = asin\left(\frac{G_{st(i,2)}\cdot v_{st(i,2),r}}{\dots}\right.$$

$$\ldots\left(F_{st(i,2)}\cdot c_{st(i,2),r}\right)$$

$$\begin{pmatrix} c_{u_{st(i,2),r}} \\ c_{a_{st(i,2),r}} \end{pmatrix} = c_{st(i,2),r}\cdot\begin{pmatrix} \cos\left(\alpha_{st(i,2),r}\right) \\ \sin\left(\alpha_{st(i,2),r}\right) \end{pmatrix}$$

$$\beta_{st(i,2),r} = \mathrm{triangle}\left(c_{a_{st(i,2),r}}, c_{u_{st(i,2),r}} - u_{st(i,2),r}\right)$$

$$w_{st(i,2),r} = \sqrt{\left(c_{st(i,2),r}\right)^2 + \left(u_{st(i,2),r}\right)^2 - 2\cdot c_{st(i,2),r}\cdot u_{st(i,2),r}\cdot\cos\left(\alpha_{st(i,2),r}\right)}$$

$$\begin{pmatrix} w_{u_{st(i,2),r}} \\ w_{a_{st(i,2),r}} \end{pmatrix} = w_{st(i,2),r}\cdot\begin{pmatrix} \cos\left(\beta_{st(i,2),r}\right) \\ \sin\left(\beta_{st(i,2),r}\right) \end{pmatrix}$$

$$T^*_{w_{st(i,2),r}} = T_{st(i,2),r} + \frac{\left(w_{st(i,2),r}\right)^2}{2\cdot Cp_{газ}\left(P_{st(i,2),r}, T_{st(i,2),r}, \alpha_{ox_{st(i,2)}}, Fuel\right)}$$

$$P^*_{w_{st(i,2),r}} = P_{st(i,2),r}\cdot\left(\frac{T^*_{w_{st(i,2),r}}}{T_{st(i,2),r}}\right)^{\frac{k_{st(i,2),r}}{k_{st(i,2),r}-1}}$$

$$\begin{pmatrix} a_{зв_{st(i,2),r}} \\ a^*_{c_{st(i,2),r}} \\ a^*_{w_{st(i,2),r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{k_{st(i,2),r}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,2)}}, Fuel\right)\cdot T_{st(i,2),r}} \\ \sqrt{\frac{2\cdot k_{st(i,2),r}}{k_{st(i,2),r}+1}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,2)}}, Fuel\right)\cdot T^*_{st(i,2),r}} \\ \sqrt{\frac{2\cdot k_{st(i,2),r}}{k_{st(i,2),r}+1}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,2)}}, Fuel\right)\cdot T^*_{w_{st(i,2),r}}} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \lambda_{c_{st(i,2),r}} \\ \lambda_{w_{st(i,2),r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{c_{st(i,2),r}}{a^*_{c_{st(i,2),r}}} \\ \dfrac{w_{st(i,2),r}}{a^*_{w_{st(i,2),r}}} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} M_{c_{st(i,2),r}} \\ M_{w_{st(i,2),r}} \end{pmatrix} = \frac{1}{a_{зв_{st(i,2),r}}}\cdot\begin{pmatrix} c_{st(i,2),r} \\ w_{st(i,2),r} \end{pmatrix}$$

$$\upsilon_{stator_i} = \upsilon_{установки}\left(\alpha_{st(i,1),r}, \alpha_{st(i,2),r}\right)$$

$$chord_{stator_{i,r}} = \frac{B_{CA_i}}{\sin\left(\upsilon_{stator_i}\right)}$$

$$\bar{t}_{оптCA_i} = \bar{t}_{опт}\left(\text{"CA"}, g_{охлCA_i} > 0, \alpha_{st(i,1),r}, \alpha_{st(i,2),r}, \max\left(\mathrm{submatrix}\left(\bar{c}_{stator}, i, i, 1, N_r\right)\right)\right)$$

$$Z_{stator_i} = \left|\ \mathrm{ceil}\left(\frac{\pi\cdot\mathrm{mean}\left(D_{st(i,1),r}, D_{st(i,2),r}\right)}{\bar{t}_{оптCA_i}\cdot chord_{stator_{i,r}}}\right) \text{ if } \mathrm{mod}\left(\mathrm{ceil}\left(\frac{\pi\cdot\mathrm{mean}\left(D_{st(i,1),r}, D_{st(i,2),r}\right)}{\bar{t}_{оптCA_i}\cdot chord_{stator_{i,r}}}\right), 2\right) = 0\right.$$

$$\left(\pi\cdot\mathrm{mean}\left(D_{st(i,1),r}, D_{st(i,2),r}\right)\right)\ldots$$

$$\mathrm{ceil}\left(\frac{\pi\cdot \mathrm{mean}\left(D_{st(i,1),r}, D_{st(i,2),r}\right)}{\overline{t}_{оптCA_i}\cdot chord_{stator_{i,r}}}\right)+1 \quad \text{otherwise}$$

for $r \in 1..N_r$

$$t_{stator_{i,r}} = \frac{\pi\cdot \mathrm{mean}\left(D_{st(i,1),r}, D_{st(i,2),r}\right)}{Z_{stator_i}}$$

$$\xi_{трCA_i} = \xi_{трение}\left(\alpha_{st(i,1),r}, \alpha_{st(i,2),r}\right)$$

$$\xi_{крCA_i} = \xi_{кромка}\left(\overline{r\_outlet}_{stator_{i,r}}\cdot chord_{stator_{i,r}}, t_{stator_{i,r}}, \alpha_{st(i,2),r}\right)$$

$$\xi_{ReCA_i} = \xi_{Re}\left(\frac{c_{st(i,2),r}\cdot chord_{stator_{i,r}}}{\mu_{газ}\left(T_{st(i,2),r}, \alpha_{ox_{st(i,2)}}\right)\cdot v_{st(i,2),r}}\right)$$

$$\xi_{\lambda CA_i} = \xi_{сжимаемость}\left(\text{"CA"}, \lambda_{c_{st(i,2),r}}\right)$$

$$\xi_{прCA_i} = \xi_{трCA_i} + \xi_{крCA_i} + \xi_{ReCA_i} + \xi_{\lambda CA_i}$$

$$\xi_{втCA_i} = \xi_{вторичные}\left(\xi_{трCA_i}, t_{stator_{i,r}}, \alpha_{st(i,2),r}, h_{st(i,2)}\right)$$

$$\xi_{тдCA_i} = \frac{\xi_{ТД}\left(\text{"CA"}, T^*{см}_{st(i,2),r}, T^*{ад}_{st(i,2),r}, P_{st(i,2),r}, Cp_{газ}\left(P_{st(i,2),r}, T_{st(i,2),r}, \alpha_{ox_{st(i,2)}}, Fuel\right), R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,2)}}, Fuel\right), G_{st(i,2)}, F_{st(i,2)}, \alpha_{st(i,2),r}, 0\right)}{H_{stator_i}}$$

$$\xi_{смCA_i} = \xi_{смешение}\left(\text{"CA"}, g_{охлCA_i}\right)$$

if $\left|\mathrm{eps}\left(\text{"rel"}, \sqrt{1-\xi_{смCA_i}-\xi_{тдCA_i}-\xi_{втCA_i}-\xi_{прCA_i}}, \overline{\upsilon}_{stator_i}\right)\right| \le \mathrm{epsilon}$

$$\overline{\upsilon}_{stator_i} = \sqrt{1-\xi_{смCA_i}-\xi_{тдCA_i}-\xi_{втCA_i}-\xi_{прCA_i}}$$

break

$$\overline{\upsilon}_{stator_i} = \sqrt{1-\xi_{смCA_i}-\xi_{тдCA_i}-\xi_{втCA_i}-\xi_{прCA_i}}$$

$$H_{rotor_i} = H_{ст_i}\cdot R_{L_{i,av(N_r)}}\cdot\frac{T_{st(i,2),r}}{T_{ад_{st(i,2),r}}}$$

$$w_{ад_{st(i,3),r}} = \sqrt{\left(w_{st(i,2),r}\right)^2 + 2\cdot H_{rotor_i} + \left(u_{st(i,3),r}\right)^2 - \left(u_{st(i,2),r}\right)^2}$$

$$\overline{\upsilon}_{rotor_i} = 1$$

$$iteration_{РК_i} = 0$$

while $1 > 0$

$$iteration_{РК_i} = iteration_{РК_i} + 1$$

$\mathrm{trace}\left(\mathrm{concat}\left(\text{"   iteration.РК = "}, \mathrm{num2str}\left(iteration_{РК_i}\right)\right)\right)$

$$w_{st(i,3),r} = \overline{\upsilon}_{rotor_i}\cdot w_{ад_{st(i,3),r}}$$

$$\theta_{РК_i} = \theta_{глубина}\left(T^*w_{st(i,2),r}, T^*_{cooling}, T_{Л.доп}\right)$$

$$g_{охлРК_i} = \begin{cases} \dfrac{0.035\cdot\theta_{РК_i}}{1-\theta_{РК_i}} & \text{if } \dfrac{0.035\cdot\theta_{РК_i}}{1-\theta_{РК_i}} \ge 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$G_{st(i,3)} = G_{st(i,2)}\cdot\left(1 + g_{охлРК_i}\right)$$

$$\alpha_{ox_{st(i,3)}} = \alpha_{ox_{st(i,2)}} + g_{охлРК_i}$$

$$k_{st(i,3),r} = k_{st(i,2),r}$$

while $1 > 0$

$$k_{РК_i} = \text{mean}\left(k_{st(i,2),r}, k_{st(i,3),r}\right)$$

$$T_{ад_{st(i,3),r}} = T_{st(i,2),r} - \frac{H_{rotor_i}}{\dfrac{k_{РК_i}}{k_{РК_i}-1}\cdot R_{газ.ср}\left(\alpha_{ox_{st(i,2)}}, \alpha_{ox_{st(i,3)}}, Fuel\right)}$$

$$P_{st(i,3),r} = P_{st(i,2),r}\cdot\left(\frac{T_{ад_{st(i,3),r}}}{T_{st(i,2),r}}\right)^{\frac{k_{РК_i}}{k_{РК_i}-1}}$$

$$T_{st(i,3),r} = T_{st(i,2),r} - \frac{\left(w_{st(i,3),r}\right)^2 - \left(w_{st(i,2),r}\right)^2 - \left(u_{st(i,3),r}\right)^2 + \left(u_{st(i,2),r}\right)^2}{2\cdot\dfrac{k_{РК_i}}{k_{РК_i}-1}\cdot R_{газ.ср}\left(\alpha_{ox_{st(i,2)}}, \alpha_{ox_{st(i,3)}}, Fuel\right)}$$

$$Cp_3 = Cp_{газ}\left(P_{st(i,3),r}, T_{st(i,3),r}, \alpha_{ox_{st(i,3)}}, Fuel\right)$$

$$k' = k_{ад}\left(Cp_3, R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,3)}}, Fuel\right)\right)$$

if $\left|eps\left("rel", k_{st(i,3),r}, k'\right)\right| \le epsilon$

$$k_{st(i,3),r} = k'$$

break

$$k_{st(i,3)} = k'$$

$$v_{st(i,3),r} = \frac{R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,3)}}, Fuel\right)\cdot T_{st(i,3),r}}{P_{st(i,3),r}}$$

$$\beta_{st(i,3),r} = \text{asin}\left(\frac{G_{st(i,3)}\cdot v_{st(i,3),r}}{w_{st(i,3),r}\cdot F_{st(i,3)}}\right)$$

$$\begin{pmatrix} c_{u_{st(i,3),r}} \\ c_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{st(i,3),r}\cdot\cos\left(\beta_{st(i,3),r}\right) - u_{st(i,3),r} \\ w_{st(i,3),r}\cdot\sin\left(\beta_{st(i,3),r}\right) \end{pmatrix}$$

$$c_{st(i,3),r} = \sqrt{\left(c_{u_{st(i,3),r}}\right)^2 + \left(c_{a_{st(i,3),r}}\right)^2}$$

$$\begin{pmatrix} w_{u_{st(i,3),r}} \\ w_{a_{st(i,3),r}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\left(w_{st(i,3),r}\right)^2 - \left(c_{a_{st(i,3),r}}\right)^2} \\ w_{st(i,3),r}\sin\left(\beta_{st(i,3),r}\right) \end{bmatrix}$$

$$\alpha_{st(i,3),r} = \mathrm{triangle}\left(c_{a_{st(i,3),r}}, c_{u_{st(i,3),r}}\right)$$

$$T^*_{\text{ад}_{st(i,3),r}} = T_{st(i,3),r} + \frac{\left(c_{st(i,3),r}\right)^2}{2\cdot Cp_{\text{газ}}\left(P_{st(i,3),r}, T_{st(i,3),r}, \alpha_{\text{ох}_{st(i,3)}}, \mathrm{Fuel}\right)}$$

$$P^*_{\text{ад}_{st(i,3),r}} = P_{st(i,3),r}\cdot\left(\frac{T^*_{\text{ад}_{st(i,3),r}}}{T_{st(i,3),r}}\right)^{\frac{k_{st(i,3),r}}{k_{st(i,3),r}-1}}$$

$$\begin{pmatrix} T^*_{\text{см}_{st(i,3),r}} \\ P^*_{\text{см}_{st(i,3),r}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} T_{\text{смешение}}\left[P^*_{\text{ад}_{st(i,3),r}}, T^*_{\text{ад}_{st(i,3),r}}, G_{st(i,2)}, \alpha_{\text{ох}_{st(i,2)}}, P^*_{\mathrm{cooling}}, T^*_{\mathrm{cooling}}, \left(g_{\text{охлРК}_i}\cdot G_{st(i,2)}\right), \alpha_{\text{ох}_{st(i,3)}}, \mathrm{Fuel}\right] \\ P_{\text{смешение}}\left[P^*_{\text{ад}_{st(i,3),r}}, G_{st(i,2)}, P^*_{\mathrm{cooling}}, \left(g_{\text{охлРК}_i}\cdot G_{st(i,2)}\right)\right] \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} T^*_{st(i,3),r} \\ P^*_{st(i,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T^*_{\text{см}_{st(i,3),r}} \\ P^*_{\text{см}_{st(i,3),r}} \end{pmatrix}$$

$$T_{st(i,3),r} = T^*_{st(i,3),r} - \frac{\left(c_{st(i,3),r}\right)^2}{2\cdot Cp_{\text{газ}}\left(P_{st(i,3),r}, T_{st(i,3),r}, \alpha_{\text{ох}_{st(i,3)}}, \mathrm{Fuel}\right)}$$

$$P_{st(i,3),r} = P^*_{st(i,3),r}\cdot\left(\frac{T_{st(i,3),r}}{T^*_{st(i,3),r}}\right)^{\frac{k_{st(i,3),r}}{k_{st(i,3),r}-1}}$$

$$k_{st(i,3),r} = k_{\text{ад}}\left(Cp_{\text{газ}}\left(P_{st(i,3),r}, T_{st(i,3),r}, \alpha_{\text{ох}_{st(i,3)}}, \mathrm{Fuel}\right), R_{\text{газ}}\left(\alpha_{\text{ох}_{st(i,3)}}, \mathrm{Fuel}\right)\right)$$

$$T^*_{w_{st(i,3),r}} = T_{st(i,3),r} + \frac{\left(w_{st(i,3),r}\right)^2}{2\cdot\frac{k_{st(i,3),r}}{k_{st(i,3),r}-1}\cdot R_{\text{газ}}\left(\alpha_{\text{ох}_{st(i,3)}}, \mathrm{Fuel}\right)}$$

$$\begin{pmatrix} a_{\text{зв}_{st(i,3),r}} \\ a^*_{c_{st(i,3),r}} \\ a^*_{w_{st(i,3),r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{k_{st(i,3),r}\cdot R_{\text{газ}}\left(\alpha_{\text{ох}_{st(i,3)}}, \mathrm{Fuel}\right)\cdot T_{st(i,3),r}} \\ \sqrt{\frac{2\cdot k_{st(i,3),r}}{k_{st(i,3),r}+1}\cdot R_{\text{газ}}\left(\alpha_{\text{ох}_{st(i,3)}}, \mathrm{Fuel}\right)\cdot T^*_{st(i,3),r}} \\ \sqrt{\frac{2\cdot k_{st(i,3),r}}{k_{st(i,3),r}+1}\cdot R_{\text{газ}}\left(\alpha_{\text{ох}_{st(i,3)}}, \mathrm{Fuel}\right)\cdot T^*_{w_{st(i,3),r}}} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \lambda_{c_{st(i,3),r}} \\ \ldots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{c_{st(i,3),r}}{a^*_{c_{st(i,3),r}}} \\ \ldots \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \lambda_{w_{st(i,3),r}} \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \dfrac{w_{st(i,3),r}}{a^*_{w_{st(i,3),r}}} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} M_{c_{st(i,3),r}} \\ M_{w_{st(i,3),r}} \end{pmatrix} = \frac{1}{a_{зв_{st(i,3),r}}} \cdot \begin{pmatrix} c_{st(i,3),r} \\ w_{st(i,3),r} \end{pmatrix}$$

$$\upsilon_{rotor_i} = \upsilon_{установки}\left(\beta_{st(i,2),r}, \beta_{st(i,3),r}\right)$$

$$chord_{rotor_{i,r}} = \frac{B_{РК_i}}{\sin\left(\upsilon_{rotor_i}\right)}$$

$$\overline{t}_{оптРК_i} = \overline{t}_{опт}\left("РК", g_{охлРК_i} > 0, \beta_{st(i,2),r}, \beta_{st(i,3),r}, \max\left(submatrix\left(\overline{c}_{rotor}, i, i, 1, N_r\right)\right)\right)$$

$$Z_{rotor_i} = \left| \begin{array}{l} Z_{rotor_i} = ceil\left(\dfrac{\pi \cdot mean\left(D_{st(i,2),r}, D_{st(i,3),r}\right)}{\overline{t}_{оптРК_i} \cdot chord_{rotor_{i,r}}}\right) \\ \text{while } gcd\left(Z_{rotor_i}, Z_{stator_i}\right) \neq 1 \\ \quad Z_{rotor_i} = Z_{rotor_i} + 1 \end{array} \right.$$

for $r \in 1 .. N_r$

$$t_{rotor_{i,r}} = \frac{\pi \cdot mean\left(D_{st(i,2),r}, D_{st(i,3),r}\right)}{Z_{rotor_i}}$$

$$\xi_{трРК_i} = \xi_{трение}\left(\beta_{st(i,2),r}, \beta_{st(i,3),r}\right)$$

$$\xi_{крРК_i} = \xi_{кромка}\left(\overline{r\_outlet}_{rotor_{i,r}} \cdot chord_{rotor_{i,r}}, t_{rotor_{i,r}}, \beta_{st(i,3),r}\right)$$

$$\xi_{ReРК_i} = \xi_{Re}\left(\frac{w_{st(i,3),r} \cdot chord_{rotor_{i,r}}}{\mu_{газ}\left(T_{st(i,3),r}, \alpha_{ox_{st(i,3)}}\right) \cdot v_{st(i,3),r}}\right)$$

$$\xi_{\lambda РК_i} = \xi_{сжимаемость}\left("РК", \lambda_{w_{st(i,3),r}}\right)$$

$$\xi_{прРК_i} = \xi_{трРК_i} + \xi_{крРК_i} + \xi_{ReРК_i} + \xi_{\lambda РК_i}$$

$$\xi_{втРК_i} = \xi_{вторичные}\left(\xi_{трРК_i}, t_{rotor_{i,r}}, \beta_{st(i,3),r}, h_{st(i,3)}\right)$$

$$\xi_{тдРК_i} = \frac{\xi_{ТД}\left("РК", T^*_{см_{st(i,3),r}}, T^*_{ад_{st(i,3),r}}, P_{st(i,3),r}, Cp_{газ}\left(P_{st(i,3),r}, T_{st(i,3),r}, \alpha_{ox_{st(i,3)}}, Fuel\right), R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,3)}}, Fuel\right), G_{st(i,3)}, F_{st(i,3)}, \beta_{st(i,3),r}, u_{st(i,3),r}\right)}{H_{rotor_i}}$$

$$\xi_{смРК_i} = \xi_{смешение}\left("РК", g_{охлРК_i}\right)$$

$$\text{if } \left| eps\left("rel", \sqrt{1 - \xi_{смРК_i} - \xi_{тдРК_i} - \xi_{втРК_i} - \xi_{прРК_i}}, \overline{\upsilon}_{rotor_i}\right) \right| \leq epsilon$$

$$\left| \begin{array}{l} \overline{\upsilon}_{rotor_i} = \sqrt{1 - \xi_{смРК_i} - \xi_{тдРК_i} - \xi_{втРК_i} - \xi_{прРК_i}} \\ \text{break} \end{array} \right.$$

$$\overline{\upsilon}_{rotor_i} = \sqrt{1 - \xi_{смРК_i} - \xi_{тдРК_i} - \xi_{втРК_i} - \xi_{прРК_i}}$$

$$Lu_{ст_i} = c_{u_{st(i,2),r}} \cdot u_{st(i,2),r} + c_{u_{st(i,3),r}} \cdot u_{st(i,3),r}$$

$$\begin{pmatrix} \xi_{CA_i} \\ \xi_{PK_i} \\ \xi_{CAиPK_i} \end{pmatrix} = \frac{1}{H_{ст_i}} \cdot \begin{pmatrix} \xi_{Л}\left(\overline{\upsilon}_{stator_i}, c_{st(i,2),r}\right) \\ \xi_{Л}\left(\overline{\upsilon}_{rotor_i}, w_{st(i,3),r}\right) \\ \xi_{Л}\left(\overline{\upsilon}_{stator_i}, c_{st(i,2),r}\right) \cdot \frac{T_{ад_{st(i,3),r}}}{T_{st(i,2),r}} \end{pmatrix}$$

$$\xi_{вых_i} = \frac{\xi_{выход}\left(c_{st(i,3),r}\right)}{H_{ст_i}}$$

$$\xi_{\Delta r_i} = \frac{\xi_{г.зазор}\left(\Delta_{r_i}, h_{st(i,3)}, D_{st(i,3),r}, R_{L_{i,r}}, Lu_{ст_i}\right)}{H_{ст_i}}$$

$$\xi_{тр.в_i} = \frac{\xi_{трениеИвентиляция}\left[D_{st(i,3),r}, h_{st(i,3)}, u_{st(i,3),r}, \left(\frac{v_{st(i,2),r} + v_{st(i,3),r}}{2 \cdot v_{st(i,2),r} \cdot v_{st(i,3),r}}\right), \mathrm{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)}\right)\right]}{H_{ст_i}}$$

$$\eta_{u1_i} = \frac{Lu_{ст_i}}{H_{ст_i}}$$

$$\eta_{лоп_i} = 1 - \xi_{CAиPK_i} - \xi_{PK_i} - \xi_{\Delta r_i} - \xi_{тр.в_i}$$

$$\eta_{u2_i} = 1 - \xi_{CAиPK_i} - \xi_{PK_i} - \xi_{вых_i}$$

$$\eta_{мощь_i} = 1 - \xi_{CAиPK_i} - \xi_{PK_i} - \xi_{вых_i} - \xi_{\Delta r_i} - \xi_{тр.в_i}$$

$$L_{ст_i} = H_{ст_i} \cdot \eta_{мощь_i}$$

$$\mathrm{trace}\left(\mathrm{concat}\left(\text{"eps(N) = "}, \mathrm{num2str}\left(\mathrm{eps}\left(\text{"rel"}, N_{ст_i}, L_{ст_i} \cdot \mathrm{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)}\right)\right)\right)\right)\right)$$

$$\text{break if } \left(\left|\mathrm{eps}\left(\text{"rel"}, N_{ст_i}, L_{ст_i} \cdot \mathrm{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)}\right)\right)\right| \le \text{epsilon}\right) \wedge \left(\text{iteration}_{ст_i} = 0\right)$$

$$\text{iteration}_{ст_i} = -1 \text{ if } \left|\mathrm{eps}\left(\text{"rel"}, N_{ст_i}, L_{ст_i} \cdot \mathrm{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)}\right)\right)\right| \le \text{epsilon}$$

$$Lu_{нагрузка_i} = \frac{Lu_{ст_i}}{\left(\mathrm{mean}\left(u_{st(i,2),r}, u_{st(i,3),r}\right)\right)^2}$$

$$\begin{pmatrix} \pi^*_{ст_i} \\ \pi_{ст_i} \end{pmatrix} = P^*_{st(i,1),r} \cdot \begin{bmatrix} \left(P^*_{st(i,3),r}\right)^{-1} \\ \left(P_{st(i,3),r}\right)^{-1} \end{bmatrix}$$

$$k_{cp} = k_{ад}\left(Cp_{газ.ср}\left(P_{st(i,1),r}, P_{st(i,3),r}, T_{st(i,1),r}, T_{st(i,3),r}, \alpha_{ox_{st(i,1)}}, \alpha_{ox_{st(i,3)}}, \text{Fuel}\right), R_{газ.ср}\left(\alpha_{ox_{st(i,1)}}, \alpha_{ox_{st(i,3)}}, \text{Fuel}\right)\right)$$

$$H^*_{ст_i} = Cp_{газ.ср}\left(P_{st(i,1),r}, P_{st(i,3),r}, T_{st(i,1),r}, T_{st(i,3),r}, \alpha_{ox_{st(i,1)}}, \alpha_{ox_{st(i,3)}}, Fuel\right)\cdot T^*_{st(i,1),r}\cdot\left[1-\left(\pi^*_{ст_i}\right)^{\frac{\cdots}{k_{cp}}}\right]$$

$$\eta^*_{ст_i} = \frac{L_{ст_i}}{H^*_{ст_i}}$$

for $i \in 1..Z$

for $j \in 1..3$

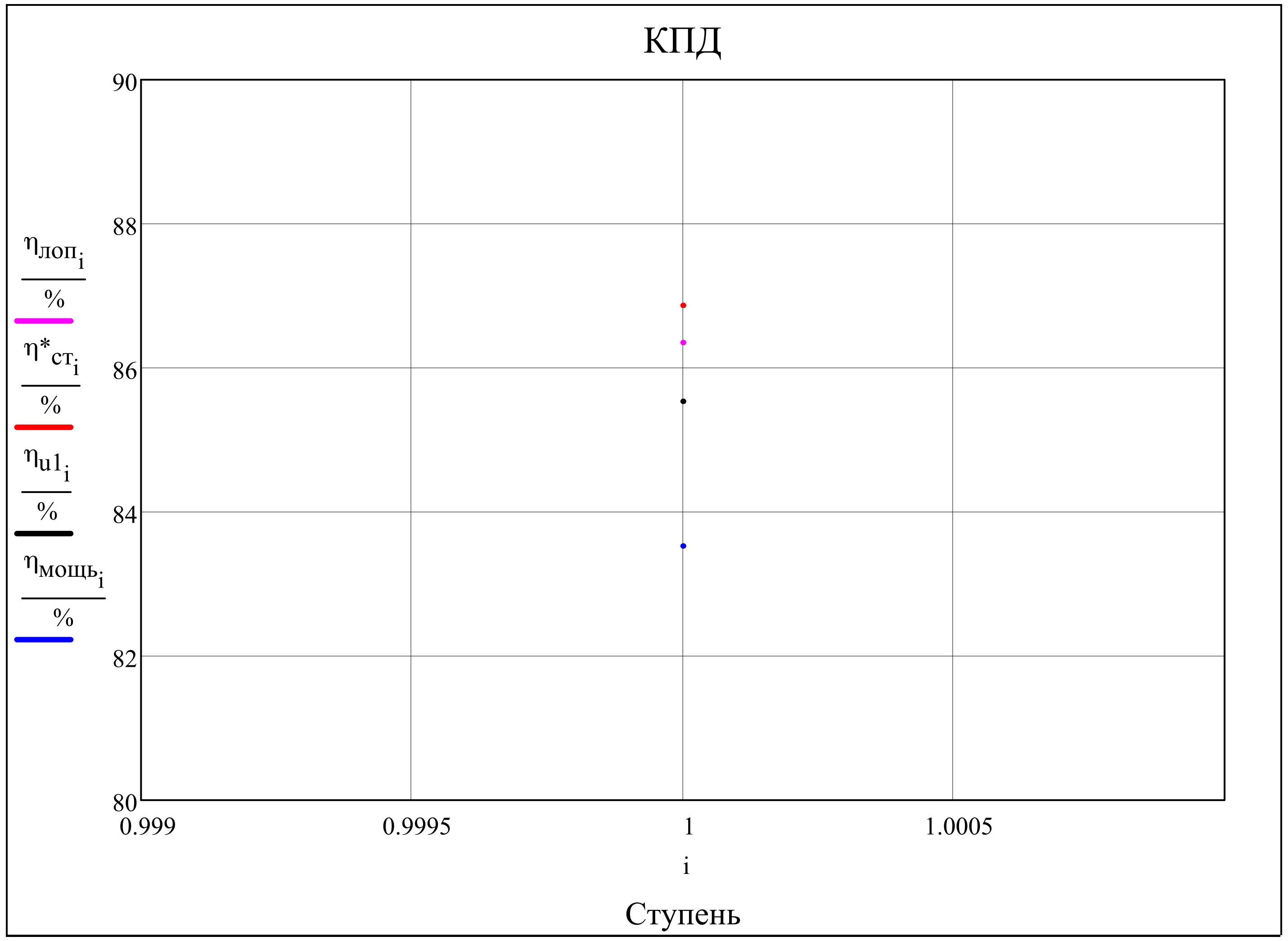
$$\rho^*_{st(i,j),r} = \frac{P^*_{st(i,j),r}}{R_{газ}\left(\alpha_{ox_{st(i,j)}}, Fuel\right)\cdot T^*_{st(i,j),r}}$$

$$\rho_{st(i,j),r} = \left(v_{st(i,j),r}\right)^{-1}$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{stator_{i,av(N_r)}} \\ \varepsilon_{rotor_{i,av(N_r)}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{st(i,2),av(N_r)} - \alpha_{st(i,1),av(N_r)} \\ \beta_{st(i,3),av(N_r)} - \beta_{st(i,2),av(N_r)} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} iteration_{CA} & iteration_{PK} \\ k & R_L \\ H^*_{ст} & H_{ст} \\ H_{stator} & H_{rotor} \\ c_{ад} & w_{ад} \\ P^* & P \\ T^* & T \\ G & v \\ \rho^* & \rho \\ \alpha_{ox} & \alpha_{ox} \\ \alpha & \beta \\ \varepsilon_{stator} & \varepsilon_{rotor} \\ \theta_{CA} & \theta_{PK} \\ g_{охлCA} & g_{охлPK} \\ a^*_c & a^*_w \\ T_{ад} & T_{ад} \\ P^*_w & T^*_w \\ a_{зв} & a_{зв} \\ u & u \\ c & c \\ c_a & c_u \end{pmatrix}$$

Параметры турбины



$$\eta_{лоп}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 86.35 \end{array} \cdot\%$$

$$\eta^*_{ст}{}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 86.87 \end{array} \cdot\%$$

$$\mathrm{stack}\left(\eta_{u1}^{T}, \eta_{u2}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 85.54 \\ 2 & 86.83 \end{array} \cdot\%$$

$$\eta_{мощь}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 83.53 \end{array} \cdot\%$$

$$\eta_{мощь_i} \le \eta_{u1_i} \le \eta^*_{ст_i} \le \eta_{лоп_i} = \boxed{0}$$

Степень понижения полного давления Т:
Степень понижения давления Т:

$$\begin{pmatrix} \pi^*_{T} \\ \pi_{T} \end{pmatrix} = P^*_{st(1,1),av(N_r)} \cdot \begin{bmatrix} \left(P^*_{st(Z,3),av(N_r)}\right)^{-1} \\ \left(P_{st(Z,3),av(N_r)}\right)^{-1} \end{bmatrix} =$$

	1
1	3.14
2	3.26

Теплоперепад по параметрам торможения (Дж/кг):
Располагаемый теплоперепад (Дж/кг):

$$\begin{pmatrix} H^*_{T} \\ H_{T} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{Z} H^*_{ст_i} \\ \sum_{i=1}^{Z} H_{ст_i} \end{pmatrix} =$$

	1
1	516.1
2	536.7

$\cdot 10^3$

Мощность Т (Вт): $\sum_{i=1}^{Z} N_{ст_i} = 14.89 \cdot 10^6$ $\quad \mathrm{eps}\left(\text{"rel"}, N_T, \sum_{i=1}^{Z} N_{ст_i}\right) = 0.000 \cdot \%$

Удельная поступенчатая работа Т [Дж/кг]: $L_T = \sum_{i=1}^{Z} \frac{N_{ст_i}}{\mathrm{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)}\right)} = 448.6 \cdot 10^3$

Лопаточный КПД Т: $$\eta_{Tлоп} = \frac{\sum_{i=1}^{Z} \frac{N_{ст_i}}{\mathrm{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)}\right)} + \frac{\left(c_{st(Z,3),av(N_r)}\right)^2}{2}}{H_T} = 86.4 \cdot \%$$

$$k_{T.cp} = k_{ад}\left(Cp_{газ.cp}\left(P_{st(1,1),av(N_r)}, P_{st(Z,3),av(N_r)}, T_{st(1,1),av(N_r)}, T_{st(Z,3),av(N_r)}, \alpha_{ox_{st(1,1)}}, \alpha_{ox_{st(Z,3)}}, \text{Fuel}\right), R_{газ.cp}\left(\alpha_{ox_{st(1,1)}}, \alpha_{ox_{st(Z,3)}}, \text{Fuel}\right)\right) = 1.289$$

Адиабатный КПД Т: $\eta^*_{T} = \frac{L_T}{H^*_{T}} = 86.92 \cdot \%$

Политропический КПД Т: $\eta^*_{T.п} = \eta^*_{n}\left(\text{"расширение"}, \eta^*_{T}, \pi^*_{T}, k_{T.cp}\right) = 85.37 \cdot \%$

Мощностной КПД Т: $$\eta_{Tмощь} = \frac{\sum_{i=1}^{Z} \frac{N_{ст_i}}{\mathrm{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)}\right)}}{H_T} = 83.58 \cdot \%$$

$L_{ст}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 448.3 \end{array} \cdot 10^{3}$

$N_{ст}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 14.89 \end{array} \cdot 10^{6}$

$Lu_{ст}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 459.1 \end{array} \cdot 10^{3}$

$Lu_{нагрузка}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1.7 \end{array}$

$H_{ст}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 536.7 \end{array} \cdot 10^{3}$

$\mathrm{stack}\left(H_{stator}^{T}, H_{rotor}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 450.9 \\ 2 & 87.0 \end{array} \cdot 10^{3}$

$\mathrm{submatrix}\left(R_{L}^{T}, av\left(N_{r}\right), av\left(N_{r}\right), 1, Z\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.2 \end{array}$

$G^{T} = \begin{array}{c|ccc} & 1 & 2 & 3 \\ \hline 1 & 32.193 & 33.050 & 33.350 \end{array}$

$\alpha_{ox}^{T} = \begin{array}{c|ccc} & 1 & 2 & 3 \\ \hline 1 & 2.267 & 2.294 & 2.303 \end{array}$

$\mathrm{stack}\left(\theta_{CA}^{T}, \theta_{PK}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.432 \\ 2 & 0.206 \end{array}$

$\mathrm{stack}\left(g_{охлCA}^{T}, g_{охлPK}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 26.61 \\ 2 & 9.09 \end{array} \cdot 10^{-3}$

$G_{охлCA_{i}} = g_{охлCA_{i}} \cdot G_{st(i,1)}$

$G_{охлPK_{i}} = g_{охлPK_{i}} \cdot G_{st(i,2)}$

$\mathrm{stack}\left(G_{охлCA}^{T}, G_{охлPK}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.9 \\ 2 & 0.3 \end{array}$

$G_{cooling} = 3.2$

$$\sum_{i=1}^{Z} G_{охлCA_{i}} + \sum_{i=1}^{Z} G_{охлCA_{i}} \le G_{cooling} = 1$$

$\mathrm{stack}\left(\mathrm{iteration}_{CA}{}^{T}, \mathrm{iteration}_{PK}{}^{T}\right) =$

	1
1	2
2	2

$\mathrm{submatrix}\left(k^{T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	1.283	1.293	1.295

$\mathrm{submatrix}\left(P^{*T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	2731.8	2413.7	870.5

$\cdot 10^{3}$

$\mathrm{submatrix}\left(P^{T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	2705.2	1017.3	838.1

$\cdot 10^{3}$

$\mathrm{submatrix}\left(T^{*T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1773.0	1759.0	1394.2						

$\mathrm{submatrix}\left(T^{T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1769.2	1447.0	1382.2						

$\mathrm{submatrix}\left(T^{*}_{w}{}^{T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	1509.6	1500.0						

$\mathrm{submatrix}\left(T_{\text{ад}}{}^{T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	1428.5	1378.7						

$\mathrm{submatrix}\left(v^{T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

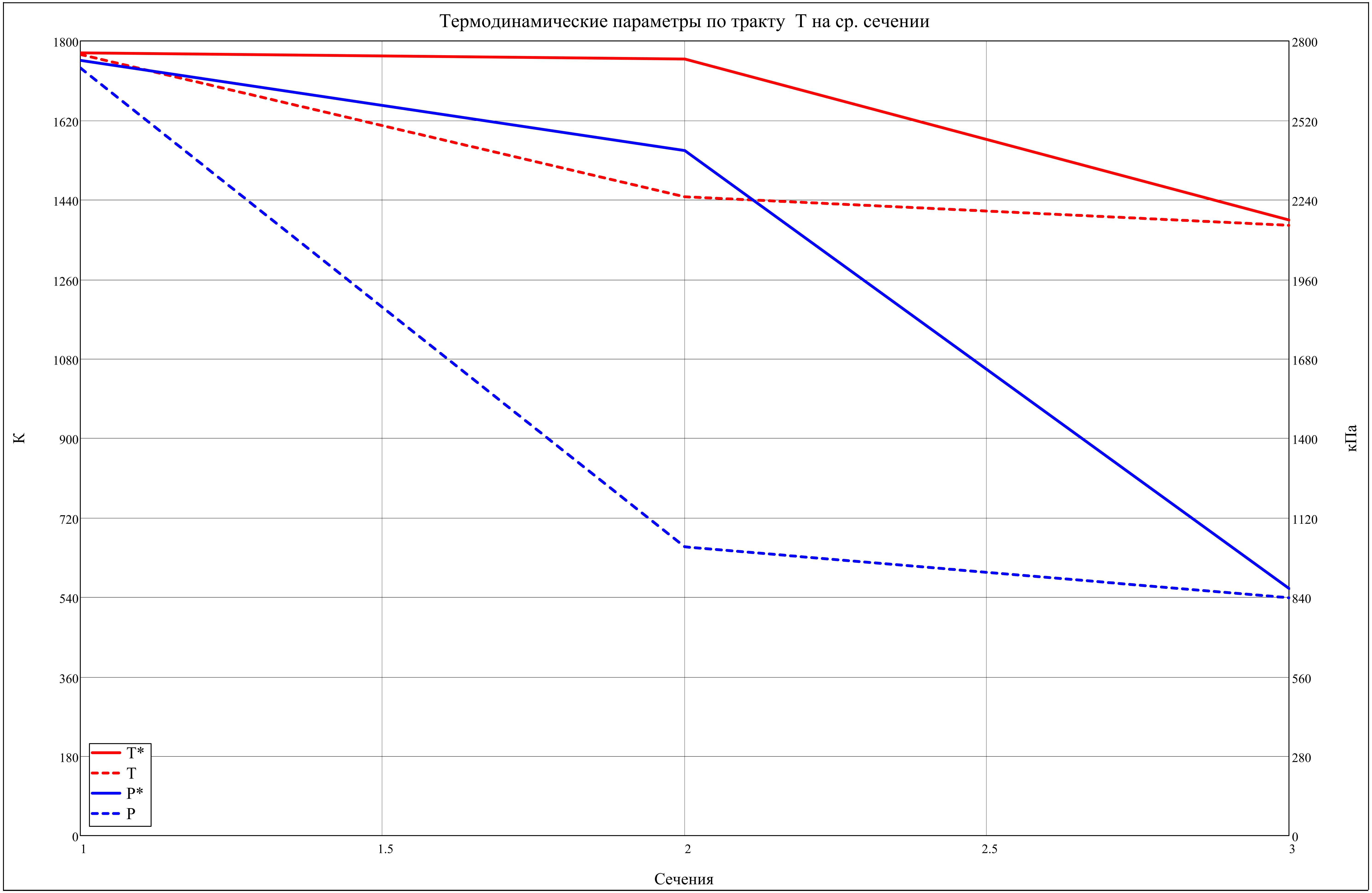
	1	2	3
1	0.189	0.410	0.487

$\mathrm{submatrix}\left(\rho^{*T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	5.341	4.756	2.164

$\mathrm{submatrix}\left(\rho^{T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	5.300	2.437	2.053


Термодинамические параметры по тракту Т на ср. сечении
1800
1620
1440
1260
1080
900
720
540
360
180
0
К
2800
2520
2240
1960
1680
1400
1120
840
560
280
0
кПа
1
1.5
2
2.5
3
Сечения
T*
T
P*
P

$\text{submatrix}\left(a_{зв}^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	809.2	734.6	718.7

$\text{submatrix}\left({a^*_c}^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	758.2	756.5	673.8

$\text{submatrix}\left({a^*_w}^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	0.0	700.8	698.9

$\text{submatrix}\left(c^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	100.0	892.5	174.1

$\text{submatrix}\left(c_u^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	0.0	864.2	-2.7

$\text{submatrix}\left(c_a^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	100.0	223.3	174.0

$\text{submatrix}\left(w^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	0.0	399.5	545.8

$\text{submatrix}\left(w_u^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	0.0	331.3	517.3

$\text{submatrix}\left(w_a^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	0.0	223.3	174.0

$\text{submatrix}\left(c_{ад}^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z\right) =$

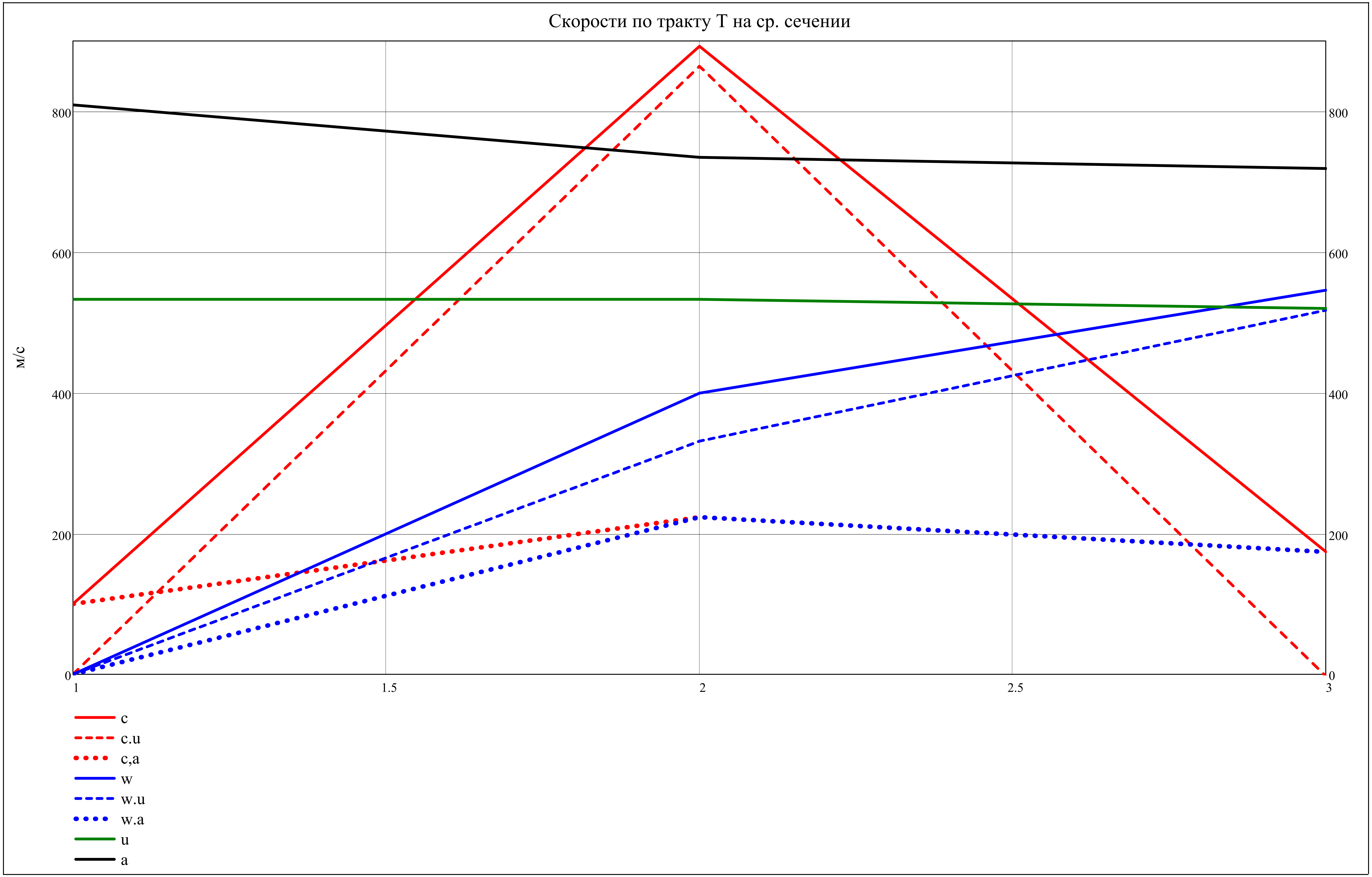
	1	2
1	1036.1	949.6

$\text{submatrix}\left(w_{ад}^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, 2Z+1\right) =$

	1	2	3
1	0.0	0.0	565.7

$u^{T} =$

	1	2	3
1	510.5	510.5	484.8
2	532.9	532.9	520.0
3	555.2	555.2	555.2



Скорости по тракту Т на ср. сечении
м/с
0
200
400
600
800
1
1.5
2
2.5
3
c
c.u
c,a
w
w.u
w.a
u
a

$\mathrm{submatrix}(\alpha, 1, 2\cdot Z + 1, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r))^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	90.00	14.49	90.87						

$\cdot°$

$\mathrm{submatrix}(\alpha, 1, 2\cdot Z + 1, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r))^T \geq 11\cdot° =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1						

$\mathrm{submatrix}(\beta, 1, 2\cdot Z + 1, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r))^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.00	33.98	18.59									

$\cdot°$

$\mathrm{submatrix}(\varepsilon_{stator}, 1, Z, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r))^T =$

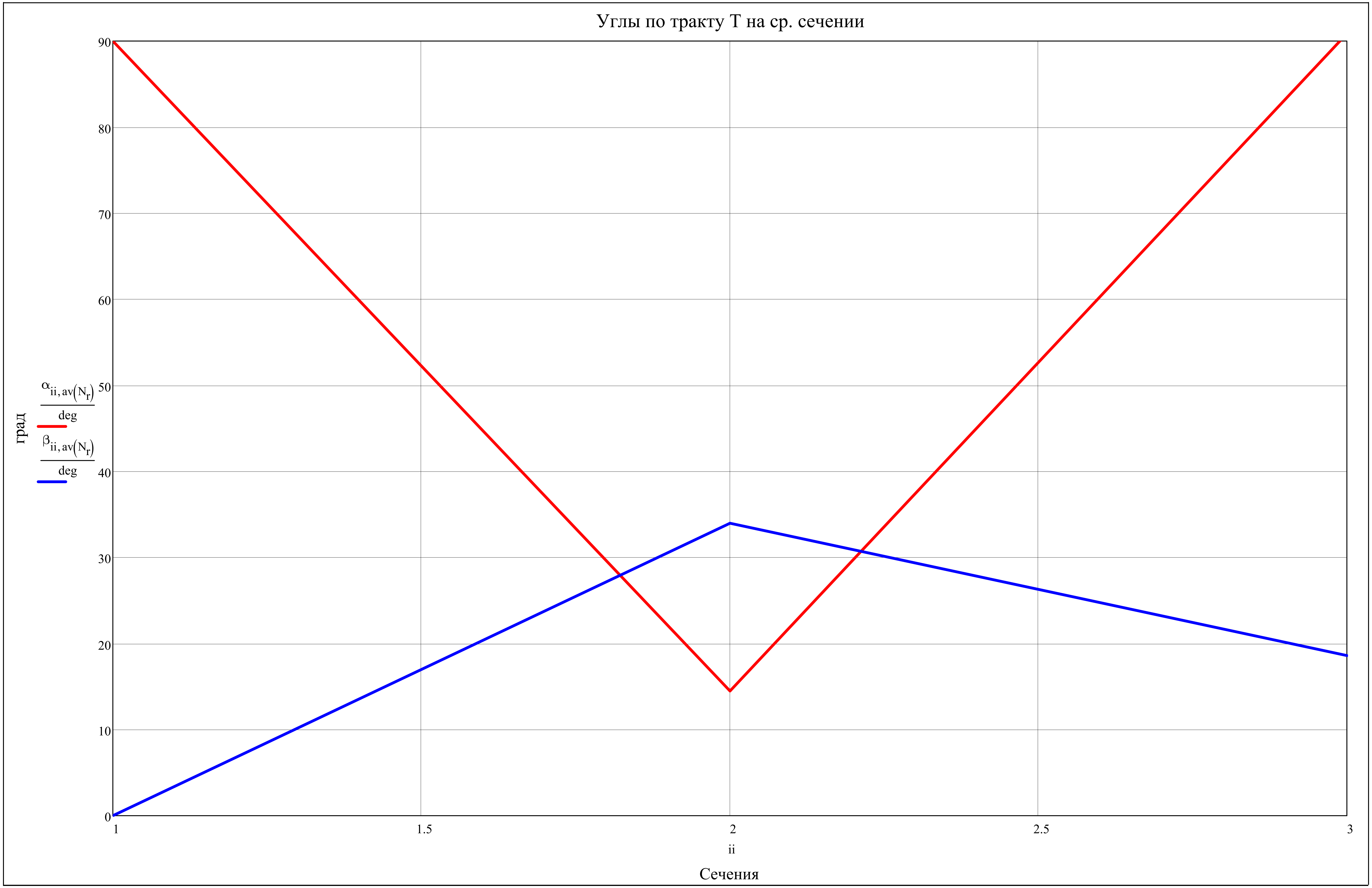
	1	2	3	4	5	6
1	-75.51					

$\cdot°$

$\mathrm{submatrix}(\varepsilon_{rotor}, 1, Z, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r))^T =$

	1	2	3	4	5	6
1	-15.39					

$\cdot°$


Углы по тракту Т на ср. сечении
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
1.5
2
2.5
3
ii
Сечения
град
$\frac{\alpha_{ii,av(N_r)}}{deg}$
$\frac{\beta_{ii,av(N_r)}}{deg}$

$\mathrm{submatrix}\left(\lambda_c, 1, 2Z+1, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r)\right)^T =$

	1	2	3
1	0.1319	1.1799	0.2583

$\mathrm{submatrix}\left(\lambda_w, 1, 2Z+1, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r)\right)^T =$

	1	2	3
1	0.0000	0.5701	0.7810

$\mathrm{submatrix}\left(M_c, 1, 2Z+1, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r)\right)^T =$

	1	2	3
1	0.1236	1.2150	0.2422

$\mathrm{submatrix}\left(M_c, 1, 2Z+1, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r)\right)^T \le 1 =$

	1	2	3
1	1	0	1

$\mathrm{submatrix}\left(M_w, 1, 2Z+1, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r)\right)^T =$

	1	2	3
1	0.0000	0.5438	0.7594

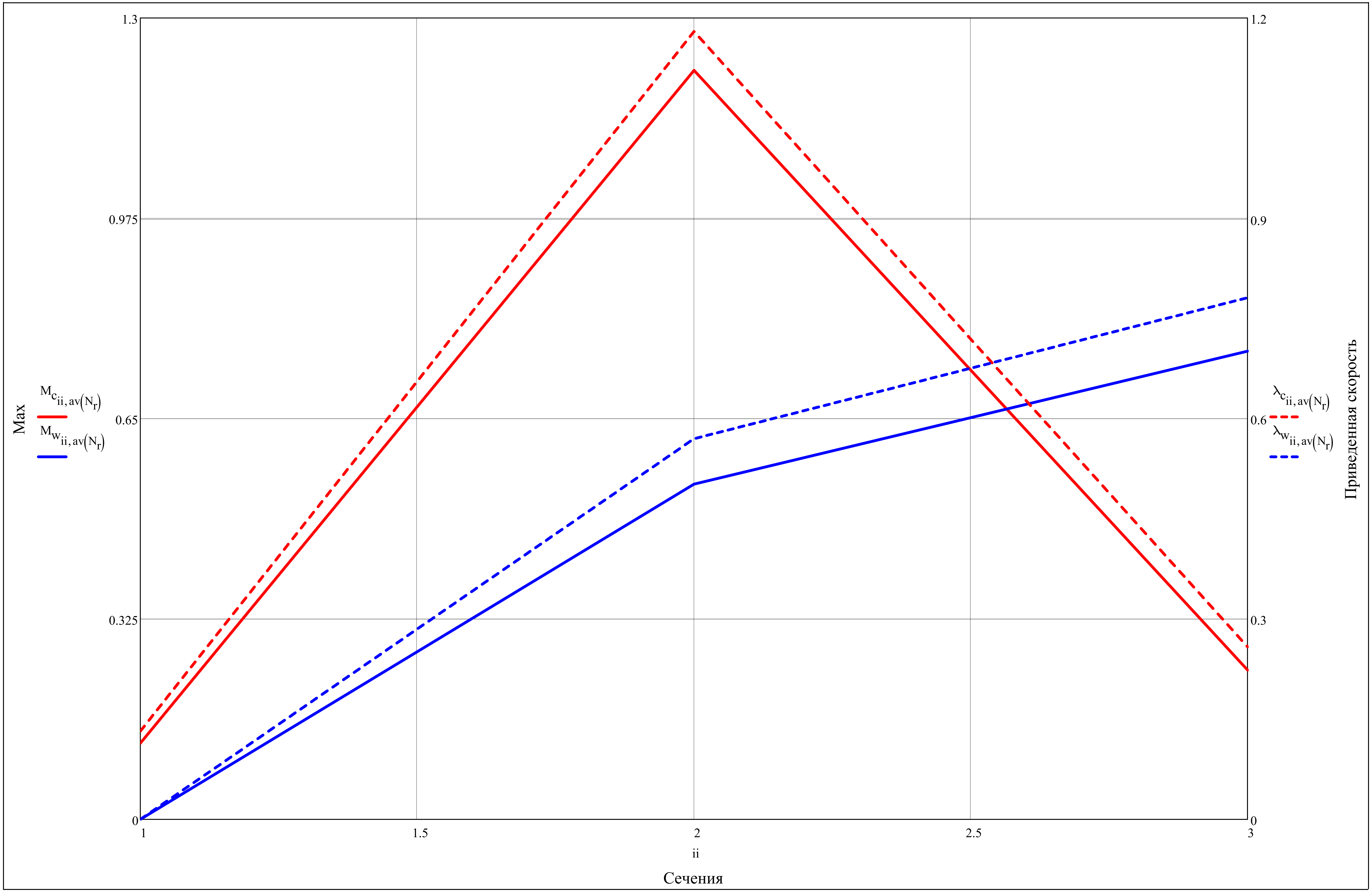
$\mathrm{submatrix}\left(M_w, 1, 2Z+1, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r)\right)^T \le 1 =$

	1	2	3
1	1	1	1

$\mathrm{stack}\left(\upsilon_{stator}{}^T, \upsilon_{rotor}{}^T\right) =$

	1
1	37.03
2	67.08

$\cdot ^\circ$



Мах
Приведенная скорость
$M_{c_{ii,av}}(N_r)$
$M_{w_{ii,av}}(N_r)$
$\lambda_{c_{ii,av}}(N_r)$
$\lambda_{w_{ii,av}}(N_r)$
1.3
0.975
0.65
0.325
0
1.2
0.9
0.6
0.3
0
1
1.5
2
2.5
3
ii
Сечения

$t_{stator}{}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 56.7 \\ 2 & 59.2 \\ 3 & 61.7 \end{array} \cdot 10^{-3}$

$t_{rotor}{}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 22.4 \\ 2 & 23.7 \\ 3 & 25.0 \end{array} \cdot 10^{-3}$

$\mathrm{submatrix}\left(chord_{stator}{}^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, Z\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 68.0 \end{array} \cdot 10^{-3}$

$\mathrm{submatrix}\left(chord_{rotor}{}^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, Z\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 32.7 \end{array} \cdot 10^{-3}$

$\mathrm{stack}\left(Z_{stator}{}^{T}, Z_{rotor}{}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 36 \\ 2 & 89 \end{array}$

$\mathrm{stack}\left(\overline{t}_{оптCA}{}^{T}, \overline{t}_{оптPK}{}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.872 \\ 2 & 0.724 \end{array}$

$\dfrac{t_{stator_{i, av(N_r)}}}{chord_{stator_{i, av(N_r)}}} = 0.871$

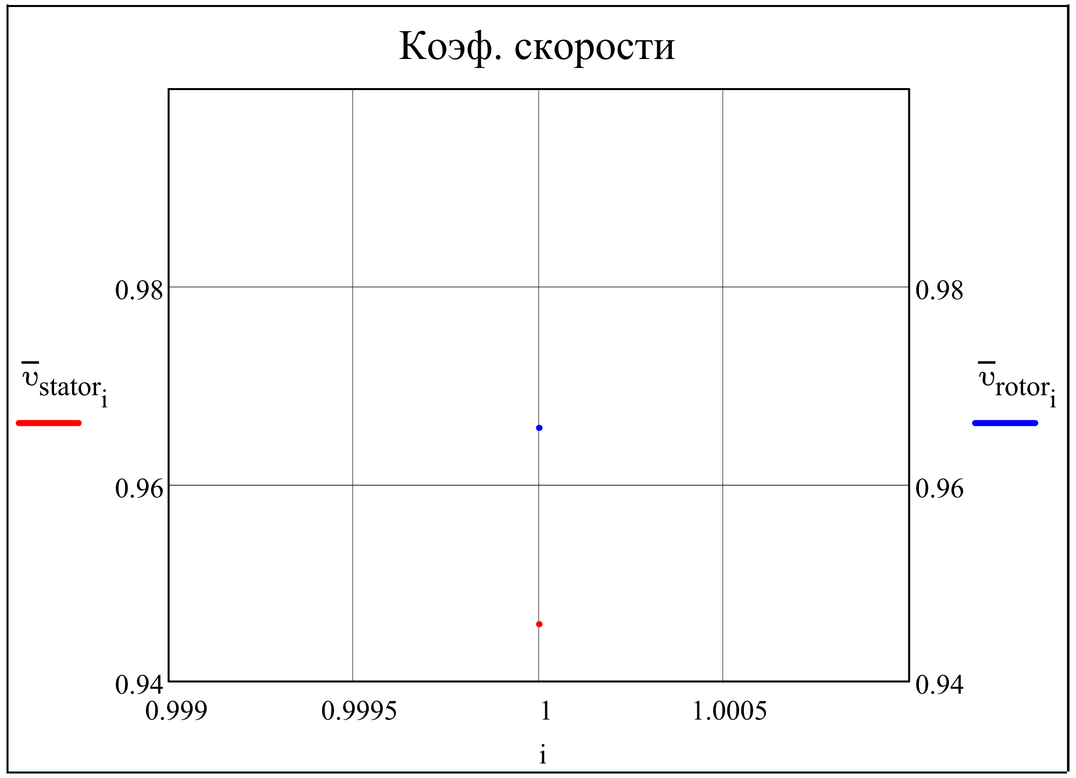
$0.7 \le \dfrac{t_{stator_{i, av(N_r)}}}{chord_{stator_{i, av(N_r)}}} \le 1 = 1$

$\dfrac{t_{rotor_{i, av(N_r)}}}{chord_{rotor_{i, av(N_r)}}} = 0.724$

$0.7 \le \dfrac{t_{rotor_{i, av(N_r)}}}{chord_{rotor_{i, av(N_r)}}} \le 1 = 1$

$\mathrm{stack}\left(\overline{\upsilon}_{stator}^{\,T}, \overline{\upsilon}_{rotor}^{\,T}\right) =$

	1
1	0.9458
2	0.9657



$$\mathrm{stack}\left(\xi_{трСА}^{T}, \xi_{трРК}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1.398 \\ 2 & 2.620 \end{array} \cdot\%$$

$$\mathrm{stack}\left(\xi_{крСА}^{T}, \xi_{крРК}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 2.753 \\ 2 & 1.689 \end{array} \cdot\%$$

$$\mathrm{stack}\left(\xi_{прСА}^{T}, \xi_{прРК}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 6.451 \\ 2 & 4.418 \end{array} \cdot\%$$

$$\mathrm{stack}\left(\xi_{ReСА}^{T}, \xi_{ReРК}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & -0.135 \\ 2 & 0.085 \end{array} \cdot\%$$

$$\mathrm{stack}\left(\xi_{\lambda СА}^{T}, \xi_{\lambda РК}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 2.434 \\ 2 & 0.024 \end{array} \cdot\%$$

$$\mathrm{stack}\left(\xi_{втСА}^{T}, \xi_{втРК}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1.453 \\ 2 & 0.881 \end{array} \cdot\%$$

$$\mathrm{stack}\left(\xi_{тдСА}^{T}, \xi_{тдРК}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1.856 \\ 2 & 1.200 \end{array} \cdot\%$$

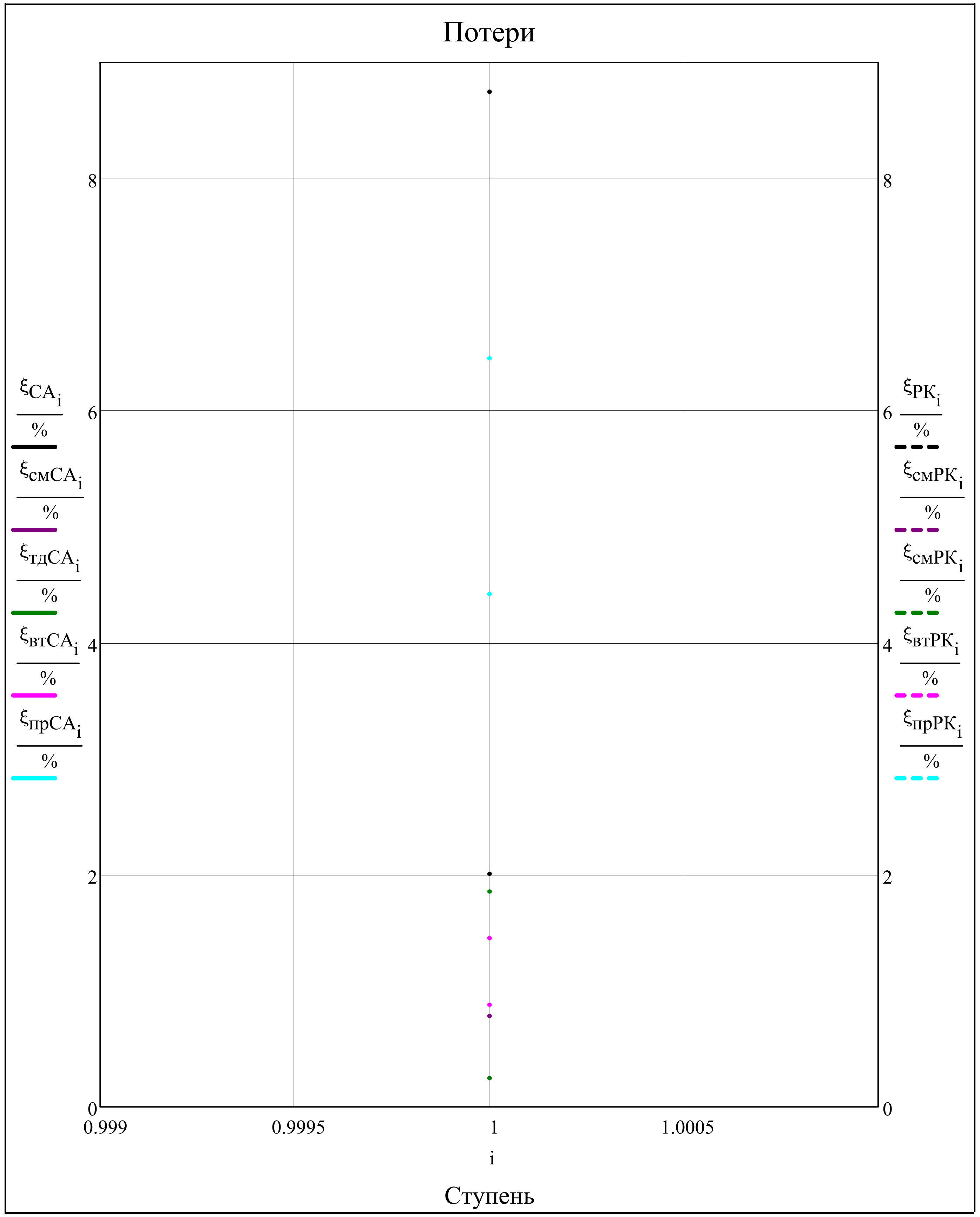
$$\mathrm{stack}\left(\xi_{смСА}^{T}, \xi_{смРК}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.784 \\ 2 & 0.248 \end{array} \cdot\%$$

$$\mathrm{stack}\left(\xi_{СА}^{T}, \xi_{РК}^{T}\right) = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 8.748 \\ 2 & 2.008 \end{array} \cdot\%$$

$$\xi_{вых}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 2.822 \end{array} \cdot\%$$

$$\xi_{\Delta r}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 2.476 \end{array} \cdot\%$$

$$\xi_{тр.в}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.831 \end{array} \cdot\%$$



Параметры турбины

Выбор закона профилирования Л по высоте

$$m = \begin{pmatrix} \left| \begin{array}{l} \overline{\upsilon}_{stator_1} \cdot \cos\left(\alpha_{st(1,2),av\left(N_r\right)}\right)^2 \ \text{if } Z = 1 \\ -0.5 \ \text{otherwise} \end{array} \right. \\ -0.25 \\ 0 \\ 0.25 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \text{"}\alpha\text{.2=const"} \\ \text{"}\Gamma\text{=const"} \\ \text{"m=const"} \\ \text{"R=const"} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\left(\alpha_{st(i,2),av\left(N_r\right)}\right)^2 \cdot \overline{\upsilon}_{stator_i} \\ 1 \cdot \overline{\upsilon}_{stator_i} \\ 0.2 \\ -1 \cdot \overline{\upsilon}_{stator_i} \end{pmatrix}$$

$m^T =$

	1	2	3	4	5	6
1	0.8866	-0.2500	0.0000	0.2500	1.0000	1.0000

Выбор закона профилирования Л по высоте

Расчет Л по высоте

$$
\begin{pmatrix}
P^* & P \\
T^* & T^*_w \\
T & T \\
\rho^* & \rho \\
k & R_L \\
a^*_c & a^*_w \\
a_{зв} & a_{зв} \\
c & w \\
c_u & w_u \\
c_a & w_a \\
\Delta c_a & \Delta c_a \\
\alpha & \beta \\
\lambda_c & M_c \\
\lambda_w & M_w \\
\varepsilon_{stator} & \varepsilon_{rotor}
\end{pmatrix}
=
\left|
\begin{array}{l}
\text{for } i \in 1..Z \\
\quad \text{for } a \in 2..3 \\
\quad\quad \text{for } r \in 1..N_r \\
\quad\quad\quad A_{st(i,a)} = \left(1 - R_{L_{i,av(N_r)}}\right)\cdot\omega\cdot\left(R_{st(i,a),av(N_r)}\right)^{m_i+1} \\
\quad\quad\quad B_{st(i,a)} = \dfrac{Lu_{cт_i}}{2\cdot\omega} \\
\quad\quad\quad c_{u_{st(i,a),r}} = \left|
\begin{array}{l}
\text{if } m_i = \overline{\upsilon}_{stator_i}\cdot\cos\left(\alpha_{st(i,2),av(N_r)}\right)^2 \\
\quad \left|
\begin{array}{ll}
c_{u_{st(i,a),av(N_r)}}\cdot\left(\dfrac{R_{st(i,a),av(N_r)}}{R_{st(i,a),r}}\right)^{m_i} & \text{if } a = 2 \\
\dfrac{u_{st(i,a-1),av(N_r)}\cdot c_{u_{st(i,a-1),av(N_r)}} + u_{st(i,a),av(N_r)}\cdot c_{u_{st(i,a),av(N_r)}} - u_{st(i,a-1),r}\cdot c_{u_{st(i,a-1),r}}}{u_{st(i,a),r}} & \text{otherwise}
\end{array}
\right. \\
\text{otherwise} \\
\quad \left|
\begin{array}{ll}
\dfrac{A_{st(i,a)}}{\left(R_{st(i,a),r}\right)^{m_i}} + \dfrac{B_{st(i,a)}}{\left(R_{st(i,a),r}\right)} & \text{if } a = 2 \\
-\dfrac{A_{st(i,a)}}{\left(R_{st(i,a),r}\right)^{m_i}} + \dfrac{B_{st(i,a)}}{\left(R_{st(i,a),r}\right)} & \text{otherwise}
\end{array}
\right.
\end{array}
\right. \\
\quad\quad\quad c_{a_{st(i,a),r}} = \left|
\begin{array}{l}
\sqrt{\left(c_{a_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^2 - 2\cdot\left(A_{st(i,a)}\right)^2\cdot\left[\left(R_{st(i,a),r}\right)^2 - \left(R_{st(i,a),av(N_r)}\right)^2\right] + 4\cdot A_{st(i,a)}\cdot B_{st(i,a)}\cdot\ln\left(\dfrac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),av(N_r)}}\right)}\cdot\left|\begin{array}{ll}-1 & \text{if } a = 2 \\ 1 & \text{otherwise}\end{array}\right. \quad \text{if } m_i = -1 \\
\sqrt{\left(c_{a_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^2 - 2\cdot\left(A_{st(i,a)}\right)^2\cdot\ln\left(\dfrac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),av(N_r)}}\right) - 2\cdot A_{st(i,a)}\cdot B_{st(i,a)}\cdot\left(\dfrac{1}{R_{st(i,a),r}} - \dfrac{1}{R_{st(i,a),av(N_r)}}\right)}\cdot\left|\begin{array}{ll}-1 & \text{if } a = 2 \\ 1 & \text{otherwise}\end{array}\right. \quad \text{if } m_i = 0 \\
\text{if } m_i = \overline{\upsilon} \ldots \cos(\alpha \ldots)^2
\end{array}
\right.
\end{array}
\right.
$$

$$\text{if } m_i = \upsilon_{stator_i}\cdot\cos\left(\alpha_{st(i,2),av(N_r)}\right)$$

$$c_{a_{st(i,a),av(N_r)}}\cdot\sqrt{1+\frac{\left(1-\frac{\overline{\upsilon}_{stator_i}}{m_i}\right)\cdot\left[1-\frac{1}{\left(\frac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^{2\cdot m_i}}\right]}{\tan\left(\alpha_{st(i,2),av(N_r)}\right)^2}}\quad \text{if } a=2$$

$$\sqrt{\begin{aligned}&\left(c_{a_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^2 \ldots\\ &+\left[1-\left(\overline{\upsilon}_{rotor_i}\right)^2\right]\cdot\left[\left(u_{st(i,a),av(N_r)}\right)^2\cdot\left[1-\left(\frac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^2\right]-2\cdot c_{u_{st(i,a),av(N_r)}}\cdot u_{st(i,a),av(N_r)}\cdot\left[1-\left(\frac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^{1-m_i}\right]\right]\ldots\\ &+\left[1-\left(\overline{\upsilon}_{rotor_i}\right)^2\right]\cdot\left[1-\frac{1}{\left(\frac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^2}\right]\cdot\left(c_{u_{st(i,a-1),av(N_r)}}+c_{u_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^2\ldots\\ &+-2\cdot c_{u_{st(i,a-1),av(N_r)}}\cdot\left(c_{u_{st(i,a-1),av(N_r)}}+c_{u_{st(i,a),av(N_r)}}\right)\cdot\left[1-\frac{2}{m_i+1}\cdot\left(\overline{\upsilon}_{rotor_i}\right)^2\right]\cdot\left[1-\frac{1}{\left(\frac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^{m_i+1}}\right]\ldots\\ &+\left(c_{u_{st(i,a-1),av(N_r)}}\right)^2\cdot\left[1-\frac{\left(\overline{\upsilon}_{stator_i}\right)^2\cdot\left(\overline{\upsilon}_{rotor_i}\right)^2}{m_i}\right]\cdot\left[1-\frac{1}{\left(\frac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^{2\cdot m_i}}\right]\end{aligned}}\quad \text{otherwise}$$

$$\sqrt{\left(c_{a_{st(i,a),av(N_r)}}\right)^2+\frac{A_{st(i,a)}\cdot\left(m_i-1\right)\cdot\left[\begin{aligned}&-A_{st(i,a)}\cdot\left(m_i+1\right)\cdot\left[\frac{1}{\left(R_{st(i,a),r}\right)^{2\cdot m_i}}-\frac{1}{\left(R_{st(i,a),av(N_r)}\right)^{2\cdot m_i}}\right]\ldots\\ &+2\cdot B_{st(i,a)}\cdot m_i\cdot\left[\frac{1}{\left(R_{st(i,a),r}\right)^{m_i+1}}-\frac{1}{\left(R_{st(i,a),av(N_r)}\right)^{m_i+1}}\right]\cdot\left|\begin{array}{l}-1 \ \text{ if } a=2\\ 1 \ \text{ otherwise}\end{array}\right.\end{aligned}\right]}{m_i\cdot\left(m_i+1\right)}}\quad \text{otherwise}$$

for $i\in 1..2\cdot Z+1$

for $r\in 1..N_r$

$$\begin{pmatrix}c_{u_{i,r}}\\ c_{a_{i,r}}\end{pmatrix}=c_{i,av(N_r)}\cdot\begin{pmatrix}\cos\left(\alpha_{i,av(N_r)}\right)\\ \sin\left(\alpha_{i,av(N_r)}\right)\end{pmatrix}\quad \text{if } (i=1)$$

$$P^*_{i,r}=P^*_{i,av(N_r)}$$

$$T^*_{i,r}=T^*_{i,av(N_r)}$$

$$\rho^*_{i,r}=\frac{P^*_{i,r}}{R_{газ}\left(\alpha_{ox_i},Fuel\right)\cdot T^*_{i,r}}$$

$$k_{i,r} = k_{ад}\left(Cp_{воздух}\left(P^*_{i,r}, T^*_{i,r}\right), R_{газ}\left(\alpha_{ox_i}, Fuel\right)\right)$$

$$a^*_{c_{i,r}} = \sqrt{\frac{2\cdot k_{i,r}}{k_{i,r}+1}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_i}, Fuel\right)\cdot T^*_{i,r}}$$

$$\alpha_{i,r} = triangle\left(c_{a_{i,r}}, c_{u_{i,r}}\right)$$

$$c_{i,r} = \frac{c_{a_{i,r}}}{\sin\left(\alpha_{i,r}\right)}$$

$$\lambda_{c_{i,r}} = \frac{c_{i,r}}{a^*_{c_{i,r}}}$$

$$\begin{pmatrix} T_{i,r} \\ P_{i,r} \\ \rho_{i,r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T^*_{i,r}\cdot ГДФ\left("T", \lambda_{c_{i,r}}, k_{i,r}\right) \\ P^*_{i,r}\cdot ГДФ\left("P", \lambda_{c_{i,r}}, k_{i,r}\right) \\ \rho^*_{i,r}\cdot ГДФ\left("\rho", \lambda_{c_{i,r}}, k_{i,r}\right) \end{pmatrix}$$

$$a_{зв_{i,r}} = \sqrt{k_{i,r}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_i}, Fuel\right)\cdot T_{i,r}}$$

$$M_{c_{i,r}} = \frac{c_{i,r}}{a_{зв_{i,r}}}$$

$$\beta_{i,r} = triangle\left(c_{a_{i,r}}, u_{i,r} - c_{u_{i,r}}\right)$$

$$w_{i,r} = \frac{c_{a_{i,r}}}{\sin\left(\beta_{i,r}\right)}$$

$$\begin{pmatrix} w_{u_{i,r}} \\ w_{a_{i,r}} \end{pmatrix} = w_{i,r}\cdot\begin{pmatrix} \cos\left(\beta_{i,r}\right) \\ \sin\left(\beta_{i,r}\right) \end{pmatrix}$$

$$T^*_{w_{i,r}} = T^*_{i,r} - \frac{\left(c_{i,r}\right)^2 - \left(w_{i,r}\right)^2}{2\cdot\frac{k_{i,r}}{k_{i,r}-1}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_i}, Fuel\right)}$$

$$a^*_{w_{i,r}} = \sqrt{\frac{2\cdot k_{i,r}}{k_{i,r}+1}\cdot R_{газ}\left(\alpha_{ox_i}, Fuel\right)\cdot T^*_{w_{i,r}}}$$

$$\lambda_{w_{i,r}} = \frac{w_{i,r}}{a^*_{w_{i,r}}}$$

$$M_{w_{i,r}} = \frac{w_{i,r}}{a_{зв_{i,r}}}$$

for $i \in 1..Z$

for $r \in 1..N_r$

$$\left(\Delta c_{a} \ldots\right) \quad \left(c_{a} \ldots - c_{a} \ldots\right)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta c_{a_{st(i,1),r}} \\ \Delta c_{a_{st(i,2),r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{a_{st(i,2),r}} - c_{a_{st(i,1),r}} \\ c_{a_{st(i,3),r}} - c_{a_{st(i,2),r}} \end{pmatrix}$$

$$R_{L_{i,r}} = 1 - \frac{c_{u_{st(i,2),r}} - c_{u_{st(i,3),r}}}{u_{st(i,2),r} + u_{st(i,3),r}}$$

$$\varepsilon_{stator_{i,r}} = \begin{cases} \alpha_{st(i,2),r} - \alpha_{st(i,1),r} & \text{if } \alpha_{st(i,2),r} \geq \frac{\pi}{2} \\ \alpha_{st(i,1),r} - \alpha_{st(i,2),r} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\varepsilon_{rotor_{i,r}} = \begin{cases} \beta_{st(i,3),r} - \beta_{st(i,2),r} & \text{if } \beta_{st(i,3),r} \geq \frac{\pi}{2} \\ \beta_{st(i,2),r} - \beta_{st(i,3),r} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} P* & T* & T & \rho* & k & a*_c & a_{зв} & c & c_u & c_a & \Delta c_a & \alpha & \lambda_c & \lambda_w & \varepsilon_{stator} \\ P & T*_w & T & \rho & R_L & a*_w & a_{зв} & w & w_u & w_a & \Delta c_a & \beta & M_c & M_w & \varepsilon_{rotor} \end{pmatrix}^T$$

Расчет Л по высоте

Результаты расчета Л по высоте

$P^{*T} =$

	1	2	3
1	2731.8	2413.7	870.5
2	2731.8	2413.7	870.5
3	2731.8	2413.7	870.5

$\cdot 10^3$

$P^T =$

	1	2	3
1	2705.2	939.2	847.2
2	2705.2	1014.0	838.1
3	2705.2	1084.4	831.3

$\cdot 10^3$

$T^{*T} =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1773.0	1759.0	1394.2						
2	1773.0	1759.0	1394.2						
3	1773.0	1759.0	1394.2						

$T^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1768.9	1410.5	1385.1						
2	1768.9	1436.0	1381.6						
3	1768.9	1458.8	1378.9						

$T^{*}{}_{w}{}^{T} =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1878.6	1493.1	1491.4						
2	1888.0	1500.7	1508.0						
3	1897.9	1508.9	1525.6						

$\rho^{*T} =$

	1	2	3
1	5.341	4.756	2.164
2	5.341	4.756	2.164
3	5.341	4.756	2.164

$\rho^T =$

	1	2	3
1	5.301	2.308	2.120
2	5.301	2.448	2.103
3	5.301	2.577	2.090

$k^T =$

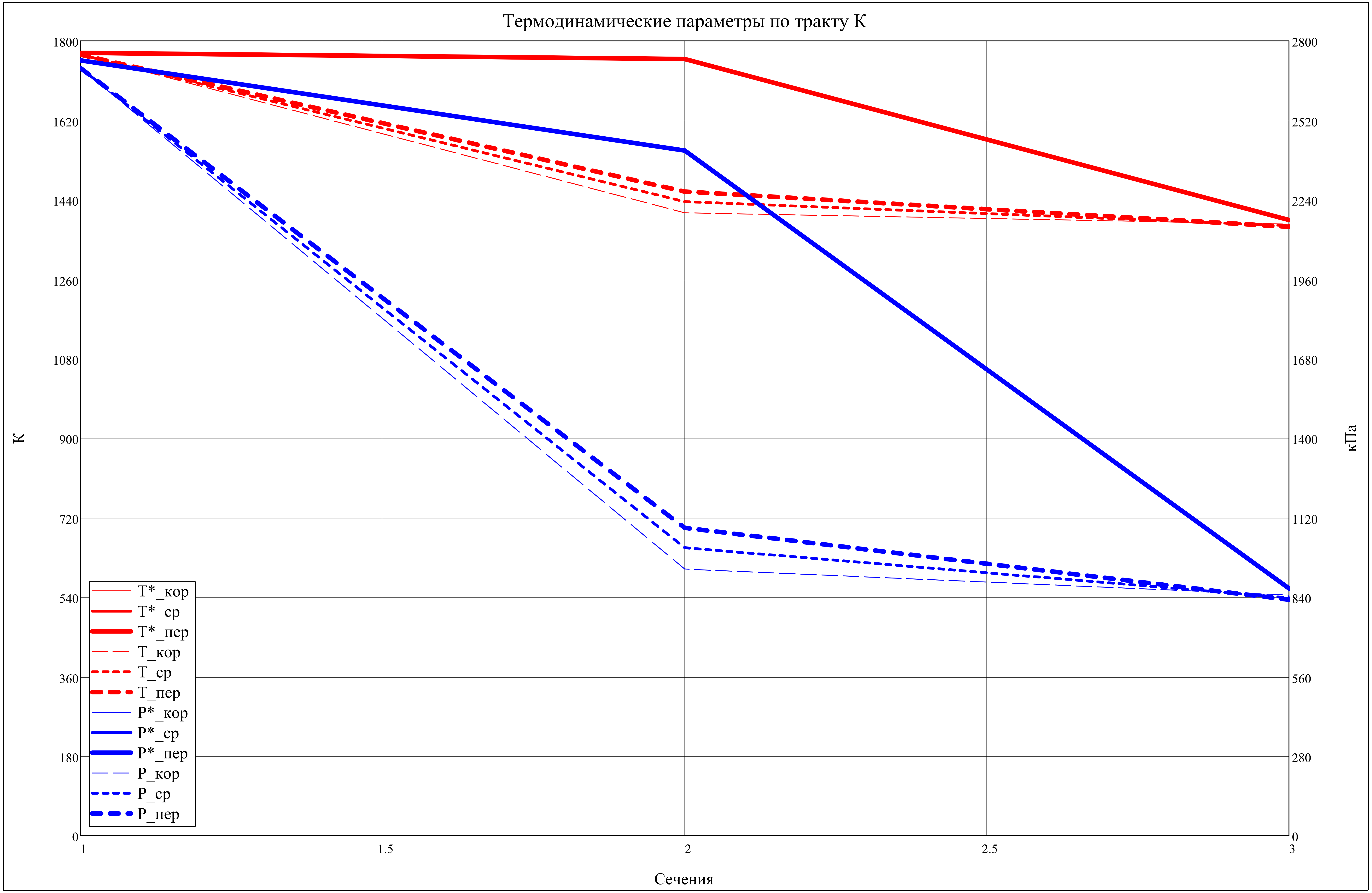
	1	2	3
1	1.305	1.305	1.316
2	1.305	1.305	1.316
3	1.305	1.305	1.316

$R_L{}^T =$

	1
1	0.0998
2	0.1767
3	0.2440

$R_L{}^T \geq 0.05 =$

	1
1	1
2	1
3	1



Термодинамические параметры по тракту К
1800
1620
1440
1260
1080
900
720
540
360
180
0
2800
2520
2240
1960
1680
1400
1120
840
560
280
0
К
кПа
1
1.5
2
2.5
3
Сечения
T*_кор
T*_ср
T*_пер
T_кор
T_ср
T_пер
P*_кор
P*_ср
P*_пер
P_кор
P_ср
P_пер

$a^*{}_c{}^T =$

	1	2	3
1	761.0	758.1	676.1
2	761.0	758.1	676.1
3	761.0	758.1	676.1

$u^T =$

	1	2	3
1	510.5	510.5	484.8
2	532.9	532.9	520.0
3	555.2	555.2	555.2

$c^T =$

	1	2	3
1	100.0	927.2	147.3
2	100.0	892.5	174.1
3	100.0	860.6	191.8

$c_u{}^T =$

	1	2	3
1	0.0	897.7	1.8
2	0.0	864.2	-2.7
3	0.0	833.2	-6.4

$c_a{}^T =$

	1	2	3
1	100.0	231.9	147.3
2	100.0	223.3	174.0
3	100.0	215.3	191.7

$\Delta c_a{}^T =$

	1	2
1	131.9	-84.7
2	123.3	-49.3
3	115.3	-23.6

$a^*{}_w{}^T =$

	1	2	3
1	783.4	698.4	699.3
2	785.3	700.2	703.2
3	787.4	702.1	707.3

$a_{зв}{}^T =$

	1	2	3
1	816.1	728.8	725.3
2	816.1	735.4	724.4
3	816.1	741.2	723.7

$w^T =$

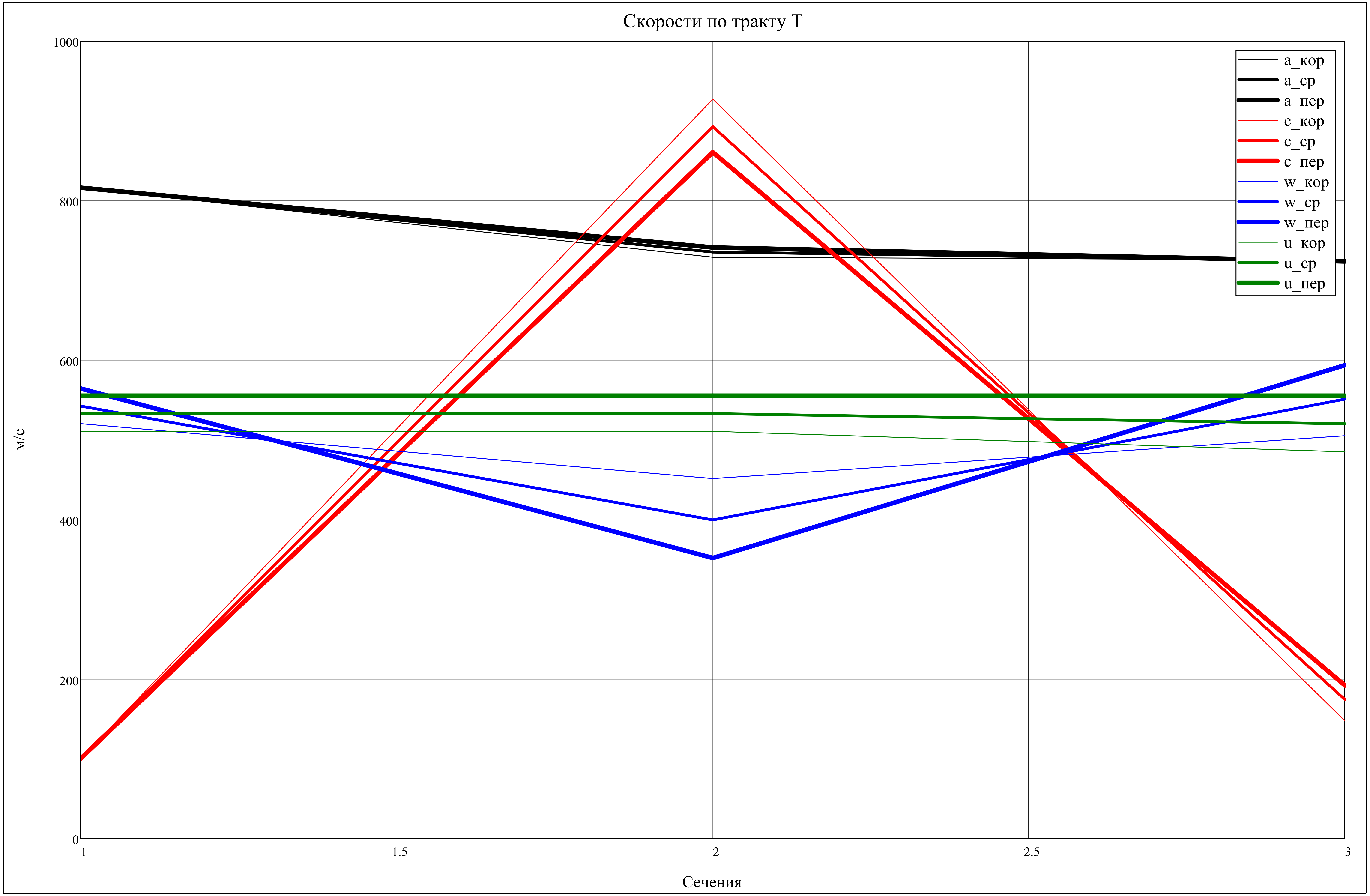
	1	2	3
1	520.2	451.4	504.9
2	542.2	399.5	550.9
3	564.2	351.6	593.4

$w_u{}^T =$

	1	2	3
1	510.5	-387.2	483.0
2	532.9	-331.3	522.7
3	555.2	-278.0	561.6

$w_a{}^T =$

	1	2	3
1	100.0	231.9	147.3
2	100.0	223.3	174.0
3	100.0	215.3	191.7


Скорости по тракту Т
1000
800
600
400
200
0
1
1.5
2
2.5
3
м/с
Сечения
a_кор
a_ср
a_пер
c_кор
c_ср
c_пер
w_кор
w_ср
w_пер
u_кор
u_ср
u_пер

$\alpha^T =$

	1	2	3
1	90.00	14.49	89.31
2	90.00	14.49	90.87
3	90.00	14.49	91.90

$\cdot°$

$\beta^T =$

	1	2	3
1	11.08	149.08	16.96
2	10.63	146.02	18.42
3	10.21	142.24	18.85

$\cdot°$

$80 \cdot ° \le \alpha^T =$

	1	2	3
1	1	0	1
2	1	0	1
3	1	0	1

[1, c.78]

Угол поворота потока:

$\varepsilon_{stator}{}^T =$

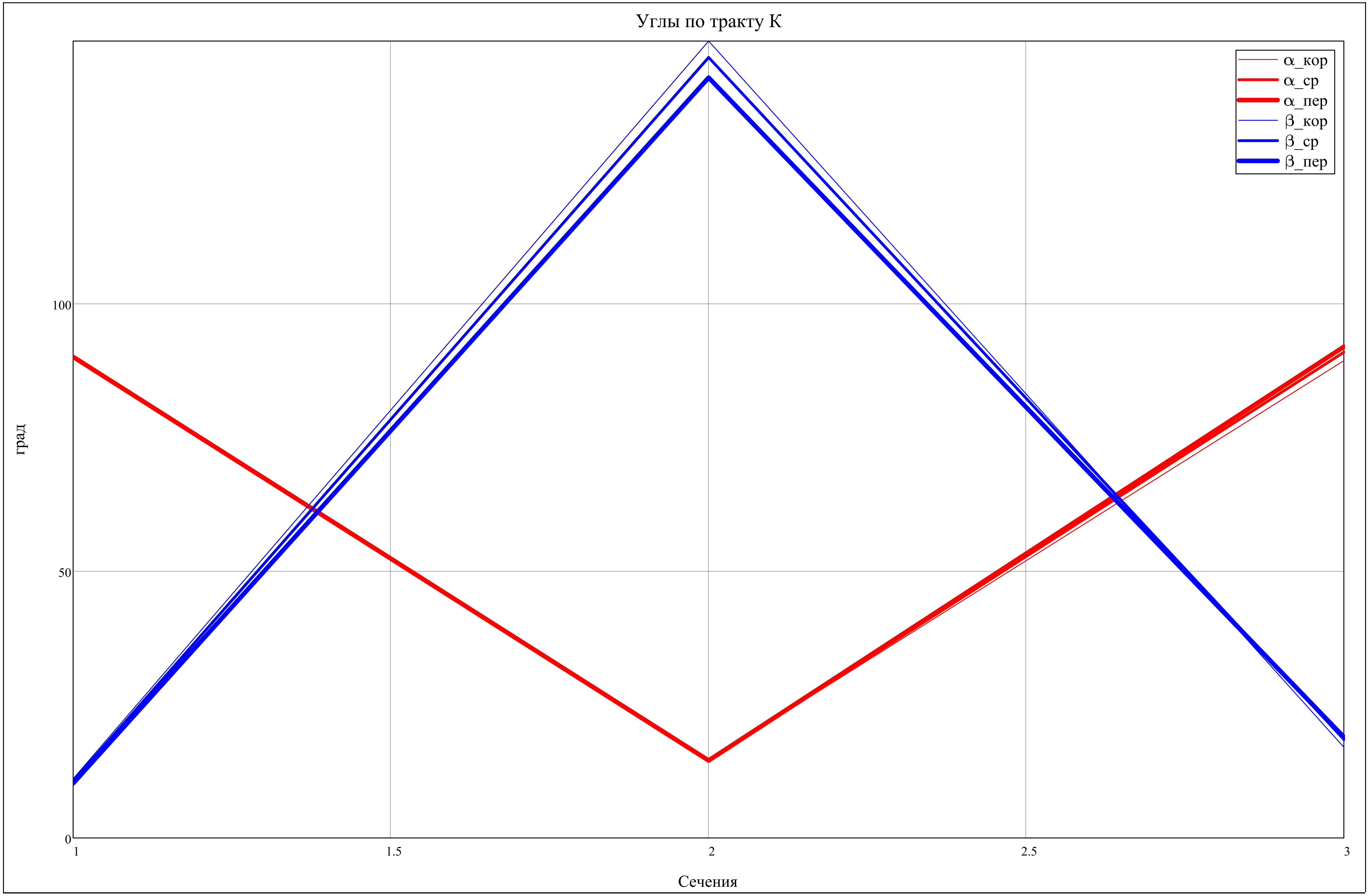
	1
1	75.51
2	75.51
3	75.51

$\cdot°$

$\varepsilon_{rotor}{}^T =$

	1
1	132.12
2	127.61
3	123.40

$\cdot°$


Углы по тракту К
α_кор
α_ср
α_пер
β_кор
β_ср
β_пер
град
100
50
0
1
1.5
2
2.5
3
Сечения

$\lambda_c{}^T =$

	1	2	3
1	0.131	1.223	0.218
2	0.131	1.177	0.257
3	0.131	1.135	0.284

$\lambda_w{}^T =$

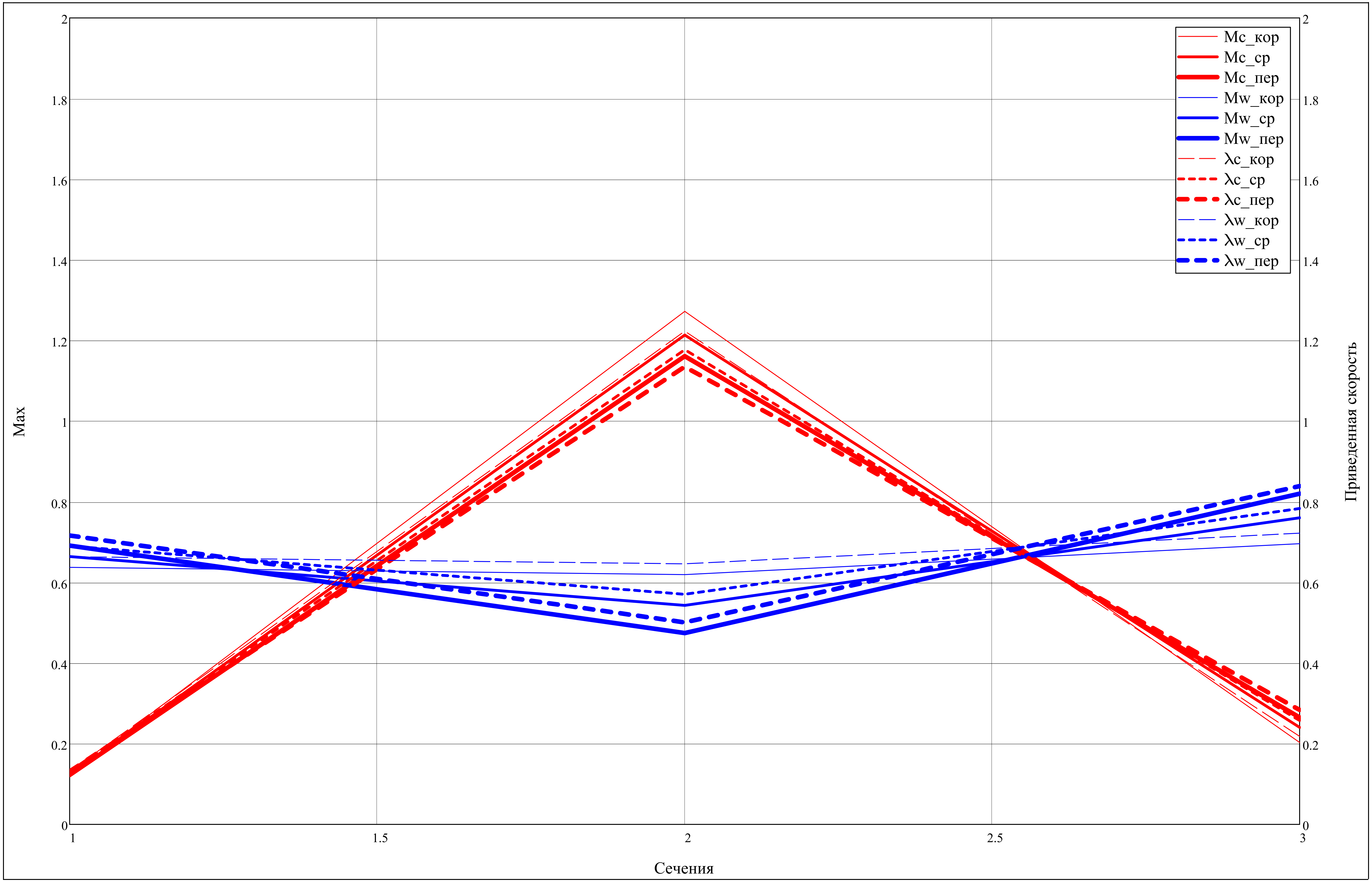
	1	2	3
1	0.664	0.646	0.722
2	0.690	0.571	0.783
3	0.717	0.501	0.839

$M_c{}^T =$

	1	2	3
1	0.123	1.272	0.203
2	0.123	1.214	0.240
3	0.123	1.161	0.265

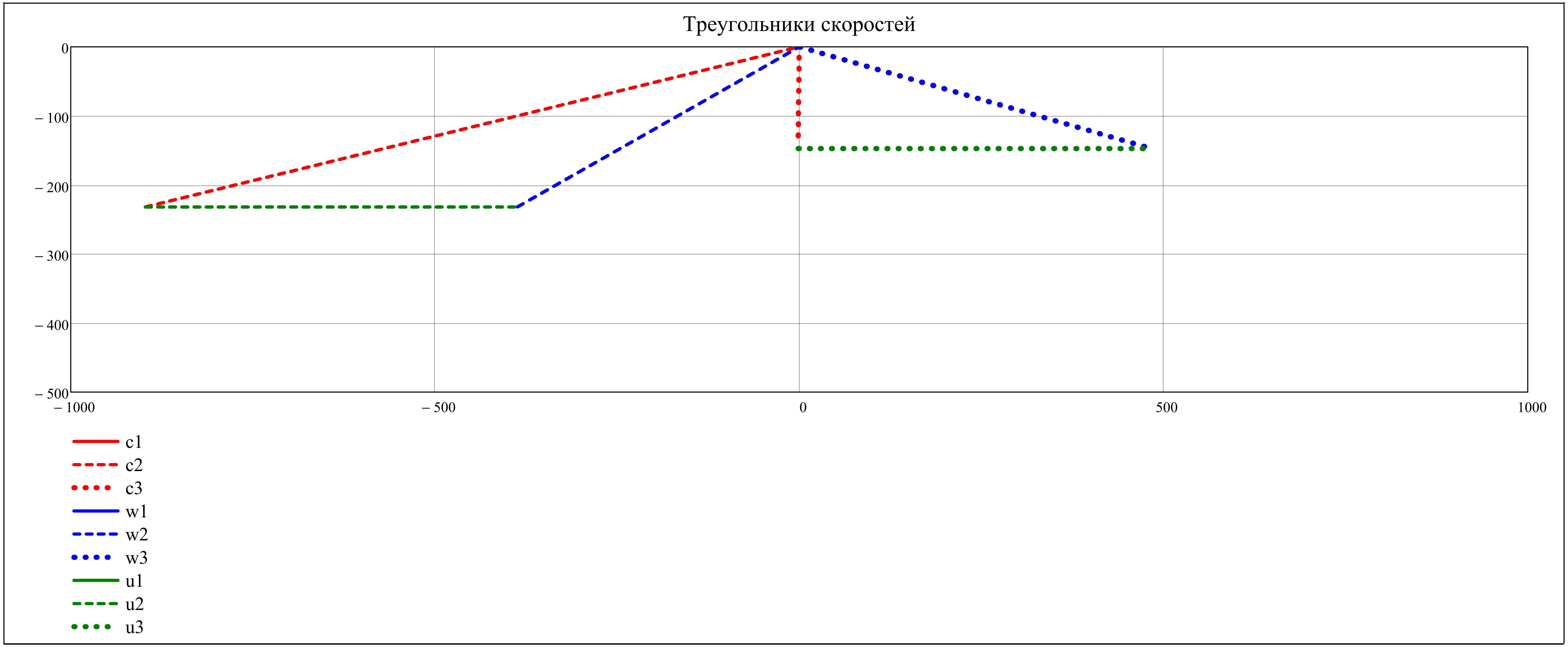
$M_w{}^T =$

	1	2	3
1	0.637	0.619	0.696
2	0.664	0.543	0.760
3	0.691	0.474	0.820

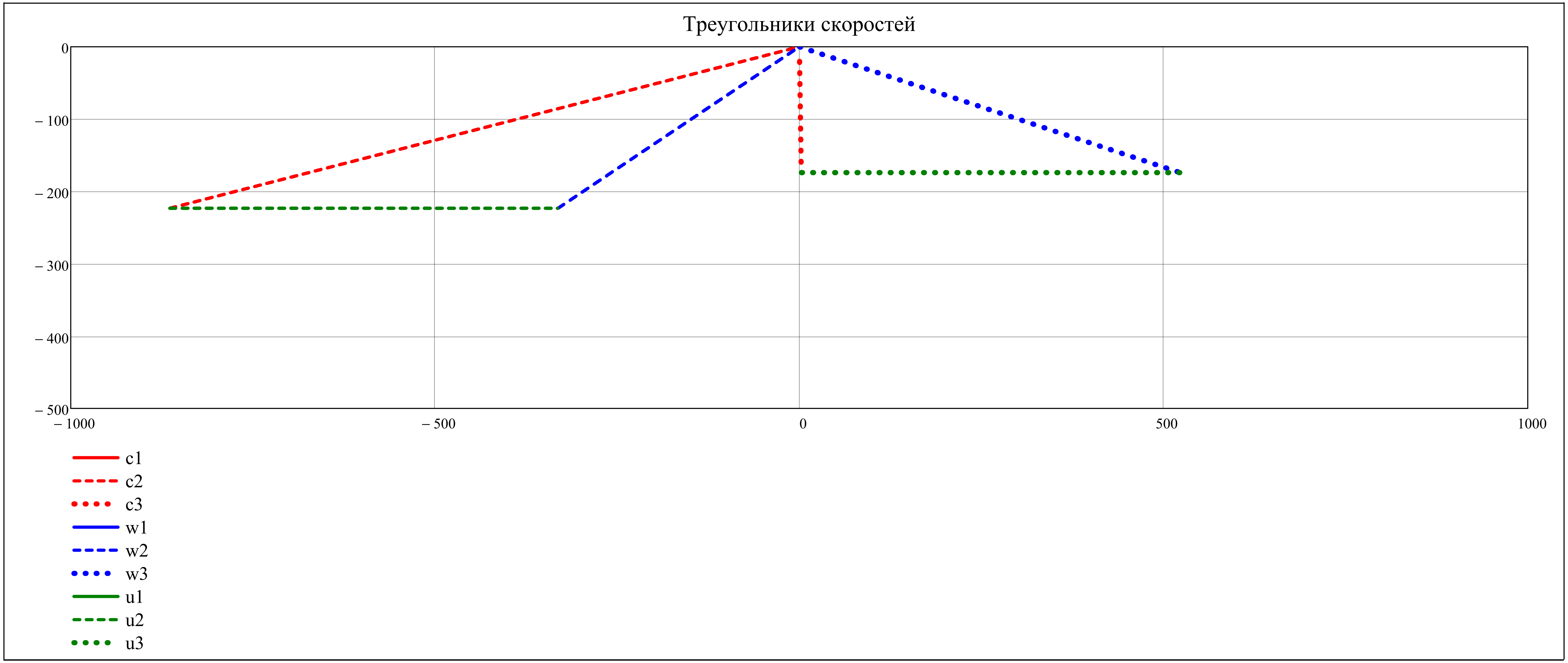


Результаты расчета Л по высоте

r = 1

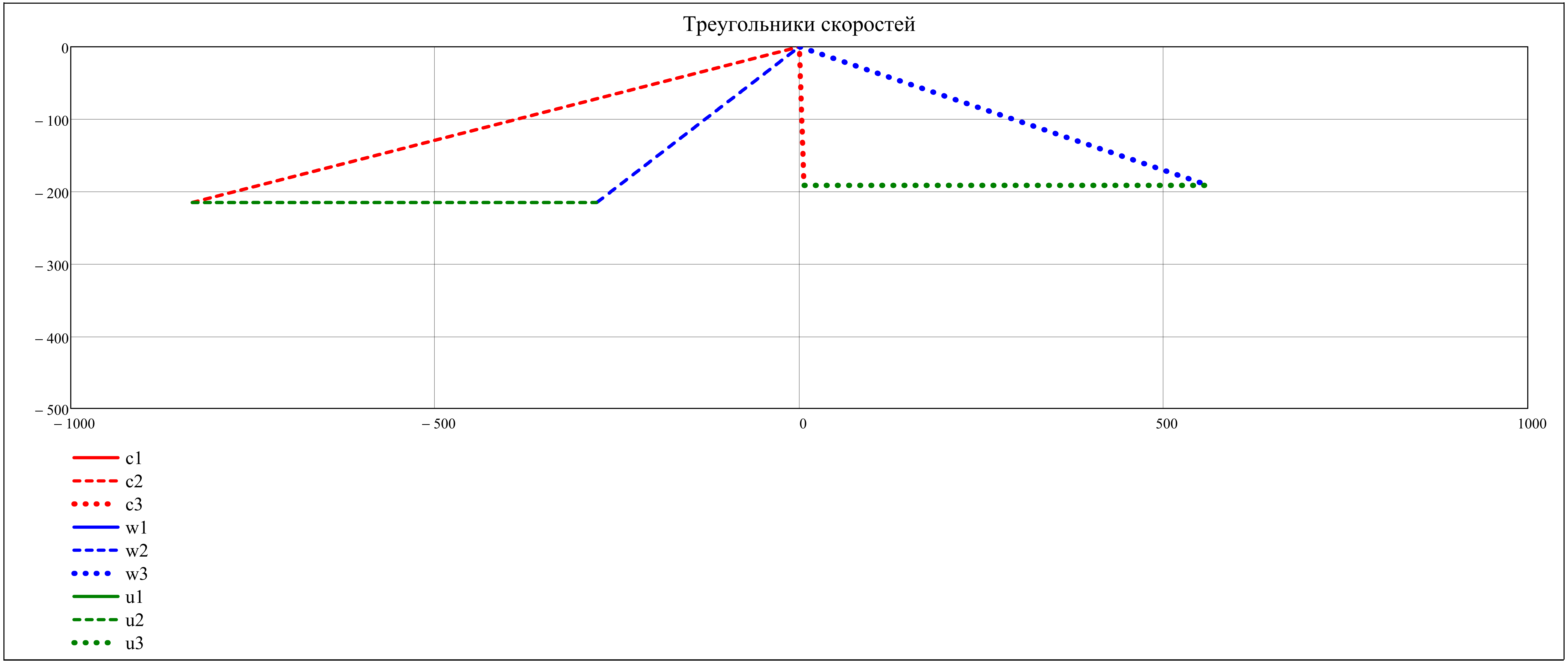

Треугольники скоростей
0
– 100
– 200
– 300
– 400
– 500
– 1000
– 500
0
500
1000
c1
c2
c3
w1
w2
w3
u1
u2
u3

$r = av(N_r)$



Треугольники скоростей
0
– 100
– 200
– 300
– 400
– 500
– 1000
– 500
0
500
1000
c1
c2
c3
w1
w2
w3
u1
u2
u3

$r = N_r$



Построение треугольников скоростей в 3х сечениях

Парусность: $\begin{pmatrix} sail_{stator} \\ sail_{rotor} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.85 \end{pmatrix}$

Расчет хорд Л по парусности

$$\begin{pmatrix} chord_{stator} \\ chord_{rotor} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad sail = \dfrac{R_{st(i,2),N_r} - R_{st(i,2),1}}{R_{st(i,2),av(N_r)} - R_{st(i,2),1}} \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \quad\quad b_{CAкор} = \dfrac{chord_{stator_{i,av(N_r)}} \cdot sail}{sail_{stator} - 1 + sail} \\ \quad\quad b_{PKкор} = \dfrac{chord_{rotor_{i,av(N_r)}} \cdot sail}{sail_{rotor} - 1 + sail} \\ \quad\quad \begin{pmatrix} b_{CAпер} \\ b_{PKпер} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{CAкор} \cdot sail_{stator} \\ b_{PKкор} \cdot sail_{rotor} \end{pmatrix} \\ \quad\quad chord_{stator.}(z) = \text{interp}\left[\text{cspline}\left[\begin{pmatrix} R_{st(i,2),1} \\ R_{st(i,2),av(N_r)} \\ R_{st(i,2),N_r} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} b_{CAкор} \\ chord_{stator_{i,av(N_r)}} \\ b_{CAпер} \end{pmatrix}\right], \begin{pmatrix} R_{st(i,2),1} \\ R_{st(i,2),av(N_r)} \\ R_{st(i,2),N_r} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} b_{CAкор} \\ chord_{stator_{i,av(N_r)}} \\ b_{CAпер} \end{pmatrix}, z\right] \\ \quad\quad chord_{rotor.}(z) = \text{interp}\left[\text{cspline}\left[\begin{pmatrix} R_{st(i,2),1} \\ R_{st(i,2),av(N_r)} \\ R_{st(i,2),N_r} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} b_{PKкор} \\ chord_{rotor_{i,av(N_r)}} \\ b_{PKпер} \end{pmatrix}\right], \begin{pmatrix} R_{st(i,2),1} \\ R_{st(i,2),av(N_r)} \\ R_{st(i,2),N_r} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} b_{PKкор} \\ chord_{rotor_{i,av(N_r)}} \\ b_{PKпер} \end{pmatrix}, z\right] \\ \quad\quad \begin{pmatrix} chord_{stator_{i,r}} \\ chord_{rotor_{i,r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} chord_{stator.}(R_{st(i,2),r}) \\ chord_{rotor.}(R_{st(i,3),r}) \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} chord_{stator} \\ chord_{rotor} \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

Длины хорд РК и СА (м):

$chord_{stator}^{T} =$

	1
1	68.0
2	68.0
3	68.0

$\cdot 10^{-3}$

$chord_{rotor}^{T} =$

	1
1	38.4
2	34.2
3	31.4

$\cdot 10^{-3}$

Расчет хорд Л по парусности

Ср. линия профиля:
0.5 - дуга окружности
0.45 - парабола

$\bar{x}_f = 0.45$

Расчет параметров решетки

$$\begin{pmatrix} t_{stator} & t_{rotor} \\ r\_inlet_{stator} & r\_inlet_{rotor} \\ r\_outlet_{stator} & r\_outlet_{rotor} \\ c_{stator} & c_{rotor} \\ \upsilon_{stator} & \upsilon_{rotor} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \qquad \begin{pmatrix} t_{stator_{i,r}} \\ t_{rotor_{i,r}} \end{pmatrix} = \pi \cdot \begin{pmatrix} \dfrac{\text{mean}\left(D_{st(i,1),r}, D_{st(i,2),r}\right)}{Z_{stator_i}} \\ \dfrac{\text{mean}\left(D_{st(i,2),r}, D_{st(i,3),r}\right)}{Z_{rotor_i}} \end{pmatrix} \\ \qquad \begin{pmatrix} r\_inlet_{stator_{i,r}} & r\_outlet_{stator_{i,r}} \\ r\_inlet_{rotor_{i,r}} & r\_outlet_{rotor_{i,r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overline{r\_inlet}_{stator_{i,r}} \cdot chord_{stator_{i,r}} & \overline{r\_outlet}_{stator_{i,r}} \cdot chord_{stator_{i,r}} \\ \overline{r\_inlet}_{rotor_{i,r}} \cdot chord_{rotor_{i,r}} & \overline{r\_outlet}_{rotor_{i,r}} \cdot chord_{rotor_{i,r}} \end{pmatrix} \\ \qquad \begin{pmatrix} c_{stator_{i,r}} \\ c_{rotor_{i,r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{c}_{stator_{i,r}} \cdot chord_{stator_{i,r}} \\ \bar{c}_{rotor_{i,r}} \cdot chord_{rotor_{i,r}} \end{pmatrix} \\ \qquad \begin{pmatrix} \upsilon_{stator_{i,r}} \\ \upsilon_{rotor_{i,r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \upsilon_{installation}\left(0.5, \alpha_{st(i,1),r}, \alpha_{st(i,2),r}\right) \\ \upsilon_{installation}\left(0.5, \beta_{st(i,2),r}, \beta_{st(i,3),r}\right) \end{pmatrix} + \dfrac{\pi}{2} \\ \begin{pmatrix} t_{stator} & t_{rotor} \\ r\_inlet_{stator} & r\_inlet_{rotor} \\ r\_outlet_{stator} & r\_outlet_{rotor} \\ c_{stator} & c_{rotor} \\ \upsilon_{stator} & \upsilon_{rotor} \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

$$\begin{pmatrix} \upsilon_{установки}\left(\alpha_{st(i,1),r}, \alpha_{st(i,2),r}\right) \\ \upsilon_{установки}\left(\beta_{st(i,2),r}, \beta_{st(i,3),r}\right) \end{pmatrix}$$

$\dfrac{\pi}{2}$ добавляется в виду поворота рисунка на 90 град

Расчет параметров решетки

Результаты расчета параметров решеток

Относительные радиусы профилей ():

$$\overline{r\_inlet}_{stator}^{\,T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 6.000 \\ 2 & 6.000 \\ 3 & 6.000 \end{array} \cdot\%$$

$$\overline{r\_inlet}_{rotor}^{\,T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 5.950 \\ 2 & 4.550 \\ 3 & 3.850 \end{array} \cdot\%$$

$$\overline{r\_outlet}_{stator}^{\,T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 3.000 \\ 2 & 3.000 \\ 3 & 3.000 \end{array} \cdot\%$$

$$\overline{r\_outlet}_{rotor}^{\,T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 2.550 \\ 2 & 1.950 \\ 3 & 1.650 \end{array} \cdot\%$$

Относительная толщина профиля ():

$$\overline{c}_{stator}^{\,T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 15.00 \\ 2 & 15.00 \\ 3 & 15.00 \end{array} \cdot\%$$

$$\overline{c}_{rotor}^{\,T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 17.00 \\ 2 & 13.00 \\ 3 & 11.00 \end{array} \cdot\%$$

Относительный шаг решетки ():

$$\left(\frac{t_{stator}}{chord_{stator}}\right)^T = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.8345 \\ 2 & 0.8711 \\ 3 & 0.9076 \end{array}$$

$$\left(\frac{t_{rotor}}{chord_{rotor}}\right)^T = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.5829 \\ 2 & 0.6918 \\ 3 & 0.7941 \end{array}$$

Относительная густота решетки ():

$$\left(\frac{chord_{stator}}{t_{stator}}\right)^T = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1.198 \\ 2 & 1.148 \\ 3 & 1.102 \end{array}$$

$$\left(\frac{chord_{rotor}}{t_{rotor}}\right)^T = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1.716 \\ 2 & 1.445 \\ 3 & 1.259 \end{array}$$

Длина хорды профиля [м]:

$chord_{stator}{}^{T} =$

	1
1	68.0
2	68.0
3	68.0

$\cdot 10^{-3}$

$chord_{rotor}{}^{T} =$

	1
1	38.4
2	34.2
3	31.4

$\cdot 10^{-3}$

Радиусы профилей:

$r\_inlet_{stator}{}^{T} =$

	1
1	4.08
2	4.08
3	4.08

$\cdot 10^{-3}$

$r\_inlet_{rotor}{}^{T} =$

	1
1	2.28
2	1.56
3	1.21

$\cdot 10^{-3}$

$r\_outlet_{stator}{}^{T} =$

	1
1	2.04
2	2.04
3	2.04

$\cdot 10^{-3}$

$r\_outlet_{rotor}{}^{T} =$

	1
1	0.98
2	0.67
3	0.52

$\cdot 10^{-3}$

Толщина профиля [м]:

$c_{stator}{}^{T} =$

	1
1	10.20
2	10.20
3	10.20

$\cdot 10^{-3}$

$c_{rotor}{}^{T} =$

	1
1	6.52
2	4.45
3	3.46

$\cdot 10^{-3}$

Шаг решетки [м]:

$t_{stator}{}^{T} =$

	1
1	56.7
2	59.2
3	61.7

$\cdot 10^{-3}$

$t_{rotor}{}^{T} =$

	1
1	22.4
2	23.7
3	25.0

$\cdot 10^{-3}$

Угол поворота потока: $\varepsilon_{stator}{}^{T} = $

	1
1	75.51
2	75.51
3	75.51

$\cdot°$

$\varepsilon_{rotor}{}^{T} = $

	1
1	132.12
2	127.61
3	123.40

$\cdot°$

Угол установки профиля: $\upsilon_{stator}{}^{T} = $

	1
1	117.3
2	117.3
3	117.3

$\cdot°$

$\upsilon_{rotor}{}^{T} = $

	1
1	112.0
2	114.0
3	115.4

$\cdot°$

Угол изгиба профиля: $\pi - \varepsilon_{stator}{}^{T} = $

	1
1	104.5
2	104.5
3	104.5

$\cdot°$

$\pi - \varepsilon_{rotor}{}^{T} = $

	1
1	47.9
2	52.4
3	56.6

$\cdot°$

Результаты расчета параметров решеток

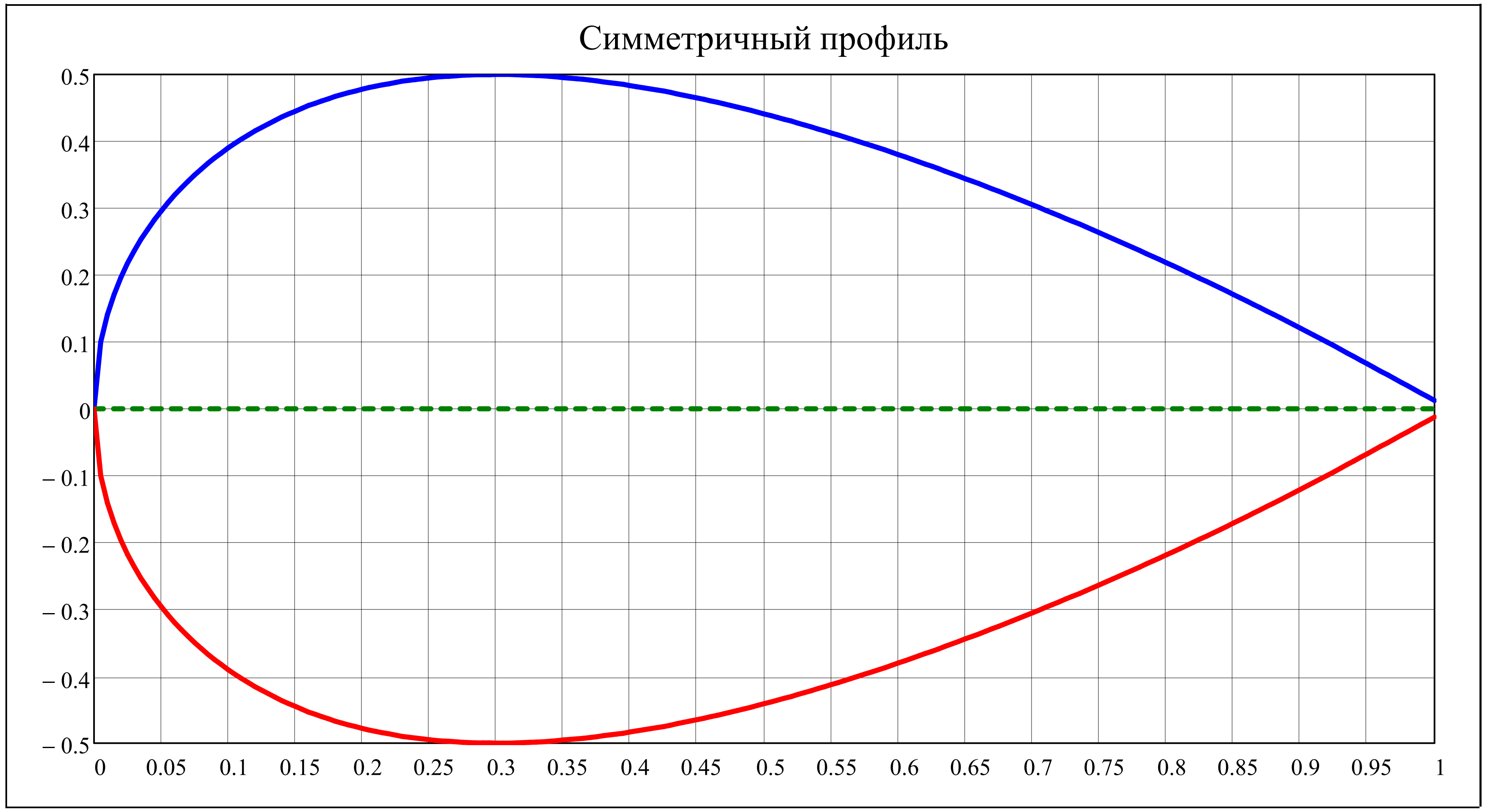
Подключение симметричного профиля

$$\begin{pmatrix} X_U & Y_U \\ X_L & Y_L \end{pmatrix} = NACA(0, 0, 100\%, 1)$$

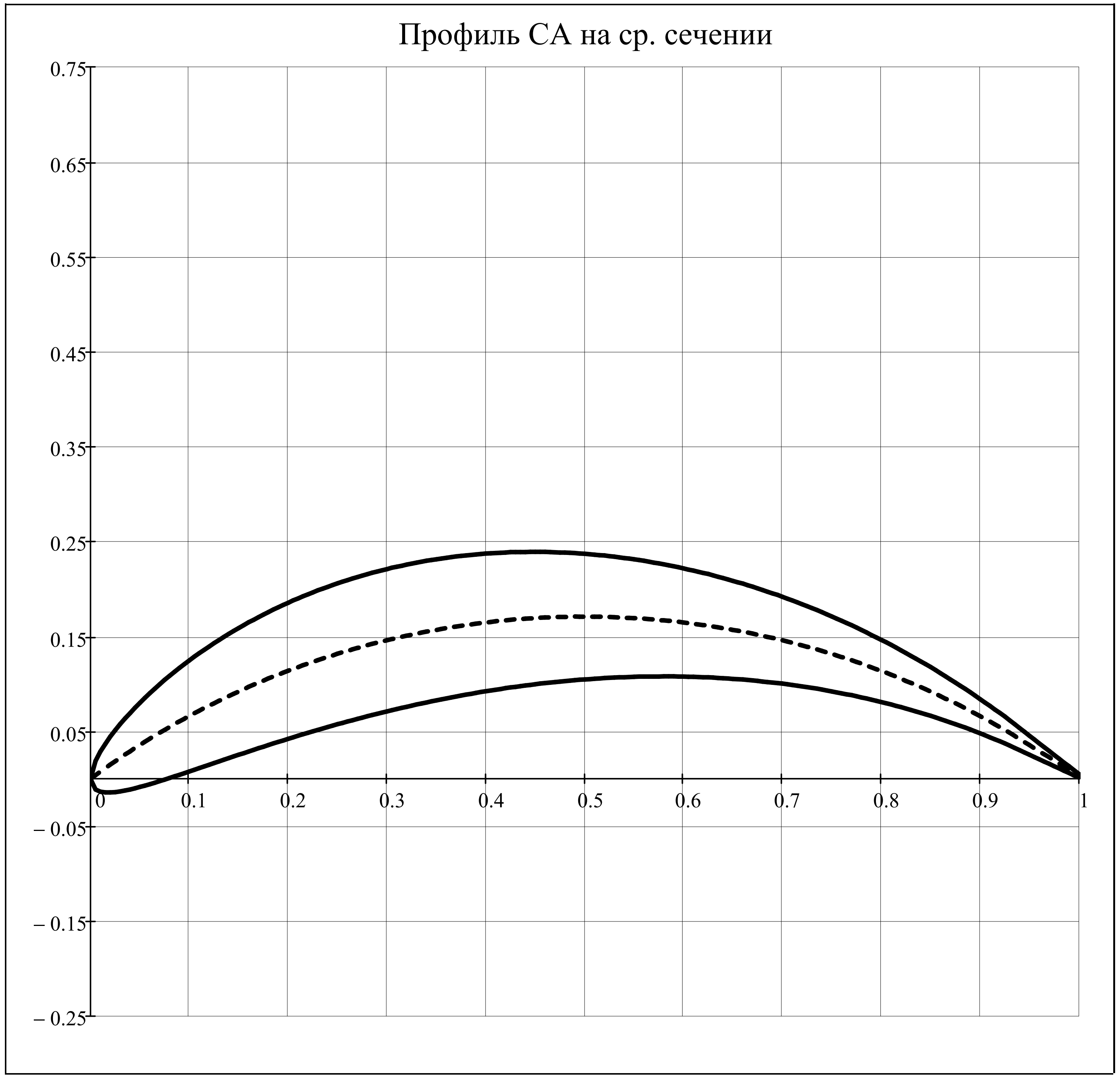
Относ. координаты профиля РК и СА:

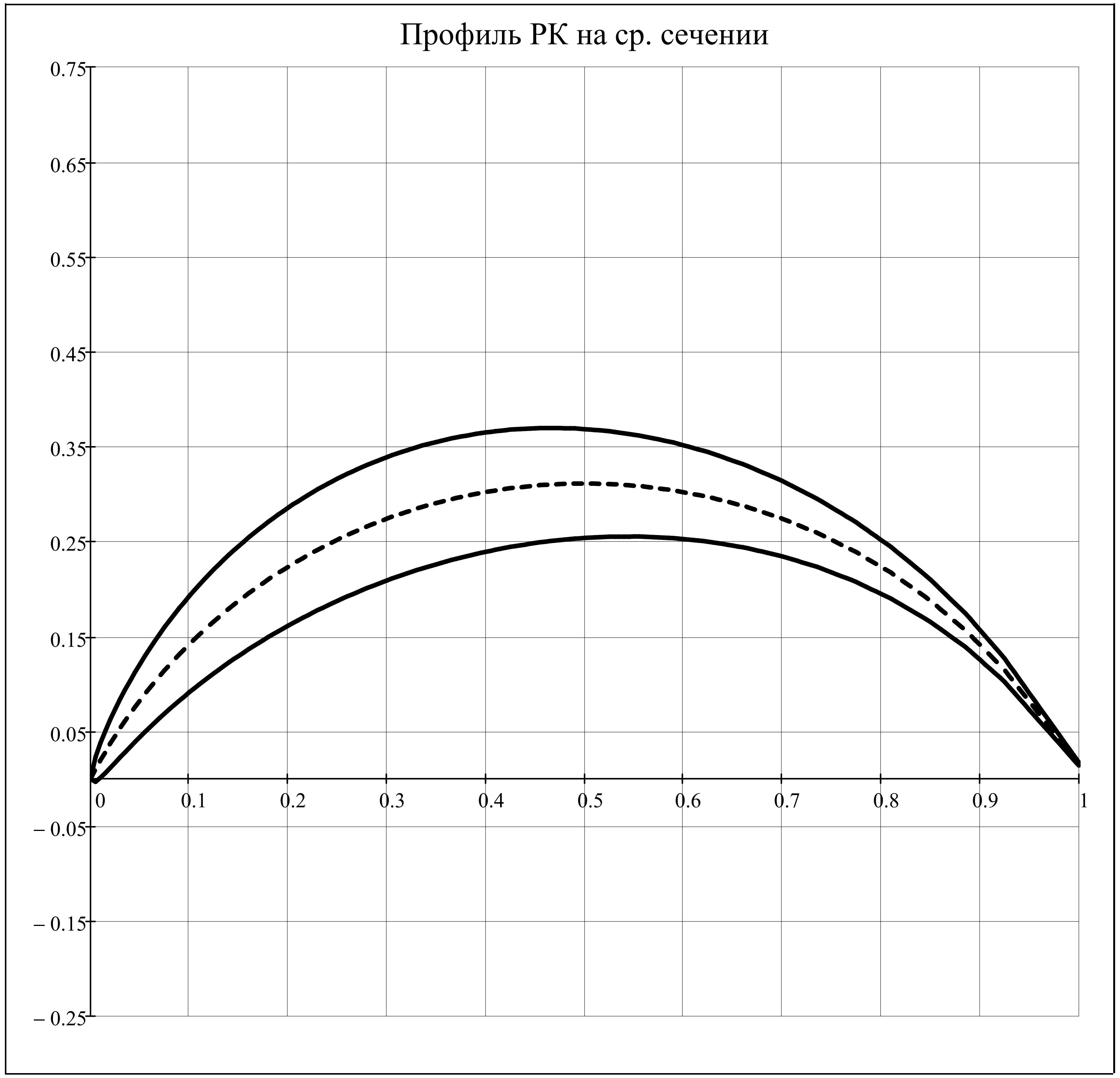
$$AIRFOIL_0\left(x, line, \overline{f}, \overline{x}_f, \overline{c}\right) = \begin{cases} \begin{cases} linterp\left(X_U, Y_U, x\right) & \text{if } line = "+" \\ \dfrac{linterp\left(X_U, Y_U, x\right) + linterp\left(X_L, Y_L, x\right)}{2} & \text{if } line = "0" \\ linterp\left(X_L, Y_L, x\right) & \text{if } line = "-" \end{cases} & \text{if } 0 \le x \le 1 \\ NaN & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x = 0, 0.005 .. 1$$



$$AIRFOIL(x, line, \bar{c}, \theta) = \begin{cases} linterp\left(X_U, y/b_{ср.л}(X_U,\theta) + Y_U\cdot\bar{c}, x\right) & \text{if } line = "+" \\ \dfrac{linterp\left(X_U, y/b_{ср.л}(X_U,\theta) + Y_U\cdot\bar{c}, x\right) + linterp\left(X_L, y/b_{ср.л}(X_L,\theta) + Y_L\cdot\bar{c}, x\right)}{2} & \text{if } line = "0" \\ linterp\left(X_L, y/b_{ср.л}(X_L,\theta) + Y_L\cdot\bar{c}, x\right) & \text{if } line = "-" \\ NaN & \text{otherwise} \end{cases}$$





Подключение симметричного профиля

Результат расчета абсолютных геометрических характеристик сечений Л

$l_upper_{stator}^{T} = $

	1
1	78.07
2	78.07
3	78.07

$\cdot 10^{-3}$

$l_upper_{rotor}^{T} = $

	1
1	52.01
2	44.78
3	40.21

$\cdot 10^{-3}$

$l_lower_{stator}^{T} = $

	1
1	70.64
2	70.64
3	70.64

$\cdot 10^{-3}$

$l_lower_{rotor}^{T} = $

	1
1	44.26
2	39.55
3	36.21

$\cdot 10^{-3}$

$area_{stator}^{T} = $

	1
1	473.87
2	473.87
3	473.87

$\cdot 10^{-6}$

$area_{rotor}^{T} = $

	1
1	171.14
2	103.96
3	74.28

$\cdot 10^{-6}$

$Sx_{stator}^{T} = $

	1
1	4232.2
2	4232.2
3	4232.2

$\cdot 10^{-9}$

$Sx_{rotor}^{T} = $

	1
1	1711.6
2	883.3
3	554.2

$\cdot 10^{-9}$

$Sy_{stator}^{T} = $

	1
1	13563.5
2	13563.5
3	13563.5

$\cdot 10^{-9}$

$Sy_{rotor}^{T} = $

	1
1	2765.3
2	1497.1
3	983.0

$\cdot 10^{-9}$

$x0_{stator}^{T} = $

	1
1	28.6
2	28.6
3	28.6

$\cdot 10^{-3}$

$x0_{rotor}^{T} = $

	1
1	16.2
2	14.4
3	13.2

$\cdot 10^{-3}$

$y0_{stator}^{T} = $

	1
1	8.9
2	8.9
3	8.9

$\cdot 10^{-3}$

$y0_{rotor}^{T} = $

	1
1	10.0
2	8.5
3	7.5

$\cdot 10^{-3}$

$Jx_{stator}^{T} =$

	1
1	44264
2	44264
3	44264

$\cdot 10^{-12}$

$Jy_{stator}^{T} =$

	1
1	508717
2	508717
3	508717

$\cdot 10^{-12}$

$Jxy_{stator}^{T} =$

	1
1	128548
2	128548
3	128548

$\cdot 10^{-12}$

$Jx0_{stator}^{T} =$

	1
1	6465
2	6465
3	6465

$\cdot 10^{-12}$

$Jy0_{stator}^{T} =$

	1
1	120489
2	120489
3	120489

$\cdot 10^{-12}$

$Jxy0_{stator}^{T} =$

	1
1	7409
2	7409
3	7409

$\cdot 10^{-12}$

$\alpha\_major_{stator}^{T} =$

	1
1	3.70
2	3.70
3	3.70

$\cdot \circ$

$Jx_{rotor}^{T} =$

	1
1	18774
2	8184
3	4505

$\cdot 10^{-12}$

$Jy_{rotor}^{T} =$

	1
1	58548
2	28251
3	17045

$\cdot 10^{-12}$

$Jxy_{rotor}^{T} =$

	1
1	29122
2	13406
3	7736

$\cdot 10^{-12}$

$Jx0_{rotor}^{T} =$

	1
1	1656
2	679
3	370

$\cdot 10^{-12}$

$Jy0_{rotor}^{T} =$

	1
1	13867
2	6691
3	4037

$\cdot 10^{-12}$

$Jxy0_{rotor}^{T} =$

	1
1	1466
2	686
3	402

$\cdot 10^{-12}$

$\alpha\_major_{rotor}^{T} =$

	1
1	6.75
2	6.43
3	6.18

$\cdot \circ$

$$Ju_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 5986 \\ 2 & 5986 \\ 3 & 5986 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$Jv_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 120968.8 \\ 2 & 120968.8 \\ 3 & 120968.8 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$Juv_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & -0 \\ 2 & -0 \\ 3 & -0 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$Jp_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 126955 \\ 2 & 126955 \\ 3 & 126955 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$Wp_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 3146.4 \\ 2 & 3146.4 \\ 3 & 3146.4 \end{array} \cdot 10^{-9}$$

$$stiffness_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 11340.9 \\ 2 & 11340.9 \\ 3 & 11340.9 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$Ju_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1482 \\ 2 & 602 \\ 3 & 326 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$Jv_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 14041 \\ 2 & 6769 \\ 3 & 4081 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$Juv_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0 \\ 2 & 0 \\ 3 & 0 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$Jp_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 15522 \\ 2 & 7371 \\ 3 & 4407 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$Wp_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 637.2 \\ 2 & 342.1 \\ 3 & 224.1 \end{array} \cdot 10^{-9}$$

$$stiffness_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1676.5 \\ 2 & 473.1 \\ 3 & 204.3 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$CPx_{stator}^{T} =$

	1
1	23.790
2	23.790
3	23.790

$\cdot 10^{-3}$

$CPx_{rotor}^{T} =$

	1
1	13.430
2	11.969
3	10.999

$\cdot 10^{-3}$

$CPy_{stator}^{T} =$

	1
1	0.0000
2	0.0000
3	0.0000

$\cdot 10^{-3}$

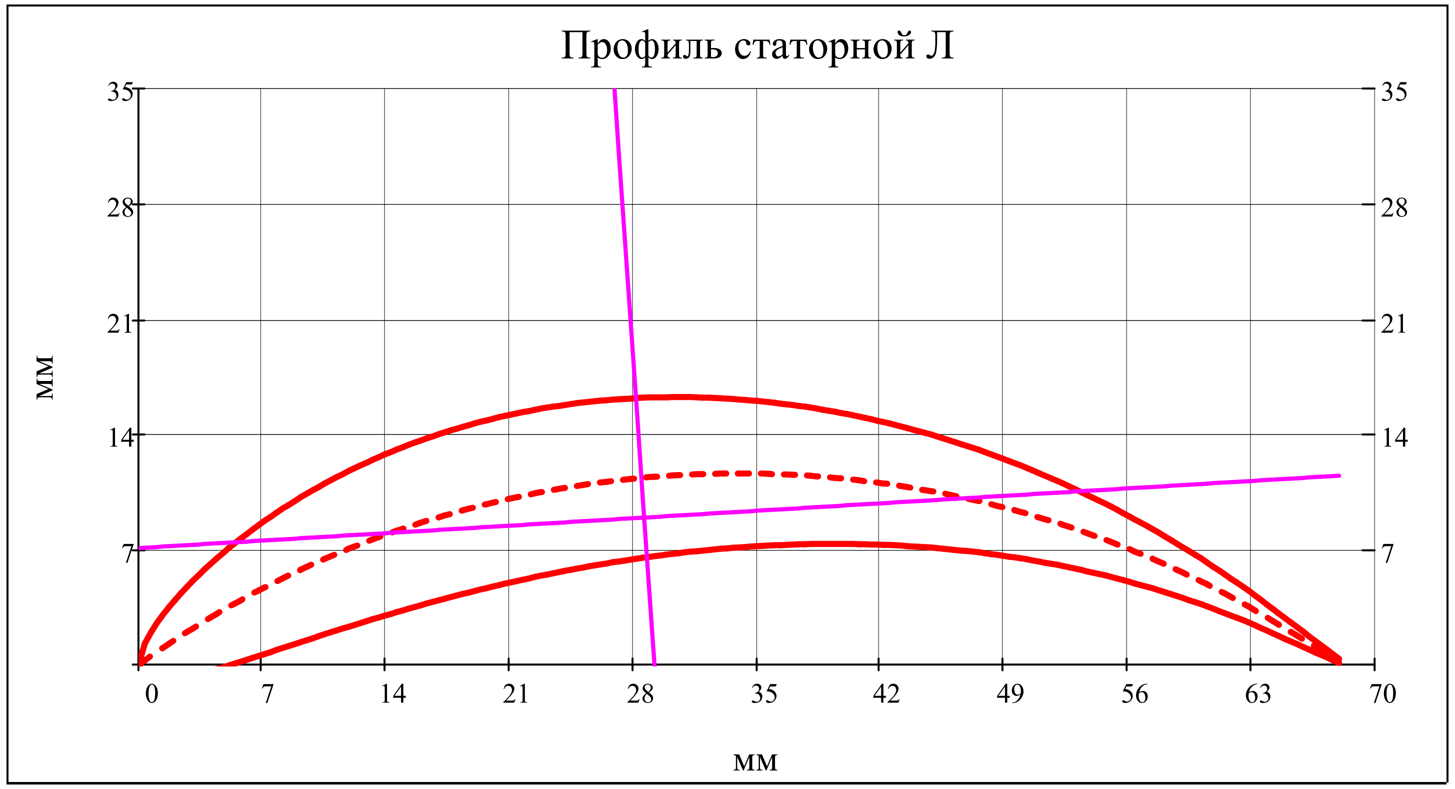
$CPy_{rotor}^{T} =$

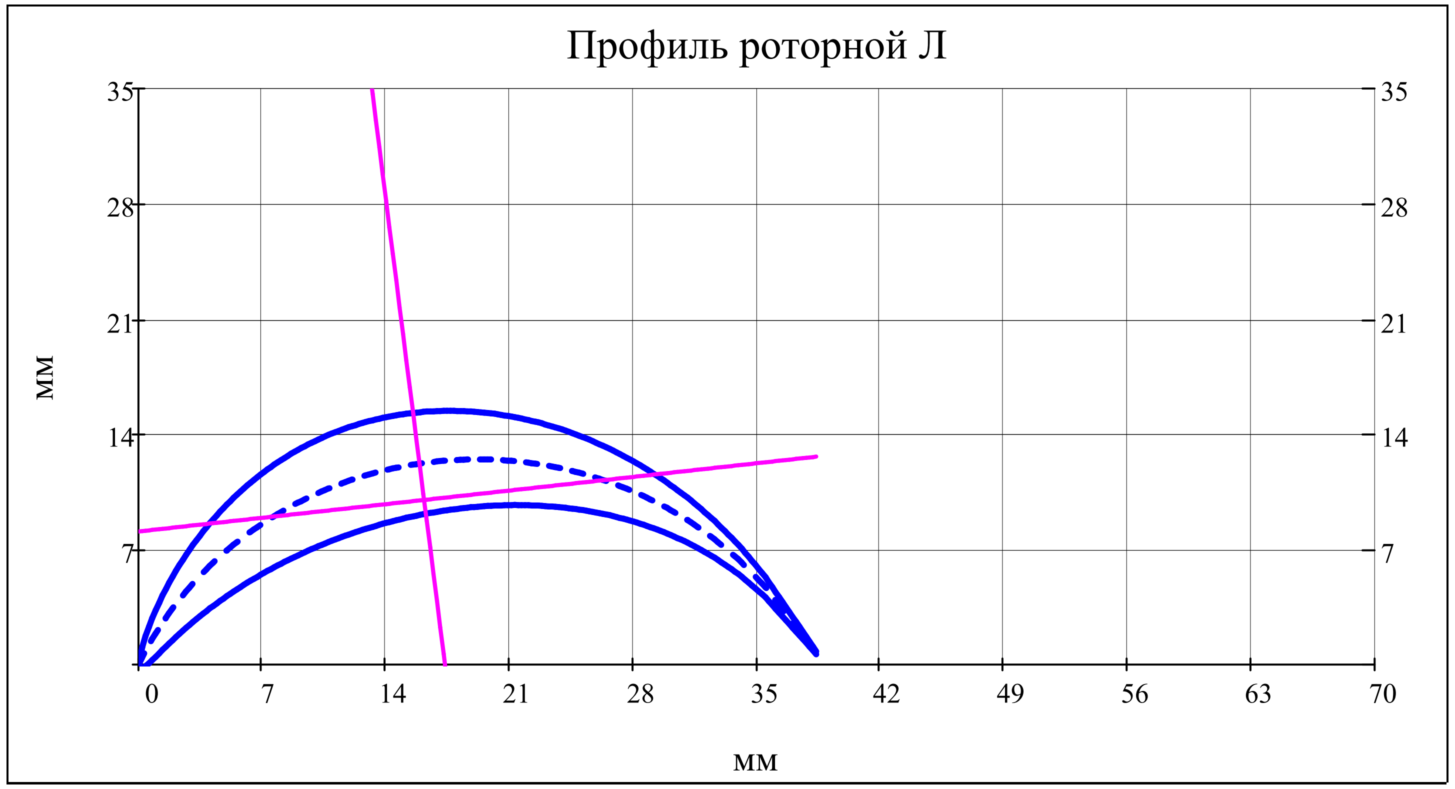
	1
1	0.0000
2	0.0000
3	0.0000

$\cdot 10^{-3}$

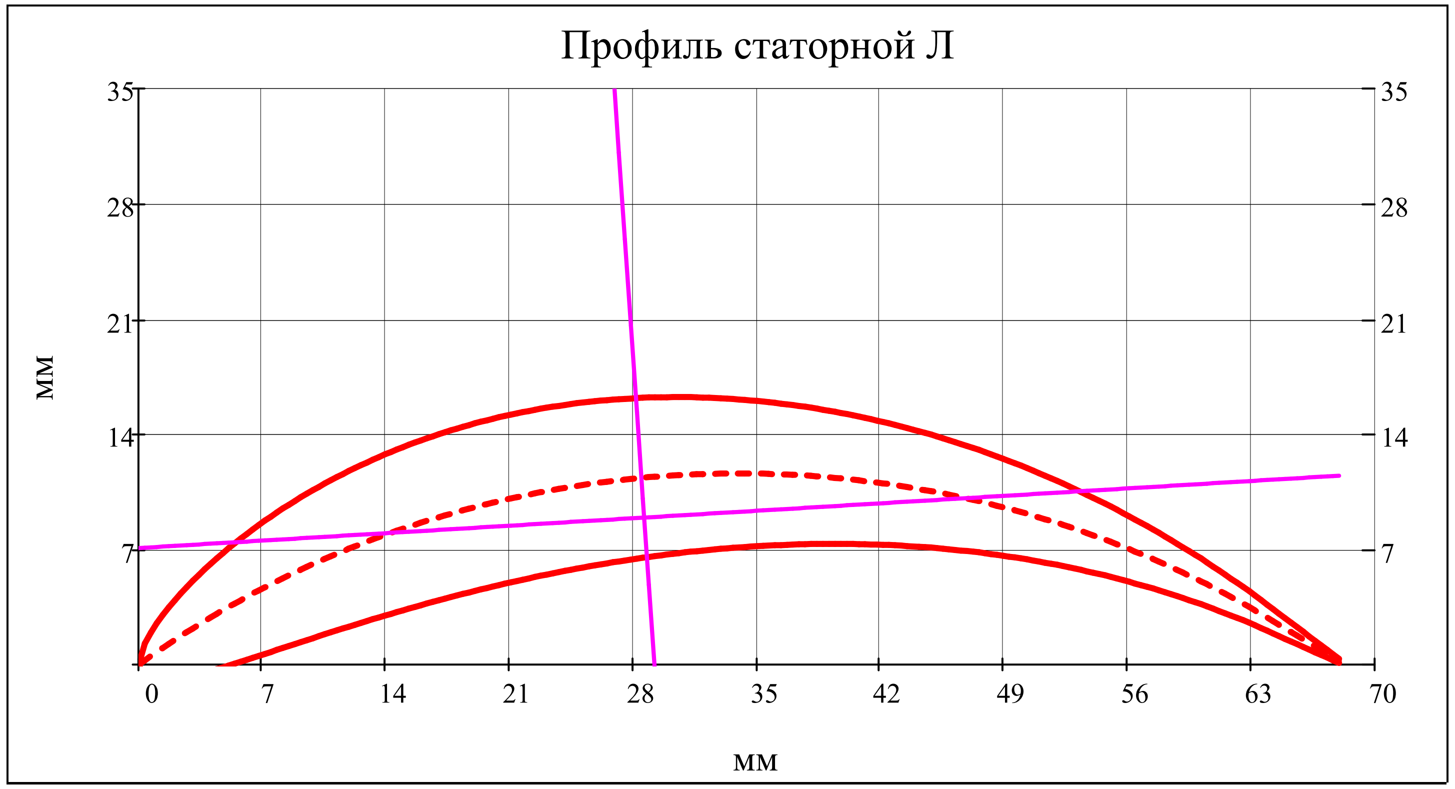
Результат расчета абсолютных геометрических характеристик сечений Л

$r = 1$

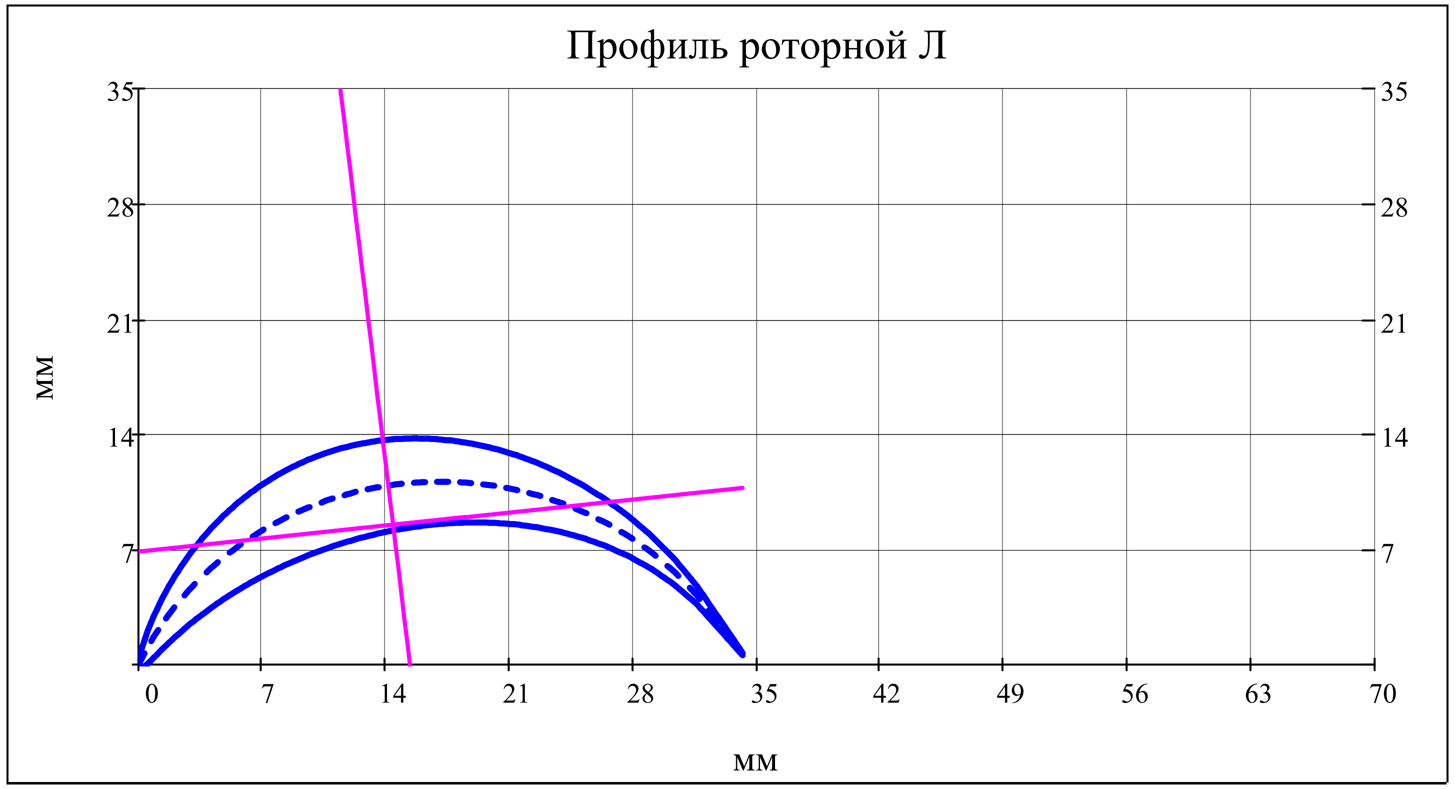

Профиль статорной Л
35
28
21
14
7
0
7
14
21
28
35
42
49
56
63
70
мм
мм


Профиль роторной Л
35
28
21
14
7
0
7
14
21
28
35
42
49
56
63
70
мм
мм

$r = av(N_r)$

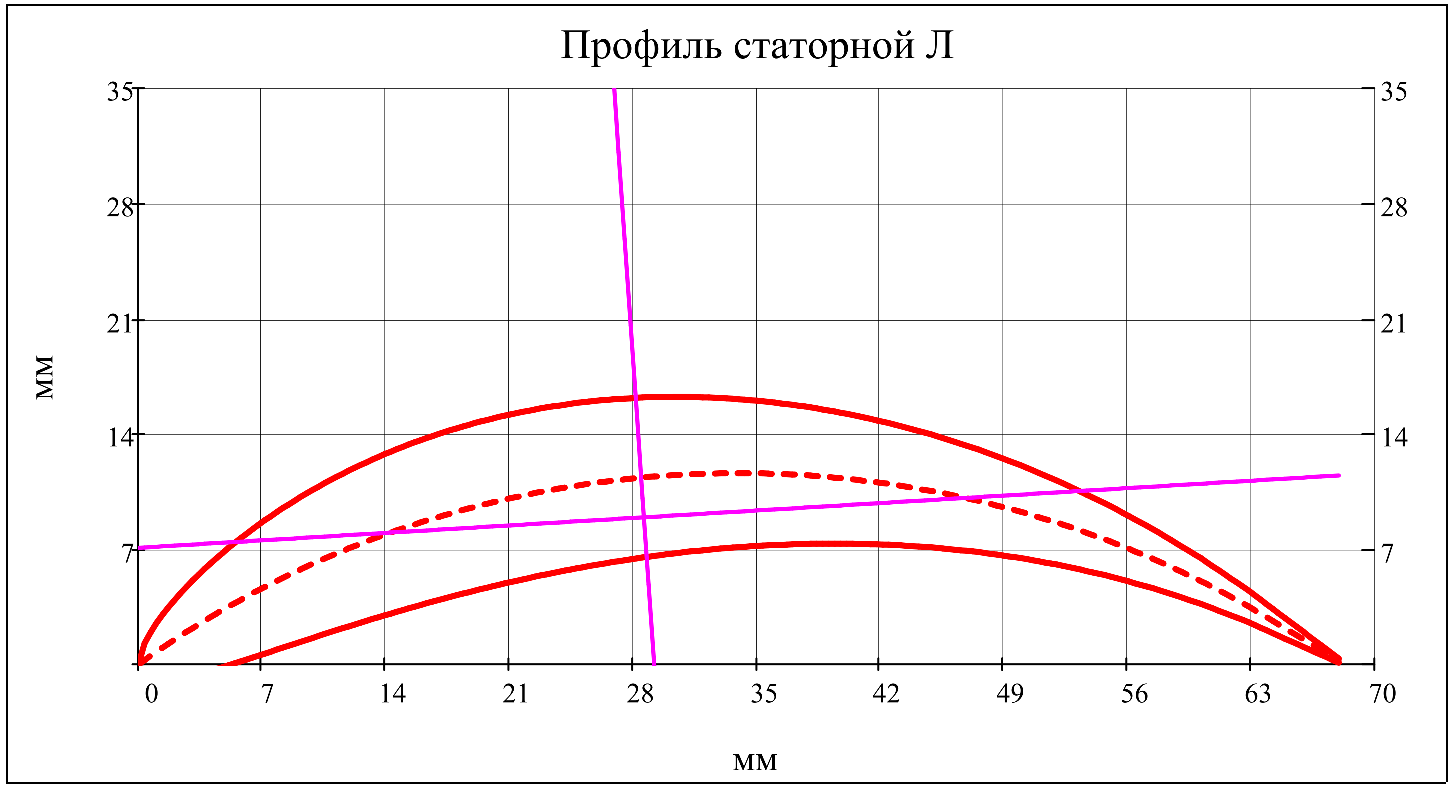


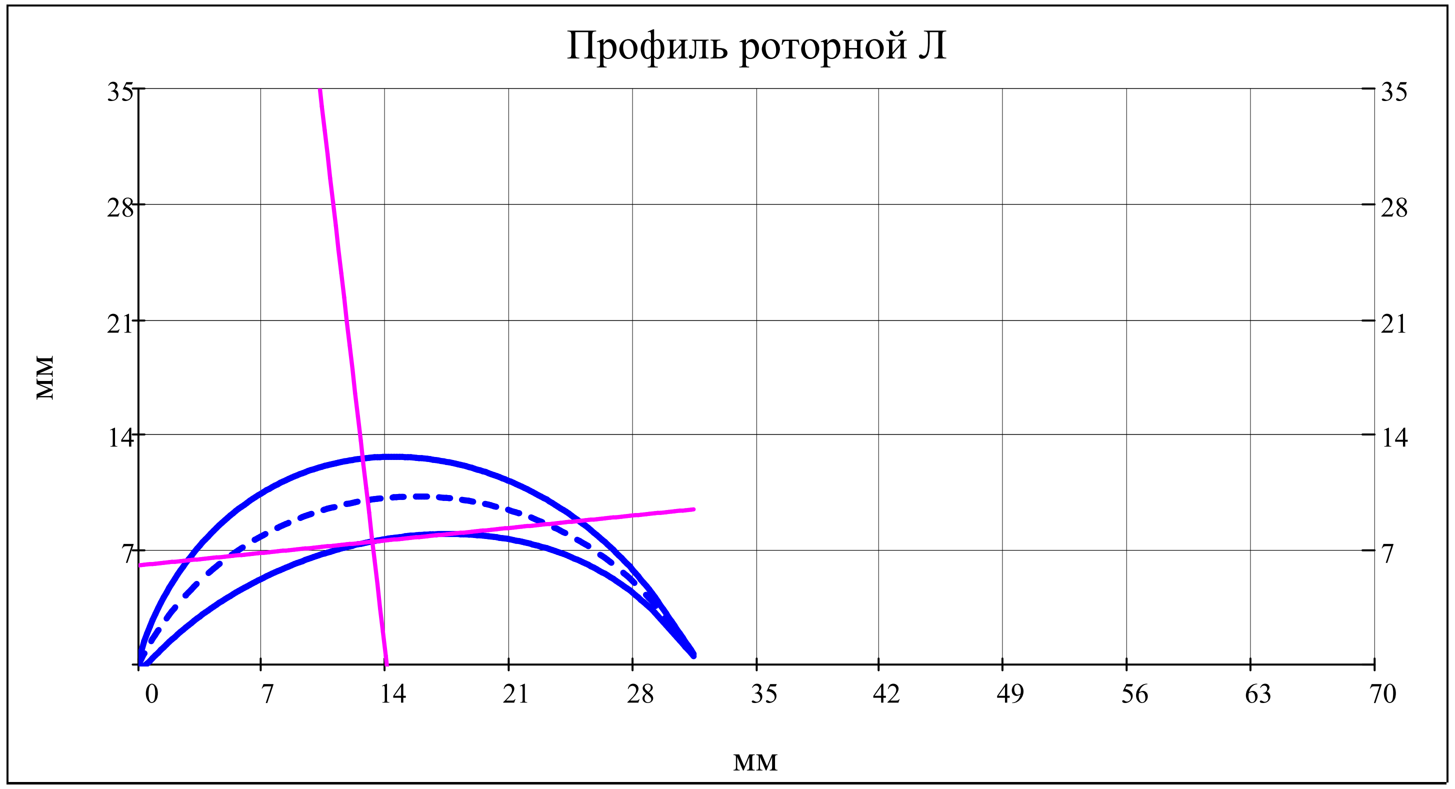
Профиль статорной Л
35
28
21
14
7
0
7
14
21
28
35
42
49
56
63
70
мм
мм



Профиль роторной Л
35
28
21
14
7
0
7
14
21
28
35
42
49
56
63
70
мм
мм

$r = N_r$





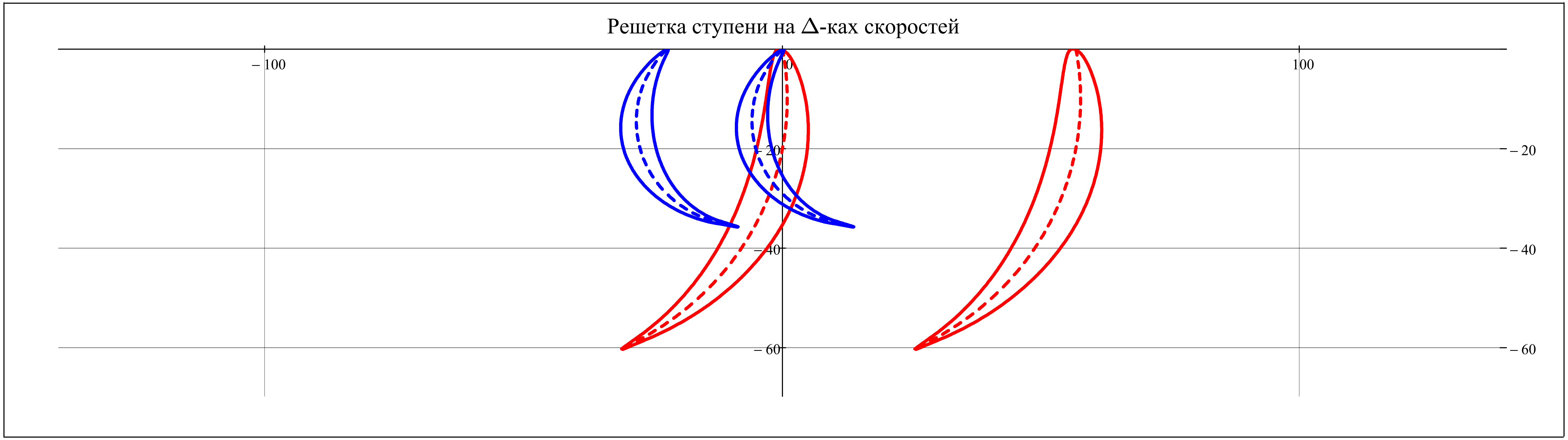
Построение профилей Л РК и НА

Рассматриваемая ступень: $j = \left| \begin{array}{l} j = Z \\ j = \left| \begin{array}{l} \text{"Такой ступени не существует!"} \quad \text{if } (j < 1) \vee (j > Z) \\ j \quad \text{otherwise} \end{array} \right. \end{array} \right. = 1$

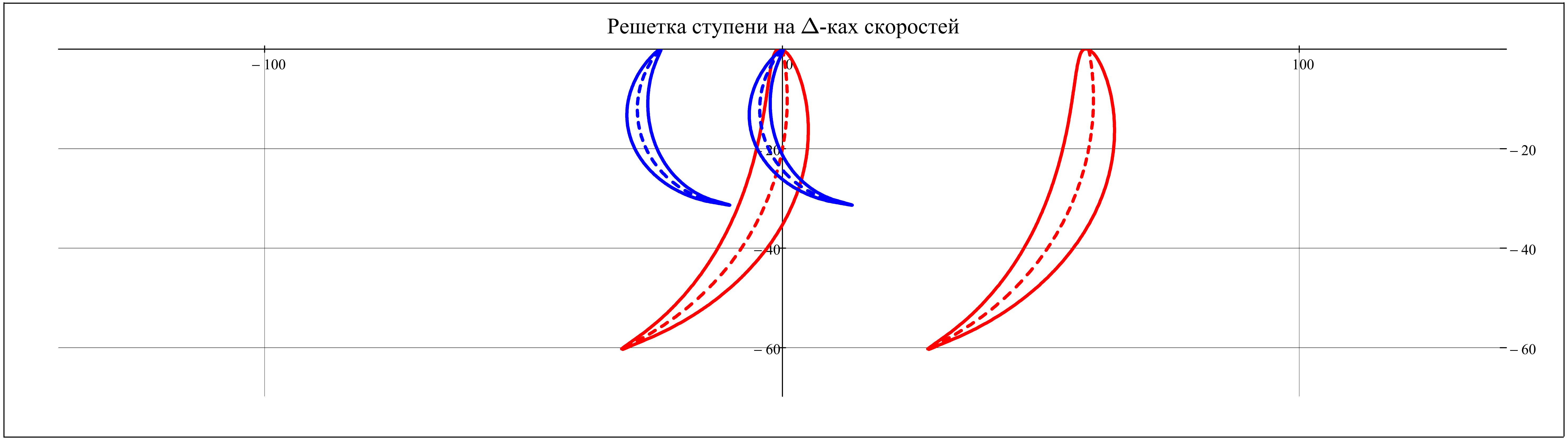
$$b_{lim} = \frac{\operatorname{ceil}\left(\max\left(chord_{rotor_{j,N_r}}, chord_{stator_{j,N_r}}\right)\cdot 10^2\right)}{10^2} = 70.0\cdot 10^{-3}$$

Построение плоских решеток профилей Л на треугольниках скоростей

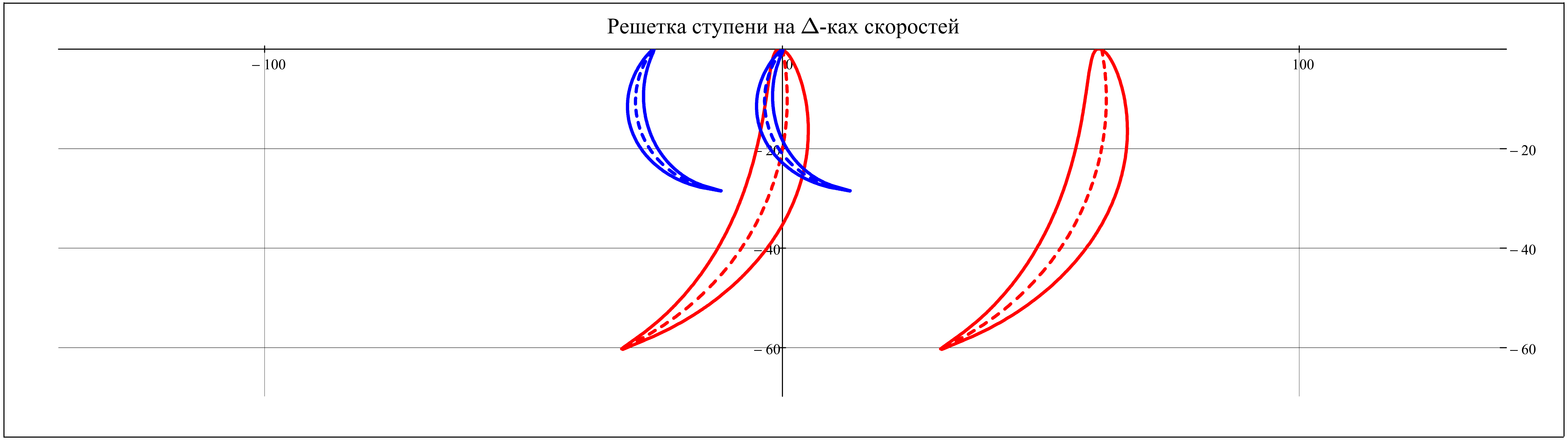
$r = 1$



$r = av(N_r)$

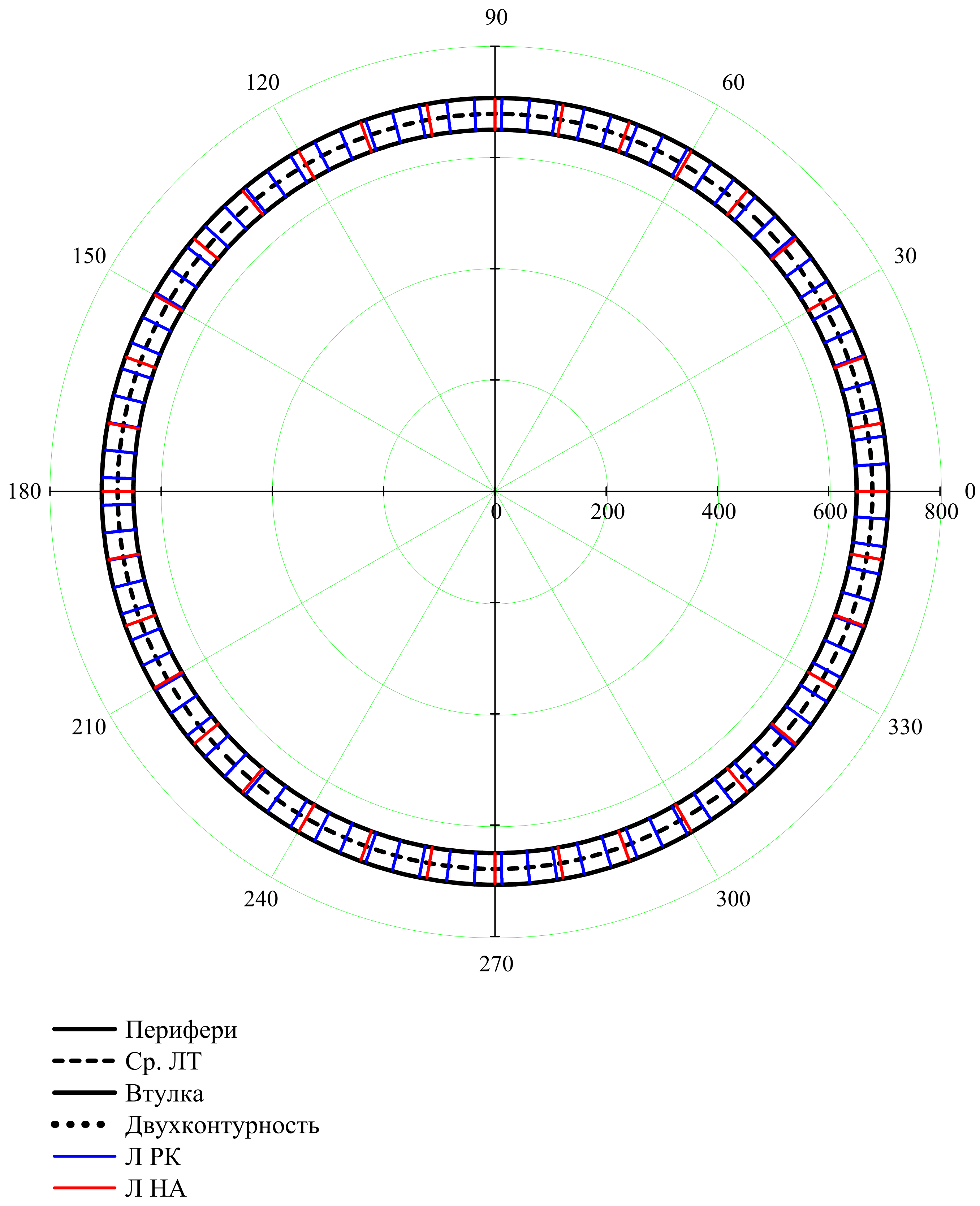


$r = N_r$



Построение плоских решеток профилей Л на треугольниках скоростей

Поперечная часть ступени



Поперечная часть ступени

Расчет собственных частот колебаний Л

$$\begin{pmatrix} \nu0_{изг.stator} & \nu0_{изг.rotor} \\ \nu0_{угл.stator} & \nu0_{угл.rotor} \\ \nu0_{угл.stator\_bondage} & \nu0_{угл.rotor\_bondage} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } r \in av(N_r) \\ \quad\quad \text{for } mode \in 1..6 \\ \quad\quad\quad \left| \begin{array}{l} \nu0_{изг.stator_{i,mode}} = \nu0_{изгиб}\left(mode, mean\left(h_{st(i,1)}, h_{st(i,2)}\right), E\_blade, \rho\_blade_i, area_{stator_{i,r}}, Ju_{stator_{i,r}}\right) \\ \nu0_{изг.rotor_{i,mode}} = \nu0_{изгиб}\left(mode, mean\left(h_{st(i,2)}, h_{st(i,3)}\right), E\_blade, \rho\_blade_i, area_{rotor_{i,r}}, Ju_{rotor_{i,r}}\right) \\ \nu0_{угл.stator_{i,mode}} = \nu0_{угл}\left(mode, 0, mean\left(h_{st(i,1)}, h_{st(i,2)}\right), Jung(2, \mu\_steel, E\_blade), \rho\_blade_i, stiffness_{stator_{i,r}}, Jp_{stator_{i,r}}\right) \\ \nu0_{угл.rotor_{i,mode}} = \nu0_{угл}\left(mode, 0, mean\left(h_{st(i,2)}, h_{st(i,3)}\right), Jung(2, \mu\_steel, E\_blade), \rho\_blade_i, stiffness_{rotor_{i,r}}, Jp_{rotor_{i,r}}\right) \\ \nu0_{угл.stator\_bondage_{i,mode}} = \nu0_{угл}\left(mode, 1, mean\left(h_{st(i,1)}, h_{st(i,2)}\right), Jung(2, \mu\_steel, E\_blade), \rho\_blade_i, stiffness_{stator_{i,r}}, Jp_{stator_{i,r}}\right) \\ \nu0_{угл.rotor\_bondage_{i,mode}} = \nu0_{угл}\left(mode, 1, mean\left(h_{st(i,2)}, h_{st(i,3)}\right), Jung(2, \mu\_steel, E\_blade), \rho\_blade_i, stiffness_{rotor_{i,r}}, Jp_{rotor_{i,r}}\right) \end{array} \right. \\ \begin{pmatrix} \nu0_{изг.stator} & \nu0_{изг.rotor} \\ \nu0_{угл.stator} & \nu0_{угл.rotor} \\ \nu0_{угл.stator\_bondage} & \nu0_{угл.rotor\_bondage} \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

Частота собственных изгибных колебаний (Гц) [9, с.240]:

$\mathrm{stack}\left(\nu0_{изг.stator}, \nu0_{изг.rotor}\right)^{T} =$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	12595	5145						
2	78937	32248						
3	221049	90305						
4	433492	177095						
5	716300	292630						
6	1069752	437026						

Частота собственных угловых колебаний (Гц) [9, с.243] без и с бандажом:

$\mathrm{stack}\left(\nu0_{угл.stator}, \nu0_{угл.rotor}\right)^{T} =$

	1	2
1	8364	5507
2	25091	16521
3	41819	27535
4	58546	38548
5	75274	49562
6	92001	60576

$\mathrm{stack}\left(\nu0_{угл.stator\_bondage}, \nu0_{угл.rotor\_bondage}\right)^{T} =$

	1	2
1	16727	11014
2	33455	22028
3	50182	33041
4	66910	44055
5	83637	55069
6	100365	66083

Расчет собственных частот колебаний Л

Расчетный узел: type = "turbine"

Объем бандажной полки (м^3): $V_{бп} = 0$

Радиус положения ЦМ бандажной полки (м): $R_{бп} = 0$

Расчет Л на прочность

$$\text{neutral\_line}(\text{type}, x, i, r) = \begin{cases} \dfrac{y0_{rotor_{i,r}}}{chord_{rotor_{i,r}}} + \tan\left(\left(\alpha\_major_{rotor_{i,r}} + \varphi\_neutral_{rotor}\left(i, R_{st(i,2),r}\right)\right)\right) \cdot \left(x - \dfrac{x0_{rotor_{i,r}}}{chord_{rotor_{i,r}}}\right) & \text{if type} = \text{"rotor"} \\ \dfrac{y0_{stator_{i,r}}}{chord_{stator_{i,r}}} + \tan\left(\left(\alpha\_major_{stator_{i,r}} + \varphi\_neutral_{stator}\left(i, R_{st(i,2),r}\right)\right)\right) \cdot \left(x - \dfrac{x0_{stator_{i,r}}}{chord_{stator_{i,r}}}\right) & \text{if type} = \text{"stator"} \end{cases}$$

$$\text{epure}(\text{type}, x, i, r) = \begin{cases} \dfrac{y0_{rotor_{i,r}}}{chord_{rotor_{i,r}}} + \dfrac{-1}{\tan\left(\alpha\_major_{rotor_{i,r}} + \varphi\_neutral_{rotor}\left(i, R_{st(i,2),r}\right) - \dfrac{\pi}{4}\right)} \cdot \left(x - \dfrac{x0_{rotor_{i,r}}}{chord_{rotor_{i,r}}}\right) & \text{if type} = \text{"rotor"} \\ \dfrac{y0_{stator_{i,r}}}{chord_{stator_{i,r}}} + \dfrac{-1}{\tan\left(\alpha\_major_{stator_{i,r}} + \varphi\_neutral_{stator}\left(i, R_{st(i,2),r}\right) - \dfrac{\pi}{4}\right)} \cdot \left(x - \dfrac{x0_{stator_{i,r}}}{chord_{stator_{i,r}}}\right) & \text{if type} = \text{"stator"} \end{cases}$$

Наиболее удаленные точки от НЛ (мм):

$$u\_u_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & -0.218 \\ 2 & 0.395 \\ 3 & -5.994 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$v\_u_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 5.323 \\ 2 & 4.047 \\ 3 & 13.959 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$u\_l_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 21.030 \\ 2 & 18.832 \\ 3 & -8.994 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$v\_l_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & -11.789 \\ 2 & -10.076 \\ 3 & -17.325 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$u\_u_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & -7.064 \\ 2 & 8.165 \\ 3 & 8.161 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$v\_u_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 29.140 \\ 2 & 8.190 \\ 3 & 8.194 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$u\_l_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & -11.363 \\ 2 & -25.857 \\ 3 & -25.850 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$v\_l_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & -38.695 \\ 2 & -14.465 \\ 3 & -14.477 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor} & \sigma\_n_{rotor} \\ \sigma\_p_{stator} & \sigma\_n_{stator} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \qquad \begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor_{i,r}} & \sigma\_n_{rotor_{i,r}} \\ \sigma\_p_{stator_{i,r}} & \sigma\_n_{stator_{i,r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{Mu_{rotor}(i, R_{st(i,2),r})}{Ju_{rotor_{i,r}}} \cdot v\_u_{rotor_{i,r}} - \frac{Mv_{rotor}(i, R_{st(i,2),r})}{Jv_{rotor_{i,r}}} \cdot u\_u_{rotor_{i,r}} & \frac{Mu_{rotor}(i, R_{st(i,2),r})}{Ju_{rotor_{i,r}}} \cdot v\_l_{rotor_{i,r}} - \frac{Mv_{rotor}(i, R_{st(i,2),r})}{Jv_{rotor_{i,r}}} \cdot u\_l_{rotor_{i,r}} \\ \frac{Mu_{stator}(i, R_{st(i,2),r})}{Ju_{stator_{i,r}}} \cdot v\_u_{stator_{i,r}} - \frac{Mv_{stator}(i, R_{st(i,2),r})}{Jv_{stator_{i,r}}} \cdot u\_u_{stator_{i,r}} & \frac{Mu_{stator}(i, R_{st(i,2),r})}{Ju_{stator_{i,r}}} \cdot v\_l_{stator_{i,r}} - \frac{Mv_{stator}(i, R_{st(i,2),r})}{Jv_{stator_{i,r}}} \cdot u\_l_{stator_{i,r}} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor} & \sigma\_n_{rotor} \\ \sigma\_p_{stator} & \sigma\_n_{stator} \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor.} & \sigma\_p_{stator.} \\ \sigma\_n_{rotor.} & \sigma\_n_{stator.} \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \left| \begin{array}{l} \sigma\_p_{rotor.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}(R, st(i,1), st(i,1), 1, N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_p_{rotor}, i, i, 1, N_r)^T\right), \text{submatrix}(R, st(i,1), st(i,1), 1, N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_p_{rotor}, i, i, 1, N_r)^T, z\right) \\ \sigma\_p_{stator.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}(R, st(i,1), st(i,1), 1, N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_p_{stator}, i, i, 1, N_r)^T\right), \text{submatrix}(R, st(i,1), st(i,1), 1, N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_p_{stator}, i, i, 1, N_r)^T, z\right) \\ \sigma\_n_{rotor.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}(R, st(i,1), st(i,1), 1, N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_n_{rotor}, i, i, 1, N_r)^T\right), \text{submatrix}(R, st(i,1), st(i,1), 1, N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_n_{rotor}, i, i, 1, N_r)^T, z\right) \\ \sigma\_n_{stator.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}(R, st(i,1), st(i,1), 1, N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_n_{stator}, i, i, 1, N_r)^T\right), \text{submatrix}(R, st(i,1), st(i,1), 1, N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_n_{stator}, i, i, 1, N_r)^T, z\right) \end{array} \right. \\ \begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor.} & \sigma\_p_{stator.} \\ \sigma\_n_{rotor.} & \sigma\_n_{stator.} \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

$$\sigma\_p_{rotor}{}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & -18.45 \\ 2 & -8.87 \\ 3 & 0.00 \end{array} \cdot 10^{6}$$

$$\sigma\_p_{rotor}{}^{T} \le 70\cdot 10^{6} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1 \\ 2 & 1 \\ 3 & 1 \end{array}$$

$$\sigma\_n_{rotor}{}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 40.41 \\ 2 & 21.85 \\ 3 & 0.00 \end{array} \cdot 10^{6}$$

$$\sigma\_n_{rotor}{}^{T} \le 70\cdot 10^{6} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1 \\ 2 & 1 \\ 3 & 1 \end{array}$$

$$\sigma\_p_{stator}{}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.00 \\ 2 & 3.47 \\ 3 & 13.87 \end{array} \cdot 10^{6}$$

$$\sigma\_p_{stator}{}^{T} \le 70\cdot 10^{6} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1 \\ 2 & 1 \\ 3 & 1 \end{array}$$

$$\sigma\_n_{stator}{}^{T} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 0.00 \\ 2 & -7.07 \\ 3 & -28.26 \end{array} \cdot 10^{6}$$

$$\sigma\_n_{stator}{}^{T} \le 70\cdot 10^{6} = \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 1 \\ 2 & 1 \\ 3 & 1 \end{array}$$

$$\begin{pmatrix}\sigma_{rotor}\\ \sigma_{stator}\end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \quad\quad \sigma_{rotor_{i,r}} = \sqrt{\left(\sigma\_z_{rotor}\left(i, R_{st(i,2),r}\right) + \max\left(\sigma\_p_{rotor_{i,r}}, \sigma\_n_{rotor_{i,r}}\right)\right)^2 + \tau_{rotor}\left(i, R_{st(i,2),r}\right)^2} \\ \quad\quad \sigma_{stator_{i,r}} = \sqrt{\left(0 + \max\left(\sigma\_p_{stator_{i,r}}, \sigma\_n_{stator_{i,r}}\right)\right)^2 + \tau_{stator}\left(i, R_{st(i,2),r}\right)^2} \\ \begin{pmatrix}\sigma_{rotor}\\ \sigma_{stator}\end{pmatrix} \end{array}\right.$$

$$\begin{pmatrix}\sigma_{rotor.}\\ \sigma_{stator.}\end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \sigma_{rotor.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}\left(R, st(i,2), st(i,2), 1, N_r\right)^T, \text{submatrix}\left(\sigma_{rotor}, i, i, 1, N_r\right)^T\right), \text{submatrix}\left(R, st(i,2), st(i,2), 1, N_r\right)^T, \text{submatrix}\left(\sigma_{rotor}, i, i, 1, N_r\right)^T, z\right) \\ \quad \sigma_{stator.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}\left(R, st(i,2), st(i,2), 1, N_r\right)^T, \text{submatrix}\left(\sigma_{stator}, i, i, 1, N_r\right)^T\right), \text{submatrix}\left(R, st(i,2), st(i,2), 1, N_r\right)^T, \text{submatrix}\left(\sigma_{stator}, i, i, 1, N_r\right)^T, z\right) \\ \begin{pmatrix}\sigma_{rotor.}\\ \sigma_{stator.}\end{pmatrix} \end{array}\right.$$

$\sigma_{rotor}{}^T =$ $\cdot 10^6$

	1
1	161.59
2	101.72
3	0.00

$\sigma_{stator}{}^T =$ $\cdot 10^6$

	1
1	0.00
2	5.61
3	16.44

$$\begin{pmatrix}safety_{rotor}\\ safety_{stator}\end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \quad\quad safety_{rotor_{i,r}} = \left| \begin{array}{ll} \dfrac{\sigma\_blade\_long_i}{\sigma_{rotor_{i,r}}} & \text{if } \sigma_{rotor_{i,r}} \neq 0 \\ \infty & \text{otherwise} \end{array}\right. \\ \quad\quad safety_{stator_{i,r}} = \left| \begin{array}{ll} \dfrac{\sigma\_blade\_long_i}{\sigma_{stator_{i,r}}} & \text{if } \sigma_{stator_{i,r}} \neq 0 \\ \infty & \text{otherwise} \end{array}\right. \\ \begin{pmatrix}safety_{rotor}\\ safety_{stator}\end{pmatrix} \end{array}\right.$$

$safety_{rotor}{}^T =$

	1
1	1.27
2	2.02
3	0000000000000000000000000000000

$safety_{rotor}{}^T \geq safety =$

	1
1	0
2	1
3	1

$safety_{stator}{}^T =$

	1
1	0000000000000000000000000000000
2	36.53
3	12.47

$safety_{stator}{}^T \geq safety =$

	1
1	1
2	1
3	1

Рассматриваемая ступень: $j := \left| \begin{array}{l} j \leftarrow \left| \begin{array}{l} 1 \ \text{if } type = \text{"compressor"} \\ Z \ \text{if } type = \text{"turbine"} \end{array} \right. \\ j \leftarrow \left| \begin{array}{l} \text{"Такой ступени не существует!"} \ \text{if } (j < 1) \vee (j > Z) \\ j \ \text{otherwise} \end{array} \right. \end{array} \right. = 1$

$$b_{lim} := \frac{\mathrm{ceil}\left(\max\left(chord_{rotor_{j,N_r}}, chord_{stator_{j,N_r}}\right)\cdot 10^2\right)}{10^2} = 70.0\cdot 10^{-3}$$

Расстояния от оси ЛМ до рассматриваемой ступени (м): $Rj := \mathrm{submatrix}(R, 2\cdot j - 1, 2\cdot j + 1, 1, N_r) =$

	1	2	3
1	325.0	339.2	353.5
2	325.0	339.2	353.5
3	308.6	331.0	353.5

$\cdot 10^{-3}$

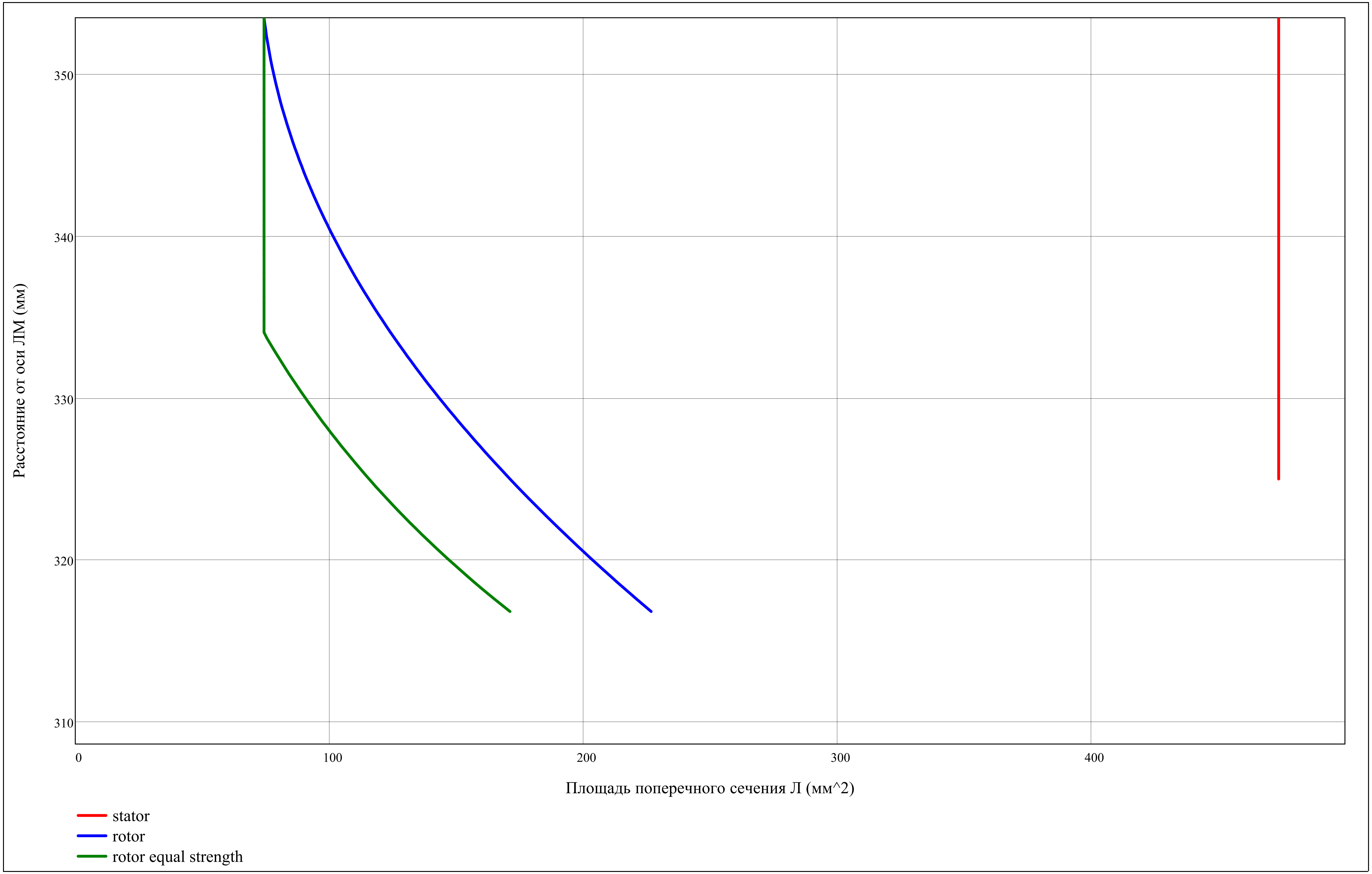
Дискретизация по высоте Л:

$$z := \min(Rj), \min(Rj) + \frac{\max(Rj) - \min(Rj)}{100} .. \max(Rj)$$

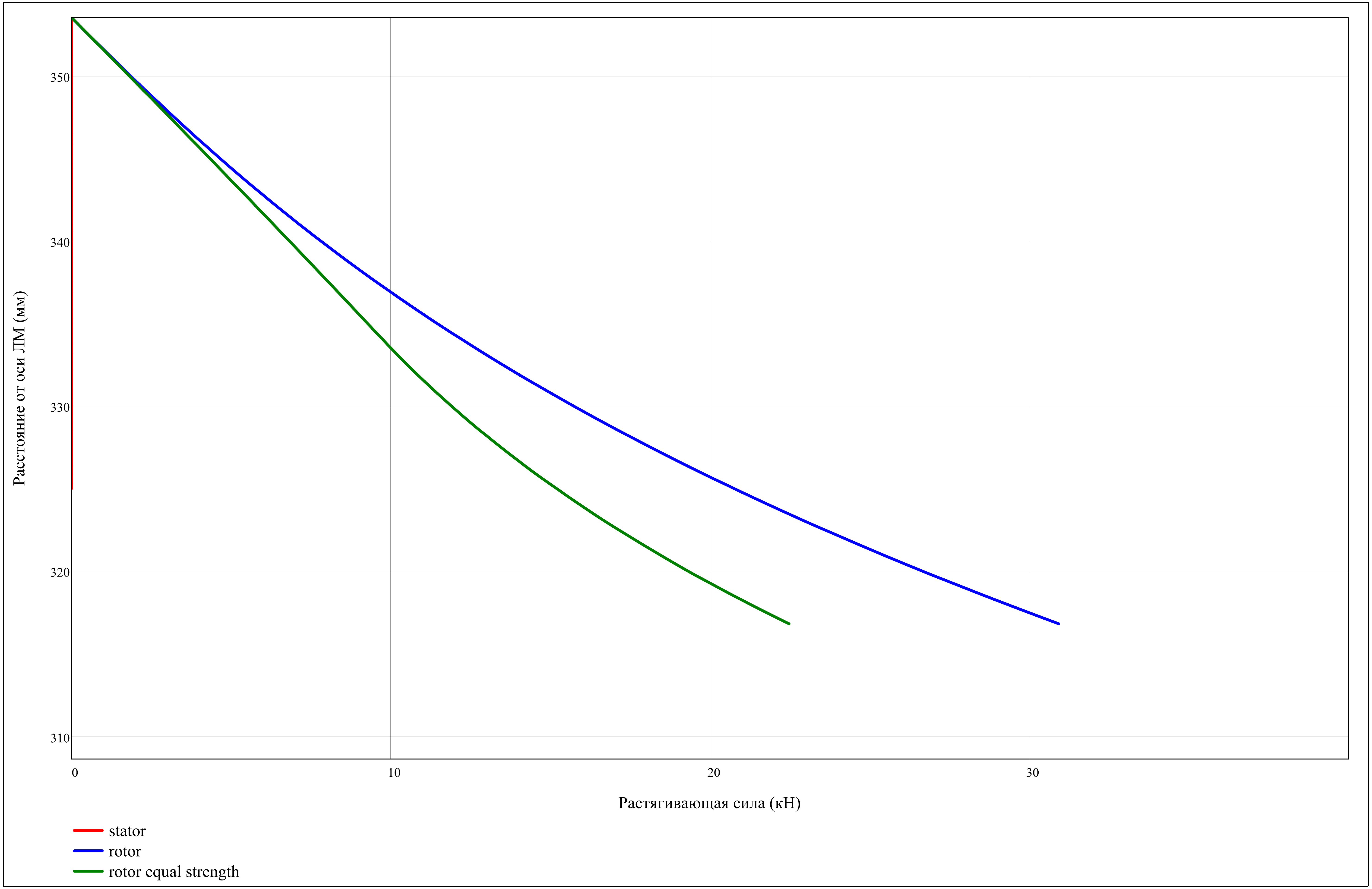
$$z_{rotor} := \left| \begin{array}{ll} \mathrm{mean}(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}), \mathrm{mean}(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}) + \frac{\mathrm{mean}(Rj_{1,N_r}, Rj_{2,N_r}) - \mathrm{mean}(Rj_{1,1}, Rj_{2,1})}{100} .. \mathrm{mean}(Rj_{1,N_r}, Rj_{2,N_r}) & \text{if } type = \text{"compressor"} \\ \mathrm{mean}(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}), \mathrm{mean}(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}) + \frac{\mathrm{mean}(Rj_{2,N_r}, Rj_{3,N_r}) - \mathrm{mean}(Rj_{2,1}, Rj_{3,1})}{100} .. \mathrm{mean}(Rj_{2,N_r}, Rj_{3,N_r}) & \text{if } type = \text{"turbine"} \end{array} \right.$$

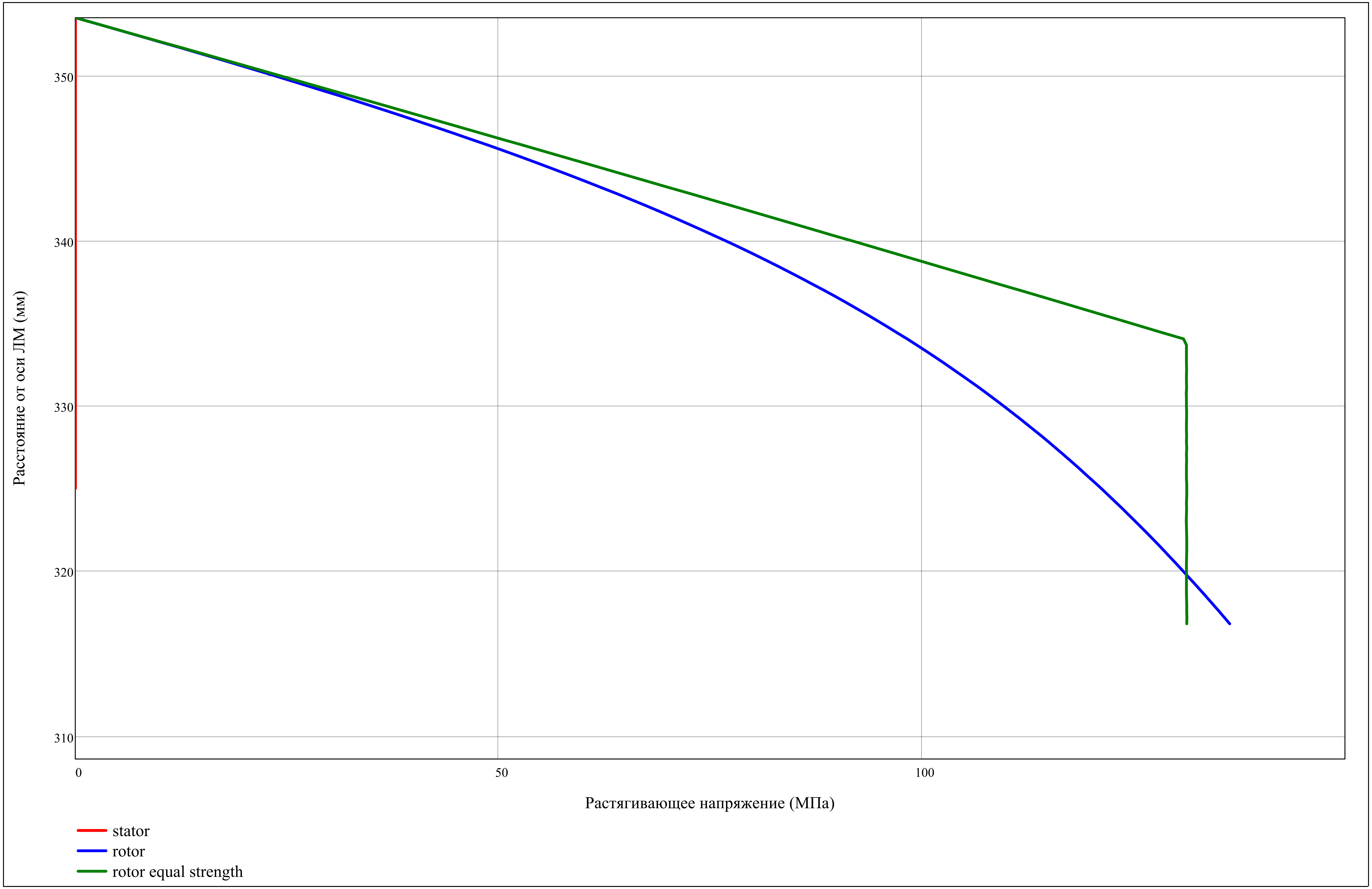
$$z_{stator} := \left| \begin{array}{ll} \mathrm{mean}(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}), \mathrm{mean}(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}) + \frac{\mathrm{mean}(Rj_{2,N_r}, Rj_{3,N_r}) - \mathrm{mean}(Rj_{2,1}, Rj_{3,1})}{100} .. \mathrm{mean}(Rj_{2,N_r}, Rj_{3,N_r}) & \text{if } type = \text{"compressor"} \\ \mathrm{mean}(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}), \mathrm{mean}(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}) + \frac{\mathrm{mean}(Rj_{1,N_r}, Rj_{2,N_r}) - \mathrm{mean}(Rj_{1,1}, Rj_{2,1})}{100} .. \mathrm{mean}(Rj_{1,N_r}, Rj_{2,N_r}) & \text{if } type = \text{"turbine"} \end{array} \right.$$

Результаты расчета на прочность Л

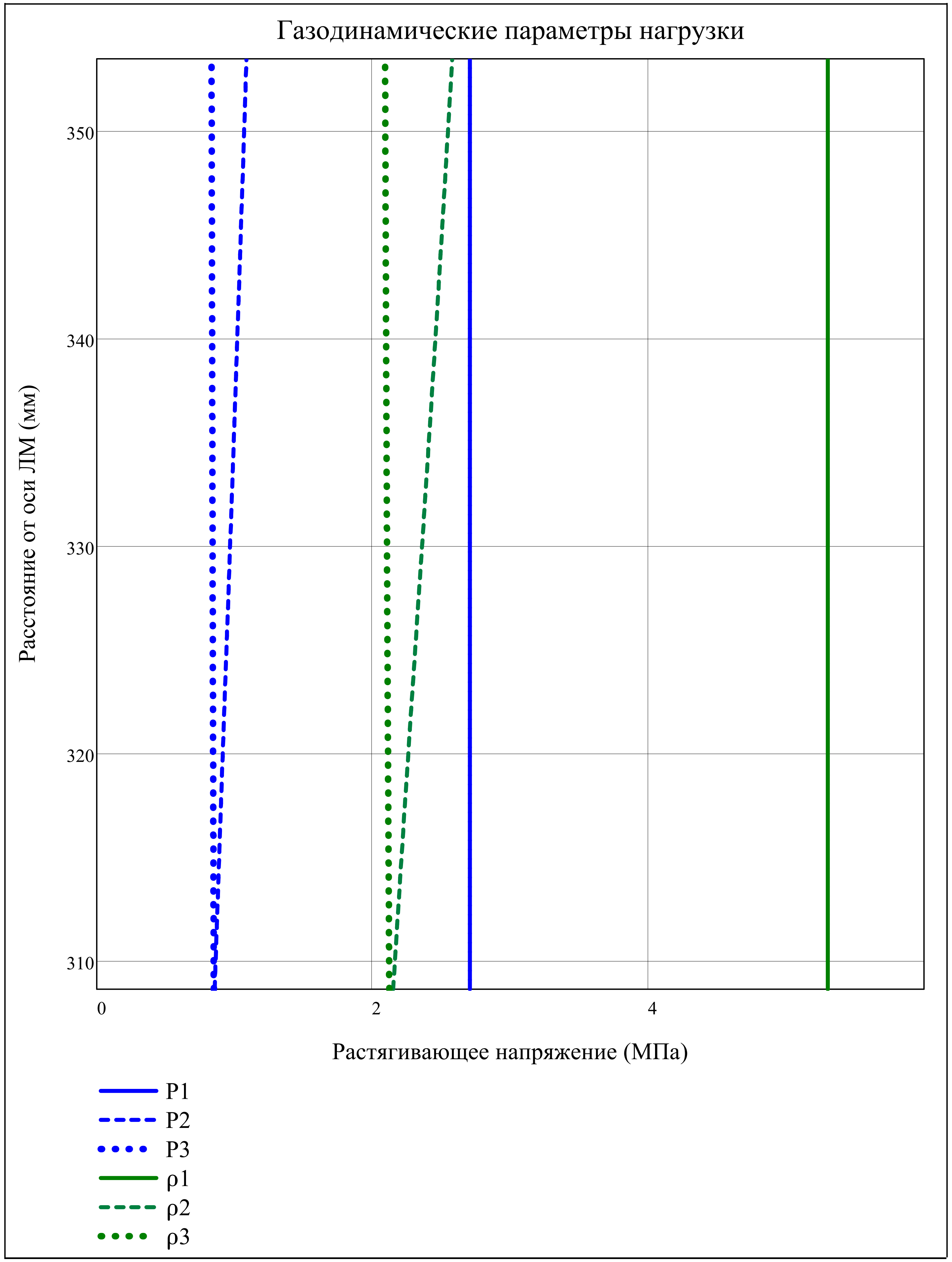


350
340
330
320
310
0
100
200
300
400
Расстояние от оси ЛМ (мм)
Площадь поперечного сечения Л (мм^2)
stator
rotor
rotor equal strength

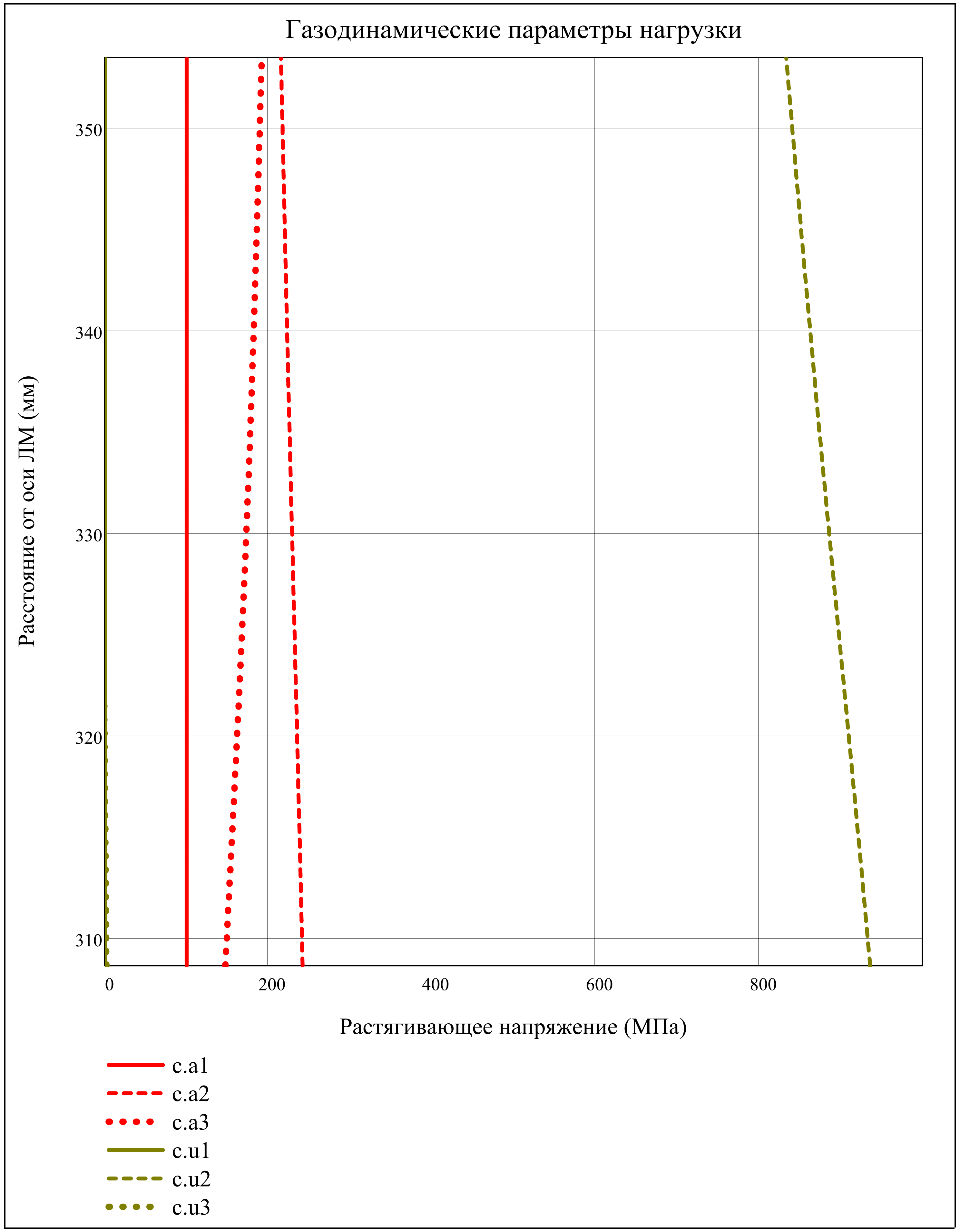

350
340
330
320
310
0
10
20
30
Расстояние от оси ЛМ (мм)
Растягивающая сила (кН)
stator
rotor
rotor equal strength



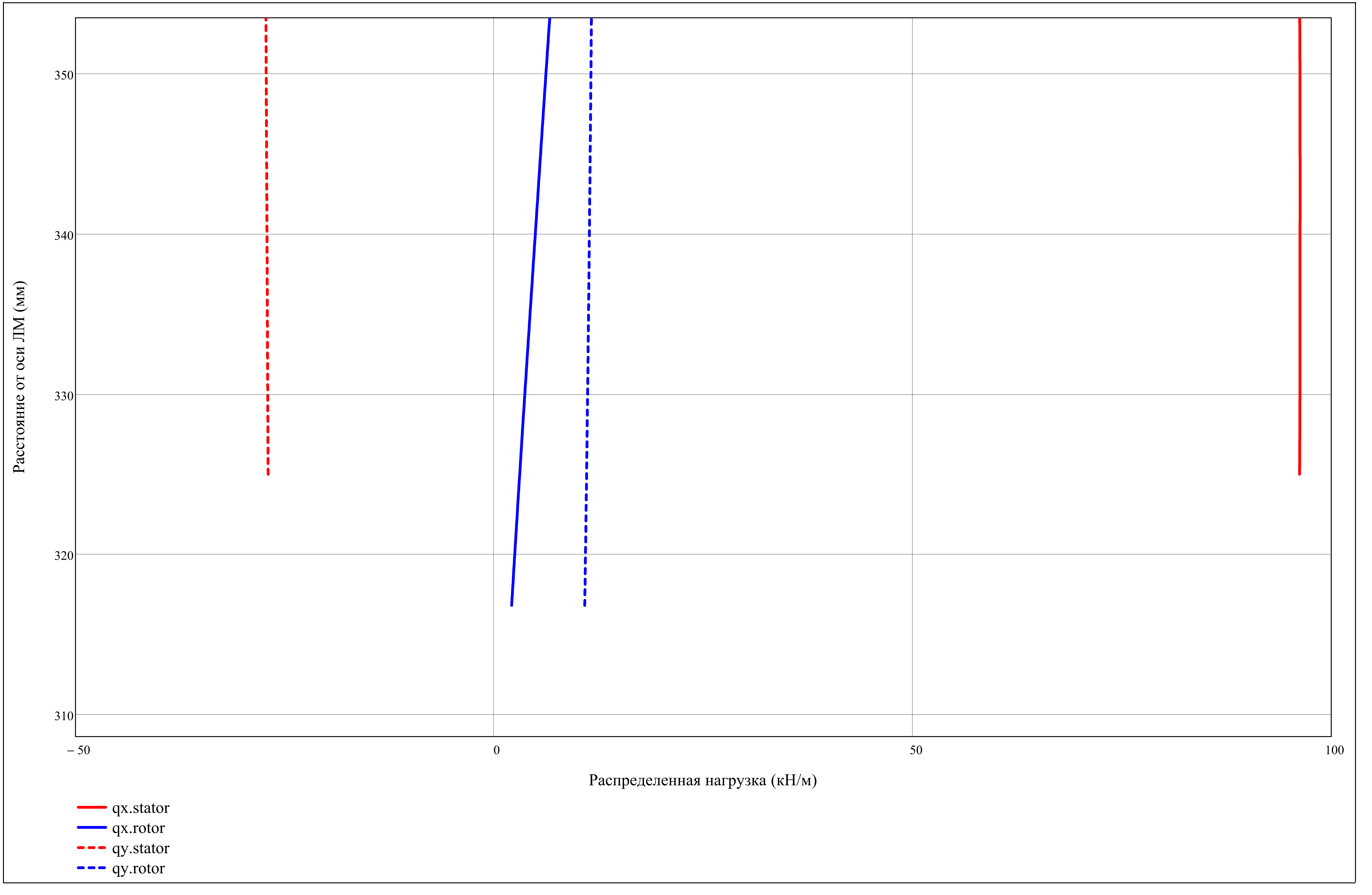
Расстояние от оси ЛМ (мм)
310
320
330
340
350
0
50
100
Растягивающее напряжение (МПа)
stator
rotor
rotor equal strength

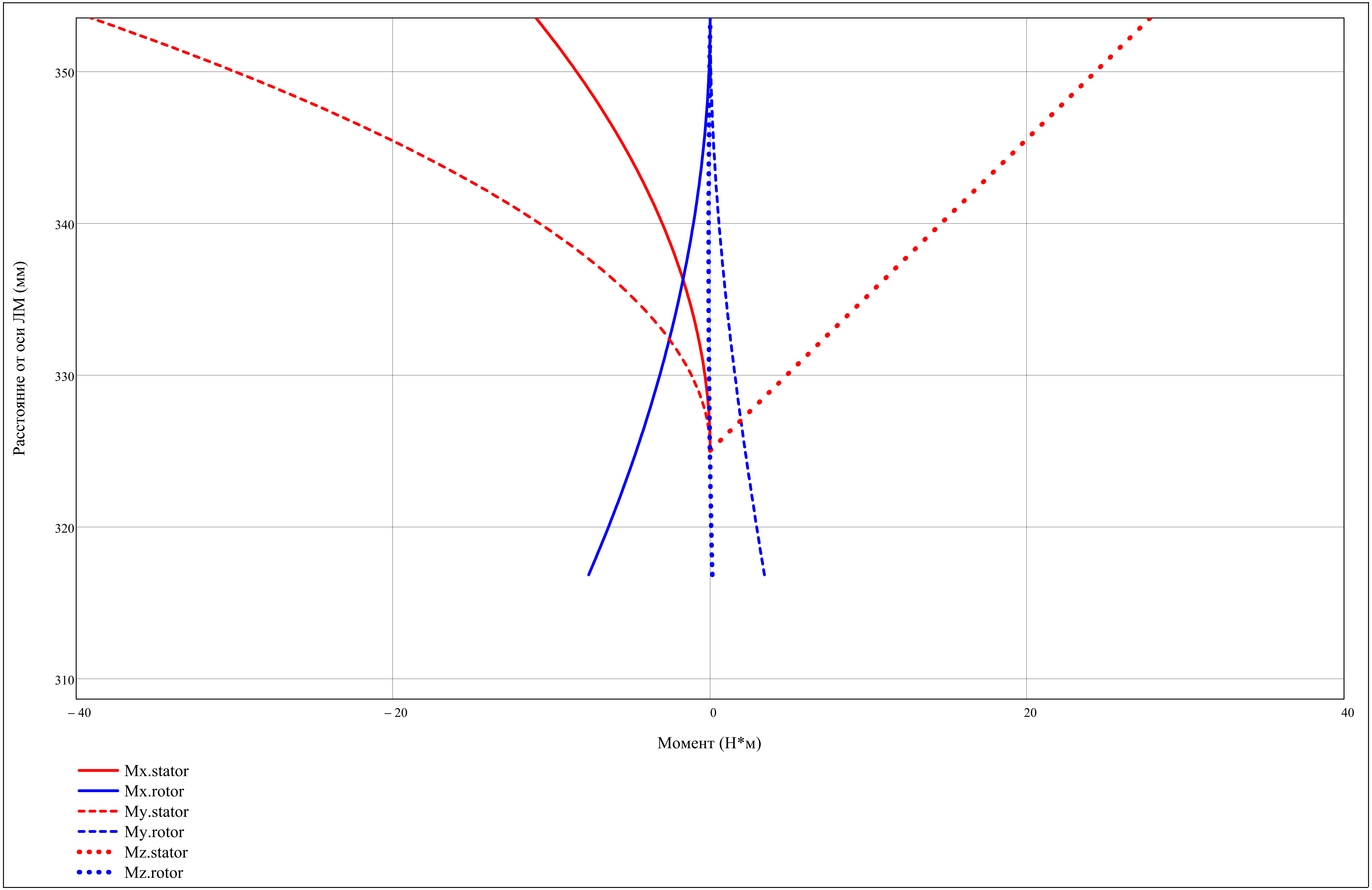


Газодинамические параметры нагрузки
Расстояние от оси ЛМ (мм)
310
320
330
340
350
0
2
4
Растягивающее напряжение (МПа)
P1
P2
P3
ρ1
ρ2
ρ3

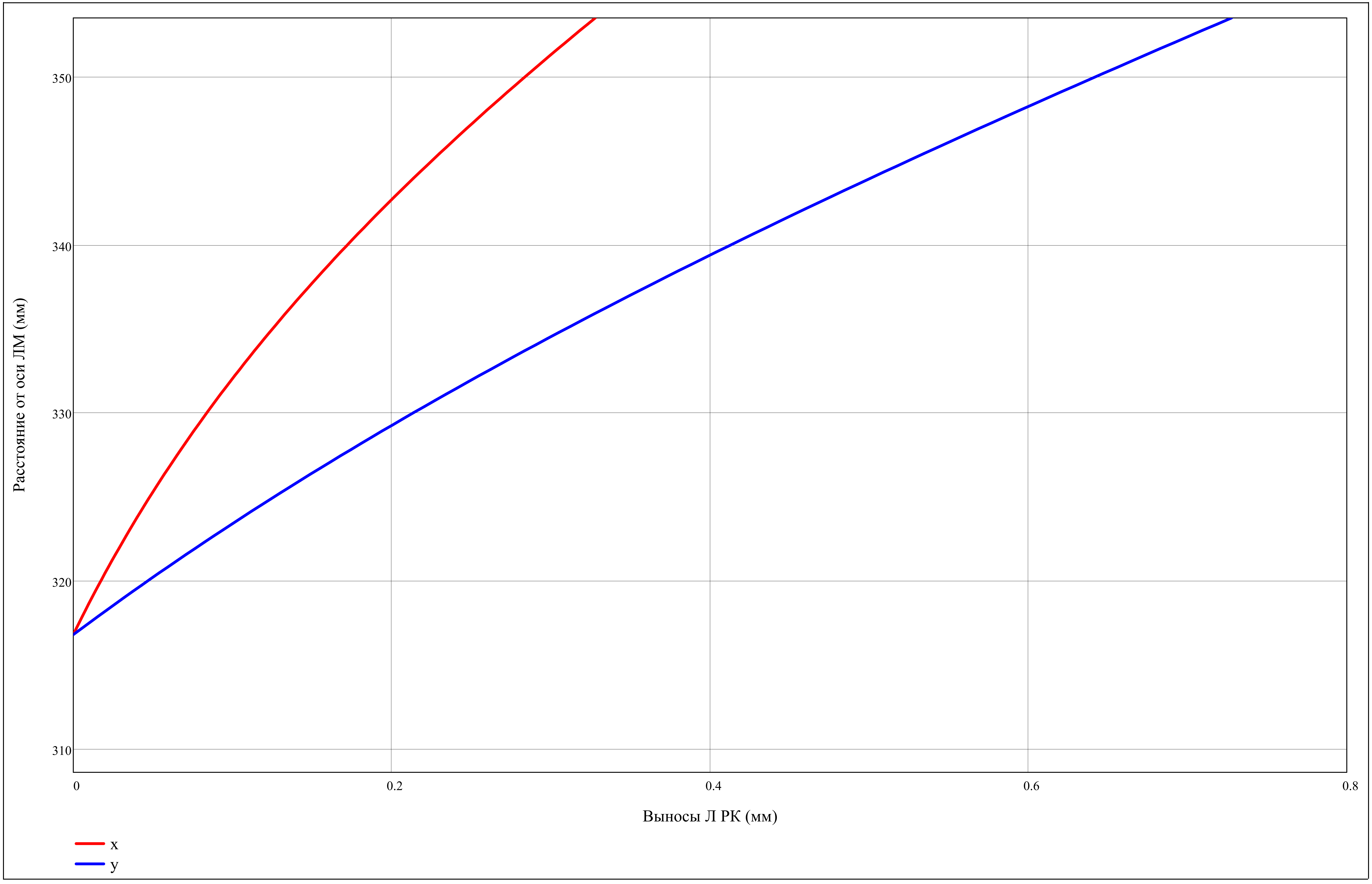


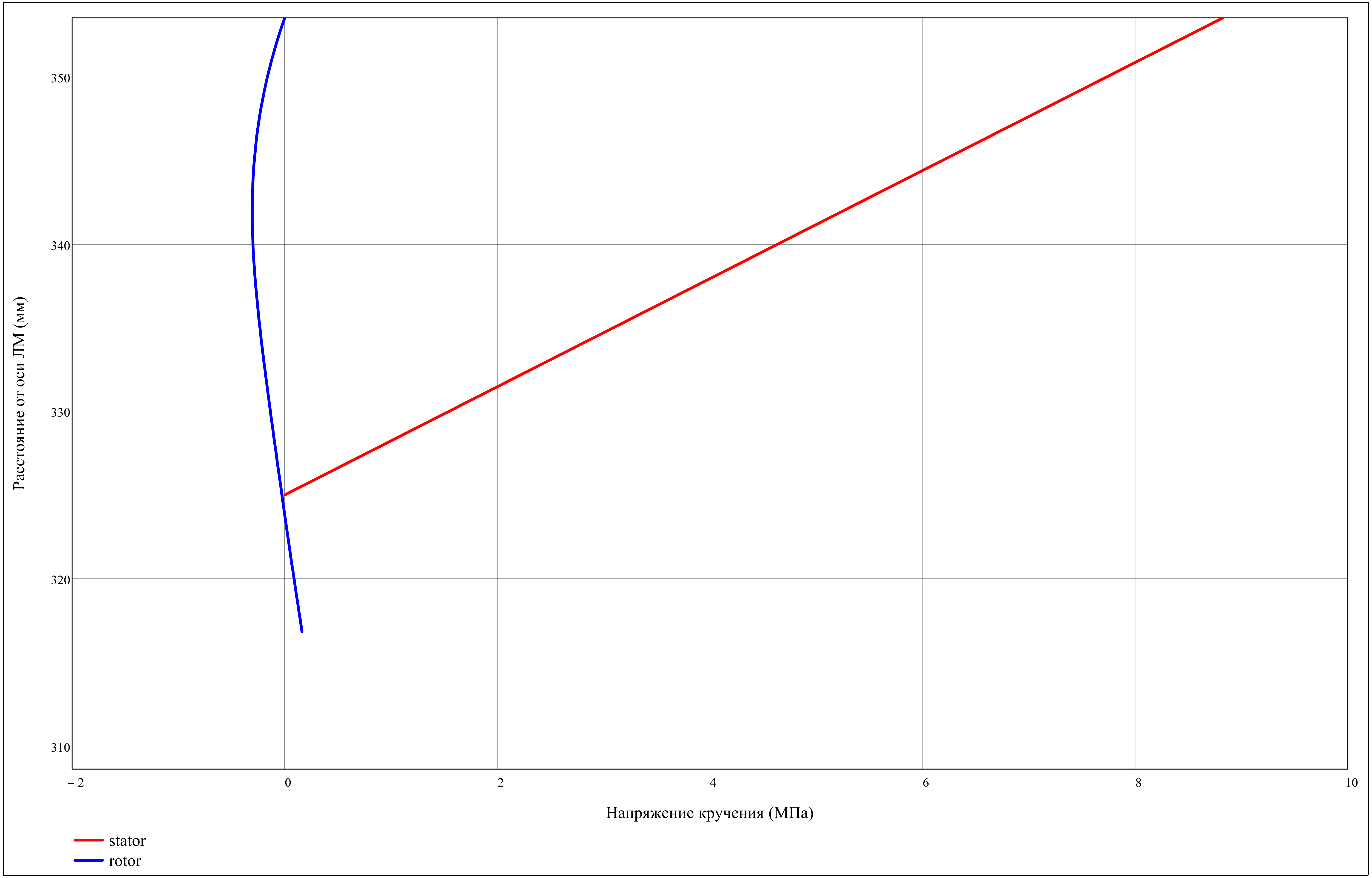
Газодинамические параметры нагрузки
Расстояние от оси ЛМ (мм)
310
320
330
340
350
0
200
400
600
800
Растягивающее напряжение (МПа)
c.a1
c.a2
c.a3
c.u1
c.u2
c.u3


350
340
330
320
310
Расстояние от оси ЛМ (мм)
– 50
0
50
100
Распределенная нагрузка (кН/м)
qx.stator
qx.rotor
qy.stator
qy.rotor

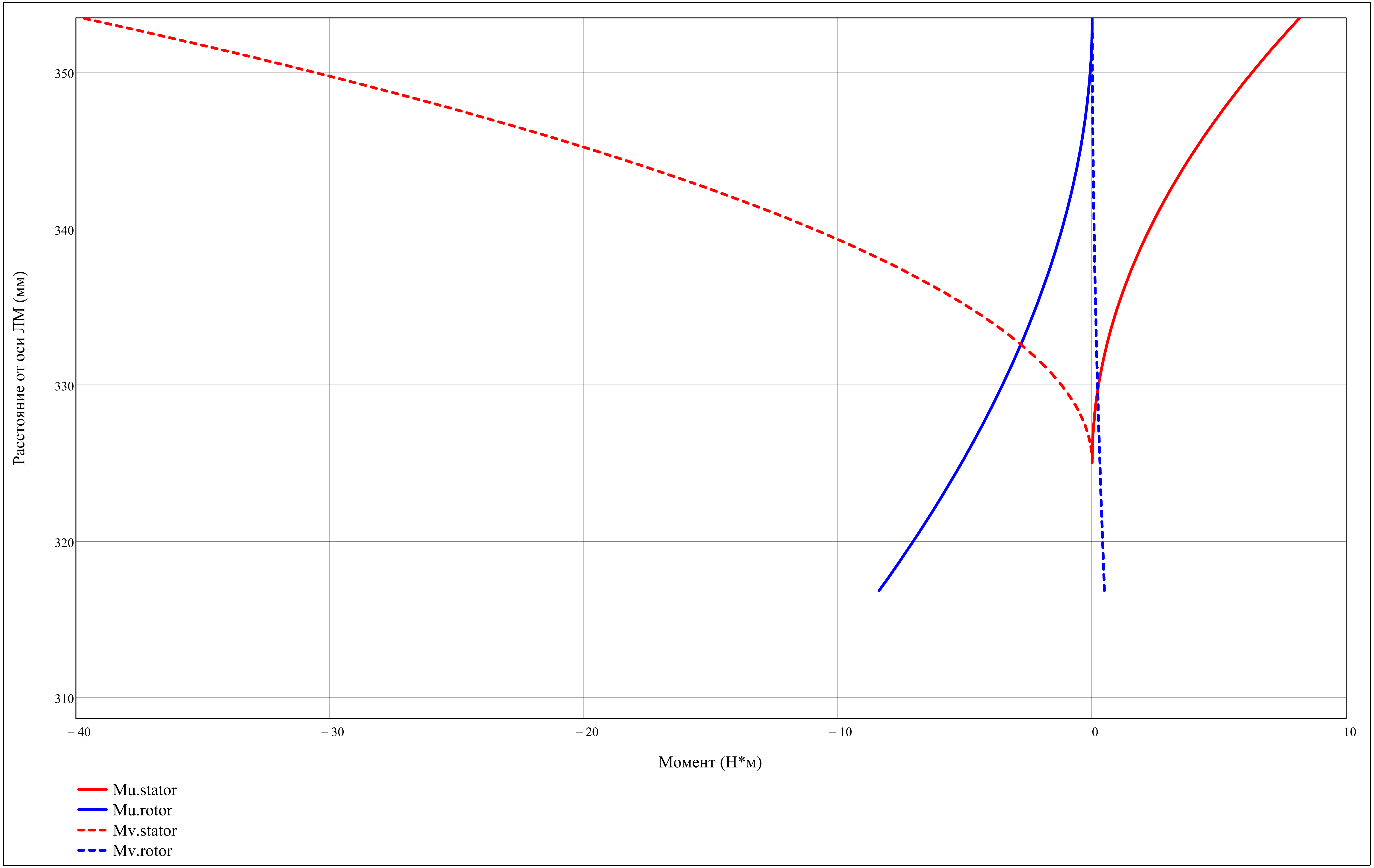


Расстояние от оси ЛМ (мм)
350
340
330
320
310
– 40
– 20
0
20
40
Момент (Н*м)
Mx.stator
Mx.rotor
My.stator
My.rotor
Mz.stator
Mz.rotor

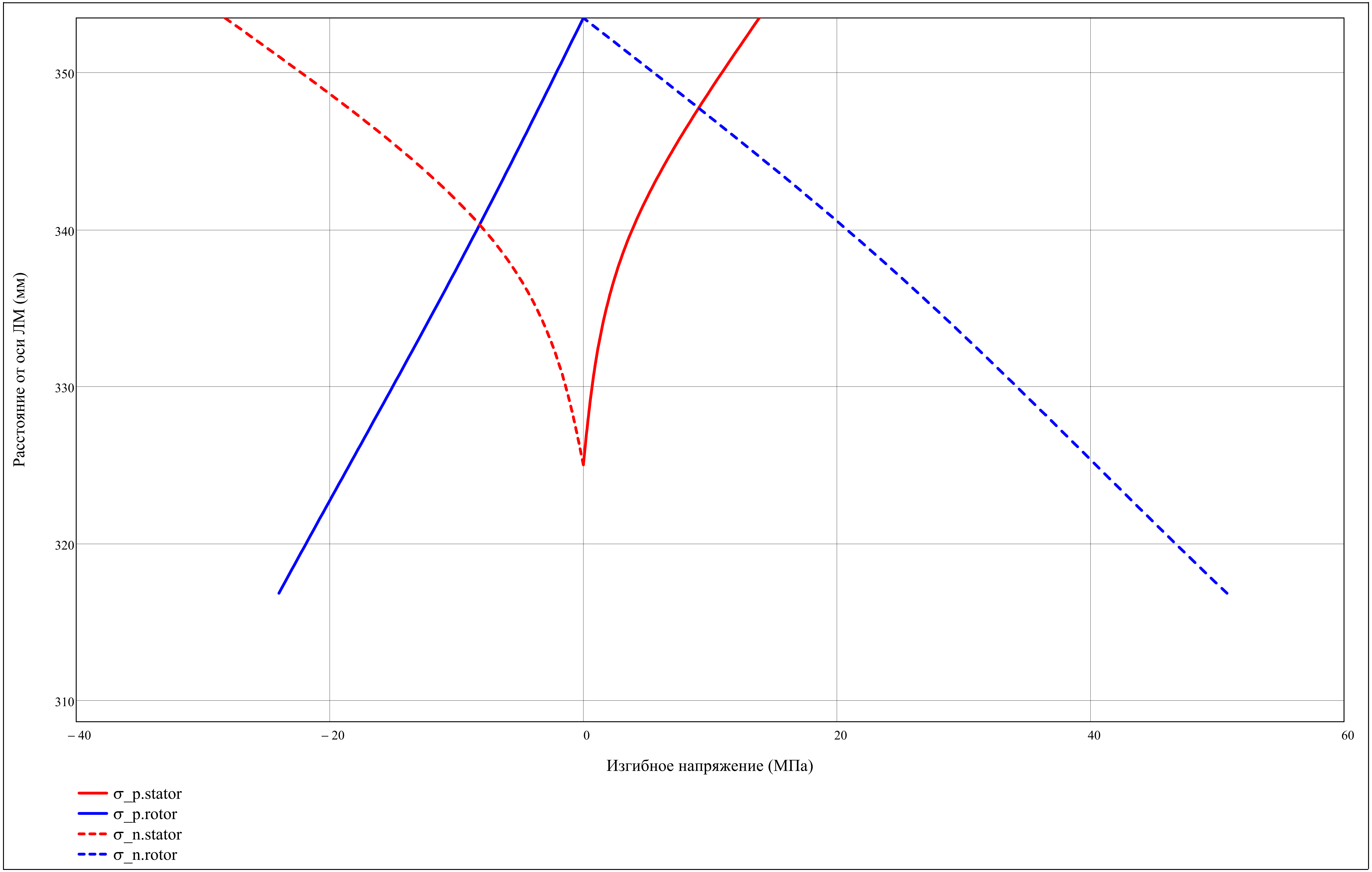

350
340
330
320
310
0
0.2
0.4
0.6
0.8
Расстояние от оси ЛМ (мм)
Выносы Л РК (мм)
x
y



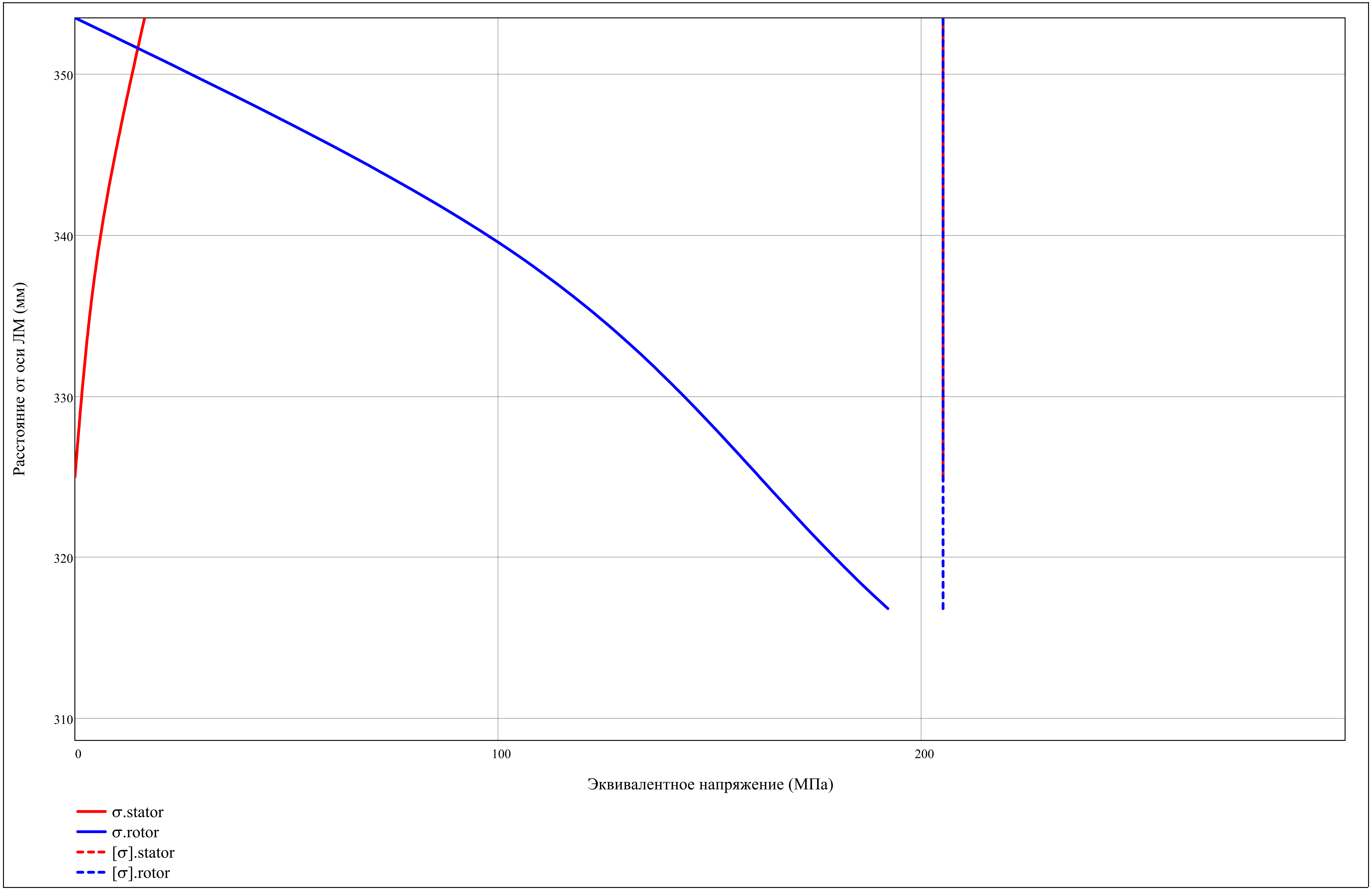
350
340
330
320
310
Расстояние от оси ЛМ (мм)
– 2
0
2
4
6
8
10
Напряжение кручения (МПа)
stator
rotor



Расстояние от оси ЛМ (мм)
350
340
330
320
310
– 40
– 30
– 20
– 10
0
10
Момент (Н*м)
Mu.stator
Mu.rotor
Mv.stator
Mv.rotor



Расстояние от оси ЛМ (мм)
350
340
330
320
310
– 40
– 20
0
20
40
60
Изгибное напряжение (МПа)
σ_p.stator
σ_p.rotor
σ_n.stator
σ_n.rotor



Расстояние от оси ЛМ (мм)
350
340
330
320
310
0
100
200
Эквивалентное напряжение (МПа)
σ.stator
σ.rotor
[σ].stator
[σ].rotor

$$\begin{pmatrix} blade \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{"stator"} \\ 2 \end{pmatrix}$$

Наиболее удаленные точки от НЛ (мм):

$$\begin{pmatrix} u\_u_{rotor_{j,r}} & v\_u_{rotor_{j,r}} \\ u\_l_{rotor_{j,r}} & v\_l_{rotor_{j,r}} \\ u\_u_{stator_{j,r}} & v\_u_{stator_{j,r}} \\ u\_l_{stator_{j,r}} & v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} = \cdot 10^{-3}$$

	1	2
1	0.40	4.05
2	18.83	-10.08
3	8.16	8.19
4	-25.86	-14.47

Изгибные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor_{j,r}} & \sigma\_p_{stator_{j,r}} \\ \sigma\_n_{rotor_{j,r}} & \sigma\_n_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} = \cdot 10^{6}$$

	1	2
1	-8.9	3.5
2	21.9	-7.1

Эквивалентные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{stator_{j,r}} \\ \sigma_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} = \cdot 10^{6}$$

	1
1	5.6
2	101.7

Коэф. запаса: $\begin{pmatrix} safety_{stator_{j,r}} \\ safety_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} =$

	1
1	36.526
2	2.015

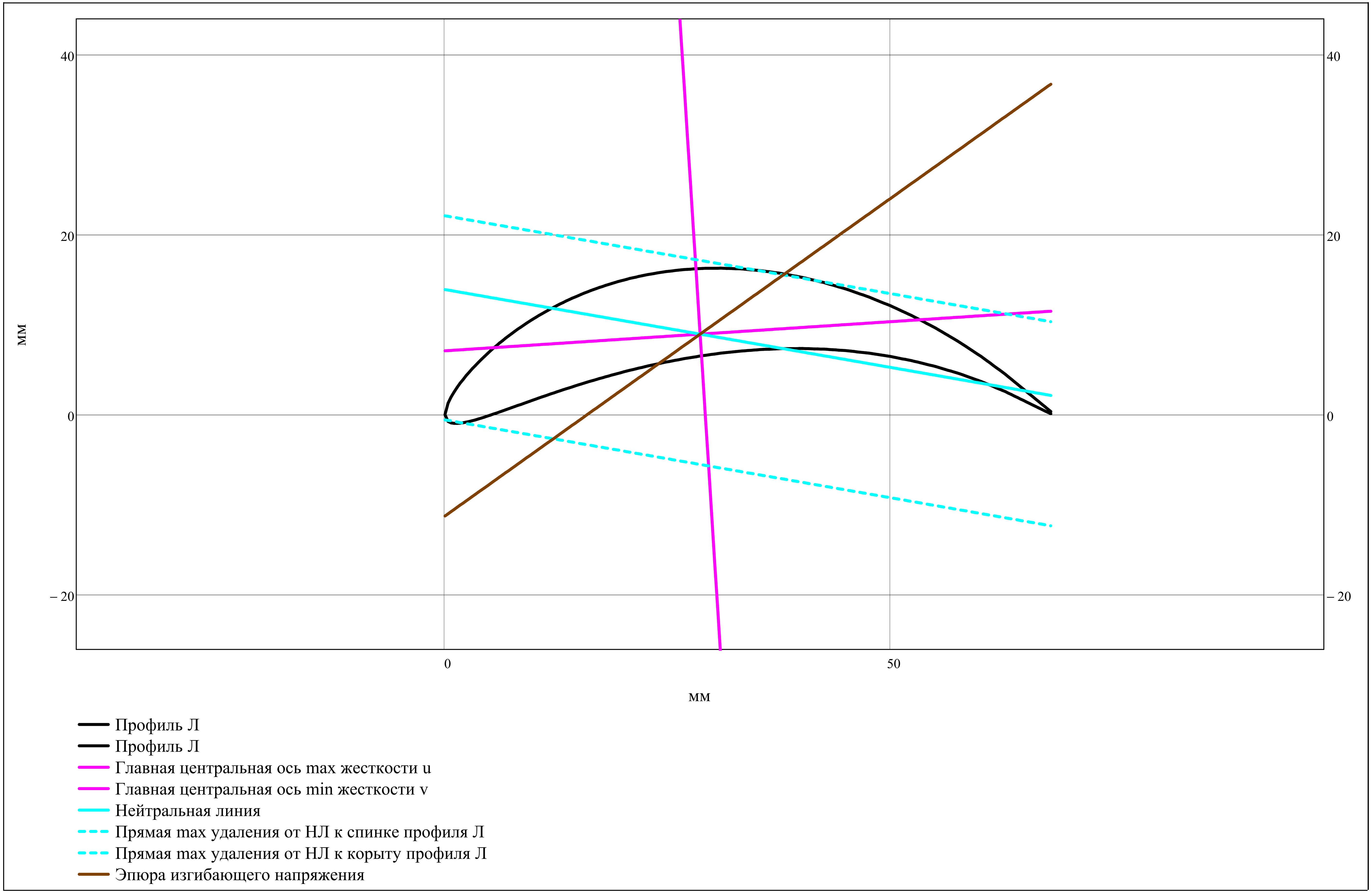
$$\begin{pmatrix} v\_p \\ v\_n \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \begin{pmatrix} v\_u_{rotor_{j,r}} \\ v\_l_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} \text{ if } blade = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} v\_u_{stator_{j,r}} \\ v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} \text{ otherwise} \end{array} \right. = \cdot 10^{-3}$$

	1
1	8.190
2	-14.465

$$\begin{pmatrix} x0 \\ y0 \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{l} \begin{pmatrix} x0_{rotor_{j,r}} \\ y0_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} \text{ if } blade = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} x0_{stator_{j,r}} \\ y0_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} \text{ otherwise} \end{array} \right. = \cdot 10^{-3}$$

	1
1	28.623
2	8.931

$$chord = \left| \begin{array}{l} chord_{rotor_{j,r}} \text{ if } blade = \text{"rotor"} \\ chord_{stator_{j,r}} \text{ if } blade = \text{"stator"} \end{array} \right. = 68.0 \cdot 10^{-3}$$



40
20
0
– 20
мм
0
50
мм
Профиль Л
Профиль Л
Главная центральная ось max жесткости u
Главная центральная ось min жесткости v
Нейтральная линия
Прямая max удаления от НЛ к спинке профиля Л
Прямая max удаления от НЛ к корыту профиля Л
Эпюра изгибающего напряжения

$$\begin{pmatrix} blade \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{"stator"} \\ 3 \end{pmatrix}$$

Наиболее удаленные точки от НЛ (мм):

$$\begin{pmatrix} u\_u_{rotor_{j,r}} & v\_u_{rotor_{j,r}} \\ u\_l_{rotor_{j,r}} & v\_l_{rotor_{j,r}} \\ u\_u_{stator_{j,r}} & v\_u_{stator_{j,r}} \\ u\_l_{stator_{j,r}} & v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1	2
1	-5.99	13.96
2	-8.99	-17.32
3	8.16	8.19
4	-25.85	-14.48

$\cdot 10^{-3}$

Изгибные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor_{j,r}} & \sigma\_p_{stator_{j,r}} \\ \sigma\_n_{rotor_{j,r}} & \sigma\_n_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1	2
1	0.0	13.9
2	0.0	-28.3

$\cdot 10^{6}$

Эквивалентные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{stator_{j,r}} \\ \sigma_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1
1	16.4
2	0.0

$\cdot 10^{6}$

Коэф. запаса: $\begin{pmatrix} safety_{stator_{j,r}} \\ safety_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} =$

	1
1	12.470
2	)000000000000000000000000000000.0

$$\begin{pmatrix} v\_p \\ v\_n \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{ll} \begin{pmatrix} v\_u_{rotor_{j,r}} \\ v\_l_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade = "rotor"} \\ \begin{pmatrix} v\_u_{stator_{j,r}} \\ v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{array} \right. =$$

	1
1	8.194
2	-14.477

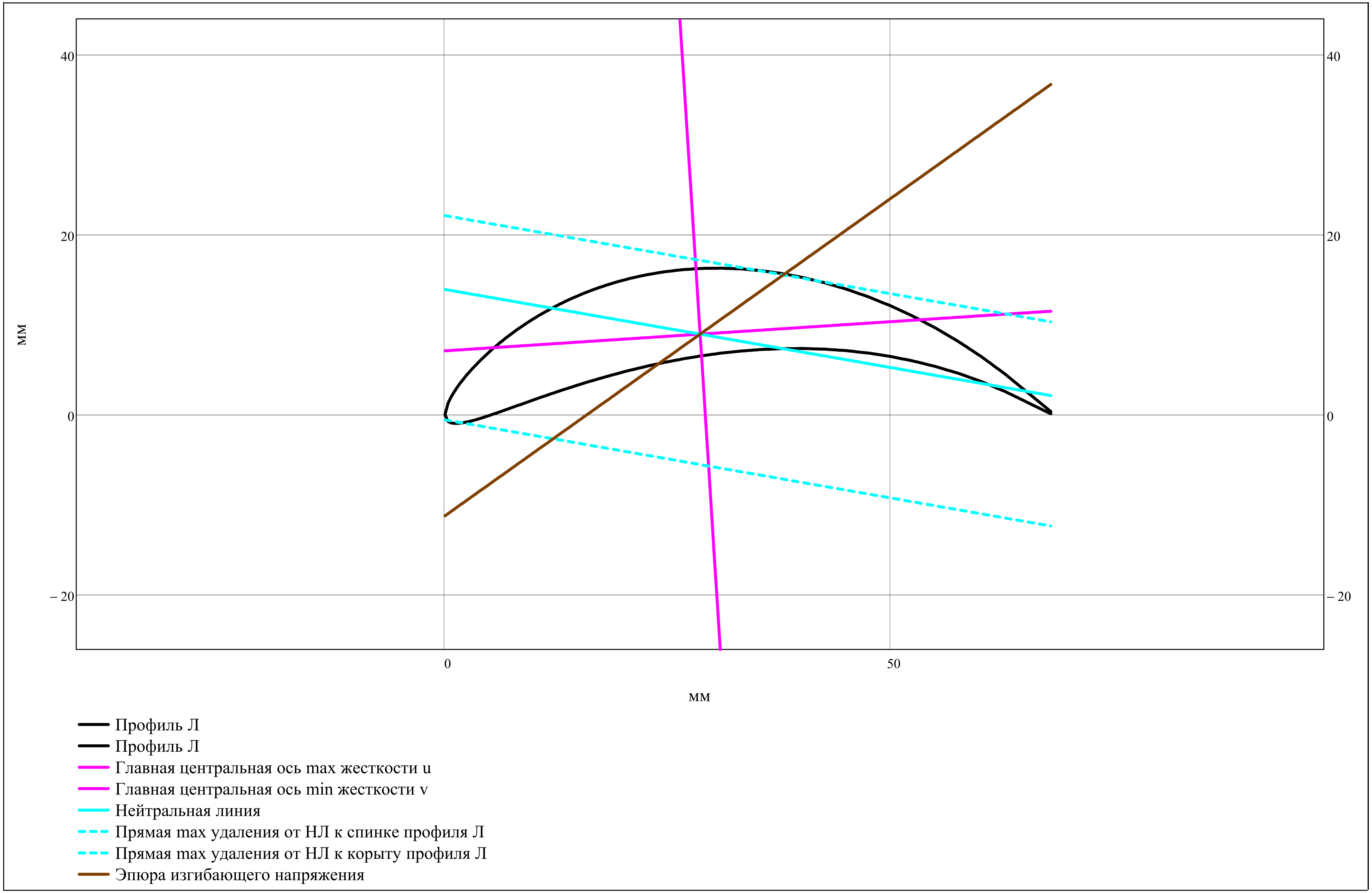
$\cdot 10^{-3}$

$$\begin{pmatrix} x0 \\ y0 \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{ll} \begin{pmatrix} x0_{rotor_{j,r}} \\ y0_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade = "rotor"} \\ \begin{pmatrix} x0_{stator_{j,r}} \\ y0_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{array} \right. =$$

	1
1	28.623
2	8.931

$\cdot 10^{-3}$

$$chord = \left| \begin{array}{ll} chord_{rotor_{j,r}} & \text{if blade = "rotor"} \\ chord_{stator_{j,r}} & \text{if blade = "stator"} \end{array} \right. = 68.0 \cdot 10^{-3}$$


40
20
0
– 20
40
20
0
– 20
мм
0
50
мм
Профиль Л
Профиль Л
Главная центральная ось max жесткости u
Главная центральная ось min жесткости v
Нейтральная линия
Прямая max удаления от НЛ к спинке профиля Л
Прямая max удаления от НЛ к корыту профиля Л
Эпюра изгибающего напряжения

$$\begin{pmatrix} blade \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{"rotor"} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Наиболее удаленные точки от НЛ (мм):

$$\begin{pmatrix} u\_u_{rotor_{j,r}} & v\_u_{rotor_{j,r}} \\ u\_l_{rotor_{j,r}} & v\_l_{rotor_{j,r}} \\ u\_u_{stator_{j,r}} & v\_u_{stator_{j,r}} \\ u\_l_{stator_{j,r}} & v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} = \cdot 10^{-3}$$

	1	2
1	-0.22	5.32
2	21.03	-11.79
3	-7.06	29.14
4	-11.36	-38.70

Изгибные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor_{j,r}} & \sigma\_p_{stator_{j,r}} \\ \sigma\_n_{rotor_{j,r}} & \sigma\_n_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} = \cdot 10^{6}$$

	1	2
1	-18.4	0.0
2	40.4	0.0

Эквивалентные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{stator_{j,r}} \\ \sigma_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} = \cdot 10^{6}$$

	1
1	0.0
2	161.6

Коэф. запаса:

$$\begin{pmatrix} safety_{stator_{j,r}} \\ safety_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1
1	)000000000000000000000000000000.0
2	1.269

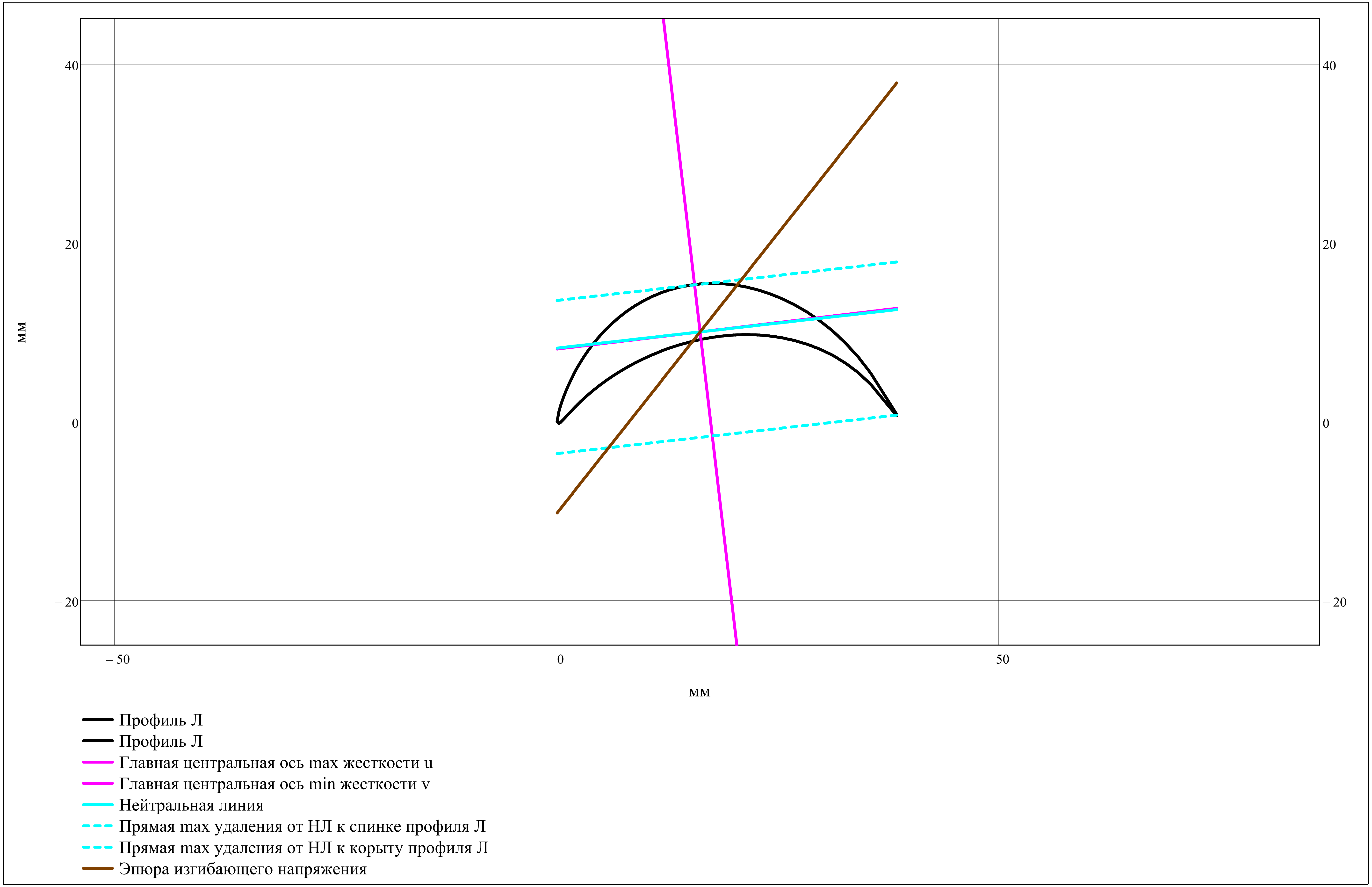
$$\begin{pmatrix} v\_p \\ v\_n \end{pmatrix} = \begin{cases} \begin{pmatrix} v\_u_{rotor_{j,r}} \\ v\_l_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if } blade = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} v\_u_{stator_{j,r}} \\ v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{cases} = \cdot 10^{-3}$$

	1
1	5.323
2	-11.789

$$\begin{pmatrix} x0 \\ y0 \end{pmatrix} = \begin{cases} \begin{pmatrix} x0_{rotor_{j,r}} \\ y0_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if } blade = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} x0_{stator_{j,r}} \\ y0_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{cases} = \cdot 10^{-3}$$

	1
1	16.158
2	10.001

$$chord = \begin{cases} chord_{rotor_{j,r}} & \text{if } blade = \text{"rotor"} \\ chord_{stator_{j,r}} & \text{if } blade = \text{"stator"} \end{cases} = 38.4 \cdot 10^{-3}$$



40
20
0
– 20
40
20
0
– 20
мм
– 50
0
50
мм
Профиль Л
Профиль Л
Главная центральная ось max жесткости u
Главная центральная ось min жесткости v
Нейтральная линия
Прямая max удаления от НЛ к спинке профиля Л
Прямая max удаления от НЛ к корыту профиля Л
Эпюра изгибающего напряжения

$$\begin{pmatrix} blade \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{"rotor"} \\ 2 \end{pmatrix}$$

Наиболее удаленные точки от НЛ (мм):

$$\begin{pmatrix} u\_u_{rotor_{j,r}} & v\_u_{rotor_{j,r}} \\ u\_l_{rotor_{j,r}} & v\_l_{rotor_{j,r}} \\ u\_u_{stator_{j,r}} & v\_u_{stator_{j,r}} \\ u\_l_{stator_{j,r}} & v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1	2
1	0.40	4.05
2	18.83	-10.08
3	8.16	8.19
4	-25.86	-14.47

$\cdot 10^{-3}$

Изгибные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor_{j,r}} & \sigma\_p_{stator_{j,r}} \\ \sigma\_n_{rotor_{j,r}} & \sigma\_n_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1	2
1	-8.9	3.5
2	21.9	-7.1

$\cdot 10^{6}$

Эквивалентные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{stator_{j,r}} \\ \sigma_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1
1	5.6
2	101.7

$\cdot 10^{6}$

Коэф. запаса: $\begin{pmatrix} safety_{stator_{j,r}} \\ safety_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} =$

	1
1	36.526
2	2.015

$$\begin{pmatrix} v\_p \\ v\_n \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{ll} \begin{pmatrix} v\_u_{rotor_{j,r}} \\ v\_l_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if } blade = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} v\_u_{stator_{j,r}} \\ v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{array} \right. =$$

	1
1	4.047
2	-10.076

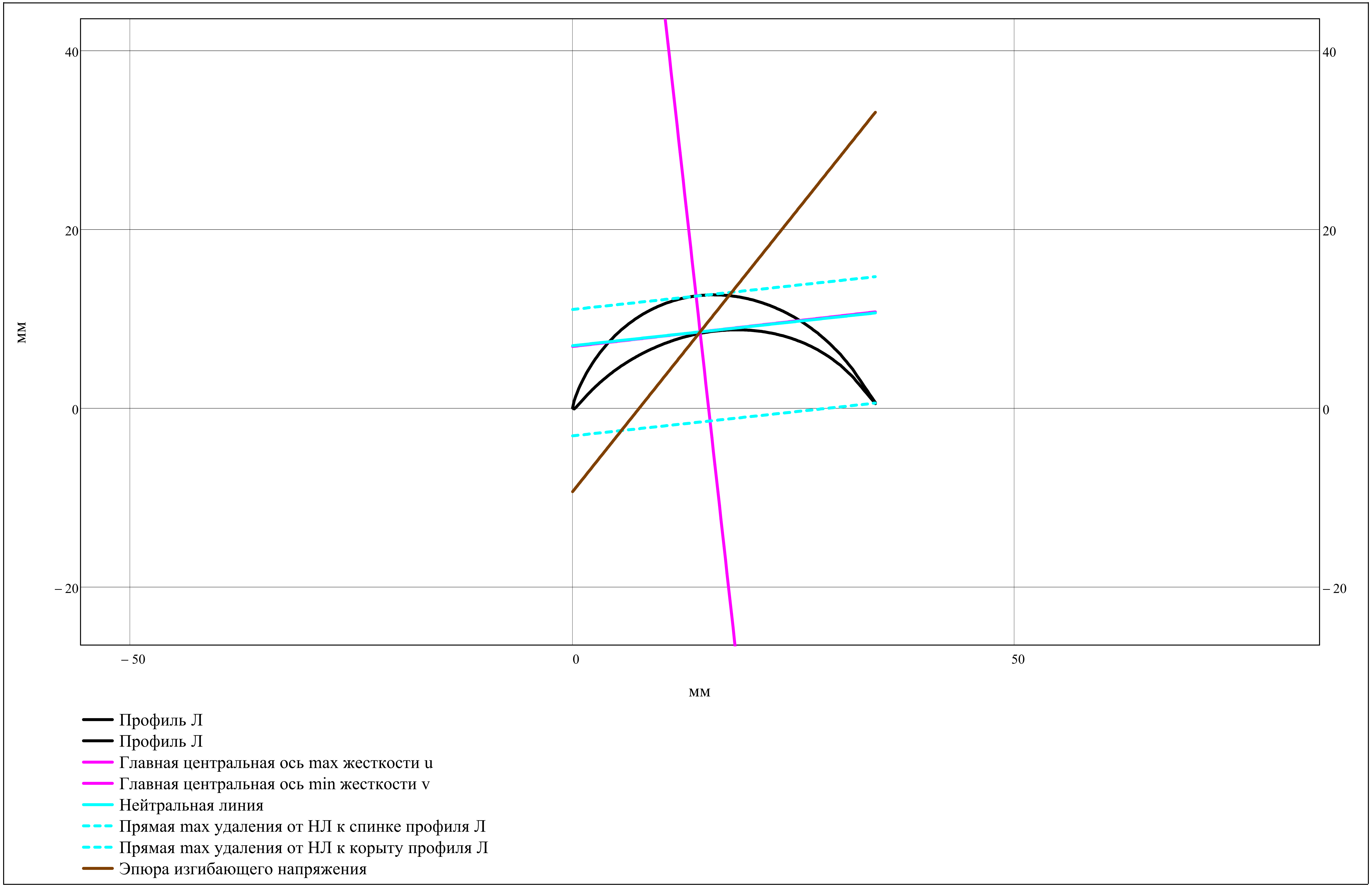
$\cdot 10^{-3}$

$$\begin{pmatrix} x0 \\ y0 \end{pmatrix} = \left| \begin{array}{ll} \begin{pmatrix} x0_{rotor_{j,r}} \\ y0_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if } blade = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} x0_{stator_{j,r}} \\ y0_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{array} \right. =$$

	1
1	14.401
2	8.496

$\cdot 10^{-3}$

$$chord = \left| \begin{array}{ll} chord_{rotor_{j,r}} & \text{if } blade = \text{"rotor"} \\ chord_{stator_{j,r}} & \text{if } blade = \text{"stator"} \end{array} \right. = 34.2 \cdot 10^{-3}$$



Результаты расчета на прочность Л

Выбор материала Д

Запас по температуре (К): $\Delta T_{safety} = 0$

Выбранный материал Д: $material\_disk_i = \begin{cases} \text{"ВЖ175"} & \text{if } turbine = \text{"ТВД"} \\ \text{"ЭП742"} & \text{if } turbine = \text{"ТНД"} \end{cases}$

Плотность материала Д (кг/м^3):

$$\rho\_disk_i = \begin{cases} 8266 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВЖ175"} \\ 8320 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ЭП742"} \\ 8393 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ЖС-6К"} \\ 7900 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ41"} \\ 4500 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ25"} \\ 4570 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ23"} \\ 4510 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ9"} \\ 4430 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ6"} \\ NaN & \text{otherwise} \end{cases}$$

Предел длительной прочности Д (Па):

$$\sigma\_disk\_long_i = 10^6 \cdot \begin{cases} 620 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВЖ175"} \\ 680 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ЭП742"} \\ 125 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ЖС-6К"} \\ 123 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ41"} \\ 150 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ25"} \\ 230 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ23"} \\ 200 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ9"} \\ 210 & \text{if } material\_disk_i = \text{"ВТ6"} \\ NaN & \text{otherwise} \end{cases}$$

$material\_disk^T =$

	1
1	"ВЖ175"

$\rho\_disk^T =$

	1
1	8266

$\sigma\_disk\_long^T =$

	1
1	620

$\cdot 10^6$

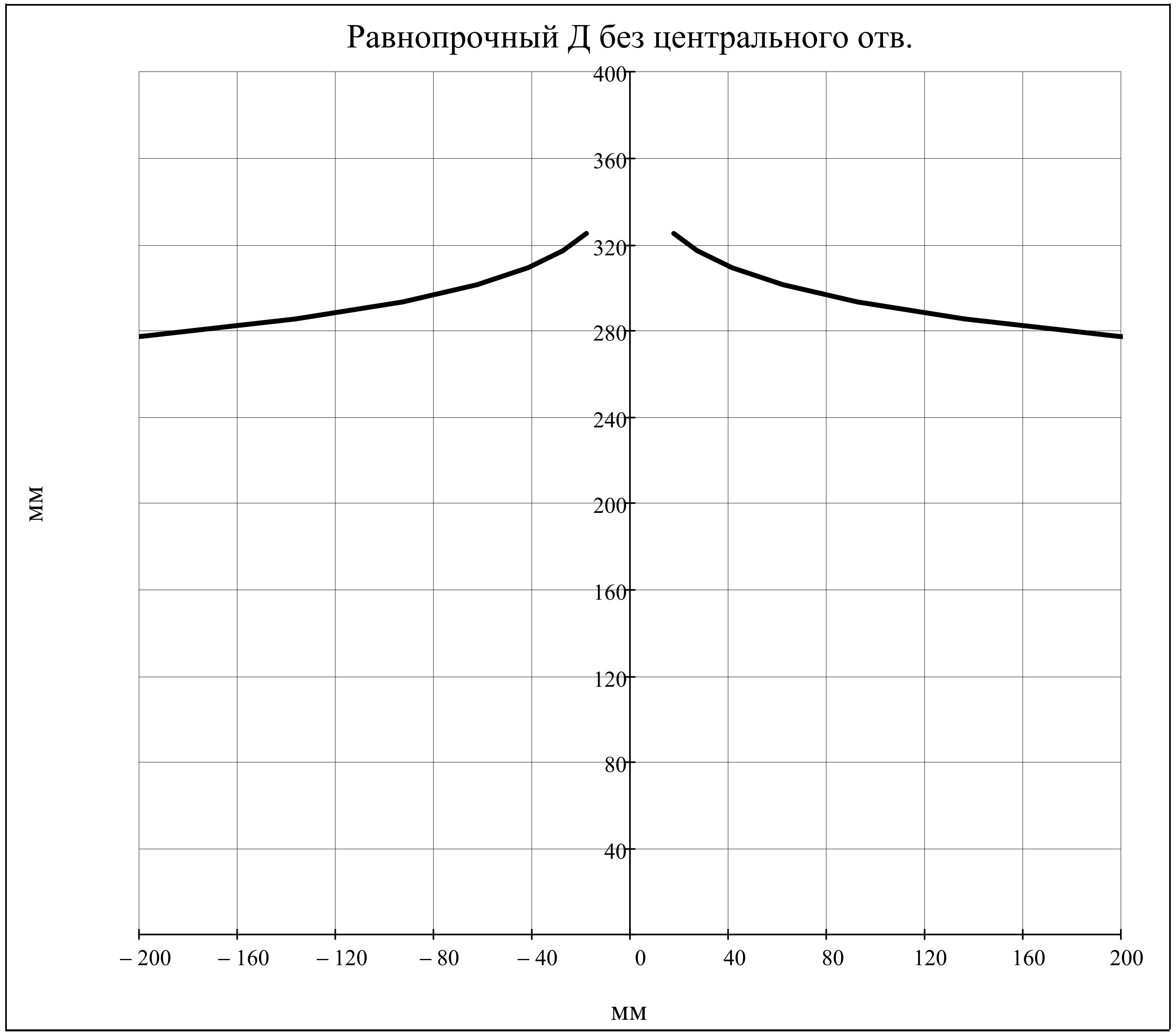
Выбор материала Д

Рассматриваемая ступень: $j = \begin{cases} j = Z \\ j = \begin{cases} \text{"Такой ступени не существует!"} & \text{if } (j < 1) \vee (j > Z) \\ j & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases} = 1$

Профилирование равнопрочного Д без центрального отв.

$$h(i,z) = \begin{cases} \left(chord_{rotor_{i,ORIGIN}} \cdot \sin\left(\upsilon_{rotor_{i,ORIGIN}}\right)\right) \cdot e^{\frac{\rho\_disk_i \cdot \omega^2}{2} \cdot \frac{1}{\sigma\_z_{rotor}\left(i, R_{st(i,2),ORIGIN}\right)} \cdot \left[\left(R_{st(i,2),ORIGIN}\right)^2 - z^2\right]} & \text{if } z \le R_{st(i,2),ORIGIN} \\ NaN & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$z = 0, \frac{R_{st(j,2),ORIGIN}}{N_{dis}} .. R_{st(j,2),ORIGIN}$$



Профилирование равнопрочного Д без центрального отв.