Коэф. запаса: $\text{safety} = 1.3$

Горючее: $\text{Fuel} = \text{"Керосин"}$ $\qquad$ $\text{turbine} = \text{"ТНД"}$

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):

$$\begin{pmatrix} G_\Gamma \\ G_{leak} \\ G_{cooling} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} 32.30 \\ 106.96 \cdot 10^{-3} \\ 3240.8 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} & \text{if turbine} = \text{"ТВД"} \\ \begin{pmatrix} 35.43 \\ 35.65 \cdot 10^{-3} \\ 810.2 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} & \text{if turbine} = \text{"ТНД"} \end{vmatrix}$$

$= \begin{array}{c|c} & 1 \\ \hline 1 & 35.43 \\ 2 & 0.04 \\ 3 & 0.81 \end{array}$

Мощность Т (Вт): $N_T = 10^6 \cdot \begin{vmatrix} 14.893 & \text{if turbine} = \text{"ТВД"} \\ 15.181 & \text{if turbine} = \text{"ТНД"} \end{vmatrix} = 15.181 \cdot 10^6$

Полное давление перед Т (Па): $P^*_\Gamma = 10^3 \cdot \begin{vmatrix} 2731.8 & \text{if turbine} = \text{"ТВД"} \\ 927.5 & \text{if turbine} = \text{"ТНД"} \end{vmatrix} = 927.5 \cdot 10^3$

Полная температура перед Т (К): $T^*_\Gamma = \begin{vmatrix} 1773 & \text{if turbine} = \text{"ТВД"} \\ 1368.9 & \text{if turbine} = \text{"ТНД"} \end{vmatrix} = 1368.9$

Коэф. избытка воздуха в Т: $\alpha_{ox} = \begin{vmatrix} 2.267 & \text{if turbine} = \text{"ТВД"} \\ 2.493 & \text{if turbine} = \text{"ТНД"} \end{vmatrix} = 2.493$

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

Полная температура отбора охлаждающего воздуха (К): $T^*_{cooling} = \begin{vmatrix} 806.9 & \text{if turbine} = \text{"ТВД"} \\ 418.2 & \text{if turbine} = \text{"ТНД"} \end{vmatrix} = 418.2$

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

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

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

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

Абс. скорость перед Т (м/с):

Абс. скорость после Т (м/с):

[1, с.15] $80 \le c_T \le 400 = 1$

$$\begin{pmatrix} c_Г \\ c_T \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} 100 \\ 180 \end{pmatrix} & \text{if turbine} = \text{"ТВД"} \\ \begin{pmatrix} 180 \\ 260 \end{pmatrix} & \text{if turbine} = \text{"ТНД"} \end{vmatrix} =$$

	1
1	180.0
2	260.0

Лопаточный КПД Т: $\eta_Л = 88\%$

$88\% \le \eta_Л \le 95\% = 1$

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

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

$$u_T = \begin{vmatrix} 520 & \text{if turbine} = \text{"ТВД"} \\ 260 & \text{if turbine} = \text{"ТНД"} \end{vmatrix} = 260.0$$

▲ Исходные данные

$z = \text{ORIGIN} .. N_r$

Полное давление отбора охлаждающего воздуха (К): $P^*_{cooling} = P^*_{cooling} \cdot \sigma_{cooling} = 309.8 \cdot 10^3$

Полная температура отбора охлаждающего воздуха (К): $T^*_{cooling} = T^*_{cooling} + \Delta T_{охл.подогрев} = 458.2$

Массовый расход перед Т (кг/с): $G_г = G_г - G_{leak} = 35.4$

Массовый расход после Т (кг/с): $G_т = G_г + G_{cooling} = 36.2$

Удельная работа Т (Дж/кг): $L^*_T = \dfrac{N_T}{\text{mean}(G_г, G_т)} = 424.1 \cdot 10^3$ $\boxed{L^*_T \le 550 \cdot 10^3 = 1}$

Располагаемый теплоперепад в Т (Дж/кг): $H_T = \dfrac{L^*_T + 0.5 c_T^{\,2}}{\eta_л} = 520.3 \cdot 10^3$

$$\begin{pmatrix} \text{iteration} \\ k_\Gamma \\ P_\Gamma \\ T_\Gamma \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \text{iteration} = 0 \\ k_\Gamma = k_{\text{ад}}\left(Cp_{\text{газ}}\left(P^*_\Gamma, T^*_\Gamma, \alpha_{ox}, \text{Fuel}\right), R_{\text{газ}}\left(\alpha_{ox}, \text{Fuel}\right)\right) \\ \text{while } 1 > 0 \\ \quad \begin{vmatrix} \text{iteration} = \text{iteration} + 1 \\ Cp_\Gamma = \dfrac{k_\Gamma}{k_\Gamma - 1} \cdot R_{\text{газ}}\left(\alpha_{ox}, \text{Fuel}\right) \\ T_\Gamma = T^*_\Gamma - \dfrac{c_\Gamma^2}{2 \cdot Cp_\Gamma} \\ P_\Gamma = P^*_\Gamma \cdot \left(\dfrac{T_\Gamma}{T^*_\Gamma}\right)^{\frac{k_\Gamma}{k_\Gamma - 1}} \\ k'_\Gamma = k_{\text{ад}}\left(Cp_{\text{газ}}\left(P_\Gamma, T_\Gamma, \alpha_{ox}, \text{Fuel}\right), R_{\text{газ}}\left(\alpha_{ox}, \text{Fuel}\right)\right) \\ \text{if } \left| \text{eps}\left(\text{"rel"}, k_\Gamma, k'_\Gamma\right)\right| \le \text{epsilon} \\ \quad \begin{vmatrix} k_\Gamma = k'_\Gamma \\ \text{break} \end{vmatrix} \\ k_\Gamma = k'_\Gamma \end{vmatrix} \\ \begin{pmatrix} \text{iteration} & k_\Gamma & P_\Gamma & T_\Gamma \end{pmatrix}^T \end{vmatrix}$$

	1
1	1.0
2	1.3
3	890047.3
4	1356.0

Количество итераций: iteration = 1

Показатель адиабаты перед Т: $k_\Gamma = 1.298$

Статическое давление перед Т (Па): $P_\Gamma = 890 \cdot 10^3$

Статическая температура перед Т (К): $T_\Gamma = 1356$

Теплоемкость перед Т (Дж/кг/К): $Cp_\Gamma = Cp_{\text{газ}}\left(P_\Gamma, T_\Gamma, \alpha_{ox}, \text{Fuel}\right) = 1256$

$$\begin{pmatrix} \text{iteration} \\ k_T \\ P_T \\ T_T \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \text{iteration} = 0 \\ k_T = k_\Gamma \\ \text{while } 1 > 0 \\ \quad \begin{vmatrix} \text{iteration} = \text{iteration} + 1 \\ k_{cp} = \text{mean}\left(k_\Gamma, k_T\right) \\ Cp = \dfrac{k_{cp}}{k_{cp} - 1} \cdot R_{\text{газ}}\left(\alpha_{ox}, \text{Fuel}\right) \\ P_T = P^*_\Gamma \cdot \left(1 - \dfrac{H_T}{Cp \cdot T^*_\Gamma}\right)^{\frac{k_{cp}}{k_{cp}-1}} \\ T_T = T^*_\Gamma - \dfrac{H_T \cdot \eta_\pi}{Cp} \\ k'_T = k_{\text{ад}}\left(Cp_{\text{газ}}\left(P_T, T_T, \alpha_{ox}, \text{Fuel}\right), R_{\text{газ}}\left(\alpha_{ox}, \text{Fuel}\right)\right) \\ \text{if } \left| \text{eps}\left("\text{rel}", k_T, k'_T\right)\right| \leq \text{epsilon} \\ \quad \begin{vmatrix} k_T = k'_T \\ \text{break} \end{vmatrix} \\ k_T = k'_T \end{vmatrix} \\ \left(\text{iteration} \quad k_T \quad P_T \quad T_T\right)^T \end{vmatrix} = $$

	1
1	2
2	1.32
3	191463.061
4	994.672

Количество итераций: $\text{iteration} = 2$

Показатель адиабаты после T: $k_T = 1.320$

Статическое давление после T (Па): $P_T = 191.5 \cdot 10^3$ $P_T \geq P_{\text{атм}}\left(H_\upsilon\right) = 1$

Статическая температура после T (K): $T_T = 994.7$

Теплоёмкость после T (Дж/кг/К): $Cp_T = Cp_{\text{газ}}\left(P_T, T_T, \alpha_{ox}, \text{Fuel}\right) = 1190.6$

Ср. показатель адиабаты Т: $\quad k = \text{mean}(k_г, k_т) = 1.309$

Ср. теплоемкость Т (Дж/кг/К): $\quad Cp = \dfrac{k}{k-1} \cdot R_{газ}(\alpha_{ox}, \text{Fuel}) = 1222.3$

Степень понижения давления: $\quad \pi_T = \dfrac{P^*_г}{P_т} = 4.84$

Удельный объём перед Т (м³/кг):
Удельный объём после Т (м³/кг):
$$\begin{pmatrix} v_г \\ v_т \end{pmatrix} = R_{газ}(\alpha_{ox}, \text{Fuel}) \cdot \begin{pmatrix} \dfrac{T_г}{P_г} \\ \dfrac{T_т}{P_т} \end{pmatrix} =$$

	1
1	0.440
2	1.499

Площадь кольцевого сечения перед Т (м²):
Площадь кольцевого сечения после Т (м²):
$$\begin{pmatrix} F_г \\ F_т \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{G_г \cdot v_г}{c_г} \\ \dfrac{G_т \cdot v_т}{c_т} \end{pmatrix} =$$

	1
1	86421
2	208684

$\cdot 10^{-6}$

🔺 Основне размеры Т

$$y_0 = 0.55$$

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

$$\begin{pmatrix} Z_{\text{recomend}} \\ \alpha_{\text{возв}} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} c_{cp} = \text{mean}(c_{\Gamma}, c_{T}) \\ \alpha_{\text{возв}} = 0.025 \\ \text{while } 1 > 0 \\ \quad \begin{vmatrix} Z = \text{round}\left[\dfrac{2 \cdot H_T \cdot \dfrac{(1 + \alpha_{\text{возв}})}{(\mu_c \cdot c_{cp})^2} - 1}{\dfrac{u_T^2}{(\mu_c \cdot c_{cp})^2 \cdot y_0^2} - 1} \right] \\ \text{break if } \left| \text{eps}\left[\text{"rel"}, \alpha_{\text{возв}}, \dfrac{Z-1}{2 \cdot Z} \cdot \left(\pi_T^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \cdot (1 - \eta_{\Pi}) \right] \right| < \text{epsilon} \\ \alpha_{\text{возв}} = \dfrac{Z-1}{2 \cdot Z} \cdot \left(\pi_T^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \cdot (1 - \eta_{\Pi}) \\ \text{if } \alpha_{\text{возв}} = 0 \\ \quad \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} Z \\ \alpha_{\text{возв}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ \text{break} \end{vmatrix} \end{vmatrix} \\ \begin{pmatrix} Z \\ \alpha_{\text{возв}} \end{pmatrix} \end{vmatrix}$$

	1
1	5.000
2	0.022

Рекомендуемое количество ступеней: $Z_{\text{recomend}} = 5$

Количество ступеней: $Z = \begin{vmatrix} 1 & \text{if turbine} = \text{"ТВД"} & = 4 \\ 4 & \text{if turbine} = \text{"ТНД"} \end{vmatrix}$

Дискретизация ступеней: $i = 1 .. Z$

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

Выбранный материал Л:

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

Плотность материала Л (кг/м^3):

$$\rho\_blade_i = \begin{cases} 7938 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ВКНА-1В"} \\ 8390 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ВЖМ7"} \\ 8760 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ЖС-36"} \\ \text{NaN} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Предел длительной прочности Л РК (Па):

$$\sigma\_blade\_long_i = 10^6 \cdot \begin{cases} 205 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ВКНА-1В"} \\ 120 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ВЖМ7"} \\ 120 & \text{if } material\_blade_i = \text{"ЖС-36"} \\ \text{NaN} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Коэф. формы: $k_n = 6.8$

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

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

$material\_blade^T =$

	1	2	3	4
1	"ВЖМ7"	"ВЖМ7"	"ВЖМ7"	"ВЖМ7"

$\rho\_blade^T =$

	1	2	3	4
1	8390	8390	8390	8390

$\sigma\_blade\_long^T =$

	1	2	3	4
1	120	120	120	120

$\cdot 10^6$

Мах частота вращения ротора на входе (об/мин):
$$\sqrt{\frac{\sigma\_blade\_long_Z}{safety \cdot k_n \cdot F_г}} = 12533$$

Мах частота вращения ротора на выходе (об/мин):
$$n_{max} = \sqrt{\frac{\sigma\_blade\_long_Z}{safety \cdot k_n \cdot F_т}} = 8065$$

Рекомендукмая ном. частота вращения (об/мин):
$$n = n_{max} \cdot 0.95 = 7662$$

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

Ном. частота вращения (рад/с):
$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 555.0$$

Ср. диаметр перед Т (м):
Ср. диаметр после Т (м):
$$\begin{pmatrix} D_{г.ср} \\ D_{т.ср} \end{pmatrix} = \frac{2}{\omega} \cdot \begin{pmatrix} u_т \\ u_т \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 936.9 \\ \hline 2 & 936.9 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

Длина Л первой ступени Т (м):
Длина Л последней ступени Т (м):
$$\begin{pmatrix} l_г \\ l_т \end{pmatrix} = \frac{1}{\pi} \cdot \begin{pmatrix} \dfrac{F_г}{D_{г.ср}} \\ \dfrac{F_т}{D_{т.ср}} \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 29.36 \\ \hline 2 & 70.90 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{l_г}{D_{г.ср}} = \frac{1}{31}$$

$$\frac{l_т}{D_{т.ср}} = \frac{1}{13}$$

Диаметр периферии после Т (м):
Диаметр корня после Т (м):
$$\begin{pmatrix} D_{т.пер} \\ D_{т.кор} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{т.ср} + l_т \\ D_{т.ср} - l_т \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 1007.8 \\ \hline 2 & 866.0 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

Равномерное распределение мощности Т по ступеням (Вт): $\quad N_{cт_i} = \dfrac{N_T}{Z}$

$$N_{cт}^{\ T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 3.80 & 3.80 & 3.80 & 3.80 \\ \hline \end{array} \cdot 10^6$$

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

$$ЗППЧ = \left(\begin{array}{|l} \begin{array}{l} \text{"const"} \quad \text{if} \ Z = 1 \qquad \text{"1.07"} \ \text{"1.065"} \ \text{"1.03"} \ \text{"пер"} \ \text{"пер"} \\ \text{"кор"} \quad \text{otherwise} \end{array} \\[6pt] \begin{array}{l} \text{"пер"} \quad \text{if} \ Z = 1 \qquad \text{"1.07"} \ \text{"1.05"} \quad \text{"кор"} \ \text{"пер"} \ \text{"пер"} \\ \text{"1.055"} \quad \text{otherwise} \end{array} \end{array} \right)^T$$

Определение проточной части ОТ

Линейное распределение кольцевых площадей по сечениям:

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

$$F^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 1 & 86421 & 101704 & 116987 & 132270 & 147553 & 162836 & 178118 & 193401 & 208684 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-6}$$

$$D = \begin{array}{l} \text{for } i \in 2Z+1 \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \qquad D_{i,r} = \begin{vmatrix} D_{\text{т.кор}} & \text{if } r = 1 \\ D_{\text{т.ср}} & \text{if } r = av(N_r) \\ D_{\text{т.пер}} & \text{if } r = N_r \end{vmatrix} \\ \text{for } i \in Z..1 \\ \quad \text{for } a \in 2..1 \\ \qquad \text{for } r \in 1..N_r \\ \qquad\quad D_{st(i,a),r} = \begin{vmatrix} \text{if } \text{ЗППЧ}_{i,a} = \text{"const"} \\ \quad \begin{vmatrix} D_{st(i,a+1),av(N_r)} - \dfrac{F_{st(i,a)}}{\pi \cdot D_{st(i,a+1),av(N_r)}} & \text{if } r = 1 \\ D_{st(i,a+1),av(N_r)} & \text{if } r = av(N_r) \\ D_{st(i,a+1),av(N_r)} + \dfrac{F_{st(i,a)}}{\pi \cdot D_{st(i,a+1),av(N_r)}} & \text{if } r = N_r \end{vmatrix} \\ \text{if } \text{ЗППЧ}_{i,a} = \text{"кор"} \\ \quad \begin{vmatrix} D_{st(i,a+1),1} & \text{if } r = 1 \\ \dfrac{1}{2} \left[D_{st(i,a+1),1} + \sqrt{\left(D_{st(i,a+1),1}\right)^2 + \dfrac{4 \cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} \right] & \text{if } r = av(N_r) \\ \sqrt{\left(D_{st(i,a+1),1}\right)^2 + \dfrac{4 \cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} & \text{if } r = N_r \end{vmatrix} \\ \text{if } \text{ЗППЧ}_{i,a} = \text{"ср"} \\ \quad \begin{vmatrix} D_{st(i,a+1),av(N_r)} - \dfrac{F_{st(i,a)}}{\pi \cdot D_{st(i,a+1),av(N_r)}} & \text{if } r = 1 \\ D_{st(i,a+1),av(N_r)} & \text{if } r = av(N_r) \\ D_{st(i,a+1),av(N_r)} + \dfrac{F_{st(i,a)}}{\pi \cdot D_{st(i,a+1),av(N_r)}} & \text{if } r = N_r \end{vmatrix} \\ \text{if } \text{ЗППЧ}_{i,a} = \text{"пер"} \\ \quad \begin{vmatrix} \sqrt{\left(D_{st(i,a+1),N_r}\right)^2 - \dfrac{4 \cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} & \text{if } r = 1 \\ \dfrac{1}{2} \cdot \left[\sqrt{\left(D_{st(i,a+1),N_r}\right)^2 - \dfrac{4 \cdot F_{st(i,a)}}{\pi}} + D_{st(i,a+1),N_r} \right] & \text{if } r = av(N_r) \\ D \qquad\qquad \text{if } r = N_r \end{vmatrix} \end{vmatrix} \end{array}$$

$$D^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 1 & 620.7 & 620.7 & 651.1 & 698.2 & 750.4 & 802.7 & 843.9 & 866.0 & 866.0 \\ \hline 2 & 662.2 & 669.0 & 704.0 & 754.0 & 808.5 & 862.8 & 906.5 & 932.1 & 936.9 \\ \hline 3 & 703.7 & 717.4 & 756.9 & 809.9 & 866.6 & 922.9 & 969.0 & 998.1 & 1007.8 \end{array} \cdot 10^{-}$$

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

$$R^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 1 & 310.3 & 310.3 & 325.6 & 349.1 & 375.2 & 401.4 & 422.0 & 433.0 & 433.0 \\ \hline 2 & 331.1 & 334.5 & 352.0 & 377.0 & 404.2 & 431.4 & 453.2 & 466.0 & 468.5 \\ \hline 3 & 351.9 & 358.7 & 378.4 & 404.9 & 433.3 & 461.4 & 484.5 & 499.1 & 503.9 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

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

$$\overline{d}^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 1 & 0.8819 & 0.8651 & 0.8602 & 0.8621 & 0.8659 & 0.8698 & 0.8709 & 0.8677 & 0.8593 \end{array}$$

$$\overline{d}^T \le 0.9 = \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array}$$

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

$$h^T = \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 1 & 41.54 & 48.39 & 52.90 & 55.84 & 58.09 & 60.07 & 62.55 & 66.05 & 70.90 \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\left| D_{st(i,a+1),N_r} \right| \quad \text{if } 1 = N_r$$

$$\text{if } \left(\text{ЗППЧ}_{i,a} \neq \text{"const"}\right) \wedge \left(\text{ЗППЧ}_{i,a} \neq \text{"кор"}\right) \wedge \left(\text{ЗППЧ}_{i,a} \neq \text{"ср"}\right) \wedge \left(\text{ЗППЧ}_{i,a} \neq \text{"пер"}\right)$$

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

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

$$\frac{D_{st(i,a+1),N_r}}{\text{str2num}\left(\text{ЗППЧ}_{i,a}\right)} \quad \text{if } r = N_r$$

$$\text{NaN} \quad \text{otherwise}$$

D

$$u = \begin{array}{|l} \text{for } i \in 1 .. 2 \cdot Z + 1 \\ \quad \text{for } r \in 1 .. N_r \\ \qquad u_{i,r} = \dfrac{\pi \cdot D_{i,r} \cdot n}{60} \\ u \end{array}$$

$$u^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	172.2	172.2	180.7	193.8	208.2	222.8	234.2	240.3	240.3
2	183.8	185.7	195.4	209.3	224.4	239.4	251.6	258.7	260.0
3	195.3	199.1	210.0	224.7	240.5	256.1	268.9	277.0	279.7

$F^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	86421	101704	116987	132270	147553	162836	178118	193401	208684

$\cdot 10^{-6}$

$\overline{d}_1 = 0.8819$ $\boxed{\overline{d}_1 \le 0.9 = 1}$

$\overline{d}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.8819	0.8651	0.8602	0.8621	0.8659	0.8698	0.8709	0.8677	0.8593

$D^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	620.7	620.7	651.1	698.2	750.4	802.7	843.9	866.0
2	662.2	669.0	704.0	754.0	808.5	862.8	906.5	932.1
3	703.7	717.4	756.9	809.9	866.6	922.9	969.0	...

$\cdot 10^{-3}$

Дискретная проточная часть
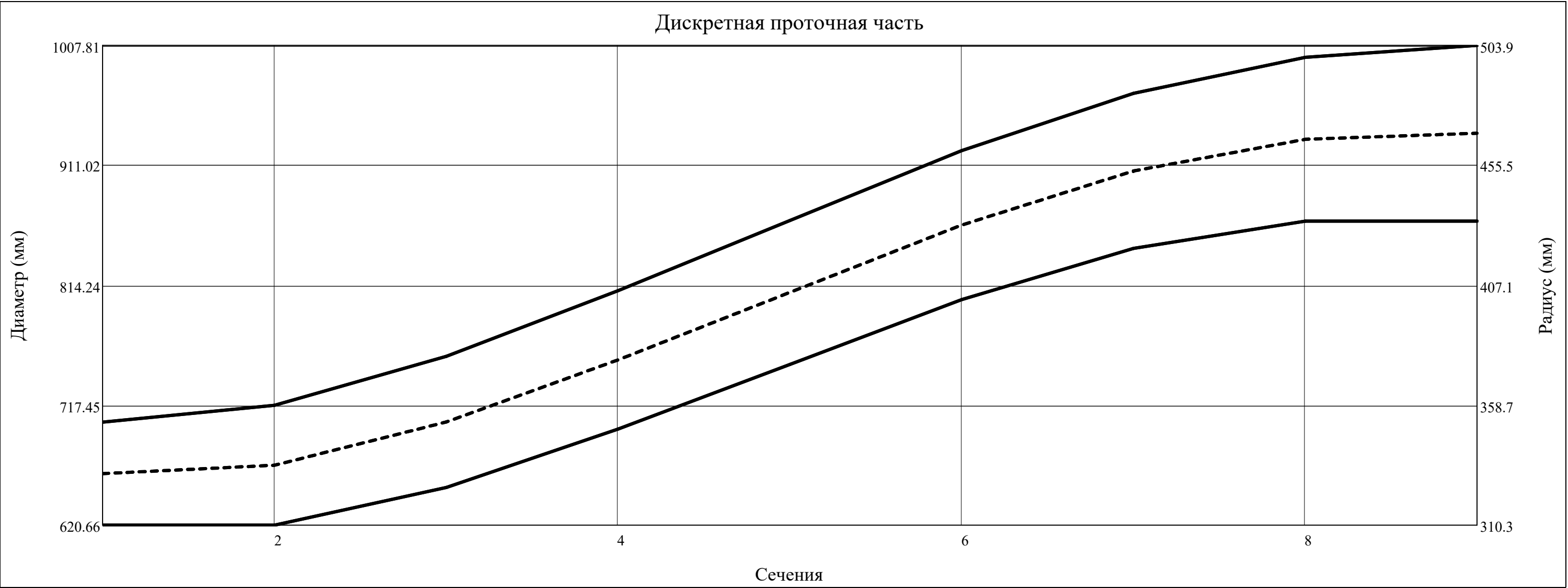
$h^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	41.54	48.39	52.90	55.84	58.09	60.07	62.55	66.05	70.90

$\cdot 10^{-3}$

Осевая ширина ЛСА и РК [1, с.183]:

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

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

	1	2	3	4
1	40.1	45.1	51.7	55.8
2	32.0	36.7	41.2	42.6

$\cdot 10^{-3}$

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

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

$\Delta_r{}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.704	0.717	0.757	0.810	0.867	0.923	0.969	0.998	1.008

$\cdot 10^{-3}$

$\Delta_a{}^T =$

	1	2	3	4
1	10.014	11.282	12.924	13.957

$\cdot 10^{-3}$

$0.2 \le \dfrac{\Delta_{a_i}}{B_{CA_i}} \le 0.25 =$

1
1
1
1

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

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

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00	25.44	27.56	35.37	26.86	26.56	11.18	0.00
2	9.70	6.22	2.86	2.27	1.72	2.68	3.42	6.50
3	9.70	31.66	30.41	37.64	28.58	29.25	14.59	6.50

$\cdot°$

$$\gamma_{\text{ПЧ}}{}^T \le 20 \cdot° =$$

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

$$\gamma_{\text{ПЧ}}{}^T \le 25 \cdot° =$$

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

$$\gamma_{\text{ПЧкор}}{}^T > -12 \cdot° =$$

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

$$\gamma_{\text{ПЧкор}}{}^T > -15 \cdot° =$$

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

$$
\begin{pmatrix} x_{\text{ПЧ}} \\ y_{\text{ПЧпер}} \\ y_{\text{ПЧср}} \\ y_{\text{ПЧкор}} \\ y_{\text{Лпер}} \end{pmatrix} =
\begin{vmatrix}
c = 1 \\
x_{\text{ПЧ}_c} = 0 \\
y_{\text{ПЧпер}_c} = D_{st(c,1),N_r} \\
y_{\text{Лпер}_c} = y_{\text{ПЧпер}_c} - \Delta_{r_c} \\
y_{\text{ПЧср}_c} = D_{st(c,1),av(N_r)} \\
y_{\text{ПЧкор}_c} = D_{st(c,1),1} \\
\text{for } i \in 1..Z \\
\quad
\begin{vmatrix}
c = c + 1 \\
x_{\text{ПЧ}_c} = x_{\text{ПЧ}_{c-1}} + 0.5 \cdot \Delta_{a_i} + B_{CA_i} + 0.5 \cdot \Delta_{a_i} \\
\begin{pmatrix} y_{\text{ПЧпер}_c} \\ y_{\text{ПЧср}_c} \\ y_{\text{ПЧкор}_c} \end{pmatrix} =
\begin{pmatrix} D_{st(i,2),N_r} \\ D_{st(i,2),av(N_r)} \\ D_{st(i,2),1} \end{pmatrix} \\
y_{\text{Лпер}_c} = y_{\text{ПЧпер}_c} - \Delta_{r_i} \\
c = c + 1 \\
x_{\text{ПЧ}_c} = x_{\text{ПЧ}_{c-1}} + 0.5 \cdot \Delta_{a_i} + B_{PK_i} + 0.5 \cdot \Delta_{a_i} \\
\begin{pmatrix} y_{\text{ПЧпер}_c} \\ y_{\text{ПЧср}_c} \\ y_{\text{ПЧкор}_c} \end{pmatrix} =
\begin{pmatrix} D_{st(i+1,1),N_r} \\ D_{st(i+1,1),av(N_r)} \\ D_{st(i+1,1),1} \end{pmatrix} \\
y_{\text{Лпер}_c} = y_{\text{ПЧпер}_c} - \Delta_{r_i}
\end{vmatrix} \\
\begin{pmatrix} x_{\text{ПЧ}} \\ y_{\text{ПЧпер}} \\ y_{\text{ПЧср}} \\ y_{\text{ПЧкор}} \\ y_{\text{Лпер}} \end{pmatrix}
\end{vmatrix}
$$

$$
\text{Length} = \sum_{i=1}^{Z} B_{CA_i} + \sum_{i=1}^{Z} \Delta_{a_i} + \sum_{i=1}^{Z} B_{PK_i} = 393.4 \cdot 10^{-3}
$$

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

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

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

Проточная часть в масштабе

Расстояние от оси (мм)

Длина (мм)

Определение проточной части ОТ
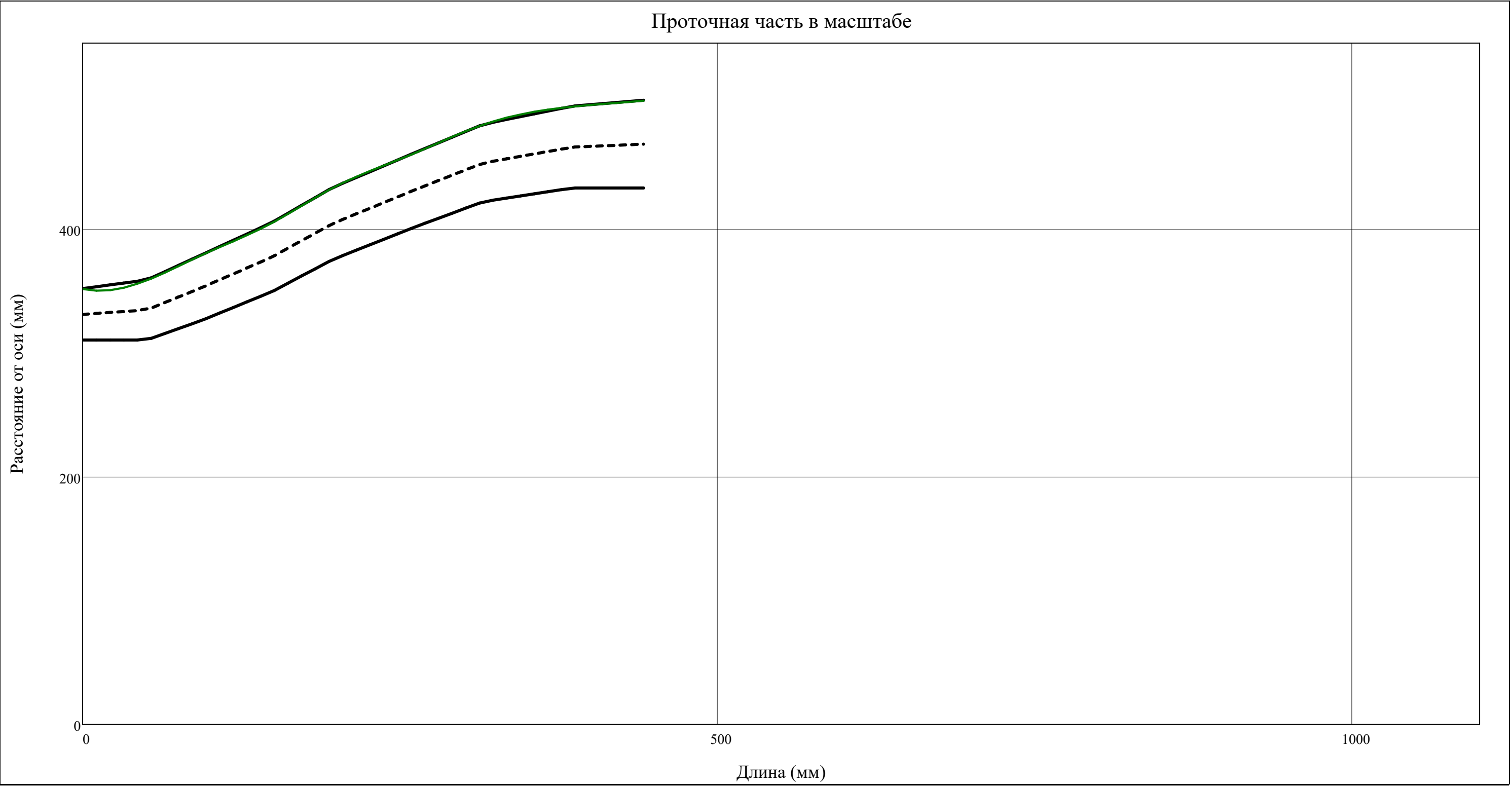
Относ. толщины Л РК и СА:

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

$$\overline{c}_{rotor.}(r) = \begin{vmatrix} interp\left[cspline\left[\begin{pmatrix} 1 \\ av(N_r) \\ N_r \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 17 \\ 13 \\ 11 \end{pmatrix}\%\right], \begin{pmatrix} 1 \\ av(N_r) \\ N_r \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 17 \\ 13 \\ 11 \end{pmatrix}\%, r\right] & \text{if } T_{Л.доп} < T^*_г \\ interp\left[cspline\left[\begin{pmatrix} 1 \\ av(N_r) \\ N_r \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 14 \\ 9 \\ 7 \end{pmatrix}\%\right], \begin{pmatrix} 1 \\ av(N_r) \\ N_r \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 14 \\ 9 \\ 7 \end{pmatrix}\%, r\right] & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$
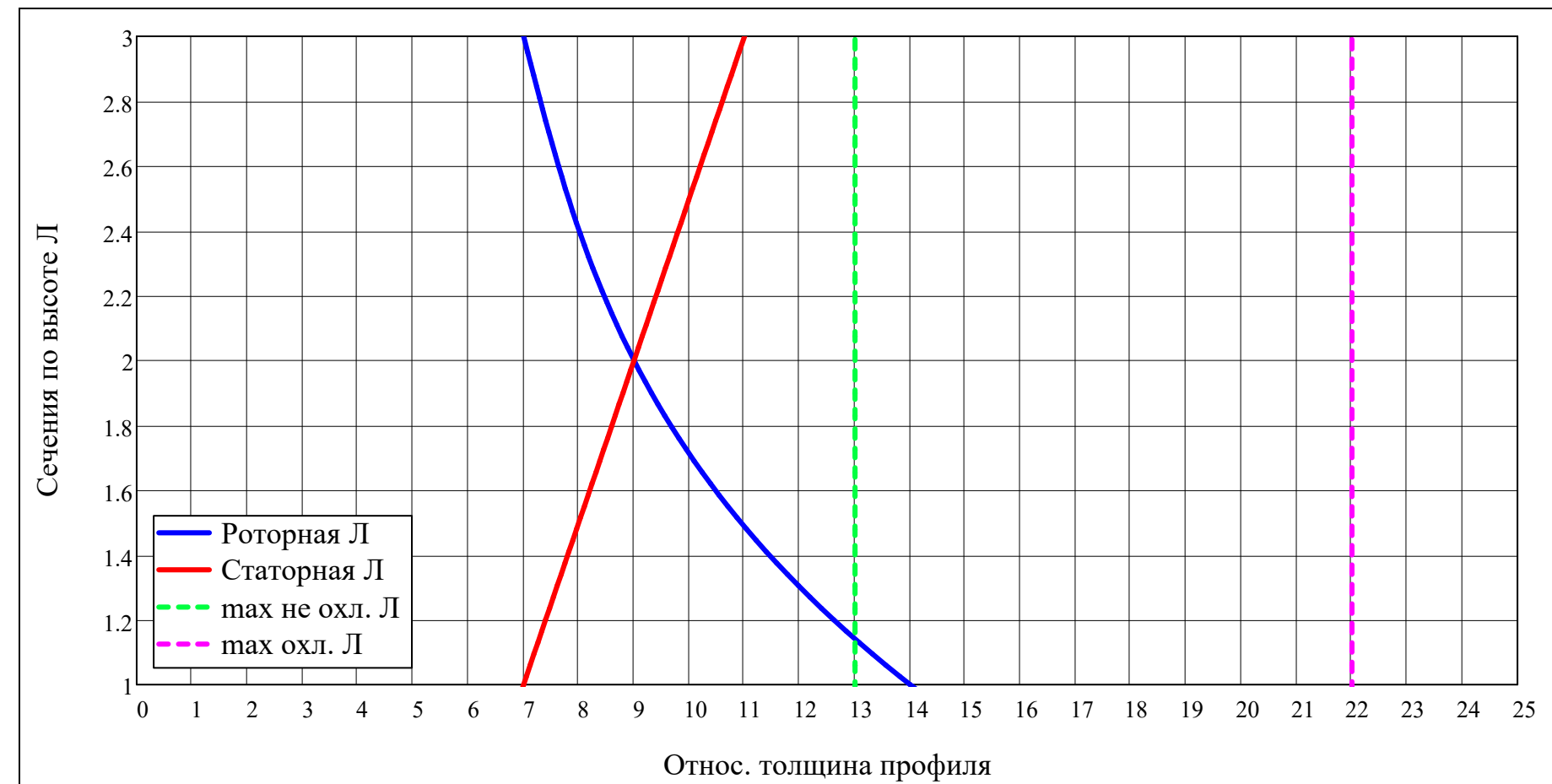
$$\begin{pmatrix} \overline{c}_{stator} \\ \overline{c}_{rotor} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \\ \quad \quad \begin{pmatrix} \overline{c}_{stator_{i,r}} \\ \overline{c}_{rotor_{i,r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overline{c}_{stator.}(r) \\ \overline{c}_{rotor.}(r) \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \overline{c}_{stator} \\ \overline{c}_{rotor} \end{pmatrix} \end{vmatrix}$$

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

	1	2	3	4
1	7.00	7.00	7.00	7.00
2	9.00	9.00	9.00	9.00
3	11.00	11.00	11.00	11.00

.%

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

	1	2	3	4
1	14.00	14.00	14.00	14.00
2	9.00	9.00	9.00	9.00
3	7.00	7.00	7.00	7.00

.%

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

$\overline{r\_inlet}_{stator}{}^T =$

	1	2	3	4
1	2.800	2.800	2.800	2.800
2	3.600	3.600	3.600	3.600
3	4.400	4.400	4.400	4.400

.%

$\overline{r\_inlet}_{rotor}{}^T =$

	1	2	3	4
1	4.900	4.900	4.900	4.900
2	3.150	3.150	3.150	3.150
3	2.450	2.450	2.450	2.450

.%

$\overline{r\_outlet}_{stator}{}^T =$

	1	2	3	4
1	1.400	1.400	1.400	1.400
2	1.800	1.800	1.800	1.800
3	2.200	2.200	2.200	2.200

.%

$\overline{r\_outlet}_{rotor}{}^T =$

	1	2	3	4
1	2.100	2.100	2.100	2.100
2	1.350	1.350	1.350	1.350
3	1.050	1.050	1.050	1.050

.%

🔺 Относ. толщины и радиусы профилей

▶ Вывод результатов поступенчатого расчета продольной геометрии ОТ в EXCEL:

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

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

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

`    `   `   `   ,   `  ` `)))

if $i = 1$

$\quad \alpha_{\text{ox}_{st(i,1)}} = \alpha_{\text{ox}}$

$\quad k_{st(i,1),r} = k_{\Gamma}$

$\quad P^{*}_{st(i,1),r} = P^{*}_{\Gamma}$

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

$\quad P_{st(i,1),r} = P_{\Gamma}$

$\quad T^{*}_{st(i,1),r} = T^{*}_{\Gamma}$

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

$\quad T_{st(i,1),r} = T_{\Gamma}$

$\quad v_{st(i,1),r} = \dfrac{R_{\text{газ}}\left(\alpha_{\text{ox}_{st(i,1)}},\text{Fuel}\right) \cdot T_{st(i,1),r}}{P_{st(i,1),r}}$

$\quad G_{st(i,1)} = G_{\Gamma}$

$\quad c_{st(i,1),r} = c_{\Gamma}$

$\quad \alpha_{st(i,1),r} = \alpha_{\Gamma}$

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

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

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

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

$\quad \begin{pmatrix} M_{c_{st(i,1),r}} \\ M_{w_{st(i,1),r}} \end{pmatrix} = \dfrac{1}{a_{\text{зв}_{st(i,1),r}}} \cdot \begin{pmatrix} c_{st(i,1),r} \\ w_{st(i,1),r} \end{pmatrix}$

$\text{iteration}_{\text{ст}_i} = 0$

while $1 > 0$

$\quad \text{iteration}_{\text{ст}_i} = \text{iteration}_{\text{ст}_i} + 1$

$$\text{trace}\left(\text{concat}\left(" \quad \text{iteration.cт} = ", \text{num2str}\left(\text{iteration}_{\text{ст}_i}\right)\right)\right)$$

$$H_{\text{ст}_i} = N_{\text{ст}_i} \cdot \left| \begin{array}{l} \dfrac{1}{G_{st(i,1)} \cdot 0.9} \quad \text{if} \ \left(\text{iteration}_{\text{ст}_i} = 1\right) \\[4mm] \dfrac{1}{\text{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)}\right) \cdot \eta_{\text{мощь}_i}} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$R_{L_{i,r}} = R_{L.ср_i}$$

$$c_{\text{ад}_{st(i,1)},r} = \sqrt{2 \cdot H_{\text{ст}_i}}$$

$$H_{\text{stator}_i} = H_{\text{ст}_i} \cdot \left(1 - R_{L_{i,r}}\right)$$

$$c_{\text{ад}_{st(i,2)},r} = \sqrt{2 \cdot H_{\text{stator}_i}}$$

$$\overline{\upsilon}_{\text{stator}_i} = 1$$

$$\text{iteration}_{\text{CA}_i} = 0$$

while $1 > 0$

$$\quad \text{iteration}_{\text{CA}_i} = \text{iteration}_{\text{CA}_i} + 1$$

$$\quad \text{trace}\left(\text{concat}\left(" \qquad \text{iteration.CA} = ", \text{num2str}\left(\text{iteration}_{\text{CA}_i}\right)\right)\right)$$

$$\quad c_{st(i,2),r} = \overline{\upsilon}_{\text{stator}_i} \cdot c_{\text{ад}_{st(i,2)},r}$$

$$\quad \theta_{\text{CA}_i} = \theta_{\text{глубина}}\left(T^*{}_{st(i,1),r}, T^*{}_{\text{cooling}}, T_{\text{Л.доп}}\right)$$

$$\quad g_{\text{охлCA}_i} = \left| \begin{array}{l} \dfrac{0.035 \cdot \theta_{\text{CA}_i}}{1 - \theta_{\text{CA}_i}} \quad \text{if} \ \dfrac{0.035 \cdot \theta_{\text{CA}_i}}{1 - \theta_{\text{CA}_i}} \geq 0 \\[4mm] 0 \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\quad G_{st(i,2)} = G_{st(i,1)} \cdot \left(1 + g_{\text{охлCA}_i}\right)$$

$$\quad \alpha_{\text{ox}_{st(i,2)}} = \alpha_{\text{ox}_{st(i,1)}} + g_{\text{охлCA}_i}$$

$$\quad \alpha_{\text{окCA}_i} = \text{mean}\left(\alpha_{\text{ox}_{st(i,1)}}, \alpha_{\text{ox}_{st(i,2)}}\right)$$

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

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

$$\qquad k_{\text{CA}_i} = \text{mean}\left(k_{st(i,1),r}, k_{st(i,2),r}\right)$$

$$\qquad T_{\text{ад}_{st(i,2)},r} = T^*{}_{st(i,1),r} - \dfrac{H_{\text{stator}_i}}{\dfrac{k_{\text{CA}_i}}{k_{\text{CA}_i} - 1} \cdot R_{\text{газ.ср}}\left(\alpha_{\text{ox}_{st(i,1)}}, \alpha_{\text{ox}_{st(i,2)}}, \text{Fuel}\right)}$$

$$\dfrac{k_{\text{CA}_i}}{}$$

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

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

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

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

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

$$\quad \Big| \begin{array}{l} k_{st(i,2),r} = k' \\ break \end{array}$$

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

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

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

$$\begin{pmatrix} T^*_{\text{см}_{st(i,2),r}} \\ P^*_{\text{см}_{st(i,2),r}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} T_{\text{смешение}}\left[P^*_{\text{ад}_{st(i,2),r}}, T^*_{\text{ад}_{st(i,2),r}}, G_{st(i,1)}, \alpha_{ox_{st(i,1)}}, P^*_{cooling}, T^*_{cooling}, \left(g_{\text{охл}CA_i} \cdot G_{st(i,1)}\right), \alpha_{ox_{st(i,2)}}, \text{Fuel}\right] \\ P_{\text{смешение}}\left[P^*_{\text{ад}_{st(i,2),r}}, G_{st(i,1)}, P^*_{cooling}, \left(g_{\text{охл}CA_i} \cdot G_{st(i,1)}\right)\right] \end{bmatrix}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\mathrm{chord}_{\mathrm{stator}_{i,r}} = \frac{B_{CA_i}}{\sin\left(\upsilon_{\mathrm{stator}_i}\right)}$$

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

$$Z_{\mathrm{stator}_i} = \left| \mathrm{ceil}\left(\frac{\pi \cdot \mathrm{mean}\left(D_{\mathrm{st}(i,1),r}, D_{\mathrm{st}(i,2),r}\right)}{\overline{t}_{\mathrm{оптCA}_i} \cdot \mathrm{chord}_{\mathrm{stator}_{i,r}}} \right) \quad \text{if } \mathrm{mod}\left(\mathrm{ceil}\left(\frac{\pi \cdot \mathrm{mean}\left(D_{\mathrm{st}(i,1),r}, D_{\mathrm{st}(i,2),r}\right)}{\overline{t}_{\mathrm{оптCA}_i} \cdot \mathrm{chord}_{\mathrm{stator}_{i,r}}} \right), 2 \right) = 0 \right.$$

$$\left| \text{ceil}\left(\frac{\pi \cdot \text{mean}\left(D_{st(i,1),r}, D_{st(i,2),r}\right)}{\overline{t}_{\text{оптCA}_i} \cdot \text{chord}_{\text{stator}_{i,r}}} \right) + 1 \quad \text{otherwise} \right.$$

$\text{for } r \in 1 \, .. \, N_r$

$$t_{\text{stator}_{i,r}} = \frac{\pi \cdot \text{mean}\left(D_{st(i,1),r}, D_{st(i,2),r}\right)}{Z_{\text{stator}_i}}$$

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

$$\xi_{\text{крCA}_i} = \xi_{\text{кромка}}\left(\overline{r\_outlet}_{\text{stator}_{i,r}} \cdot \text{chord}_{\text{stator}_{i,r}}, t_{\text{stator}_{i,r}}, \alpha_{st(i,2),r}\right)$$

$$\xi_{\text{ReCA}_i} = \xi_{\text{Re}}\left(\frac{c_{st(i,2),r} \cdot \text{chord}_{\text{stator}_{i,r}}}{\mu_{\text{газ}}\left(T_{st(i,2),r}, \alpha_{\text{ox}_{st(i,2)}}\right) \cdot v_{st(i,2),r}} \right)$$

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

$$\xi_{\text{прCA}_i} = \xi_{\text{трCA}_i} + \xi_{\text{крCA}_i} + \xi_{\text{ReCA}_i} + \xi_{\lambda\text{CA}_i}$$

$$\xi_{\text{втCA}_i} = \xi_{\text{вторичные}}\left(\xi_{\text{трCA}_i}, t_{\text{stator}_{i,r}}, \alpha_{st(i,2),r}, h_{st(i,2)}\right)$$

$$\xi_{\text{тдCA}_i} = \frac{\xi_{\text{ТД}}\left("\text{CA}", T^*_{\text{см}_{st(i,2),r}}, T^*_{\text{ад}_{st(i,2),r}}, P_{st(i,2),r}, \text{Cp}_{\text{Газ}}\left(P_{st(i,2),r}, T_{st(i,2),r}, \alpha_{\text{ox}_{st(i,2)}}, \text{Fuel}\right), R_{\text{Газ}}\left(\alpha_{\text{ox}_{st(i,2)}}, \text{Fuel}\right), G_{st(i,2)}, F_{st(i,2)}, \alpha_{st(i,2),r}, 0\right)}{H_{\text{stator}_i}}$$

$$\xi_{\text{смCA}_i} = \xi_{\text{смешение}}\left("\text{CA}", g_{\text{охлCA}_i}\right)$$

$\text{if } \left| \text{eps}\left("\text{rel}", \sqrt{1 - \xi_{\text{смCA}_i} - \xi_{\text{тдCA}_i} - \xi_{\text{втCA}_i} - \xi_{\text{прCA}_i}}, \overline{v}_{\text{stator}_i}\right) \right| \leq \text{epsilon}$

$\qquad \left| \overline{v}_{\text{stator}_i} = \sqrt{1 - \xi_{\text{смCA}_i} - \xi_{\text{тдCA}_i} - \xi_{\text{втCA}_i} - \xi_{\text{прCA}_i}} \right.$

$\qquad \text{break}$

$$\overline{v}_{\text{stator}_i} = \sqrt{1 - \xi_{\text{смCA}_i} - \xi_{\text{тдCA}_i} - \xi_{\text{втCA}_i} - \xi_{\text{прCA}_i}}$$

$$H_{\text{rotor}_i} = H_{\text{ст}_i} \cdot R_{L_{i,\text{av}}}(N_r) \cdot \frac{T_{st(i,2),r}}{T_{\text{ад}_{st(i,2),r}}}$$

$$w_{\text{ад}_{st(i,3),r}} = \sqrt{\left(w_{st(i,2),r}\right)^2 + 2 \cdot H_{\text{rotor}_i} + \left(u_{st(i,3),r}\right)^2 - \left(u_{st(i,2),r}\right)^2}$$

$$\overline{v}_{\text{rotor}_i} = 1$$

$$\text{iteration}_{\text{PK}_i} = 0$$

$\text{while } 1 > 0$

$\qquad \left| \text{iteration}_{\text{PK}_i} = \text{iteration}_{\text{PK}_i} + 1 \right.$

$\qquad \text{trace}\left(\text{concat}\left(" \qquad \text{iteration.PK} = ", \text{num2str}\left(\text{iteration}_{\text{PK}_i}\right)\right)\right)$

$\qquad w_{st(i,3),r} = \overline{v}_{\text{rotor}_i} \cdot w_{\text{ад}_{st(i,3),r}}$

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

$$g_{охлPK_i} = \begin{vmatrix} \dfrac{0.035 \cdot \theta_{PK_i}}{1 - \theta_{PK_i}} & \text{if } \dfrac{0.035 \cdot \theta_{PK_i}}{1 - \theta_{PK_i}} \geq 0 \\[2em] 0 & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

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

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

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

while $1 > 0$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\quad\quad \text{break}$$

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

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

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

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

$$\left(\text{``}_{st(i,3),r} \right)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\left(\lambda_{w_{st(i,3),r}}\right) \quad \left|\frac{w_{st(i,3),r}}{a^*_{w_{st(i,3),r}}}\right|$$

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

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

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

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

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

$$for \ r \in 1..N_r$$

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

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

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

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

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

$$\xi_{прPK_i} = \xi_{трPK_i} + \xi_{крPK_i} + \xi_{RePK_i} + \xi_{\lambda PK_i}$$

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

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

$$\xi_{смPK_i} = \xi_{смешение}\left("PK", g_{охлPK_i}\right)$$

$$if \ \left|eps\left("rel", \sqrt{1 - \xi_{смPK_i} - \xi_{тдPK_i} - \xi_{втPK_i} - \xi_{прPK_i}}, \overline{\upsilon}_{rotor_i}\right)\right| \le epsilon$$

$$\left| \begin{array}{l} \overline{\upsilon}_{rotor_i} = \sqrt{1 - \xi_{смPK_i} - \xi_{тдPK_i} - \xi_{втPK_i} - \xi_{прPK_i}} \\[1em] break \end{array} \right.$$

$$\left|\overline{v}_{rotor_i} = \sqrt{1 - \xi_{смРК_i} - \xi_{тдРК_i} - \xi_{втРК_i} - \xi_{прРК_i}}\right.$$

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

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

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

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

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

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

$$\eta_{лоп_i} = 1 - \xi_{CAиРК_i} - \xi_{РК_i} - \xi_{\Delta r_i} - \xi_{тр.в_i}$$

$$\eta_{u2_i} = 1 - \xi_{CAиРК_i} - \xi_{РК_i} - \xi_{вых_i}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\left[\qquad 1-k_{ср}\right]$$

$$H^*_{\text{ст}_i} = Cp_{\text{газ.ср}}\left(P^*_{\text{st}(i,1),r}, P^*_{\text{st}(i,3),r}, T^*_{\text{st}(i,1),r}, T^*_{\text{st}(i,3),r}, \alpha_{\text{ox}_{\text{st}(i,1)}}, \alpha_{\text{ox}_{\text{st}(i,3)}}, \text{Fuel}\right) \cdot T^*_{\text{st}(i,1),r} \cdot \left[1 - \left(\pi^*_{\text{ст}_i}\right)^{\frac{1}{k_{\text{ср}}}}\right]$$

$$\eta^*_{\text{ст}_i} = \frac{L_{\text{ст}_i}}{H^*_{\text{ст}_i}}$$

for $i \in 1..Z$

for $j \in 1..3$

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

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

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{\text{stator}_{i,\text{av}(N_r)}} \\ \varepsilon_{\text{rotor}_{i,\text{av}(N_r)}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{\text{st}(i,2),\text{av}(N_r)} - \alpha_{\text{st}(i,1),\text{av}(N_r)} \\ \beta_{\text{st}(i,3),\text{av}(N_r)} - \beta_{\text{st}(i,2),\text{av}(N_r)} \end{pmatrix}$$

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

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

КПД

$$\eta_{\text{лоп}}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 91.14 & 91.24 & 92.21 & 92.64 \\ \hline \end{array} \cdot \%$$

$$\eta^{*}_{\text{ст}}{}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 89.26 & 89.74 & 90.83 & 90.86 \\ \hline \end{array} \cdot \%$$

$$\text{stack}\left(\eta_{\text{u1}}{}^{T}, \eta_{\text{u2}}{}^{T}\right) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 76.58 & 79.42 & 80.00 & 76.17 \\ \hline 2 & 76.26 & 79.19 & 79.84 & 75.97 \\ \hline \end{array} \cdot \%$$

$$\eta_{\text{мощь}}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 74.31 & 77.19 & 77.72 & 74.06 \\ \hline \end{array} \cdot \%$$

$$\eta_{\text{мощь}_i} \le \eta_{\text{u1}_i} \le \eta^{*}_{\text{ст}_i} \le \eta_{\text{лоп}_i} = \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline \end{array}$$

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	4.05
2	4.44

Теплоперепад по параметрам торможения (Дж/кг):

Располагаемый теплоперепад (Дж/кг):

$$\begin{pmatrix} H^*{}_T \\ H_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum\limits_{i=1}^{Z} H^*{}_{ст_i} \\ \sum\limits_{i=1}^{Z} H_{ст_i} \end{pmatrix} =$$

	1
1	475.6
2	565.8

$\cdot 10^3$

Мощность Т (Вт): $\quad \sum\limits_{i=1}^{Z} N_{ст_i} = 15.18 \cdot 10^6$

$\text{eps}\left(\text{"rel"}, N_T, \sum\limits_{i=1}^{Z} N_{ст_i} \right) = 0.000 \cdot \%$

Удельная поступенчатая работа Т [Дж/кг]: $\quad L_T = \sum\limits_{i=1}^{Z} \dfrac{N_{ст_i}}{\text{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)} \right)} = 428.9 \cdot 10^3$

Лопаточный КПД Т: $\quad \eta_{T\text{лоп}} = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{Z} \dfrac{N_{ст_i}}{\text{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)} \right)} + \dfrac{\left(c_{st(Z,3),av(N_r)} \right)^2}{2}}{H_T} = 80.55 \cdot \%$

$$k_{T.cp} = k_{ад}\left(Cp_{газ.cp}\left(P_{st(1,1),av(N_r)}, P_{st(Z,3),av(N_r)}, T_{st(1,1),av(N_r)}, T_{st(Z,3),av(N_r)}, \alpha_{ox_{st(1,1)}}, \alpha_{ox_{st(Z,3)}}, \text{Fuel} \right), R_{газ.cp}\left(\alpha_{ox_{st(1,1)}}, \alpha_{ox_{st(Z,3)}}, \text{Fuel} \right) \right) = 1.308$$

Адиабатный КПД Т: $\eta^*{}_T = \dfrac{L_T}{H^*{}_T} = 90.18 \cdot \%$

Политропический КПД Т: $\quad \eta^*{}_{T.п} = \eta^*{}_n\left(\text{"расширение"}, \eta^*{}_T, \pi^*{}_T, k_{T.cp} \right) = 88.59 \cdot \%$

Мощностной КПД Т: $\quad \eta_{T\text{мощь}} = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{Z} \dfrac{N_{ст_i}}{\text{mean}\left(G_{st(i,2)}, G_{st(i,3)} \right)}}{H_T} = 75.80 \cdot \%$

$$L_{ст}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 107.1 & 107.2 & 107.2 & 107.2 \\ \hline \end{array} \cdot 10^3$$

$$N_{ст}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 3.8 & 3.8 & 3.8 & 3.8 \\ \hline \end{array} \cdot 10^6$$

$$Lu_{ст}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 110.4 & 110.3 & 110.4 & 110.3 \\ \hline \end{array} \cdot 10^3$$

$$Lu_{нагрузка}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 3.0 & 2.3 & 1.8 & 1.6 \\ \hline \end{array}$$

$$H_{ст}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 144.2 & 138.9 & 138.0 & 144.8 \\ \hline \end{array} \cdot 10^3$$

$$\text{stack}\left(H_{stator}^{T}, H_{rotor}^{T}\right) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 125.4 & 118.1 & 113.1 & 118.0 \\ \hline 2 & 18.8 & 20.9 & 24.9 & 26.9 \\ \hline \end{array} \cdot 10^3$$

$$\text{submatrix}\left(R_{L}^{T}, av(N_r), av(N_r), 1, Z\right) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 0.1 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ \hline \end{array}$$

$$G^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline 1 & 35.394 & 35.394 & 35.394 & 35.394 & 35.394 & 35.394 & 35.394 & ... \\ \hline \end{array}$$

$$\alpha_{ox}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 1 & 2.493 & 2.493 & 2.493 & 2.493 & 2.493 & 2.493 & 2.493 & 2.493 & 2.493 \\ \hline \end{array}$$

$$\text{stack}\left(\theta_{CA}^{T}, \theta_{PK}^{T}\right) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & -0.005 & -0.112 & -0.246 & -0.420 \\ \hline 2 & -0.066 & -0.192 & -0.354 & -0.568 \\ \hline \end{array}$$

$$\text{stack}\left(g_{охлCA}^{T}, g_{охлPK}^{T}\right) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ \hline 2 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

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

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

$$\text{stack}\left(G_{охлCA}^{T}, G_{охлPK}^{T}\right) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ \hline 2 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ \hline \end{array}$$

$$G_{cooling} = 0.8$$

$$\sum_{i=1}^{Z} G_{охлCA_i} + \sum_{i=1}^{Z} G_{охлCA_i} \leq G_{cooling} = 1$$

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

	1	2	3	4
1	2	2	2	2
2	2	2	2	2

$$\text{submatrix}\left(\text{k}^{T}, \text{av}\left(N_{r}\right), \text{av}\left(N_{r}\right), 1, 2Z+1\right) =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.298	1.302	1.303	1.306	1.307	1.312	1.313	1.319	1.320

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	927.5	915.4	676.8	666.5	483.6	476.7	338.0	332.9	229.2

$\cdot 10^{3}$

$$\text{submatrix}\left(\text{P}^{T}, \text{av}\left(N_{r}\right), \text{av}\left(N_{r}\right), 1, 2Z+1\right) =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	890.0	666.9	633.4	485.6	456.7	343.4	317.3	229.2	208.8

$\cdot 10^{3}$

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1368.9	1369.9	1281.1	1282.0	1192.3	1193.3	1102.4	1103.7	1011.4

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1356.0	1272.9	1261.6	1190.2	1176.4	1103.8	1085.9	1008.5	988.8

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	1316.2	1317.8	1225.7	1228.4	1134.0	1136.6	1041.5	1042.0

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	1269.1	1257.7	1186.0	1173.2	1100.2	1083.3	1004.9	986.0

$$\text{submatrix}\left(\text{v}^{T}, \text{av}\left(N_{r}\right), \text{av}\left(N_{r}\right), 1, 2Z+1\right) =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.440	0.551	0.575	0.707	0.743	0.927	0.987	1.269	1.366

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2.349	2.316	1.831	1.802	1.406	1.385	1.063	1.046	0.785

$$\text{submatrix}\left(\rho^{T}, \text{av}\left(N_{r}\right), \text{av}\left(N_{r}\right), 1, 2Z+1\right) =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2.275	1.816	1.741	1.414	1.346	1.078	1.013	0.788	0.732

Термодинамические параметры по тракту T на ср. сечении

$$\text{submatrix}\left(a_{3\text{в}}{}^{T}, \text{av}(N_r), \text{av}(N_r), 1, 2Z+1\right) =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	712.6	691.4	688.5	669.8	666.1	646.3	641.3	619.4	613.7

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	667.9	668.6	646.6	647.3	624.3	625.0	600.9	601.8	576.2

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	655.4	655.8	632.9	633.7	609.3	610.1	584.6	584.9

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	180.0	491.2	220.3	475.1	197.6	466.2	200.0	476.7	231.9

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	452.3	135.3	435.8	85.3	420.3	38.7	416.3	10.0

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	180.0	191.6	173.8	189.2	178.3	201.6	196.2	232.3	231.7

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	328.4	373.6	295.2	357.3	270.8	350.4	280.7	355.8

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	266.7	330.7	226.5	309.6	180.9	290.3	157.7	270.0

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	191.6	173.8	189.2	178.3	201.6	196.2	232.3	231.7

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

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	537.0	500.9	527.1	485.9	525.3	475.7	538.1	485.8

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	0.0	386.2	0.0	368.1	0.0	359.4	0.0	365.1

$$u^{T} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	172.2	172.2	180.7	193.8	208.2	222.8	234.2	240.3	240.3
2	183.8	185.7	195.4	209.3	224.4	239.4	251.6	258.7	260.0
3	195.3	199.1	210.0	224.7	240.5	256.1	268.9	277.0	279.7

Скорости по тракту T на ср. сечении
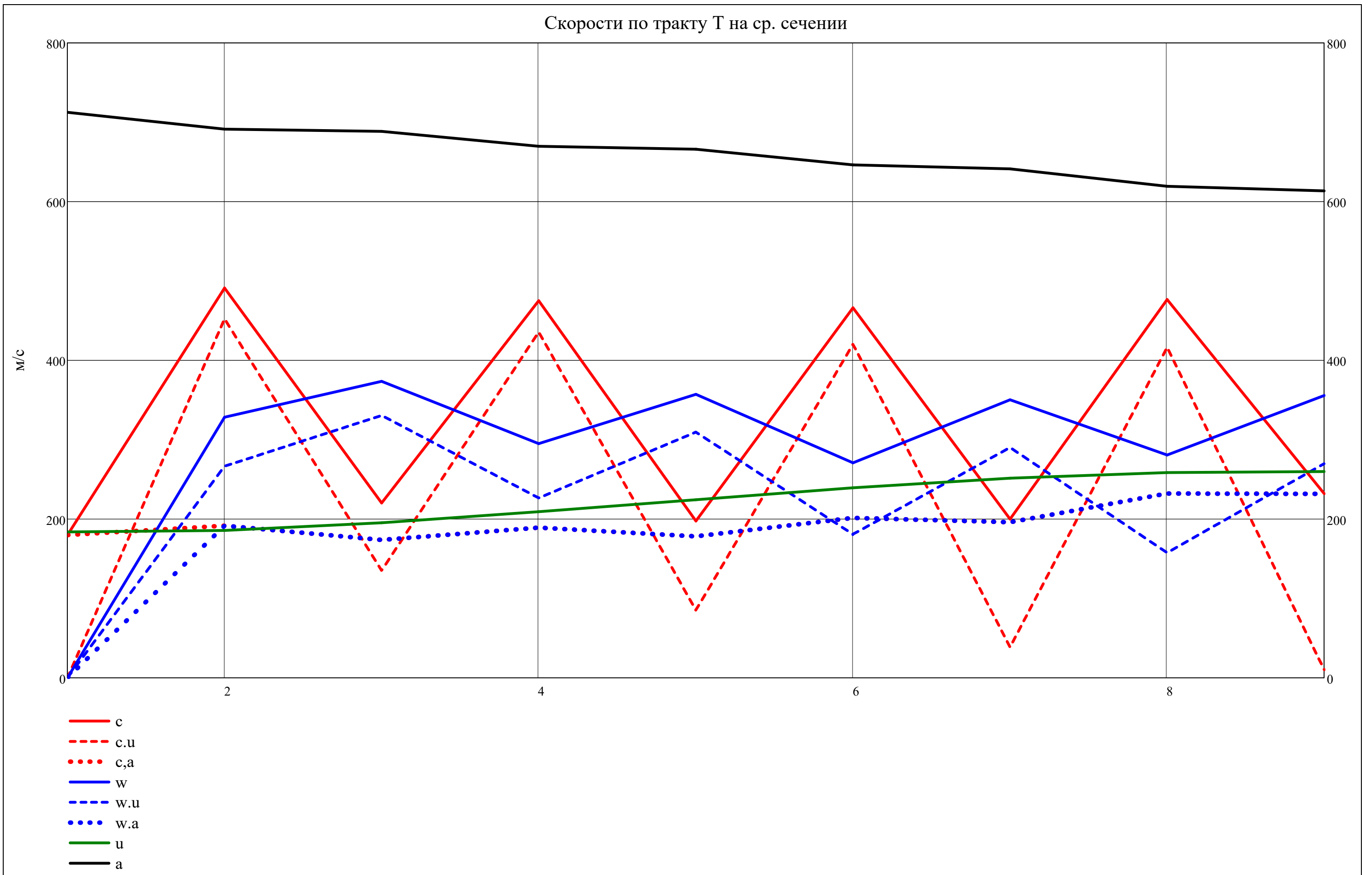
$$\text{submatrix}\left(\alpha, 1, 2\cdot Z + 1, \text{av}\left(N_r\right), \text{av}\left(N_r\right)\right)^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	90.00	22.96	52.10	23.47	64.44	25.62	78.83	29.16	87.53

$.°$

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

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

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.00	35.70	27.73	39.87	29.93	48.09	34.05	55.83	40.64			

$.°$

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

	1	2	3	4	5	6
1	-67.04	-28.63	-38.82	-49.68		

$.°$

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

	1	2	3	4	5	6
1	-7.97	-9.94	-14.04	-15.19		

$.°$

Углы по тракту Т на ср. сечении
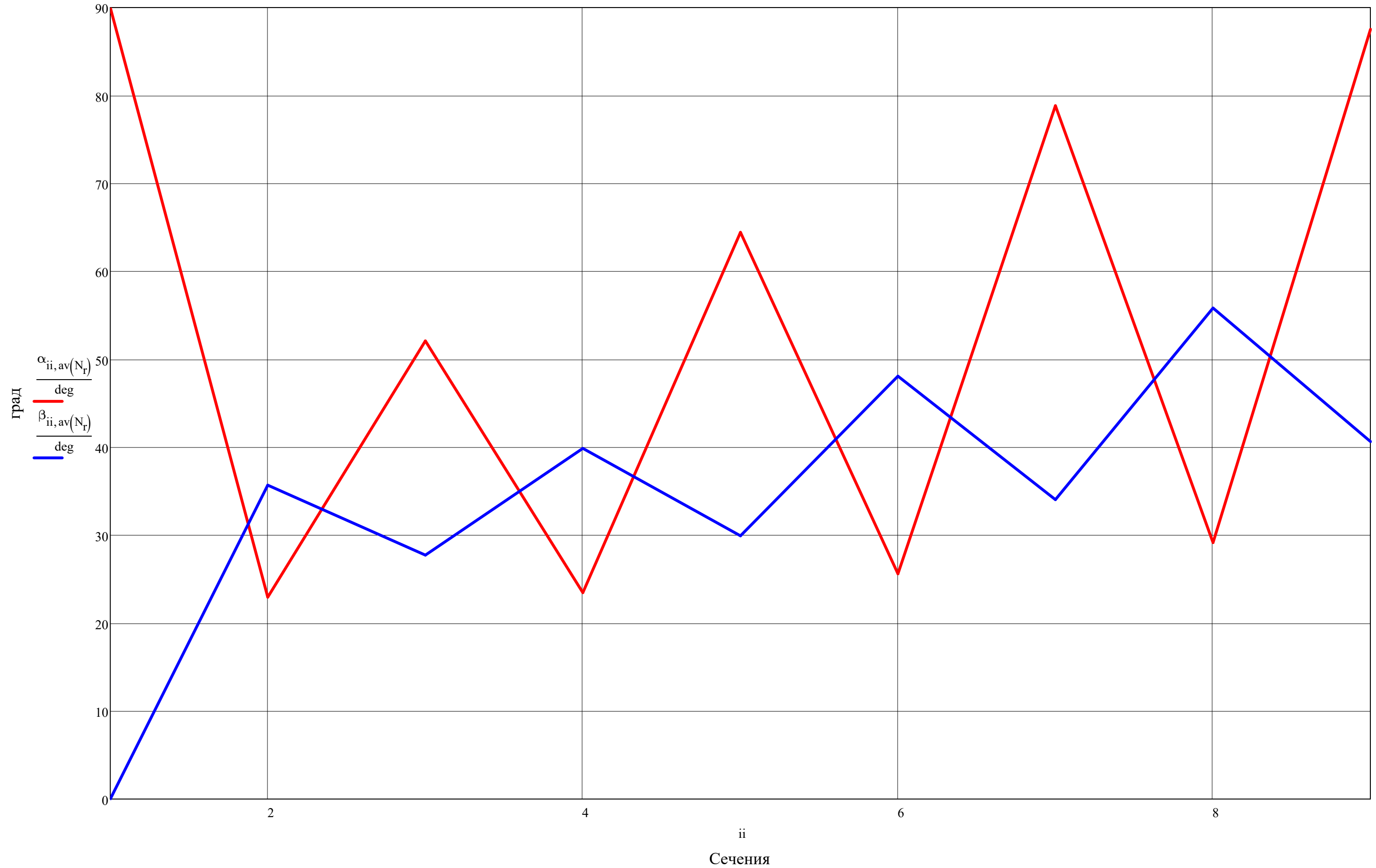
$$\text{submatrix}\left(\lambda_c, 1, 2Z+1, \text{av}\left(N_r\right), \text{av}\left(N_r\right)\right)^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2695	0.7348	0.3407	0.7340	0.3165	0.7458	0.3328	...

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

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.0000	0.5011	0.5697	0.4664	0.5638	0.4445	0.5742	...

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

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2526	0.7105	0.3200	0.7093	0.2967	0.7213	0.3118	...

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

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

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

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.0000	0.4749	0.5426	0.4407	0.5364	0.4191	0.5463	...

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

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

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

	1	2	3	4
1	43.06	63.00	58.89	53.57
2	68.73	68.33	67.41	67.12
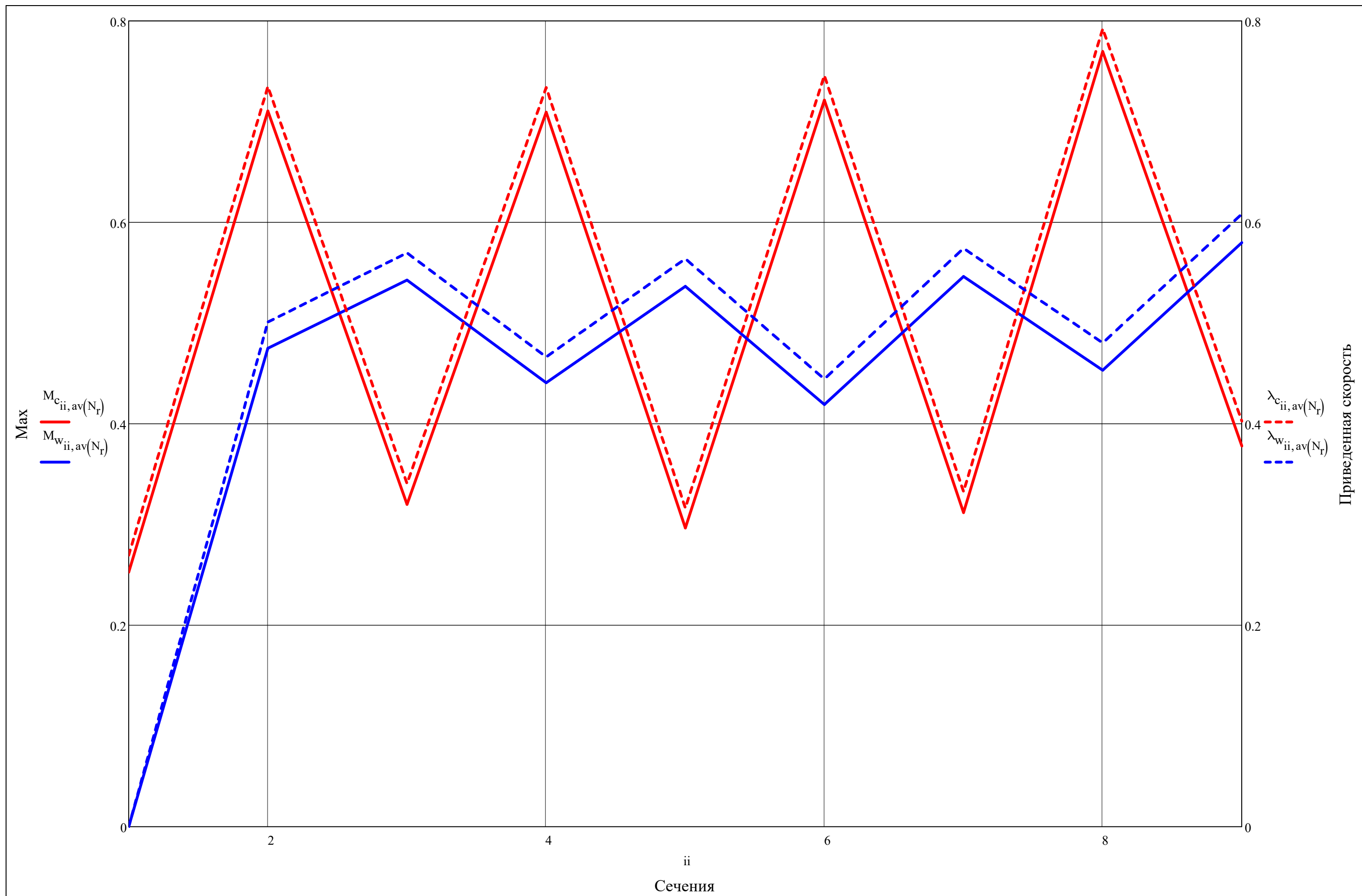
$\cdot^\circ$

$$t_{stator}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 40.6 & 27.9 & 35.9 & 43.3 \\ \hline 2 & 43.6 & 30.1 & 38.6 & 46.6 \\ \hline 3 & 46.5 & 32.4 & 41.3 & 49.8 \\ \hline \end{array} \qquad t_{rotor}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 19.8 & 23.5 & 28.4 & 30.6 \\ \hline 2 & 21.4 & 25.3 & 30.5 & 33.0 \\ \hline 3 & 22.9 & 27.1 & 32.7 & 35.4 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\mathrm{stack}\left(\overline{t_{оптСА}}^{T}, \overline{t_{оптРК}}^{T}\right) = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 0.762 & 0.603 & 0.645 & 0.686 \\ \hline 2 & 0.643 & 0.661 & 0.695 & 0.722 \\ \hline \end{array}$$

$$\mathrm{submatrix}\left(\mathrm{chord}_{stator}^{T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, Z\right) = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 58.7 & 50.6 & 60.4 & 69.4 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\mathrm{submatrix}\left(\mathrm{chord}_{rotor}^{T}, \mathrm{av}(N_r), \mathrm{av}(N_r), 1, Z\right) = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 34.3 & 39.5 & 44.6 & 46.2 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{t_{stator_{i, \mathrm{av}(N_r)}}}{\mathrm{chord}_{stator_{i, \mathrm{av}(N_r)}}} = 0.7 \leq \frac{t_{stator_{i, \mathrm{av}(N_r)}}}{\mathrm{chord}_{stator_{i, \mathrm{av}(N_r)}}} \leq 1 = \frac{t_{rotor_{i, \mathrm{av}(N_r)}}}{\mathrm{chord}_{rotor_{i, \mathrm{av}(N_r)}}} = 0.7 \leq \frac{t_{rotor_{i, \mathrm{av}(N_r)}}}{\mathrm{chord}_{rotor_{i, \mathrm{av}(N_r)}}} \leq 1 =$$

$$\mathrm{stack}\left(Z_{stator}^{T}, Z_{rotor}^{T}\right) = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 48 & 76 & 68 & 62 \\ \hline 2 & 101 & 97 & 91 & 89 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|} \hline 0.743 \\ \hline 0.595 \\ \hline 0.639 \\ \hline 0.671 \\ \hline \end{array} \qquad \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array} \qquad \begin{array}{|c|} \hline 0.622 \\ \hline 0.640 \\ \hline 0.684 \\ \hline 0.714 \\ \hline \end{array} \qquad \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline 1 \\ \hline \end{array}$$

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

	1	2	3	4
1	0.9807	0.9777	0.9800	0.9813
2	0.9646	0.9683	0.9733	0.9727

Коэф. скорости
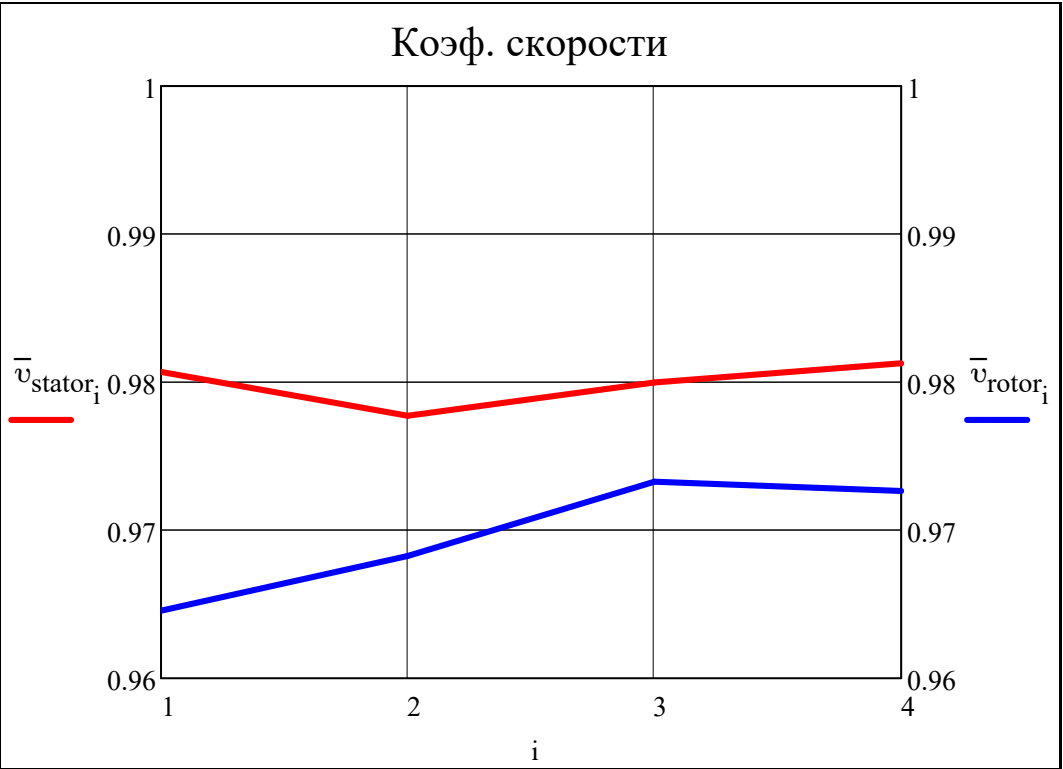
$$\text{stack}\left(\xi_{\text{трCA}}^{\ T},\xi_{\text{трPK}}^{\ T}\right) =$$

	1	2	3	4
1	1.396	1.811	1.520	1.394
2	3.932	3.289	2.480	2.497

$\cdot\%$

$$\text{stack}\left(\xi_{\text{крCA}}^{\ T},\xi_{\text{крPK}}^{\ T}\right) =$$

	1	2	3	4
1	1.243	1.519	1.302	1.101
2	0.933	0.846	0.705	

$\cdot\%$

$$\text{stack}\left(\xi_{\text{прCA}}^{\ T},\xi_{\text{прPK}}^{\ T}\right) =$$

	1	2	3	4
1	2.842	3.626	3.119	2.754
2	5.483	4.819	3.917	3.881

$\cdot\%$

$$\text{stack}\left(\xi_{\text{ReCA}}^{\ T},\xi_{\text{RePK}}^{\ T}\right) =$$

	1	2	3	4
1	-0.014	0.078	0.097	0.126
2	0.246	0.301	0.371	0.507

$\cdot\%$

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

	1	2	3	4
1	0.217	0.219	0.201	0.134
2	0.371	0.382	0.362	0.297

$\cdot\%$

$$\text{stack}\left(\xi_{\text{втCA}}^{\ T},\xi_{\text{втPK}}^{\ T}\right) =$$

	1	2	3	4
1	0.980	0.778	0.845	0.958
2	1.477	1.430	1.356	1.513

$\cdot\%$

$$\text{stack}\left(\xi_{\text{тдCA}}^{\ T},\xi_{\text{тдPK}}^{\ T}\right) =$$

	1	2	3	4
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000

$\cdot\%$

$$\text{stack}\left(\xi_{\text{смCA}}^{\ T},\xi_{\text{смPK}}^{\ T}\right) =$$

	1	2	3	4
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000

$\cdot\%$

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

	1	2	3	4
1	3.326	3.743	3.250	3.026
2	3.621	3.062	2.476	2.493

$\cdot\%$

$$\xi_{\text{вых}}^{\ T} =$$

	1	2	3	4
1	16.829	14.054	14.491	18.579

$\cdot\%$

$$\xi_{\Delta r}^{\ T} =$$

	1	2	3	4
1	1.813	1.786	1.826	1.662

$\cdot\%$

$$\xi_{\text{тр.в}}^{\ T} =$$

	1	2	3	4
1	0.138	0.222	0.300	0.245

$\cdot\%$

▲ Параметры турбины

Потери

Ступень

Вывод результатов поступенчатого расчета по ср. сечению ОТ в EXCEL:
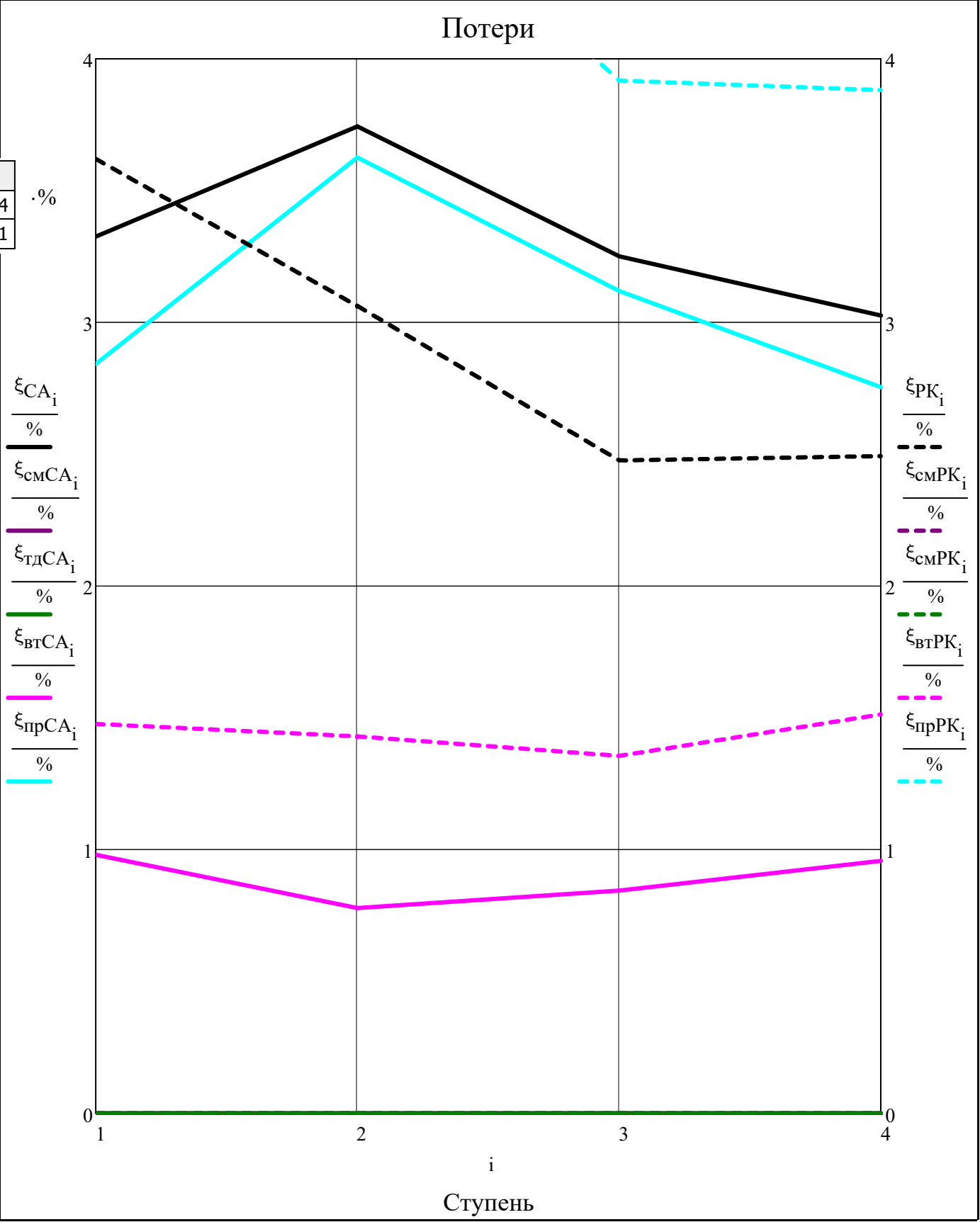
$$m = \begin{pmatrix} \begin{vmatrix} \overline{v}_{stator_1} \cdot \cos\left(\alpha_{st(1,2),\,av}\left(N_r\right)\right)^2 & \text{if } Z = 1 \\ -0.5 & \text{otherwise} \end{vmatrix} \\ -0.25 \\ 0 \\ 0.25 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

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

$m^T =$		1	2	3	4	5	6
	1	-0.5000	-0.2500	0.0000	0.2500	1.0000	1.0000

$$
\begin{pmatrix}
P^* & P \\
T^* & T^*_w \\
T & T \\
\rho^* & \rho \\
k & R_L \\
a^*_c & a^*_w \\
a_{3B} & a_{3B} \\
c & w \\
c_u & w_u \\
c_a & w_a \\
\Delta c_a & \Delta c_a \\
\alpha & \beta \\
\lambda_c & M_c \\
\lambda_w & M_w \\
\varepsilon_{stator} & \varepsilon_{rotor}
\end{pmatrix}
=
\begin{vmatrix}
\text{for } i \in 1..Z \\
\quad \text{for } a \in 2..3 \\
\qquad \text{for } r \in 1..N_r
\end{vmatrix}
$$

$$
A_{st(i,a)} = \left(1 - R_{L_{i,\,av(N_r)}}\right)\cdot\omega\cdot\left(R_{st(i,a),\,av(N_r)}\right)^{m_i+1}
$$

$$
B_{st(i,a)} = \frac{Lu_{c_{T_i}}}{2\cdot\omega}
$$

$$
c_{u_{st(i,a),r}} =
\begin{vmatrix}
\text{if } m_i = \overline{\upsilon}_{stator_i}\cdot\cos\left(\alpha_{st(i,2),\,av(N_r)}\right)^2 \\[2mm]
\quad
\begin{vmatrix}
c_{u_{st(i,a),\,av(N_r)}}\cdot\left(\dfrac{R_{st(i,a),\,av(N_r)}}{R_{st(i,a),r}}\right)^{m_i} & \text{if } a = 2 \\[4mm]
\dfrac{u_{st(i,a-1),\,av(N_r)}\cdot c_{u_{st(i,a-1),\,av(N_r)}} + u_{st(i,a),\,av(N_r)}\cdot c_{u_{st(i,a),\,av(N_r)}} - u_{st(i,a-1),r}\cdot c_{u_{st(i,a-1),r}}}{u_{st(i,a),r}} & \text{otherwise}
\end{vmatrix} \\[6mm]
\text{otherwise} \\[2mm]
\quad
\begin{vmatrix}
\dfrac{A_{st(i,a)}}{\left(R_{st(i,a),r}\right)^{m_i}} + \dfrac{B_{st(i,a)}}{\left(R_{st(i,a),r}\right)} & \text{if } a = 2 \\[4mm]
-\dfrac{A_{st(i,a)}}{\left(R_{st(i,a),r}\right)^{m_i}} + \dfrac{B_{st(i,a)}}{\left(R_{st(i,a),r}\right)} & \text{otherwise}
\end{vmatrix}
\end{vmatrix}
$$

$$
c_{a_{st(i,a),r}} =
\begin{vmatrix}
\sqrt{\left(c_{a_{st(i,a),\,av(N_r)}}\right)^2 - 2\cdot\left(A_{st(i,a)}\right)^2\cdot\left[\left(R_{st(i,a),r}\right)^2 - \left(R_{st(i,a),\,av(N_r)}\right)^2\right] + 4\cdot A_{st(i,a)}\cdot B_{st(i,a)}\cdot\ln\left(\dfrac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),\,av(N_r)}}\right)}\cdot\begin{vmatrix} -1 & \text{if } a = 2 \\ 1 & \text{otherwise} \end{vmatrix} & \text{if } m_i = -1 \\[8mm]
\sqrt{\left(c_{a_{st(i,a),\,av(N_r)}}\right)^2 - 2\cdot\left(A_{st(i,a)}\right)^2\cdot\ln\left(\dfrac{R_{st(i,a),r}}{R_{st(i,a),\,av(N_r)}}\right) - 2\cdot A_{st(i,a)}\cdot B_{st(i,a)}\cdot\left(\dfrac{1}{R_{st(i,a),r}} - \dfrac{1}{R_{st(i,a),\,av(N_r)}}\right)}\cdot\begin{vmatrix} -1 & \text{if } a = 2 \\ 1 & \text{otherwise} \end{vmatrix} & \text{if } m_i = 0
\end{vmatrix}
$$

$$\text{if } m_i - \overline{v}_{stator_i} \cdot \cos\left(\alpha_{st(i,2),av(N_r)}\right)$$

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

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

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

$$\text{for } i \in 1 \,..\, 2 \cdot Z + 1$$

$$\quad \text{for } r \in 1 \,..\, N_r$$

$$\begin{vmatrix} \begin{pmatrix} c_{u_{i,r}} \\ c_{a_{i,r}} \end{pmatrix} = c_{i,av(N_r)} \cdot \begin{pmatrix} \cos\left(\alpha_{i,av(N_r)}\right) \\ \sin\left(\alpha_{i,av(N_r)}\right) \end{pmatrix} \quad \text{if } (i = 1) \\ P^*_{i,r} = P^*_{i,av(N_r)} \\ T^*_{i,r} = T^*_{i,av(N_r)} \\ \rho^*_{i,r} = \frac{P^*_{i,r}}{R_{\Gamma a3}\left(\alpha_{ox_i}, \text{Fuel}\right) \cdot T^*_{i,r}} \end{vmatrix}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

for $i \in 1 .. Z$

  for $r \in 1 .. N_r$

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

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

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

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

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

$$\begin{pmatrix} P^* & T^* & T & \rho^* & k & a^*_c & a_{3B} & c & c_u & c_a & \Delta c_a & \alpha & \lambda_c & \lambda_w & \varepsilon_{stator} \\ P & T^*_w & T & \rho & R_L & a^*_w & a_{3B} & w & w_u & w_a & \Delta c_a & \beta & M_c & M_w & \varepsilon_{rotor} \end{pmatrix}^T$$

$P*^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	927.5	915.4	676.8	666.5	483.6	476.7	338.0	332.9	229.2
2	927.5	915.4	676.8	666.5	483.6	476.7	338.0	332.9	229.2
3	927.5	915.4	676.8	666.5	483.6	476.7	338.0	332.9	229.2

$\cdot 10^3$

$P^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	890.0	632.0	636.1	460.2	459.1	325.8	317.9	215.9	208.8
2	890.0	661.2	638.3	481.8	459.5	340.2	318.0	226.6	208.8
3	890.0	687.3	639.6	501.1	459.7	353.1	318.0	235.9	208.8

$\cdot 10^3$

$T*^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1368.9	1369.9	1281.1	1282.0	1192.3	1193.3	1102.4	1103.7	1011.4
2	1368.9	1369.9	1281.1	1282.0	1192.3	1193.3	1102.4	1103.7	1011.4
3	1368.9	1369.9	1281.1	1282.0	1192.3	1193.3	1102.4	1103.7	1011.4

$T^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1355.4	1252.9	1262.0	1171.6	1177.2	1086.7	1085.7	990.9	987.9
2	1355.4	1266.6	1263.0	1184.8	1177.5	1098.4	1085.7	1002.9	987.9
3	1355.4	1278.5	1263.6	1196.1	1177.6	1108.5	1085.8	1013.1	987.9

$T*_w^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1381.3	1313.8	1273.2	1222.8	1197.0	1130.2	1120.2	1036.5	1033.9
2	1383.0	1313.1	1278.7	1222.6	1203.2	1130.7	1126.9	1038.0	1041.0
3	1384.8	1312.5	1284.4	1222.5	1209.7	1131.4	1133.9	1039.7	1048.3

$\rho*^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2.349	2.316	1.831	1.802	1.406	1.385	1.063	1.046	0.785
2	2.349	2.316	1.831	1.802	1.406	1.385	1.063	1.046	0.785
3	2.349	2.316	1.831	1.802	1.406	1.385	1.063	1.046	0.785

$\rho^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2.276	1.749	1.747	1.362	1.352	1.039	1.015	0.755	0.733
2	2.276	1.810	1.752	1.410	1.353	1.074	1.015	0.783	0.733
3	2.276	1.864	1.755	1.452	1.353	1.104	1.015	0.807	0.733

$k^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.317	1.317	1.321	1.321	1.326	1.326	1.331	1.331	1.338
2	1.317	1.317	1.321	1.321	1.326	1.326	1.331	1.331	1.338
3	1.317	1.317	1.321	1.321	1.326	1.326	1.331	1.331	1.338

$R_L^T =$

	1	2	3	4
1	0.0536	0.0511	0.0925	0.1037
2	0.0913	0.1091	0.1574	0.1829
3	0.1251	0.1592	0.2136	0.2505

$R_L^T \geq 0.05 =$

	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1

Термодинамические параметры по тракту К
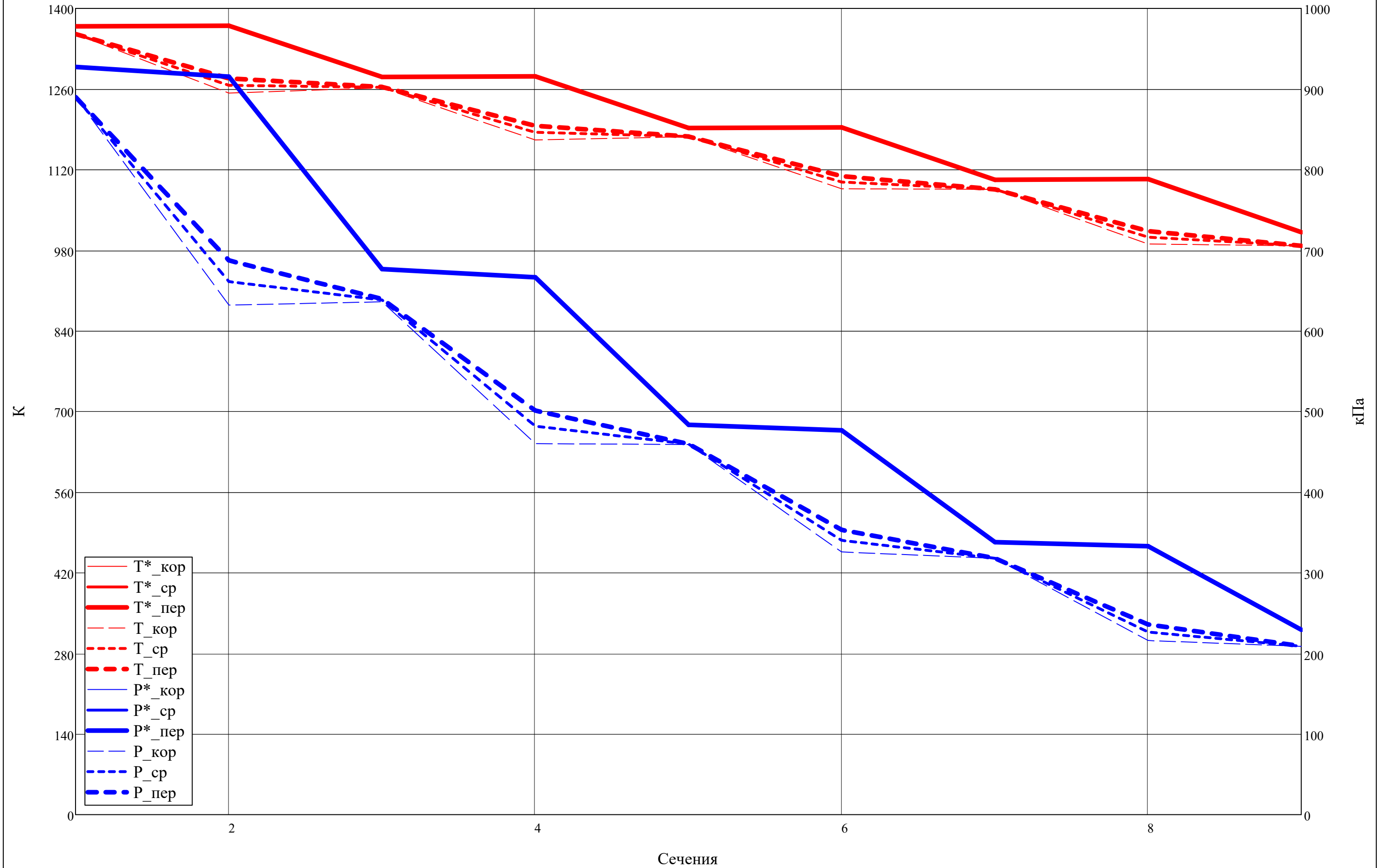
$a^*_c{}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	670.1	670.3	648.6	648.9	626.2	626.5	602.7	603.0	577.9
2	670.1	670.3	648.6	648.9	626.2	626.5	602.7	603.0	577.9
3	670.1	670.3	648.6	648.9	626.2	626.5	602.7	603.0	577.9

$a^*_w{}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	673.1	656.4	646.6	633.7	627.5	609.7	607.5	584.4	584.3
2	673.5	656.3	648.0	633.6	629.1	609.8	609.3	584.8	586.2
3	674.0	656.1	649.5	633.6	630.8	610.0	611.2	585.3	588.3

$u^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	172.2	172.2	180.7	193.8	208.2	222.8	234.2	240.3	240.3
2	183.8	185.7	195.4	209.3	224.4	239.4	251.6	258.7	260.0
3	195.3	199.1	210.0	224.7	240.5	256.1	268.9	277.0	279.7

$a_{зв}{}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	717.7	690.0	693.6	668.3	671.0	644.7	645.8	616.9	617.5
2	717.7	693.8	693.9	672.0	671.1	648.2	645.8	620.6	617.5
3	717.7	697.0	694.0	675.2	671.2	651.1	645.8	623.8	617.5

$c^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	180.0	529.2	213.2	511.7	188.4	500.2	196.8	511.3	231.7
2	180.0	497.3	207.1	480.3	186.6	472.1	196.6	483.5	231.7
3	180.0	467.8	203.6	451.4	185.8	446.3	196.6	458.4	231.7

$w^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	249.1	381.8	163.5	348.6	215.6	319.3	282.5	325.1	324.1
2	257.2	333.7	192.5	299.5	245.8	275.2	308.8	285.1	348.1
3	265.6	285.4	221.8	250.2	274.5	232.0	334.0	248.5	371.5

$c_u{}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0	476.1	142.1	459.2	77.7	444.1	29.4	444.2	13.3
2	0.0	458.9	112.6	441.5	55.1	426.9	13.1	424.0	0.2
3	0.0	444.6	86.6	426.5	35.3	411.8	-1.0	406.3	-10.9

$w_u{}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	172.2	-303.9	38.6	-265.4	130.5	-221.3	204.8	-203.8
2	183.8	-273.2	82.7	-232.2	169.2	-187.4	238.4	-165.3
3	195.3	-245.5	123.4	-201.7	205.2	-155.7	269.9	...

$c_a{}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	180.0	231.1	158.9	225.9	171.6	230.1	194.6	253.2	231.4
2	180.0	191.6	173.8	189.2	178.3	201.6	196.2	232.3	231.7
3	180.0	145.5	184.3	148.0	182.4	171.9	196.6	212.2	231.5

$w_a{}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	180.0	231.1	158.9	225.9	171.6	230.1	194.6	253.2	231.4
2	180.0	191.6	173.8	189.2	178.3	201.6	196.2	232.3	231.7
3	180.0	145.5	184.3	148.0	182.4	171.9	196.6	212.2	231.5

$\Delta c_a{}^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	51.1	-72.2	67.0	-54.4	58.6	-35.6	58.7	-21.9
2	11.6	-17.8	15.4	-11.0	23.3	-5.4	36.1	-0.5
3	-34.5	38.8	-36.3	34.5	-10.5	24.7	15.6	19.2

Скорости по тракту Т

$$\alpha^T =$$
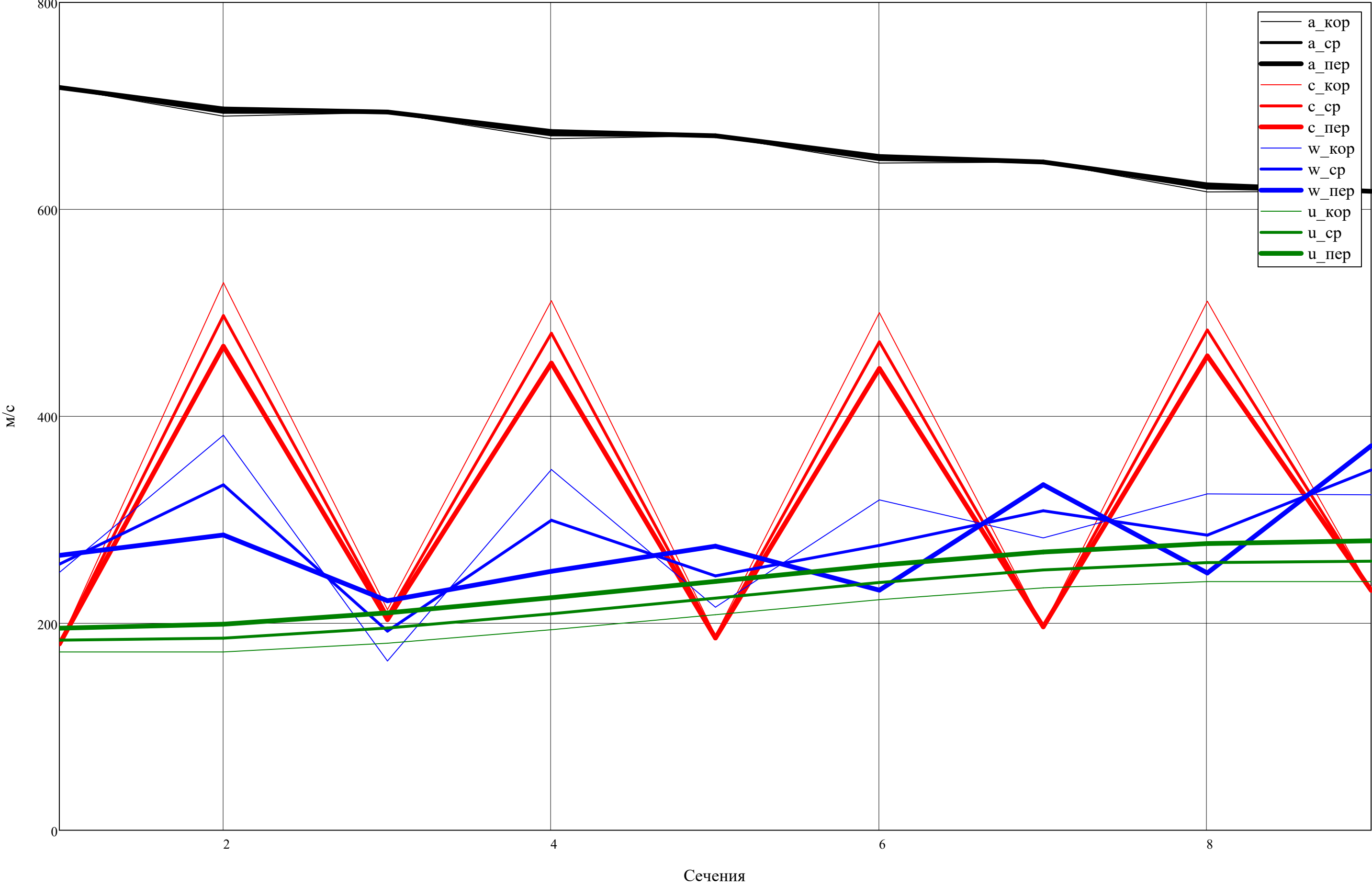
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	90.00	25.89	48.19	26.20	65.64	27.39	81.41	29.69	86.70
2	90.00	22.66	57.06	23.20	72.81	25.28	86.17	28.72	89.95
3	90.00	18.12	64.82	19.13	79.04	22.65	90.30	27.58	92.70

$\cdot °$

$$\beta^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	46.26	142.75	76.35	139.59	52.74	133.88	43.53	128.83
2	44.41	144.96	64.55	140.83	46.49	132.92	39.45	125.44
3	42.67	149.35	56.19	143.74	41.64	132.18	36.07	...

$\cdot °$

$$80 \cdot ° \le \alpha^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
2	1	0	0	0	0	0	1	0	1
3	1	0	0	0	0	0	1	0	1

[1, с.78]

Угол поворота потока:

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

	1	2	3	4
1	64.11	21.99	38.24	51.72
2	67.34	33.86	47.53	57.46
3	71.88	45.69	56.39	62.72

$\cdot °$

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

	1	2	3	4
1	66.40	86.85	90.35	83.28
2	80.41	94.34	93.47	83.71
3	93.16	102.10	96.11	82.82

$\cdot °$

Углы по тракту К
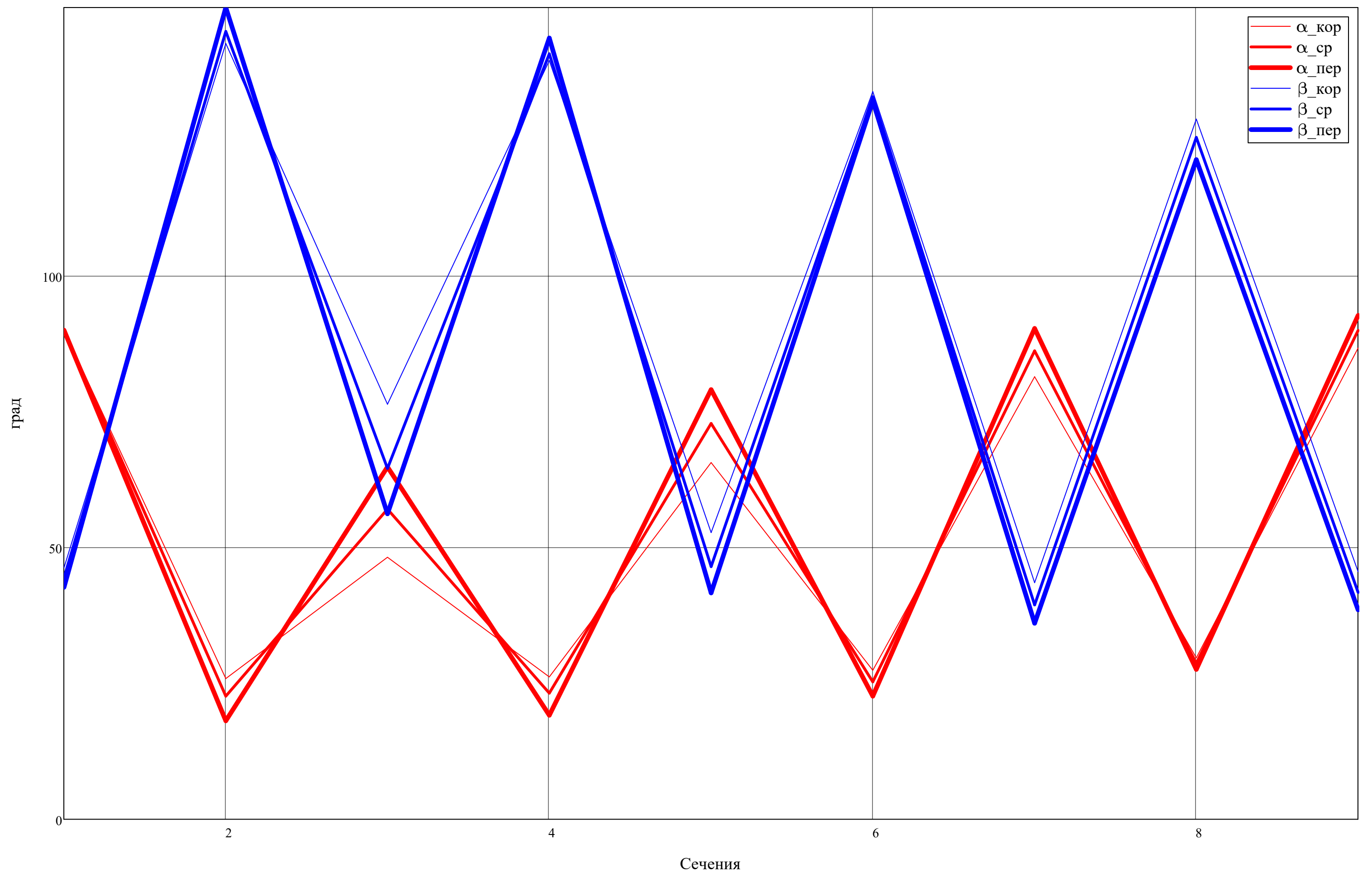
$\lambda_c^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.269	0.790	0.329	0.789	0.301	0.798	0.327	0.848	0.401
2	0.269	0.742	0.319	0.740	0.298	0.753	0.326	0.802	0.401
3	0.269	0.698	0.314	0.696	0.297	0.712	0.326	0.760	0.401

$\lambda_w^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.370	0.582	0.253	0.550	0.344	0.524	0.465	0.556	0.555
2	0.382	0.509	0.297	0.473	0.391	0.451	0.507	0.488	0.594
3	0.394	0.435	0.341	0.395	0.435	0.380	0.546	0.425	0.631

$M_c^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.251	0.767	0.307	0.766	0.281	0.776	0.305	0.829	0.375
2	0.251	0.717	0.299	0.715	0.278	0.728	0.304	0.779	0.375
3	0.251	0.671	0.293	0.669	0.277	0.685	0.304	0.735	0.375

$M_w^T =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.347	0.553	0.236	0.522	0.321	0.495	0.437	0.527	0.525
2	0.358	0.481	0.277	0.446	0.366	0.425	0.478	0.459	0.564
3	0.370	0.409	0.320	0.371	0.409	0.356	0.517	0.398	0.602
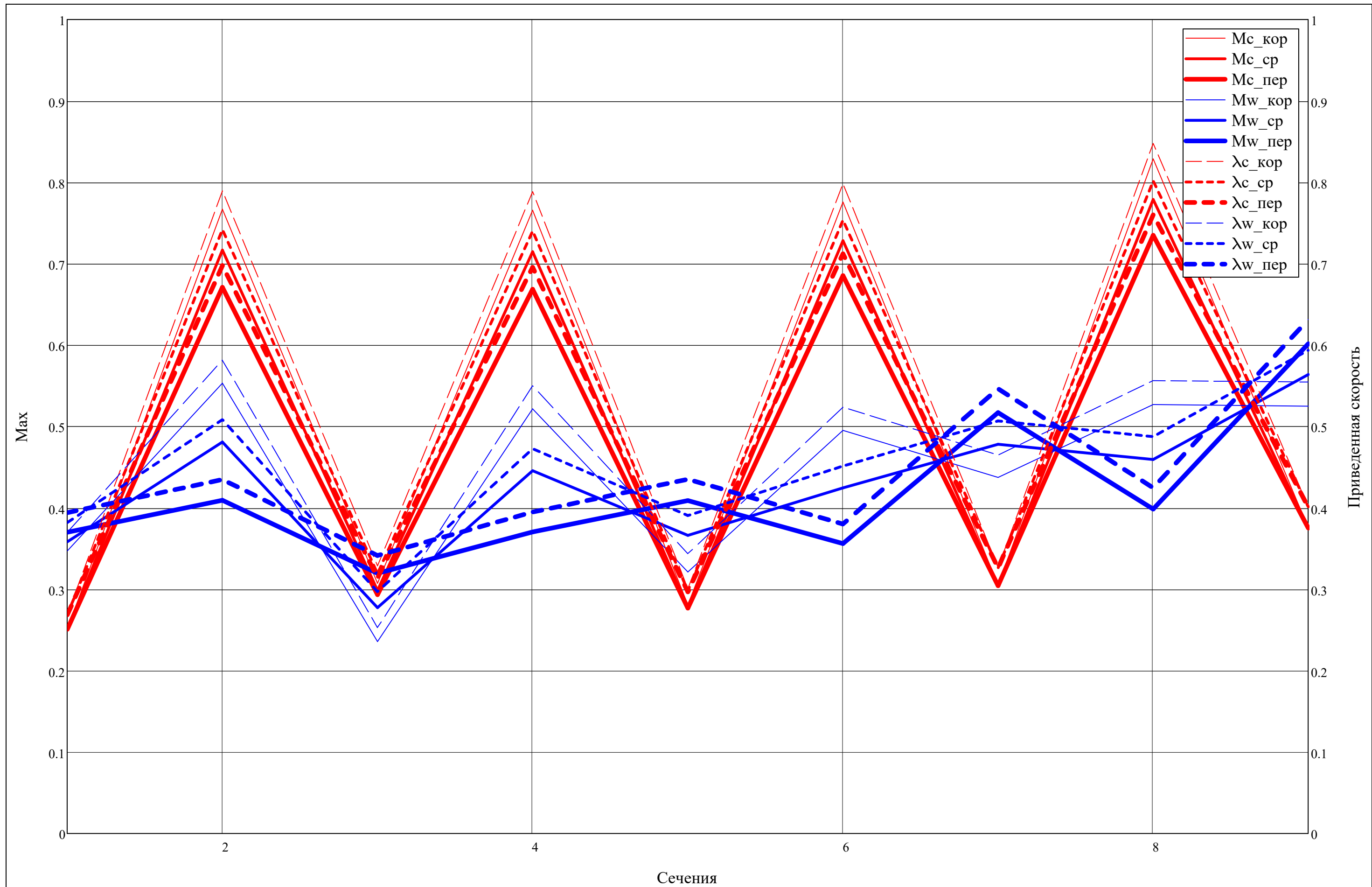
Результаты расчета Л по высоте

Вывод результатов расчета параметров потока по высоте Л

Построение треугольников скоростей в 3х сечениях

$$\Delta_c(v,i,j,r) = \begin{vmatrix} \tan\left(\alpha_{st(i,j),r}\right)\cdot v & \text{if } \left(\tan\left(\alpha_{st(i,j),r}\right) \geq 0\right) \land \left(-\left|c_{st(i,j),r}\cdot\cos\left(\alpha_{st(i,j),r}\right)\right| \leq v \leq 0\right) \\ \tan\left(\alpha_{st(i,j),r}\right)\cdot v & \text{if } \left(\tan\left(\alpha_{st(i,j),r}\right) < 0\right) \land \left(0 \leq v \leq \left|c_{st(i,j),r}\cdot\cos\left(\alpha_{st(i,j),r}\right)\right|\right) \end{vmatrix}$$

$$\Delta_w(v,i,j,r) = \begin{vmatrix} -\tan\left(\beta_{st(i,j),r}\right)\cdot v & \text{if } \left(-\tan\left(\beta_{st(i,j),r}\right) \geq 0\right) \land \left(-\left|w_{st(i,j),r}\cdot\cos\left(\beta_{st(i,j),r}\right)\right| \leq v \leq 0\right) \land (j \neq 1) \\ -\tan\left(\beta_{st(i,j),r}\right)\cdot v & \text{if } \left(-\tan\left(\beta_{st(i,j),r}\right) < 0\right) \land \left(0 \leq v \leq \left|w_{st(i,j),r}\cdot\cos\left(\beta_{st(i,j),r}\right)\right|\right) \land (j \neq 1) \end{vmatrix}$$

$$\Delta_u(v,i,j,r) = \begin{vmatrix} -c_{a_{st(i,j),r}} & \text{if } \left(-c_{st(i,j),r}\cdot\cos\left(\alpha_{st(i,j),r}\right) \leq v \leq w_{st(i,j),r}\cdot\cos\left(\beta_{st(i,j),r}\right)\right) \land (j \neq 1) \\ \text{NaN} & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$v_{lim} = \text{ceil}\left(\frac{\max(c,w,u)}{10^2}\right)\cdot 10^2 = 600.0$$

$$v = -\max(c,w,u), -\max(c,w,u) + \frac{\max(c,w,u)}{3000} \, .. \, \max(c,w,u)$$

r = 1

Треугольники скоростей

Legend:
- c1 (red solid)
- c2 (red dashed)
- c3 (red dotted)
- w1 (blue solid)
- w2 (blue dashed)
- w3 (blue dotted)
- u1 (green solid)
- u2 (green dashed)
- u3 (green dotted)

Треугольники скоростей

c1
c2
c3
w1
w2
w3
u1
u2
u3

Треугольники скоростей

Парусность:
$$\begin{pmatrix} \text{sail}_{\text{stator}} \\ \text{sail}_{\text{rotor}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.85 \end{pmatrix}$$

▼ Расчет хорд Л по парусности

$$\begin{pmatrix} \text{chord}_{\text{stator}} \\ \text{chord}_{\text{rotor}} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \text{for } i \in 1 .. Z \\[1em] \quad \text{sail} = \dfrac{R_{\text{st}(i,2),N_r} - R_{\text{st}(i,2),1}}{R_{\text{st}(i,2),\text{av}(N_r)} - R_{\text{st}(i,2),1}} \\[1em] \quad \text{for } r \in 1 .. N_r \\[1em] \qquad b_{\text{CAкор}} = \dfrac{\text{chord}_{\text{stator}_{i,\text{av}(N_r)}} \cdot \text{sail}}{\text{sail}_{\text{stator}} - 1 + \text{sail}} \\[1em] \qquad b_{\text{PKкор}} = \dfrac{\text{chord}_{\text{rotor}_{i,\text{av}(N_r)}} \cdot \text{sail}}{\text{sail}_{\text{rotor}} - 1 + \text{sail}} \\[1em] \qquad \begin{pmatrix} b_{\text{CAпер}} \\ b_{\text{PKпер}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{\text{CAкор}} \cdot \text{sail}_{\text{stator}} \\ b_{\text{PKкор}} \cdot \text{sail}_{\text{rotor}} \end{pmatrix} \\[1em] \qquad \text{chord}_{\text{stator}}.(z) = \text{interp}\left[\text{cspline}\left[\begin{pmatrix} R_{\text{st}(i,2),1} \\ R_{\text{st}(i,2),\text{av}(N_r)} \\ R_{\text{st}(i,2),N_r} \end{pmatrix},\begin{pmatrix} b_{\text{CAкор}} \\ \text{chord}_{\text{stator}_{i,\text{av}(N_r)}} \\ b_{\text{CAпер}} \end{pmatrix}\right],\begin{pmatrix} R_{\text{st}(i,2),1} \\ R_{\text{st}(i,2),\text{av}(N_r)} \\ R_{\text{st}(i,2),N_r} \end{pmatrix},\begin{pmatrix} b_{\text{CAкор}} \\ \text{chord}_{\text{stator}_{i,\text{av}(N_r)}} \\ b_{\text{CAпер}} \end{pmatrix},z\right] \\[1em] \qquad \text{chord}_{\text{rotor}}.(z) = \text{interp}\left[\text{cspline}\left[\begin{pmatrix} R_{\text{st}(i,2),1} \\ R_{\text{st}(i,2),\text{av}(N_r)} \\ R_{\text{st}(i,2),N_r} \end{pmatrix},\begin{pmatrix} b_{\text{PKкор}} \\ \text{chord}_{\text{rotor}_{i,\text{av}(N_r)}} \\ b_{\text{PKпер}} \end{pmatrix}\right],\begin{pmatrix} R_{\text{st}(i,2),1} \\ R_{\text{st}(i,2),\text{av}(N_r)} \\ R_{\text{st}(i,2),N_r} \end{pmatrix},\begin{pmatrix} b_{\text{PKкор}} \\ \text{chord}_{\text{rotor}_{i,\text{av}(N_r)}} \\ b_{\text{PKпер}} \end{pmatrix},z\right] \\[1em] \qquad \begin{pmatrix} \text{chord}_{\text{stator}_{i,r}} \\ \text{chord}_{\text{rotor}_{i,r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{chord}_{\text{stator}}.(R_{\text{st}(i,2),r}) \\ \text{chord}_{\text{rotor}}.(R_{\text{st}(i,3),r}) \end{pmatrix} \\[1em] \begin{pmatrix} \text{chord}_{\text{stator}} \\ \text{chord}_{\text{rotor}} \end{pmatrix} \end{vmatrix}$$

Длины хорд РК и СА (м):

$$\text{chord}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 58.7 & 50.6 & 60.4 & 69.4 \\ \hline 2 & 58.7 & 50.6 & 60.4 & 69.4 \\ \hline 3 & 58.7 & 50.6 & 60.4 & 69.4 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\text{chord}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 35.4 & 39.8 & 45.8 & 50.0 \\ \hline 2 & 32.3 & 36.4 & 42.0 & 45.9 \\ \hline 3 & 27.6 & 30.5 & 36.0 & 41.7 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

▲ Расчет хорд Л по парусности

Ср. линия профиля:
0.5 - дуга окружности $\overline{x}_f = 0.45$
0.45 - парабола

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

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

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

Относительные радиусы профилей ():

$$\overline{r\_inlet}_{stator}{}^{T} =$$

	1	2	3	4
1	2.800	2.800	2.800	2.800
2	3.600	3.600	3.600	3.600
3	4.400	4.400	4.400	4.400

.%

$$\overline{r\_inlet}_{rotor}{}^{T} =$$

	1	2	3	4
1	4.900	4.900	4.900	4.900
2	3.150	3.150	3.150	3.150
3	2.450	2.450	2.450	2.450

.%

$$\overline{r\_outlet}_{stator}{}^{T} =$$

	1	2	3	4
1	1.400	1.400	1.400	1.400
2	1.800	1.800	1.800	1.800
3	2.200	2.200	2.200	2.200

.%

$$\overline{r\_outlet}_{rotor}{}^{T} =$$

	1	2	3	4
1	2.100	2.100	2.100	2.100
2	1.350	1.350	1.350	1.350
3	1.050	1.050	1.050	1.050

.%

Относительная толщина профиля ():

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

	1	2	3	4
1	7.00	7.00	7.00	7.00
2	9.00	9.00	9.00	9.00
3	11.00	11.00	11.00	11.00

.%

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

	1	2	3	4
1	14.00	14.00	14.00	14.00
2	9.00	9.00	9.00	9.00
3	7.00	7.00	7.00	7.00

.%

Относительный шаг решетки ():

$$\left(\dfrac{t_{stator}}{chord_{stator}}\right)^{T} =$$

	1	2	3	4
1	0.6923	0.5507	0.5942	0.6244
2	0.7425	0.5950	0.6394	0.6714
3	0.7927	0.6394	0.6846	0.7183

$$\left(\dfrac{t_{rotor}}{chord_{rotor}}\right)^{T} =$$

	1	2	3	4
1	0.5592	0.5901	0.6211	0.6117
2	0.6605	0.6948	0.7272	0.7179
3	0.8317	0.8911	0.9077	0.8495

Относительная густота решетки ():

$$\left(\dfrac{chord_{stator}}{t_{stator}}\right)^{T} =$$

	1	2	3	4
1	1.444	1.816	1.683	1.602
2	1.347	1.681	1.564	1.490
3	1.262	1.564	1.461	1.392

$$\left(\dfrac{chord_{rotor}}{t_{rotor}}\right)^{T} =$$

	1	2	3	4
1	1.788	1.695	1.610	1.635
2	1.514	1.439	1.375	1.393
3	1.202	1.122	1.102	1.177

Длина хорды профиля [м]:

$$\text{chord}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 58.7 & 50.6 & 60.4 & 69.4 \\ \hline 2 & 58.7 & 50.6 & 60.4 & 69.4 \\ \hline 3 & 58.7 & 50.6 & 60.4 & 69.4 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\text{chord}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 35.4 & 39.8 & 45.8 & 50.0 \\ \hline 2 & 32.3 & 36.4 & 42.0 & 45.9 \\ \hline 3 & 27.6 & 30.5 & 36.0 & 41.7 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

Радиусы профилей:

$$\text{r\_inlet}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 1.64 & 1.42 & 1.69 & 1.94 \\ \hline 2 & 2.11 & 1.82 & 2.17 & 2.50 \\ \hline 3 & 2.58 & 2.23 & 2.66 & 3.05 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\text{r\_inlet}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 1.73 & 1.95 & 2.24 & 2.45 \\ \hline 2 & 1.02 & 1.15 & 1.32 & 1.45 \\ \hline 3 & 0.68 & 0.75 & 0.88 & 1.02 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\text{r\_outlet}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 0.82 & 0.71 & 0.85 & 0.97 \\ \hline 2 & 1.06 & 0.91 & 1.09 & 1.25 \\ \hline 3 & 1.29 & 1.11 & 1.33 & 1.53 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\text{r\_outlet}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 0.74 & 0.83 & 0.96 & 1.05 \\ \hline 2 & 0.44 & 0.49 & 0.57 & 0.62 \\ \hline 3 & 0.29 & 0.32 & 0.38 & 0.44 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

Толщина профиля [м]:

$$\text{c}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 4.11 & 3.55 & 4.23 & 4.86 \\ \hline 2 & 5.28 & 4.56 & 5.43 & 6.24 \\ \hline 3 & 6.45 & 5.57 & 6.64 & 7.63 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\text{c}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 4.95 & 5.57 & 6.41 & 7.00 \\ \hline 2 & 2.91 & 3.28 & 3.78 & 4.14 \\ \hline 3 & 1.93 & 2.13 & 2.52 & 2.92 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

Шаг решетки [м]:

$$\text{t}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 40.6 & 27.9 & 35.9 & 43.3 \\ \hline 2 & 43.6 & 30.1 & 38.6 & 46.6 \\ \hline 3 & 46.5 & 32.4 & 41.3 & 49.8 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\text{t}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 19.8 & 23.5 & 28.4 & 30.6 \\ \hline 2 & 21.4 & 25.3 & 30.5 & 33.0 \\ \hline 3 & 22.9 & 27.1 & 32.7 & 35.4 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

Угол поворота потока:

$$\varepsilon_{\text{stator}}^{\text{T}} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 64.11 & 21.99 & 38.24 & 51.72 \\ \hline 2 & 67.34 & 33.86 & 47.53 & 57.46 \\ \hline 3 & 71.88 & 45.69 & 56.39 & 62.72 \\ \hline \end{array} \cdot°$$

$$\varepsilon_{\text{rotor}}^{\text{T}} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 66.40 & 86.85 & 90.35 & 83.28 \\ \hline 2 & 80.41 & 94.34 & 93.47 & 83.71 \\ \hline 3 & 93.16 & 102.10 & 96.11 & 82.82 \\ \hline \end{array} \cdot°$$

Угол установки профиля:

$$\upsilon_{\text{stator}}^{\text{T}} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 134.1 & 124.4 & 130.0 & 136.4 \\ \hline 2 & 129.9 & 123.9 & 129.5 & 136.6 \\ \hline 3 & 123.2 & 120.8 & 127.7 & 136.2 \\ \hline \end{array} \cdot°$$

$$\upsilon_{\text{rotor}}^{\text{T}} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 142.1 & 135.9 & 134.8 & 138.2 \\ \hline 2 & 136.4 & 132.6 & 133.0 & 137.5 \\ \hline 3 & 130.3 & 128.8 & 131.3 & 137.0 \\ \hline \end{array} \cdot°$$

Угол изгиба профиля:

$$\pi - \varepsilon_{\text{stator}}^{\text{T}} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 115.9 & 158.0 & 141.8 & 128.3 \\ \hline 2 & 112.7 & 146.1 & 132.5 & 122.5 \\ \hline 3 & 108.1 & 134.3 & 123.6 & 117.3 \\ \hline \end{array} \cdot°$$

$$\pi - \varepsilon_{\text{rotor}}^{\text{T}} = \begin{array}{c|c|c|c|c|} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 113.6 & 93.1 & 89.7 & 96.7 \\ \hline 2 & 99.6 & 85.7 & 86.5 & 96.3 \\ \hline 3 & 86.8 & 77.9 & 83.9 & 97.2 \\ \hline \end{array} \cdot°$$

▲ Результаты расчета параметров решеток

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

Относ. координаты профиля РК и СА:

$$\text{AIRFOIL}_0\left(x, \text{line}, \overline{f}, \overline{x_f}, \overline{c}\right) = \begin{vmatrix} \text{if } 0 \leq x \leq 1 \\ \quad \begin{vmatrix} \text{linterp}\left(X_U, Y_U, x\right) & \text{if line} = "+" \\ \dfrac{\text{linterp}\left(X_U, Y_U, x\right) + \text{linterp}\left(X_L, Y_L, x\right)}{2} & \text{if line} = "0" \\ \text{linterp}\left(X_L, Y_L, x\right) & \text{if line} = "-" \end{vmatrix} \\ \text{NaN} \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$x = 0, 0.005 .. 1$

Симметричный профиль
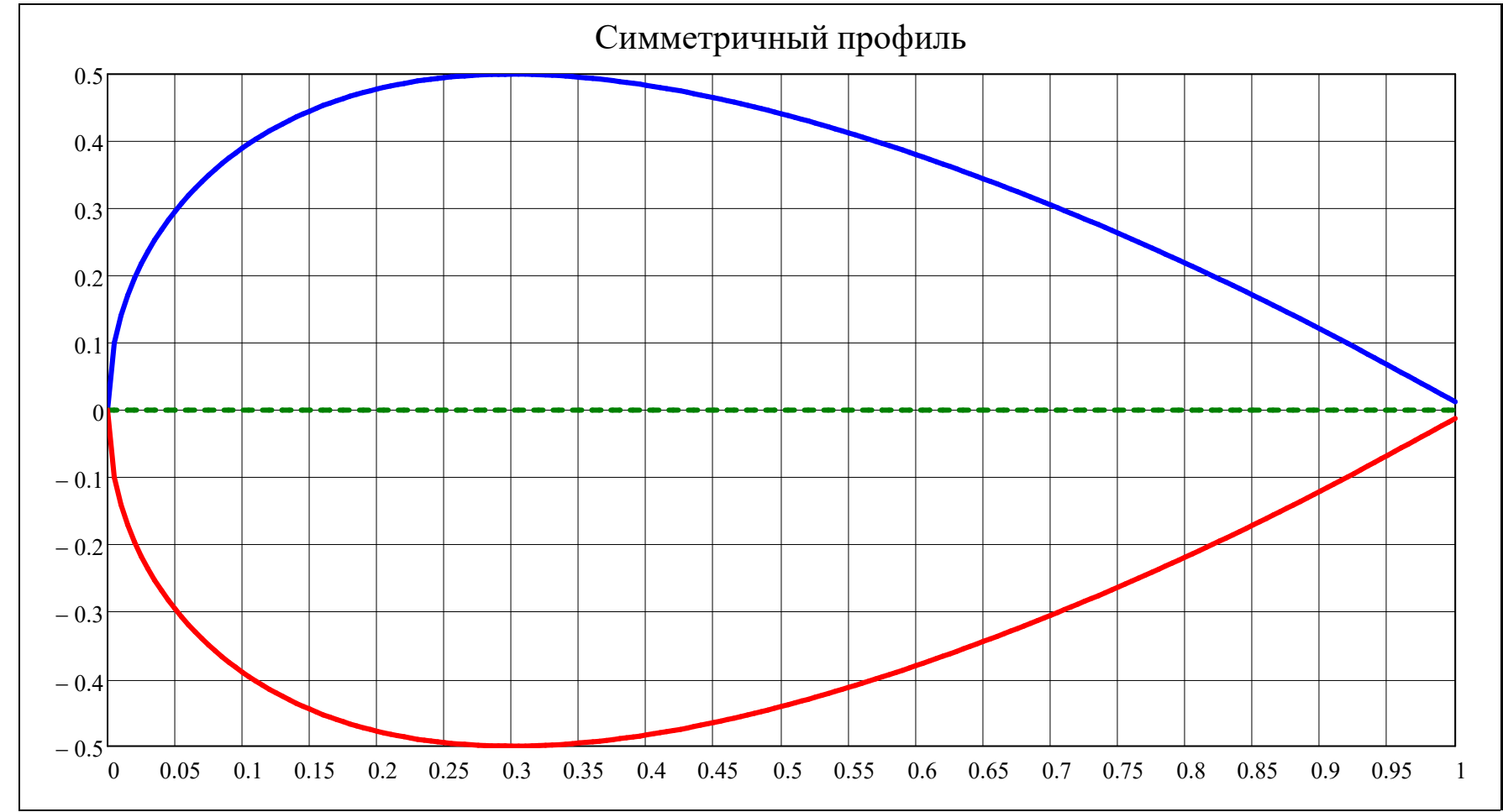
$$\text{AIRFOIL}(x, \text{line}, \overline{c}, \theta) = \begin{cases} \text{linterp}\left(X_U, y/b_{\text{ср.л}}(X_U, \theta) + Y_U \cdot \overline{c}, x\right) & \text{if line} = \text{"+"} \\[4pt] \dfrac{\text{linterp}\left(X_U, y/b_{\text{ср.л}}(X_U, \theta) + Y_U \cdot \overline{c}, x\right) + \text{linterp}\left(X_L, y/b_{\text{ср.л}}(X_L, \theta) + Y_L \cdot \overline{c}, x\right)}{2} & \text{if line} = \text{"0"} \\[4pt] \text{linterp}\left(X_L, y/b_{\text{ср.л}}(X_L, \theta) + Y_L \cdot \overline{c}, x\right) & \text{if line} = \text{"-"} \\[4pt] \text{NaN} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Профиль СА на ср. сечении

Профиль РК на ср. сечении

Подключение симметричного профиля

$l\_upper_{stator}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	63.47	51.71	62.74	73.48
2	64.41	52.70	64.03	74.79
3	65.61	53.99	65.52	76.17

$\cdot 10^{-3}$

$l\_upper_{rotor}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	39.66	46.66	54.18	58.15
2	36.48	42.49	48.89	52.24
3	31.76	35.92	41.76	46.84

$\cdot 10^{-3}$

$l\_lower_{stator}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	60.67	50.86	60.98	70.78
2	60.72	51.07	61.31	71.03
3	60.91	51.38	61.69	71.35

$\cdot 10^{-3}$

$l\_lower_{rotor}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	36.43	41.97	48.58	52.49
2	34.08	39.38	45.33	48.71
3	29.93	33.74	39.30	44.33

$\cdot 10^{-3}$

$area_{stator}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	164.78	122.77	174.49	230.41
2	211.86	157.85	224.34	296.25
3	258.93	192.93	274.19	362.08

$\cdot 10^{-6}$

$area_{rotor}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	119.78	151.28	200.50	239.04
2	64.32	81.62	108.55	129.92
3	36.38	44.43	61.95	83.13

$\cdot 10^{-6}$

$Sx_{stator}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	1061.6	226.1	672.4	1396.3
2	1439.6	450.4	1082.8	2006.5
3	1890.1	749.6	1584.1	2693.9

$\cdot 10^{-9}$

$Sx_{rotor}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	483.2	926.0	1479.2	1752.8
2	293.2	504.1	764.8	881.1
3	167.6	252.5	386.5	505.1

$\cdot 10^{-9}$

$Sy_{stator}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	4071.3	2618.3	4436.4	6732.1
2	5234.5	3366.4	5703.9	8655.5
3	6397.7	4114.5	6971.5	10579.0

$\cdot 10^{-9}$

$Sy_{rotor}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	1784.1	2532.5	3864.1	5030.0
2	875.6	1251.6	1919.7	2513.8
3	422.4	570.0	938.6	1458.9

$\cdot 10^{-9}$

$x0_{stator}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	24.7	21.3	25.4	29.2
2	24.7	21.3	25.4	29.2
3	24.7	21.3	25.4	29.2

$\cdot 10^{-3}$

$x0_{rotor}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	14.9	16.7	19.3	21.0
2	13.6	15.3	17.7	19.3
3	11.6	12.8	15.2	17.5

$\cdot 10^{-3}$

$y0_{stator}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	6.4	1.8	3.9	6.1
2	6.8	2.9	4.8	6.8
3	7.3	3.9	5.8	7.4

$\cdot 10^{-3}$

$y0_{rotor}{}^{T} =$

	1	2	3	4
1	4.0	6.1	7.4	7.3
2	4.6	6.2	7.0	6.8
3	4.6	5.7	6.2	6.1

$\cdot 10^{-3}$

$$\text{Jx}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 7676 & 549 & 3039 & 9634 \\ 2 & 11083 & 1608 & 6143 & 15621 \\ 3 & 15756 & 3556 & 10770 & 23247 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jx}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 2310 & 6463 & 12383 & 14730 \\ 2 & 1494 & 3444 & 5964 & 6663 \\ 3 & 850 & 1571 & 2649 & 3398 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jy}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 131811 & 73173 & 147804 & 257737 \\ 2 & 169471 & 94079 & 190034 & 331377 \\ 3 & 207131 & 114986 & 232263 & 405016 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jy}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 34823 & 55552 & 97582 & 138694 \\ 2 & 15620 & 25151 & 44488 & 63733 \\ 3 & 6426 & 9583 & 18633 & 33548 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jxy}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 27857 & 5131 & 18182 & 43361 \\ 2 & 37769 & 10217 & 29269 & 62292 \\ 3 & 49570 & 16997 & 42799 & 83602 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jxy}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 7643 & 16433 & 30208 & 39111 \\ 2 & 4234 & 8188 & 14327 & 18078 \\ 3 & 2061 & 3427 & 6201 & 9401 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jx0}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 837 & 133 & 448 & 1172 \\ 2 & 1301 & 323 & 916 & 2030 \\ 3 & 1960 & 644 & 1617 & 3204 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jx0}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 361 & 794 & 1471 & 1878 \\ 2 & 158 & 330 & 575 & 687 \\ 3 & 78 & 136 & 238 & 329 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jy0}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 31219 & 17331 & 35007 & 61045 \\ 2 & 40139 & 22283 & 45009 & 78486 \\ 3 & 49059 & 27234 & 55011 & 95928 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jy0}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 8248 & 13158 & 23112 & 32850 \\ 2 & 3700 & 5957 & 10537 & 15095 \\ 3 & 1522 & 2270 & 4413 & 7946 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jxy0}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 1628 & 309 & 1086 & 2565 \\ 2 & 2200 & 612 & 1737 & 3666 \\ 3 & 2871 & 1010 & 2522 & 4894 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\text{Jxy0}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 446 & 931 & 1701 & 2229 \\ 2 & 242 & 458 & 802 & 1029 \\ 3 & 115 & 188 & 345 & 536 \end{array} \cdot 10^{-12}$$

$$\alpha\_\text{major}_{\text{stator}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 3.06 & 1.03 & 1.80 & 2.45 \\ 2 & 3.23 & 1.59 & 2.25 & 2.74 \\ 3 & 3.48 & 2.17 & 2.70 & 3.01 \end{array} \cdot {}^{\circ}$$

$$\alpha\_\text{major}_{\text{rotor}}{}^{T} = \begin{array}{c|c|c|c|c} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 3.22 & 4.28 & 4.47 & 4.09 \\ 2 & 3.90 & 4.62 & 4.57 & 4.07 \\ 3 & 4.54 & 5.01 & 4.70 & 4.01 \end{array} \cdot {}^{\circ}$$

$Ju_{stator}^{T} =$

	1	2	3	4
1	750	127	414	1063
2	1176	306	848	1855
3	1785	605	1499	2946

$\cdot 10^{-12}$

$Ju_{rotor}^{T} =$

	1	2	3	4
1	336	725	1338	1718
2	141	293	511	614
3	68	120	209	291

$\cdot 10^{-12}$

$Jv_{stator}^{T} =$

	1	2	3	4
1	31306.3	17336.5	35041.3	61154.6
2	40263.3	22299.6	45077.7	78661.7
3	49233.3	27272.6	55130.2	96185.3

$\cdot 10^{-12}$

$Jv_{rotor}^{T} =$

	1	2	3	4
1	8273	13227	23245	33009
2	3716	5994	10601	15168
3	1531	2286	4442	7983

$\cdot 10^{-12}$

$Juv_{stator}^{T} =$

	1	2	3	4
1	0	0	-0	0
2	0	0	0	-0
3	0	0	0	0

$\cdot 10^{-12}$

$Juv_{rotor}^{T} =$

	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	0	0	-0	0
3	0	-0	0	0

$\cdot 10^{-12}$

$Jp_{stator}^{T} =$

	1	2	3	4
1	32056	17464	35455	62217
2	41440	22605	45925	80516
3	51018	27878	56629	99132

$\cdot 10^{-12}$

$Jp_{rotor}^{T} =$

	1	2	3	4
1	8609	13952	24583	34727
2	3857	6288	11113	15782
3	1599	2406	4651	8275

$\cdot 10^{-12}$

$Wp_{stator}^{T} =$

	1	2	3	4
1	927.3	594.5	1008.3	1531.7
2	1196.3	767.4	1301.6	1976.7
3	1468.5	942.6	1598.5	2426.8

$\cdot 10^{-9}$

$Wp_{rotor}^{T} =$

	1	2	3	4
1	412.5	585.9	893.9	1163.7
2	200.3	286.2	439.0	575.0
3	96.3	129.8	213.9	332.6

$\cdot 10^{-9}$

$stiffness_{stator}^{T} =$

	1	2	3	4
1	639.9	355.2	717.6	1251.3
2	1360.1	755.0	1525.1	2659.5
3	2483.2	1378.5	2784.5	4855.6

$\cdot 10^{-12}$

$stiffness_{rotor}^{T} =$

	1	2	3	4
1	676.2	1078.8	1895.0	2693.4
2	125.4	201.9	357.0	511.5
3	31.2	46.5	90.5	162.9

$\cdot 10^{-12}$

$$\mathrm{CPx_{stator}}^T =$$

	1	2	3	4
1	20.536	17.726	21.132	24.284
2	20.536	17.726	21.132	24.284
3	20.536	17.726	21.132	24.284

$\cdot 10^{-3}$

$$\mathrm{CPx_{rotor}}^T =$$

	1	2	3	4
1	12.380	13.914	16.018	17.490
2	11.315	12.746	14.699	16.082
3	9.649	10.663	12.592	14.586

$\cdot 10^{-3}$

$$\mathrm{CPy_{stator}}^T =$$

	1	2	3	4
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

$\cdot 10^{-3}$

$$\mathrm{CPy_{rotor}}^T =$$

	1	2	3	4
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

$\cdot 10^{-3}$

▲ Результат расчета абсолютных геометрических характеристик сечений Л

Абс. координаты профиля:

$$\text{Airfoil}(\text{type}, x, \text{line}, i, r) = \begin{cases} \text{AIRFOIL}\left(x, \text{line}, \overline{c}_{\text{stator}_{i,r}}, \varepsilon_{\text{stator}_{i,r}}\right) & \text{if type} = \text{"stator"} \\ \text{AIRFOIL}\left(x, \text{line}, \overline{c}_{\text{rotor}_{i,r}}, \varepsilon_{\text{rotor}_{i,r}}\right) & \text{if type} = \text{"rotor"} \end{cases}$$

Рассматриваемая ступень:
$$i_v = \begin{vmatrix} j = Z \\ j = \text{"Такой ступени не существует!"} & \text{if } (j < 1) \vee (j > Z) \\ j & \text{otherwise} \end{vmatrix} = 4$$

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

$$\text{AXLE0(type, x, i, r)} = \begin{vmatrix} \dfrac{y0_{rotor_{i,r}}}{\text{chord}_{rotor_{i,r}}} + \tan\left(\alpha\_major_{rotor_{i,r}}\right) \cdot \left(x - \dfrac{x0_{rotor_{i,r}}}{\text{chord}_{rotor_{i,r}}}\right) & \text{if type = "rotor"} \\[3mm] \dfrac{y0_{stator_{i,r}}}{\text{chord}_{stator_{i,r}}} + \tan\left(\alpha\_major_{stator_{i,r}}\right) \cdot \left(x - \dfrac{x0_{stator_{i,r}}}{\text{chord}_{stator_{i,r}}}\right) & \text{if type = "stator"} \\[3mm] \text{NaN} & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\text{AXLE90(type, x, i, r)} = \begin{vmatrix} \dfrac{y0_{rotor_{i,r}}}{\text{chord}_{rotor_{i,r}}} + \tan\left(\alpha\_major_{rotor_{i,r}} + \dfrac{\pi}{2}\right) \cdot \left(x - \dfrac{x0_{rotor_{i,r}}}{\text{chord}_{rotor_{i,r}}}\right) & \text{if (type = "rotor")} \wedge \left|\alpha\_major_{rotor_{i,r}}\right| \geq 1 \cdot{}^\circ \\[3mm] \dfrac{y0_{stator_{i,r}}}{\text{chord}_{stator_{i,r}}} + \tan\left(\alpha\_major_{stator_{i,r}} + \dfrac{\pi}{2}\right) \cdot \left(x - \dfrac{x0_{stator_{i,r}}}{\text{chord}_{stator_{i,r}}}\right) & \text{if (type = "stator")} \wedge \left|\alpha\_major_{stator_{i,r}}\right| \geq 1 \cdot{}^\circ \\[3mm] \text{NaN} & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

Профиль статорной Л

Профиль роторной Л

Профиль статорной Л

Профиль роторной Л

Профиль статорной Л

Профиль роторной Л
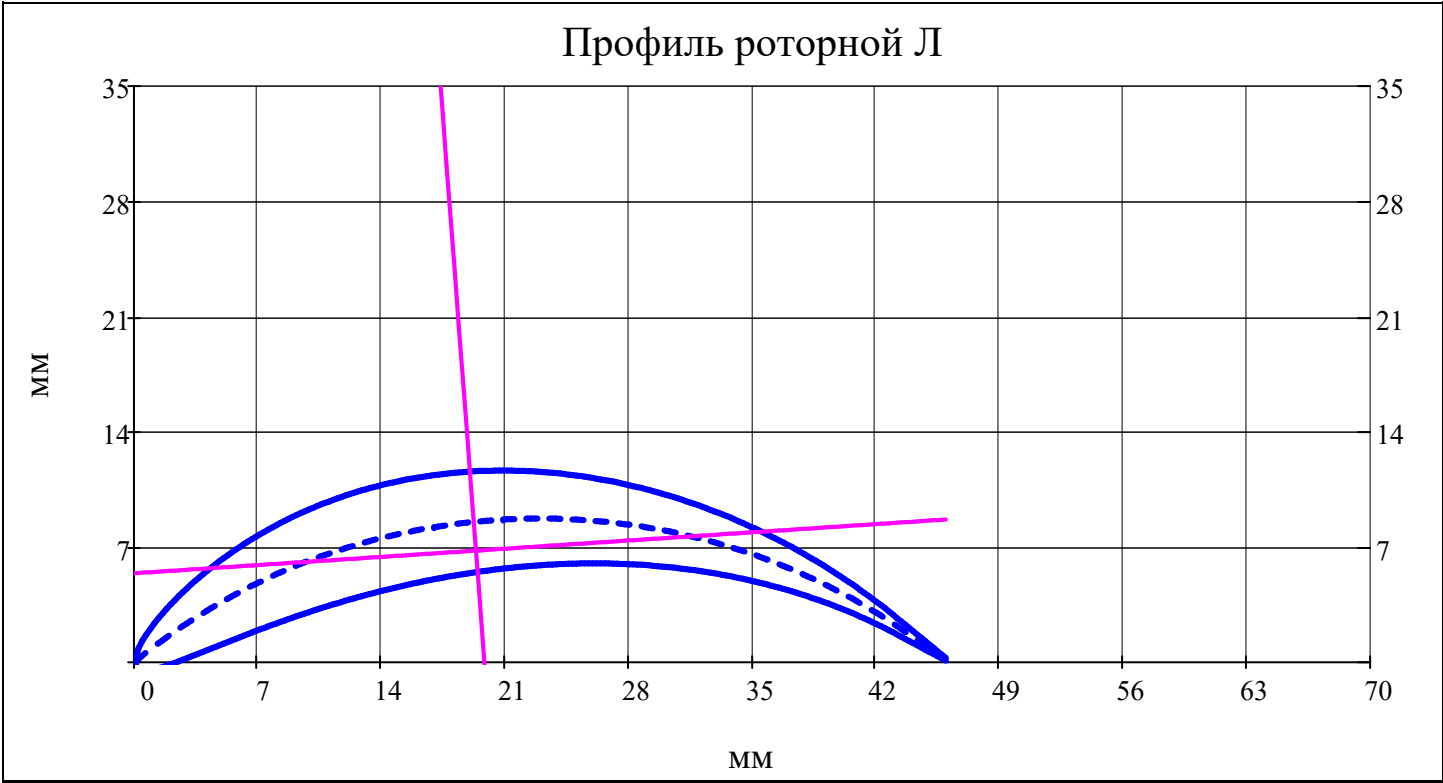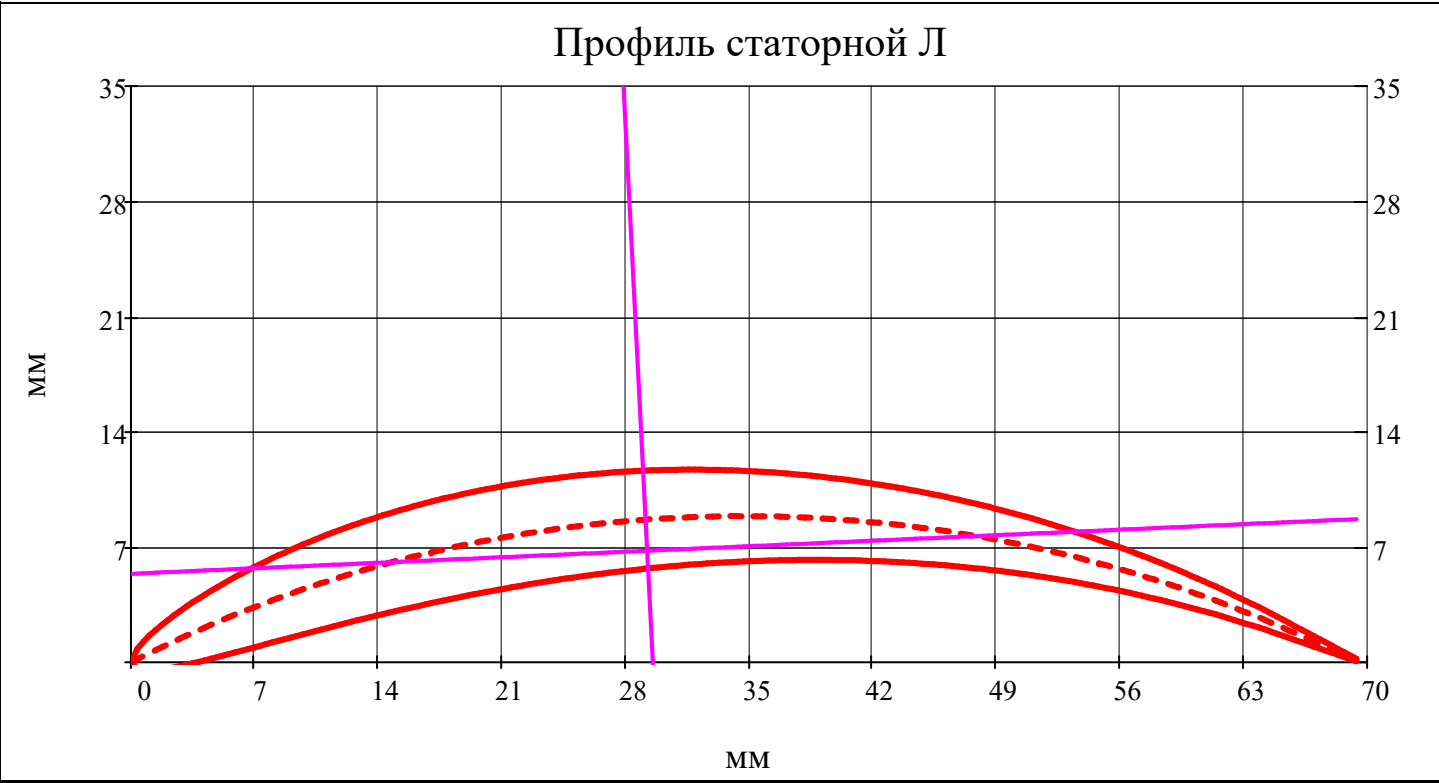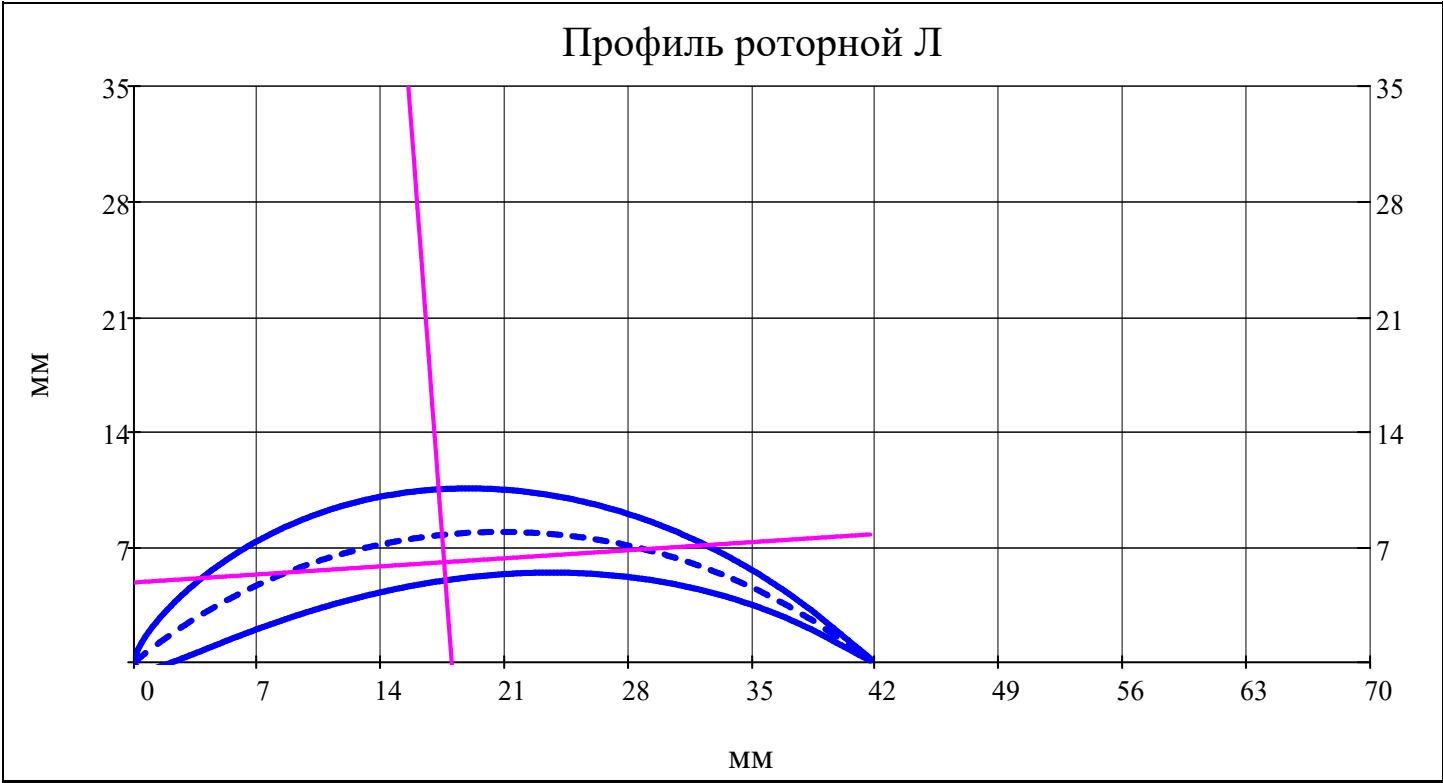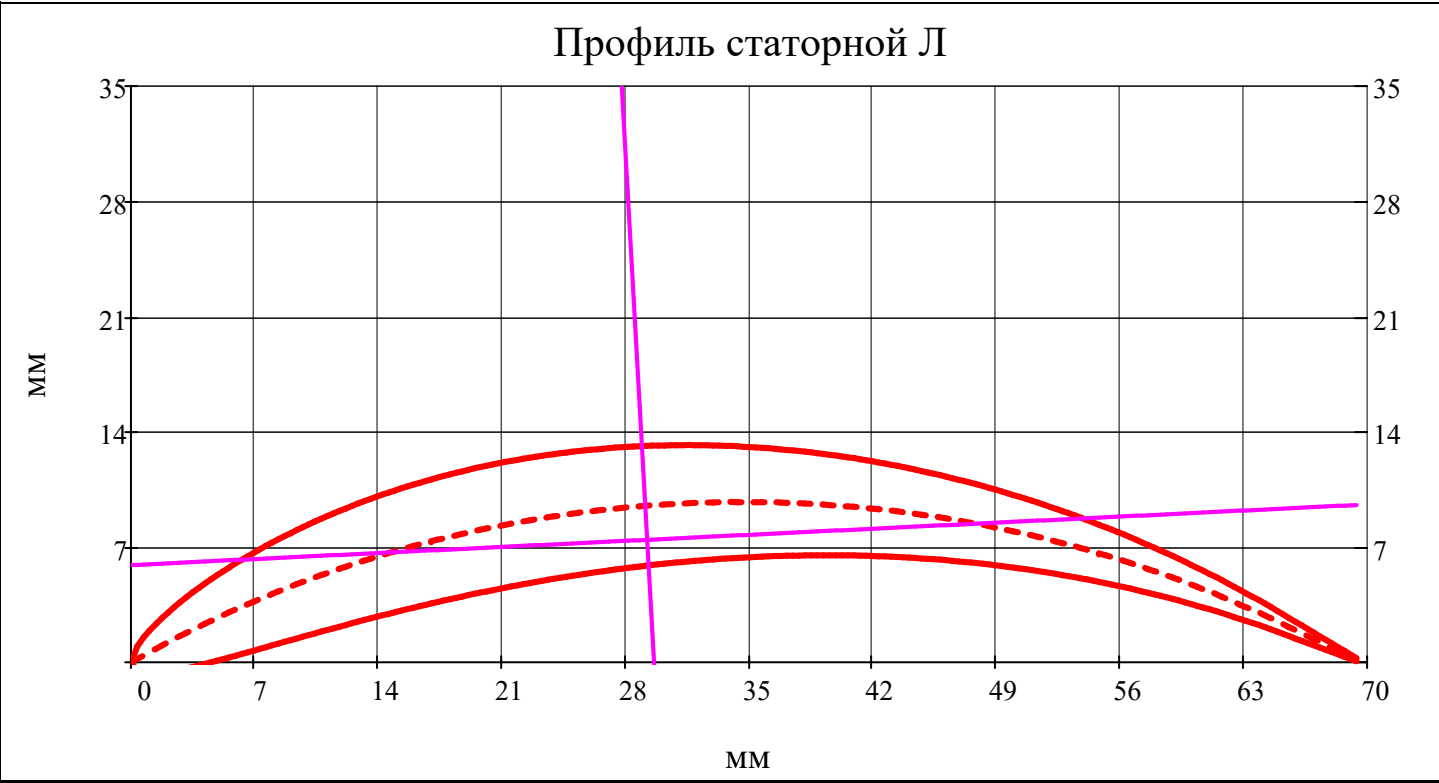
Построение профилей Л РК и НА

Рассматриваемая ступень: $j = \begin{vmatrix} j = Z \\ j = \text{"Такой ступени не существует!"} & \text{if } (j < 1) \lor (j > Z) \\ j & \text{otherwise} \end{vmatrix} = 4$

$b_{lim} = \dfrac{\text{ceil}\left(\max\left(\text{chord}_{\text{rotor}_j}, N_r, \text{chord}_{\text{stator}_j}, N_r\right) \cdot 10^2\right)}{10^2} = 70.0 \cdot 10^{-3}$

Построение плоских решеток профилей Л на треугольниках скоростей

$r = 1$

Решетка ступени на Δ-ках скоростей

Решетка ступени на Δ-ках скоростей

Решетка ступени на Δ-ках скоростей

Построение плоских решеток профилей Л на треугольниках скоростей
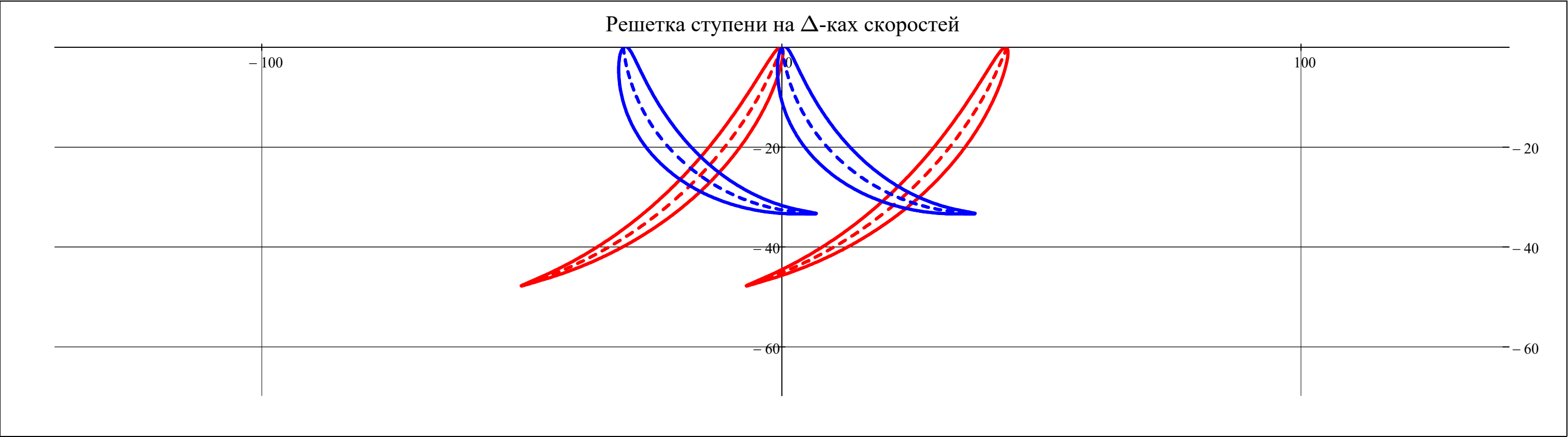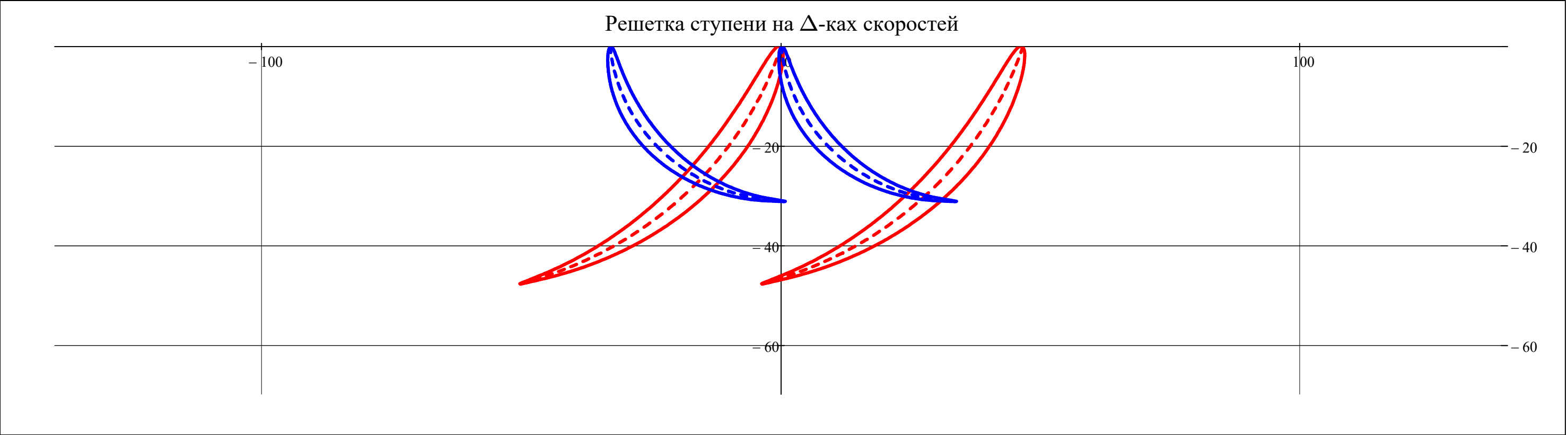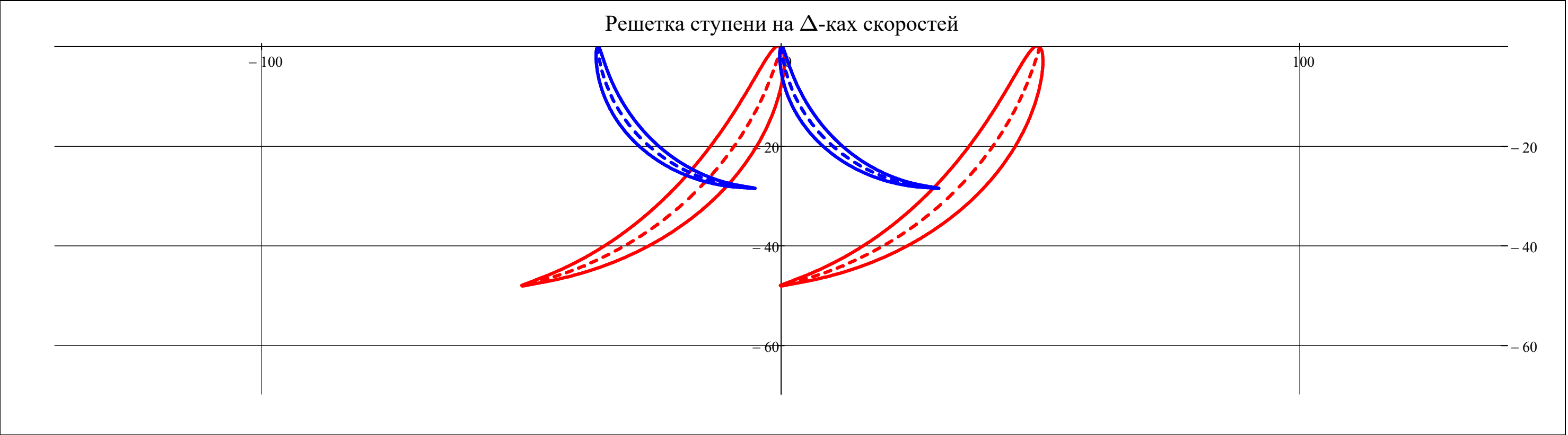
Вывод данных по построению профиля Л rotor и stator на треугольниках скоростей

Рассматриваемая ступень:

$$j = \begin{vmatrix} j = Z \\ j = \begin{vmatrix} \text{"Такой ступени не существует!"} & \text{if } (j < 1) \lor (j > Z) \\ j & \text{otherwise} \end{vmatrix} \end{vmatrix} = 4$$

Поперечная часть ступени

$$r = \min(D), \min(D) + \frac{\max(D) - \min(D)}{N_{dis}} .. \max(D)$$

$$i_{rotor} = 1 .. Z_{rotor_j}$$

$$i_{stator} = 1 .. Z_{stator_j}$$

$$\varphi = 0, \frac{2 \cdot \pi}{360} .. 2 \cdot \pi$$

$$Л_{PK}(r,j) = \begin{vmatrix} \dfrac{2 \cdot \pi}{Z_{rotor_j}} & \text{if } D_{st(j,1),1} < r < D_{st(j,1),N_r} \\ \text{NaN} & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$Л_{HA}(r,j) = \begin{vmatrix} \dfrac{2 \cdot \pi}{Z_{stator_j}} & \text{if } D_{st(j,2),1} < r < D_{st(j,2),N_r} \\ \text{NaN} & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$
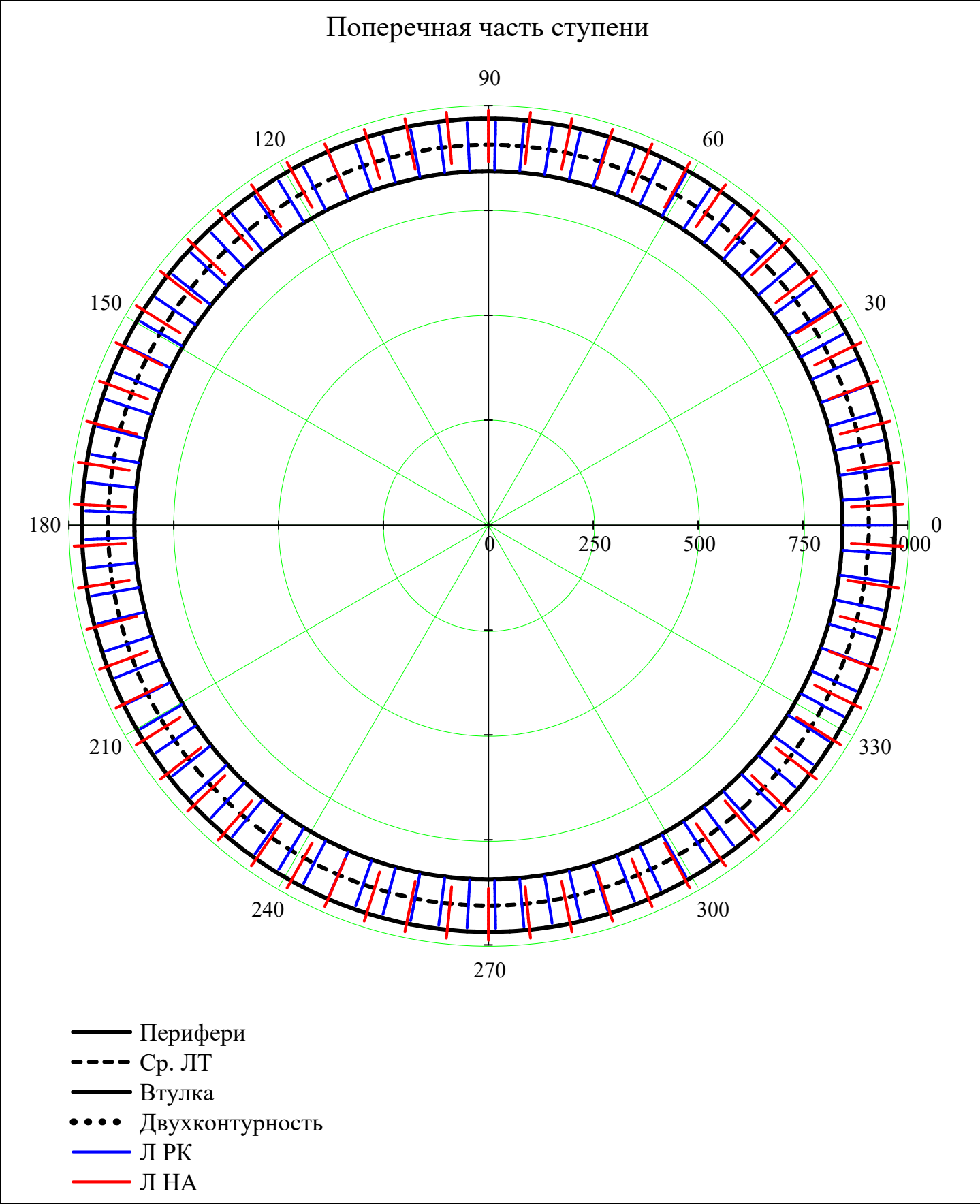
Поперечная часть ступени

Перифери
Ср. ЛТ
Втулка
Двухконтурность
Л РК
Л НА

$$
\begin{pmatrix}
\nu0_{\text{изг.stator}} & \nu0_{\text{изг.rotor}} \\
\nu0_{\text{угл.stator}} & \nu0_{\text{угл.rotor}} \\
\nu0_{\text{угл.stator\_bondage}} & \nu0_{\text{угл.rotor\_bondage}}
\end{pmatrix} =
\begin{array}{l}
\text{for } i \in 1 \, .. \, Z \\
\quad \text{for } r \in \text{av}\left(N_r\right) \\
\qquad \text{for } \text{mode} \in 1 \, .. \, 6 \\
\qquad\quad \nu0_{\text{изг.stator}_{i,\,\text{mode}}} = \nu0_{\text{изгиб}}\left(\text{mode}, \text{mean}\left(h_{st(i,1)}, h_{st(i,2)}\right), \text{E\_blade}, \rho\_\text{blade}_i, \text{area}_{\text{stator}_{i,r}}, \text{Ju}_{\text{stator}_{i,r}}\right) \\
\qquad\quad \nu0_{\text{изг.rotor}_{i,\,\text{mode}}} = \nu0_{\text{изгиб}}\left(\text{mode}, \text{mean}\left(h_{st(i,2)}, h_{st(i,3)}\right), \text{E\_blade}, \rho\_\text{blade}_i, \text{area}_{\text{rotor}_{i,r}}, \text{Ju}_{\text{rotor}_{i,r}}\right) \\
\qquad\quad \nu0_{\text{угл.stator}_{i,\,\text{mode}}} = \nu0_{\text{угл}}\left(\text{mode}, 0, \text{mean}\left(h_{st(i,1)}, h_{st(i,2)}\right), \text{Jung}(2, \mu\_\text{steel}, \text{E\_blade}), \rho\_\text{blade}_i, \text{stiffness}_{\text{stator}_{i,r}}, \text{Jp}_{\text{stator}_{i,r}}\right) \\
\qquad\quad \nu0_{\text{угл.rotor}_{i,\,\text{mode}}} = \nu0_{\text{угл}}\left(\text{mode}, 0, \text{mean}\left(h_{st(i,2)}, h_{st(i,3)}\right), \text{Jung}(2, \mu\_\text{steel}, \text{E\_blade}), \rho\_\text{blade}_i, \text{stiffness}_{\text{rotor}_{i,r}}, \text{Jp}_{\text{rotor}_{i,r}}\right) \\
\qquad\quad \nu0_{\text{угл.stator\_bondage}_{i,\,\text{mode}}} = \nu0_{\text{угл}}\left(\text{mode}, 1, \text{mean}\left(h_{st(i,1)}, h_{st(i,2)}\right), \text{Jung}(2, \mu\_\text{steel}, \text{E\_blade}), \rho\_\text{blade}_i, \text{stiffness}_{\text{stator}_{i,r}}, \text{Jp}_{\text{stator}_{i,r}}\right) \\
\qquad\quad \nu0_{\text{угл.rotor\_bondage}_{i,\,\text{mode}}} = \nu0_{\text{угл}}\left(\text{mode}, 1, \text{mean}\left(h_{st(i,2)}, h_{st(i,3)}\right), \text{Jung}(2, \mu\_\text{steel}, \text{E\_blade}), \rho\_\text{blade}_i, \text{stiffness}_{\text{rotor}_{i,r}}, \text{Jp}_{\text{rotor}_{i,r}}\right) \\
\begin{pmatrix}
\nu0_{\text{изг.stator}} & \nu0_{\text{изг.rotor}} \\
\nu0_{\text{угл.stator}} & \nu0_{\text{угл.rotor}} \\
\nu0_{\text{угл.stator\_bondage}} & \nu0_{\text{угл.rotor\_bondage}}
\end{pmatrix}
\end{array}
$$

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

$$\text{stack}\left(\nu 0_{\text{изг.stator}}, \nu 0_{\text{изг.rotor}}\right)^{\text{T}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3263	1318	1559	1694	1618	1636	1616	1298
2	20449	8261	9769	10618	10139	10252	10130	8134
3	57262	23133	27357	29734	28391	28708	28368	22777
4	112296	45365	53649	58311	55677	56299	55632	44667
5	185556	74961	88649	96353	92001	93028	91925	73807
6	277118	111950	132392	143897	137398	138932	137285	110226

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

$$\text{stack}\left(\nu 0_{\text{угл.stator}}, \nu 0_{\text{угл.rotor}}\right)^{\text{T}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3125	2608	2392	2193	2761	2440	2268	2039
2	9376	7823	7177	6578	8284	7319	6803	6118
3	15626	13038	11962	10963	13806	12199	11339	10197
4	21877	18253	16747	15348	19329	17078	15875	14275
5	28128	23468	21532	19733	24851	21958	20410	18354
6	34378	28683	26317	24118	30374	26838	24946	22433

$$\text{stack}\left(\nu 0_{\text{угл.stator\_bondage}}, \nu 0_{\text{угл.rotor\_bondage}}\right)^{\text{T}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	6251	5215	4785	4385	5523	4880	4536	4079
2	12501	10430	9570	8770	11045	9759	9071	8157
3	18752	15645	14355	13155	16568	14639	13607	12236
4	25002	20860	19140	17540	22090	19518	18143	16315
5	31253	26076	23924	21925	27613	24398	22678	20394
6	37503	31291	28709	26310	33135	29277	27214	24472

▲ Расчет собственных частот колебаний Л

Расчетный узел: type = "turbine"

Объем бандажной полки (м³): $V_{бп}$ = 0

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

▶ Расчет Л на прочность

$$\text{neutral\_line}(\text{type}, x, i, r) \ = \ \left| \begin{array}{l} \dfrac{y0_{\text{rotor}_{i,\,r}}}{\text{chord}_{\text{rotor}_{i,\,r}}} + \tan\left(\left(\alpha\_\text{major}_{\text{rotor}_{i,\,r}} + \varphi\_\text{neutral}_{\text{rotor}}\left(i, R_{\text{st}(i,\,2)}, r\right)\right)\right) \cdot \left(x - \dfrac{x0_{\text{rotor}_{i,\,r}}}{\text{chord}_{\text{rotor}_{i,\,r}}}\right) \ \ \text{if type = "rotor"} \\[6mm] \dfrac{y0_{\text{stator}_{i,\,r}}}{\text{chord}_{\text{stator}_{i,\,r}}} + \tan\left(\left(\alpha\_\text{major}_{\text{stator}_{i,\,r}} + \varphi\_\text{neutral}_{\text{stator}}\left(i, R_{\text{st}(i,\,2)}, r\right)\right)\right) \cdot \left(x - \dfrac{x0_{\text{stator}_{i,\,r}}}{\text{chord}_{\text{stator}_{i,\,r}}}\right) \ \ \text{if type = "stator"} \end{array} \right.$$

$$\text{epure}(\text{type}, x, i, r) \ = \ \left| \begin{array}{l} \dfrac{y0_{\text{rotor}_{i,\,r}}}{\text{chord}_{\text{rotor}_{i,\,r}}} + \dfrac{-1}{\tan\left(\alpha\_\text{major}_{\text{rotor}_{i,\,r}} + \varphi\_\text{neutral}_{\text{rotor}}\left(i, R_{\text{st}(i,\,2)}, r\right) - \dfrac{\pi}{4}\right)} \cdot \left(x - \dfrac{x0_{\text{rotor}_{i,\,r}}}{\text{chord}_{\text{rotor}_{i,\,r}}}\right) \ \ \text{if type = "rotor"} \\[8mm] \dfrac{y0_{\text{stator}_{i,\,r}}}{\text{chord}_{\text{stator}_{i,\,r}}} + \dfrac{-1}{\tan\left(\alpha\_\text{major}_{\text{stator}_{i,\,r}} + \varphi\_\text{neutral}_{\text{stator}}\left(i, R_{\text{st}(i,\,2)}, r\right) - \dfrac{\pi}{4}\right)} \cdot \left(x - \dfrac{x0_{\text{stator}_{i,\,r}}}{\text{chord}_{\text{stator}_{i,\,r}}}\right) \ \ \text{if type = "stator"} \end{array} \right.$$

Наиболее удаленные точки от НЛ (мм):

$$u\_u_{rotor}{}^{T} = $$

	1	2	3	4
1	-1.160	-1.024	-0.986	-1.003
2	0.261	0.336	0.342	-0.616
3	0.241	0.281	0.268	0.223

$\cdot 10^{-3}$

$$v\_u_{rotor}{}^{T} = $$

	1	2	3	4
1	4.927	5.365	5.441	5.299
2	3.698	3.973	3.956	3.765
3	3.189	3.344	3.240	3.002

$\cdot 10^{-3}$

$$u\_l_{rotor}{}^{T} = $$

	1	2	3	4
1	28.375	28.028	27.933	28.008
2	25.969	25.738	25.725	25.849
3	23.420	23.278	23.334	23.497

$\cdot 10^{-3}$

$$v\_l_{rotor}{}^{T} = $$

	1	2	3	4
1	-7.980	-10.413	-10.906	-10.223
2	-8.576	-10.135	-10.108	-9.138
3	-8.916	-9.837	-9.322	-8.081

$\cdot 10^{-3}$

$$u\_u_{stator}{}^{T} = $$

	1	2	3	4
1	-6.048	18.972	16.627	15.685
2	14.809	34.565	38.064	22.591
3	-11.210	-18.804	-18.046	37.611

$\cdot 10^{-3}$

$$v\_u_{stator}{}^{T} = $$

	1	2	3	4
1	29.582	4.200	5.221	6.027
2	38.137	20.800	13.898	8.774
3	7.817	9.146	23.918	15.820

$\cdot 10^{-3}$

$$u\_l_{stator}{}^{T} = $$

	1	2	3	4
1	-9.648	-27.201	-27.296	-26.659
2	2.702	-20.244	-22.418	-24.751
3	34.492	34.701	10.465	-19.527

$\cdot 10^{-3}$

$$v\_l_{stator}{}^{T} = $$

	1	2	3	4
1	-39.707	-6.703	-9.605	-12.000
2	-30.181	-20.609	-18.668	-15.935
3	-22.276	-20.913	-39.336	-22.312

$\cdot 10^{-3}$

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor} & \sigma\_n_{rotor} \\ \sigma\_p_{stator} & \sigma\_n_{stator} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \text{for } i \in 1..Z \\ \quad \text{for } r \in 1..N_r \end{vmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor_{i,r}} & \sigma\_n_{rotor_{i,r}} \\ \sigma\_p_{stator_{i,r}} & \sigma\_n_{stator_{i,r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{Mu_{rotor}(i,R_{st(i,2)},r)}{Ju_{rotor_{i,r}}} \cdot v\_u_{rotor_{i,r}} - \dfrac{Mv_{rotor}(i,R_{st(i,2)},r)}{Jv_{rotor_{i,r}}} \cdot u\_u_{rotor_{i,r}} & \dfrac{Mu_{rotor}(i,R_{st(i,2)},r)}{Ju_{rotor_{i,r}}} \cdot v\_l_{rotor_{i,r}} - \dfrac{Mv_{rotor}(i,R_{st(i,2)},r)}{Jv_{rotor_{i,r}}} \cdot u\_l_{rotor_{i,r}} \\[2em] \dfrac{Mu_{stator}(i,R_{st(i,2)},r)}{Ju_{stator_{i,r}}} \cdot v\_u_{stator_{i,r}} - \dfrac{Mv_{stator}(i,R_{st(i,2)},r)}{Jv_{stator_{i,r}}} \cdot u\_u_{stator_{i,r}} & \dfrac{Mu_{stator}(i,R_{st(i,2)},r)}{Ju_{stator_{i,r}}} \cdot v\_l_{stator_{i,r}} - \dfrac{Mv_{stator}(i,R_{st(i,2)},r)}{Jv_{stator_{i,r}}} \cdot u\_l_{stator_{i,r}} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor} & \sigma\_n_{rotor} \\ \sigma\_p_{stator} & \sigma\_n_{stator} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor.} & \sigma\_p_{stator.} \\ \sigma\_n_{rotor.} & \sigma\_n_{stator.} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \text{for } i \in 1..Z \end{vmatrix}$$

$$\sigma\_p_{rotor.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}(R,st(i,1),st(i,1),1,N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_p_{rotor},i,i,1,N_r)^T \right), \text{submatrix}(R,st(i,1),st(i,1),1,N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_p_{rotor},i,i,1,N_r)^T, z \right)$$

$$\sigma\_p_{stator.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}(R,st(i,1),st(i,1),1,N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_p_{stator},i,i,1,N_r)^T \right), \text{submatrix}(R,st(i,1),st(i,1),1,N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_p_{stator},i,i,1,N_r)^T, z \right)$$

$$\sigma\_n_{rotor.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}(R,st(i,1),st(i,1),1,N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_n_{rotor},i,i,1,N_r)^T \right), \text{submatrix}(R,st(i,1),st(i,1),1,N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_n_{rotor},i,i,1,N_r)^T, z \right)$$

$$\sigma\_n_{stator.}(i,z) = \text{interp}\left(\text{lspline}\left(\text{submatrix}(R,st(i,1),st(i,1),1,N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_n_{stator},i,i,1,N_r)^T \right), \text{submatrix}(R,st(i,1),st(i,1),1,N_r)^T, \text{submatrix}(\sigma\_n_{stator},i,i,1,N_r)^T, z \right)$$

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{rotor.} & \sigma\_p_{stator.} \\ \sigma\_n_{rotor.} & \sigma\_n_{stator.} \end{pmatrix}$$

$$\sigma\_p_{rotor}{}^{T} =$$

	1	2	3	4
1	-49.58	-38.69	-24.96	-15.94
2	-31.38	-25.94	-16.28	-8.77
3	-4.79	-6.12	-2.55	-0.07

$\cdot 10^{6}$

$$\sigma\_p_{rotor}{}^{T} \le 70 \cdot 10^{6} =$$

	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1

$$\sigma\_n_{rotor}{}^{T} =$$

	1	2	3	4
1	86.83	79.81	53.31	33.39
2	76.42	69.01	43.71	22.64
3	13.77	18.44	7.63	0.20

$\cdot 10^{6}$

$$\sigma\_n_{rotor}{}^{T} \le 70 \cdot 10^{6} =$$

	1	2	3	4
1	0	0	1	1
2	0	1	1	1
3	1	1	1	1

$$\sigma\_p_{stator}{}^{T} =$$

	1	2	3	4
1	0.00	1.03	0.58	0.05
2	1.78	12.03	7.28	2.32
3	-10.85	-20.23	-8.47	8.70

$\cdot 10^{6}$

$$\sigma\_p_{stator}{}^{T} \le 70 \cdot 10^{6} =$$

	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1

$$\sigma\_n_{stator}{}^{T} =$$

	1	2	3	4
1	0.00	-1.58	-1.01	-0.10
2	-0.09	-9.17	-6.42	-3.38
3	31.68	42.27	8.54	-7.36

$\cdot 10^{6}$

$$\sigma\_n_{stator}{}^{T} \le 70 \cdot 10^{6} =$$

	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1

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

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

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

	1	2	3	4
1	113.20	114.67	95.63	80.56
2	97.50	97.27	77.14	56.67
3	22.50	32.20	20.77	3.32

$\cdot 10^6$

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

	1	2	3	4
1	0.00	1.09	0.70	0.16
2	2.67	12.08	7.36	2.47
3	31.86	42.31	8.71	8.81

$\cdot 10^6$

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

$safety_{rotor}{}^T = $

	1	2	3	4
1	1.06	1.05	1.25	1.49
2	1.23	1.23	1.56	2.12
3	5.33	3.73	5.78	36.17

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

	1	2	3	4
1	0	0	0	1
2	0	0	1	1
3	1	1	1	1

$safety_{stator}{}^T = $

	1	2
1	000000000000000000000000000000000	
2	44.88	
3	3.77	

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

	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1

Рассматриваемая ступень:

$$b_{lim} = \frac{\text{ceil}\left(\max\left(\text{chord}_{rotor_{j,N_r}}, \text{chord}_{stator_{j,N_r}}\right) \cdot 10^2\right)}{10^2} = 70.0 \cdot 10^{-3}$$
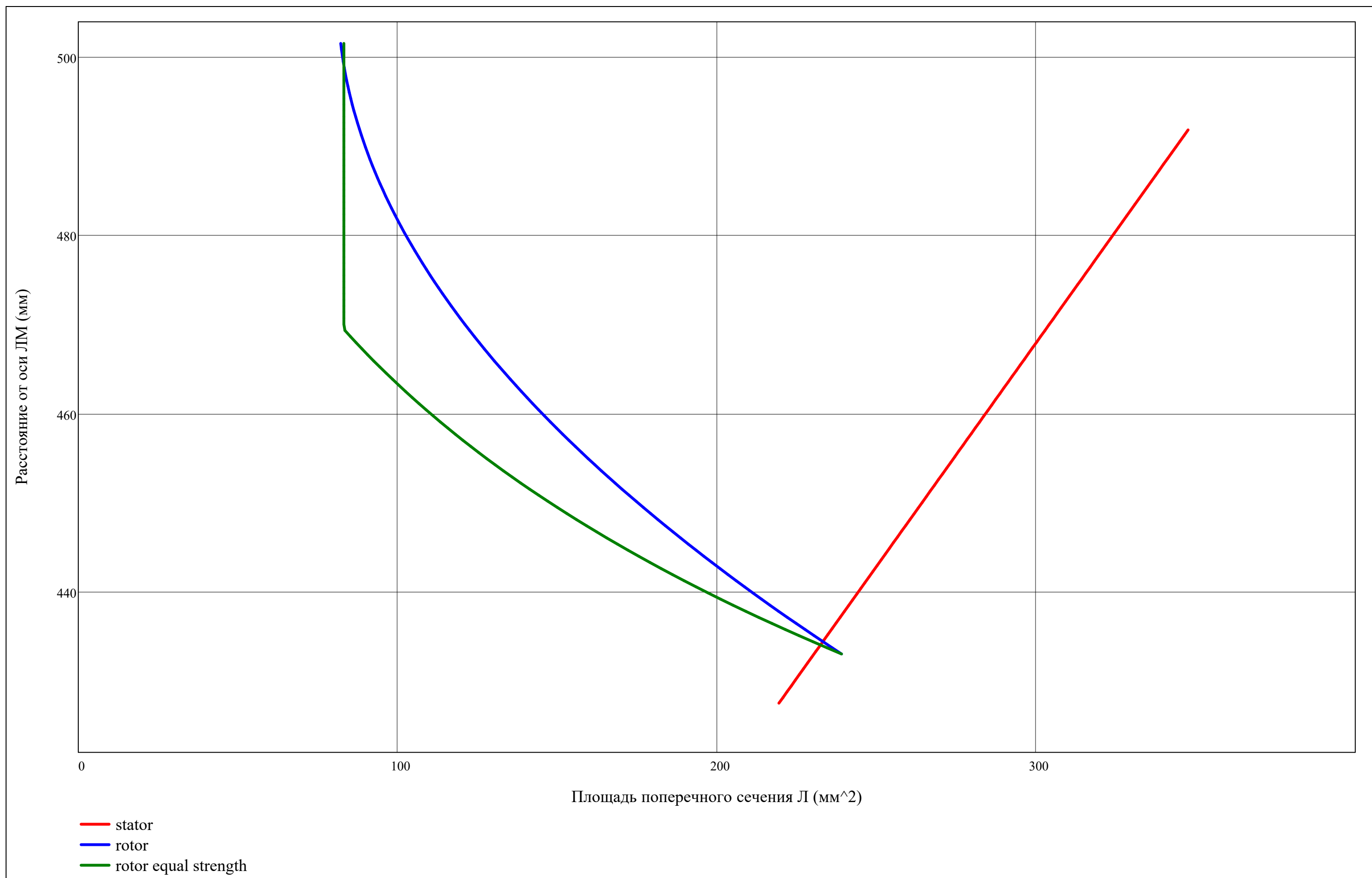
Расстояния от оси ЛМ до рассматриваемой ступени (м):

$$Rj = \text{submatrix}\left(R, 2 \cdot j - 1, 2 \cdot j + 1, 1, N_r\right) =$$

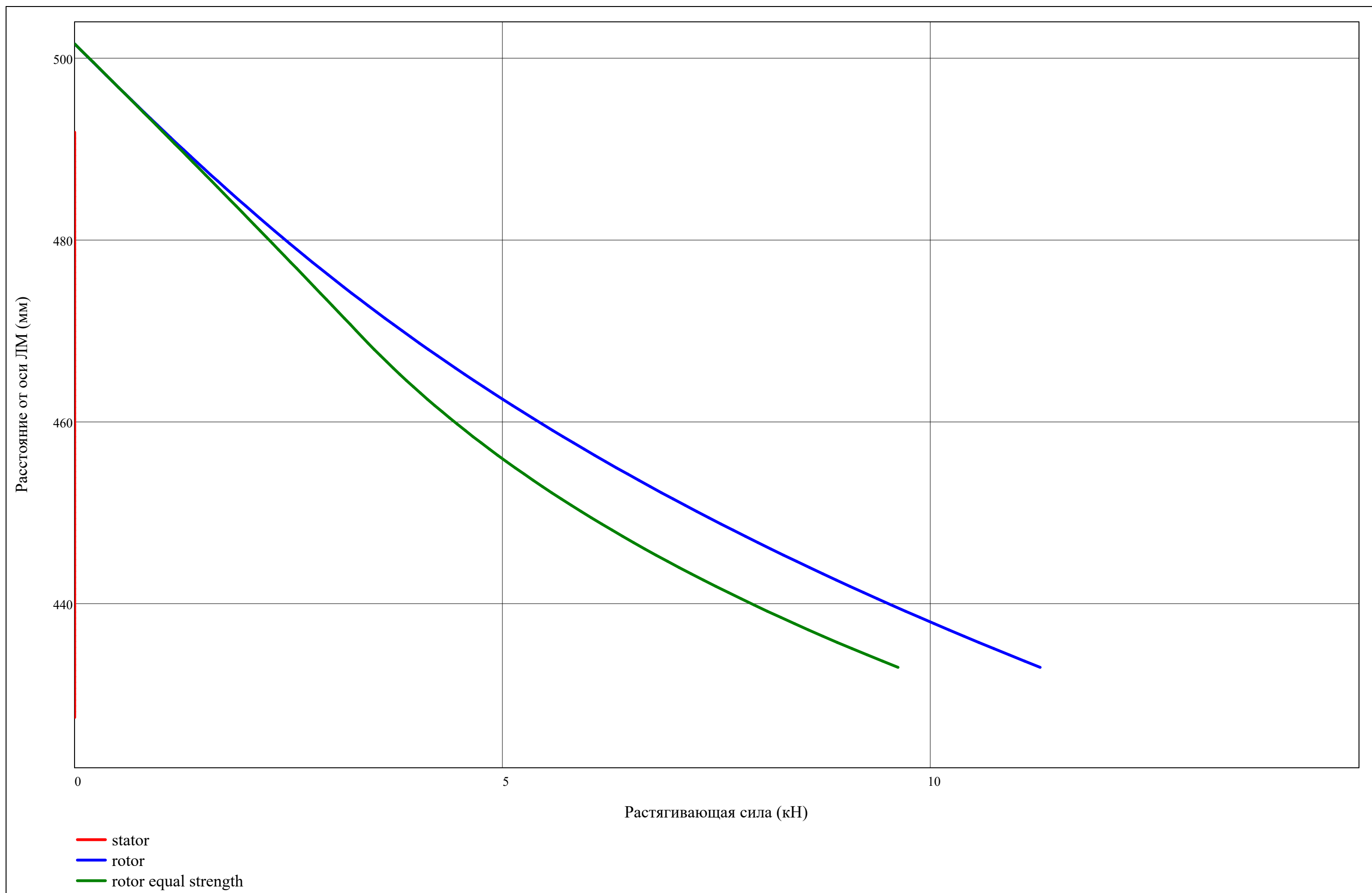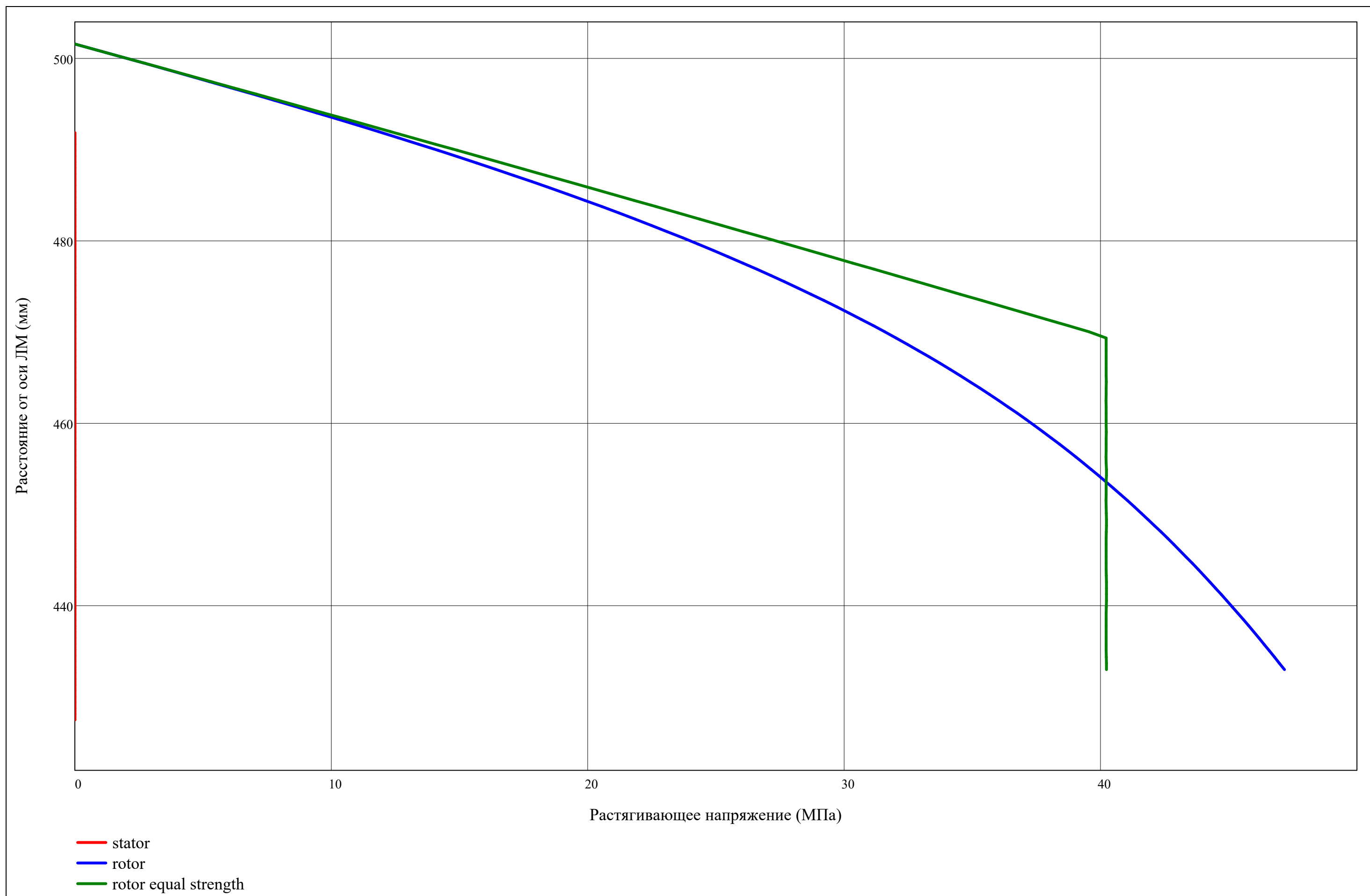|	1	2	3
1	422.0	453.2	484.5
2	433.0	466.0	499.1
3	433.0	468.5	503.9

$\cdot 10^{-3}$

Дискретизация по высоте Л:

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

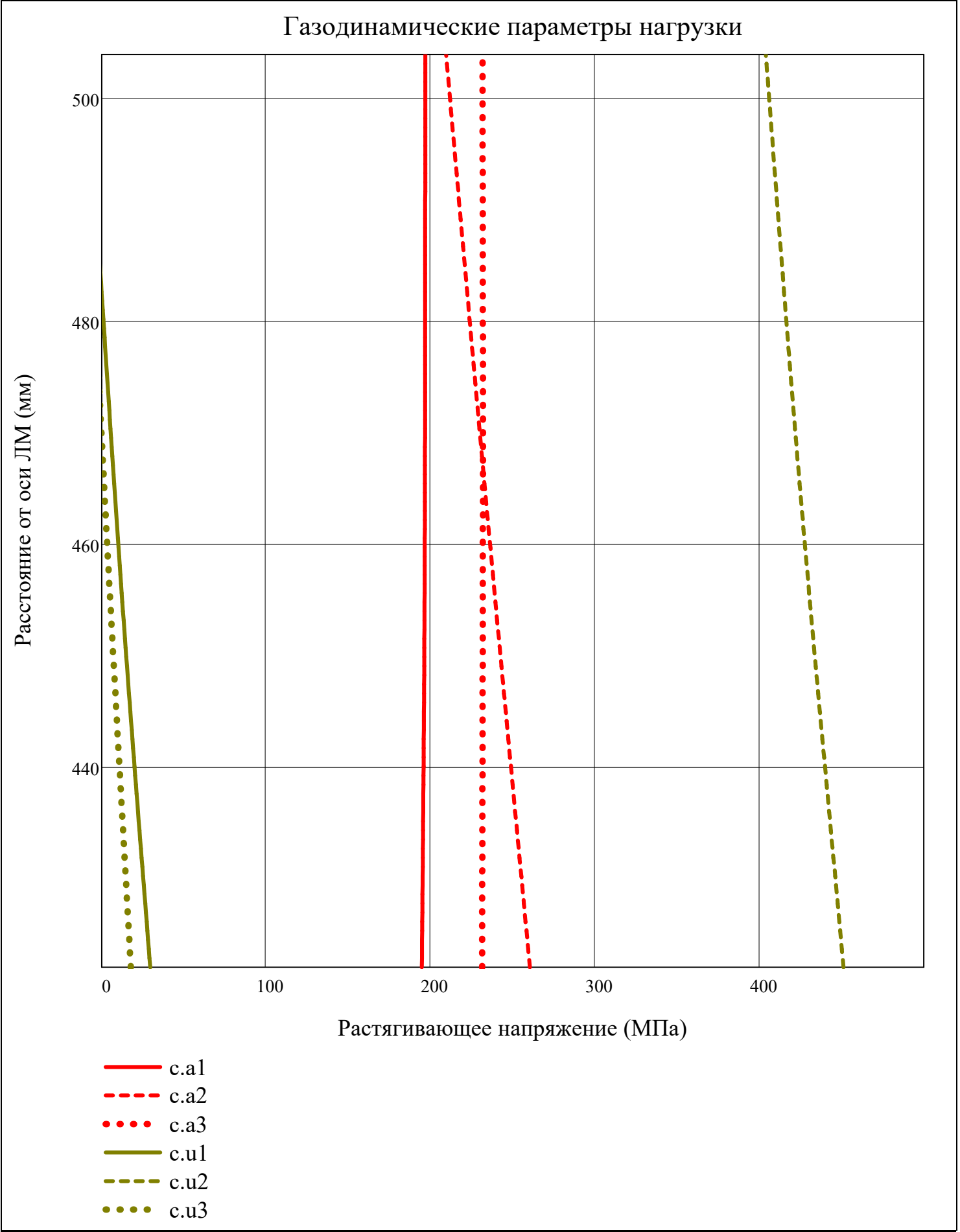$$z_{rotor} = \left| \begin{array}{l} \text{mean}\left(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}\right), \text{mean}\left(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}\right) + \dfrac{\text{mean}\left(Rj_{1,N_r}, Rj_{2,N_r}\right) - \text{mean}\left(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}\right)}{100} .. \text{mean}\left(Rj_{1,N_r}, Rj_{2,N_r}\right) \quad \text{if type} = \text{"compressor"} \\[3mm] \text{mean}\left(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}\right), \text{mean}\left(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}\right) + \dfrac{\text{mean}\left(Rj_{2,N_r}, Rj_{3,N_r}\right) - \text{mean}\left(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}\right)}{100} .. \text{mean}\left(Rj_{2,N_r}, Rj_{3,N_r}\right) \quad \text{if type} = \text{"turbine"} \end{array} \right.$$

$$z_{stator} = \left| \begin{array}{l} \text{mean}\left(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}\right), \text{mean}\left(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}\right) + \dfrac{\text{mean}\left(Rj_{2,N_r}, Rj_{3,N_r}\right) - \text{mean}\left(Rj_{2,1}, Rj_{3,1}\right)}{100} .. \text{mean}\left(Rj_{2,N_r}, Rj_{3,N_r}\right) \quad \text{if type} = \text{"compressor"} \\[3mm] \text{mean}\left(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}\right), \text{mean}\left(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}\right) + \dfrac{\text{mean}\left(Rj_{1,N_r}, Rj_{2,N_r}\right) - \text{mean}\left(Rj_{1,1}, Rj_{2,1}\right)}{100} .. \text{mean}\left(Rj_{1,N_r}, Rj_{2,N_r}\right) \quad \text{if type} = \text{"turbine"} \end{array} \right.$$
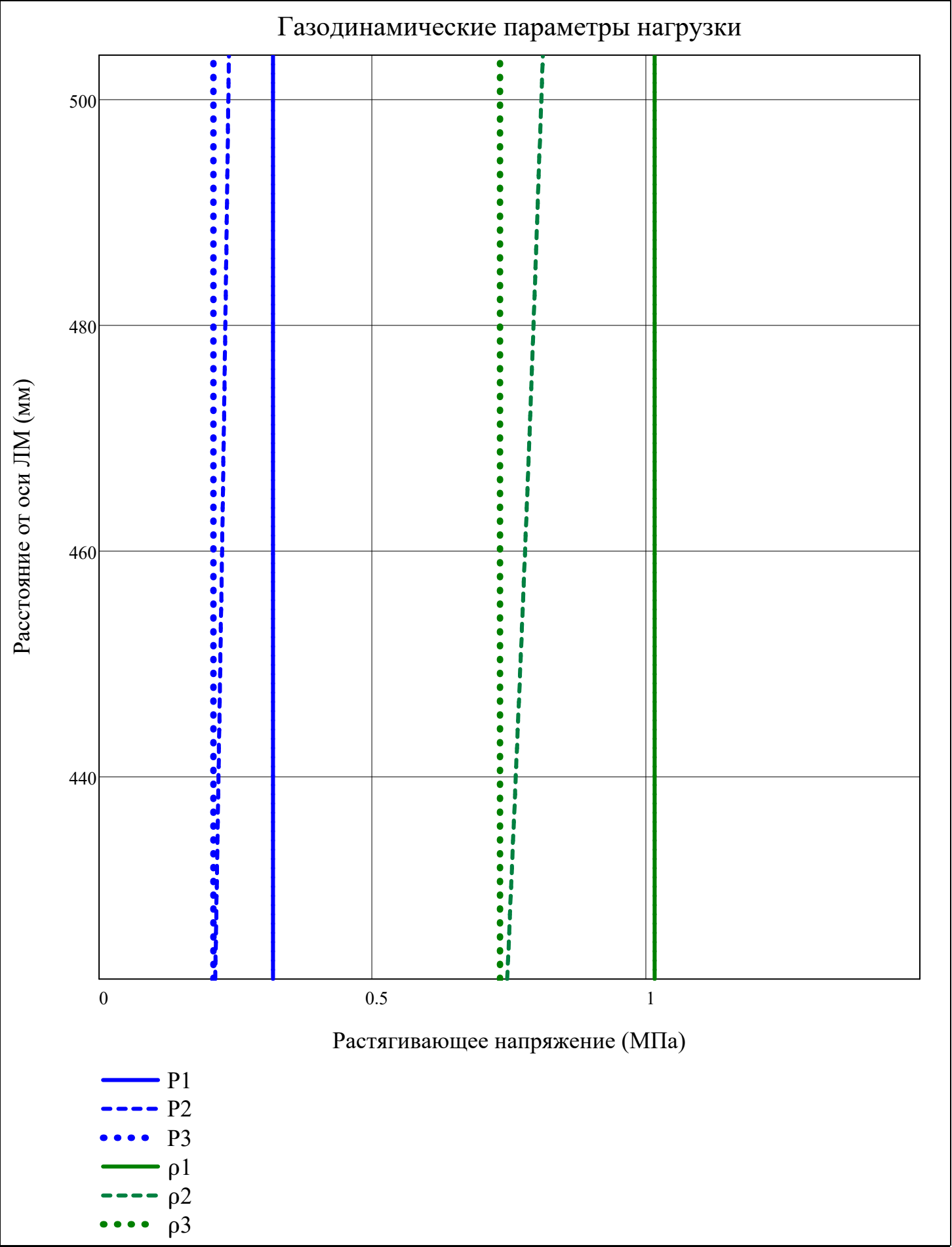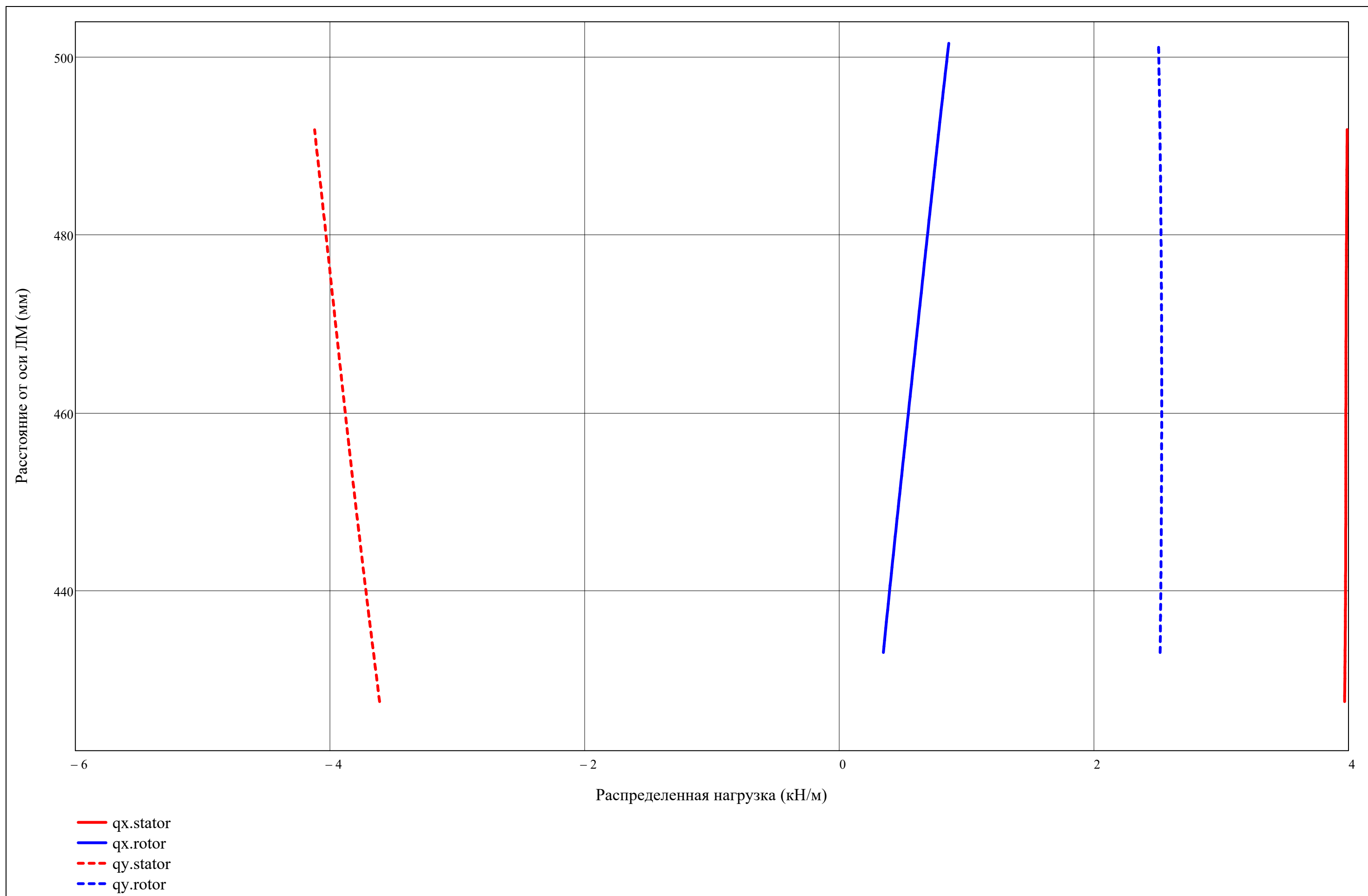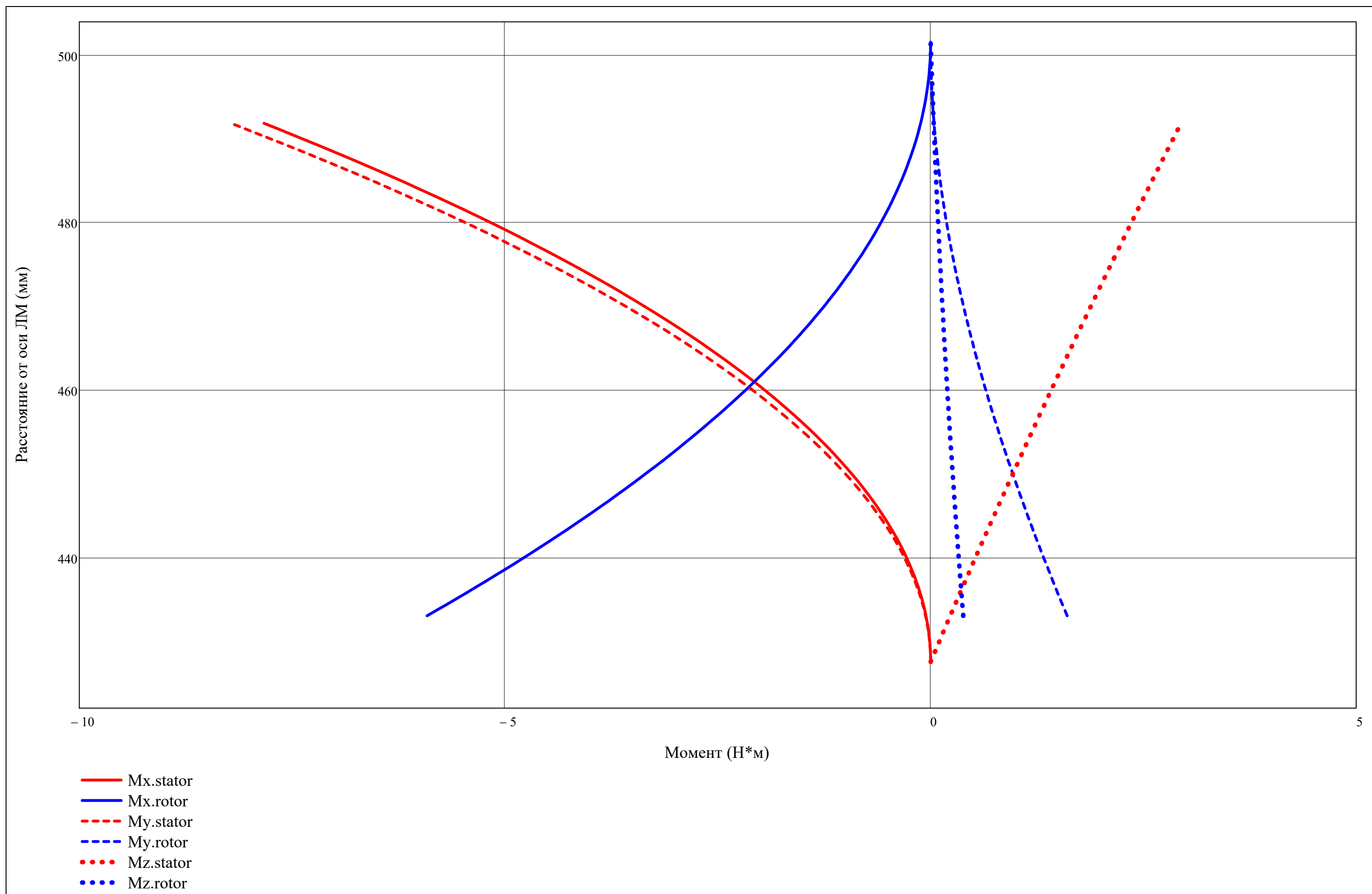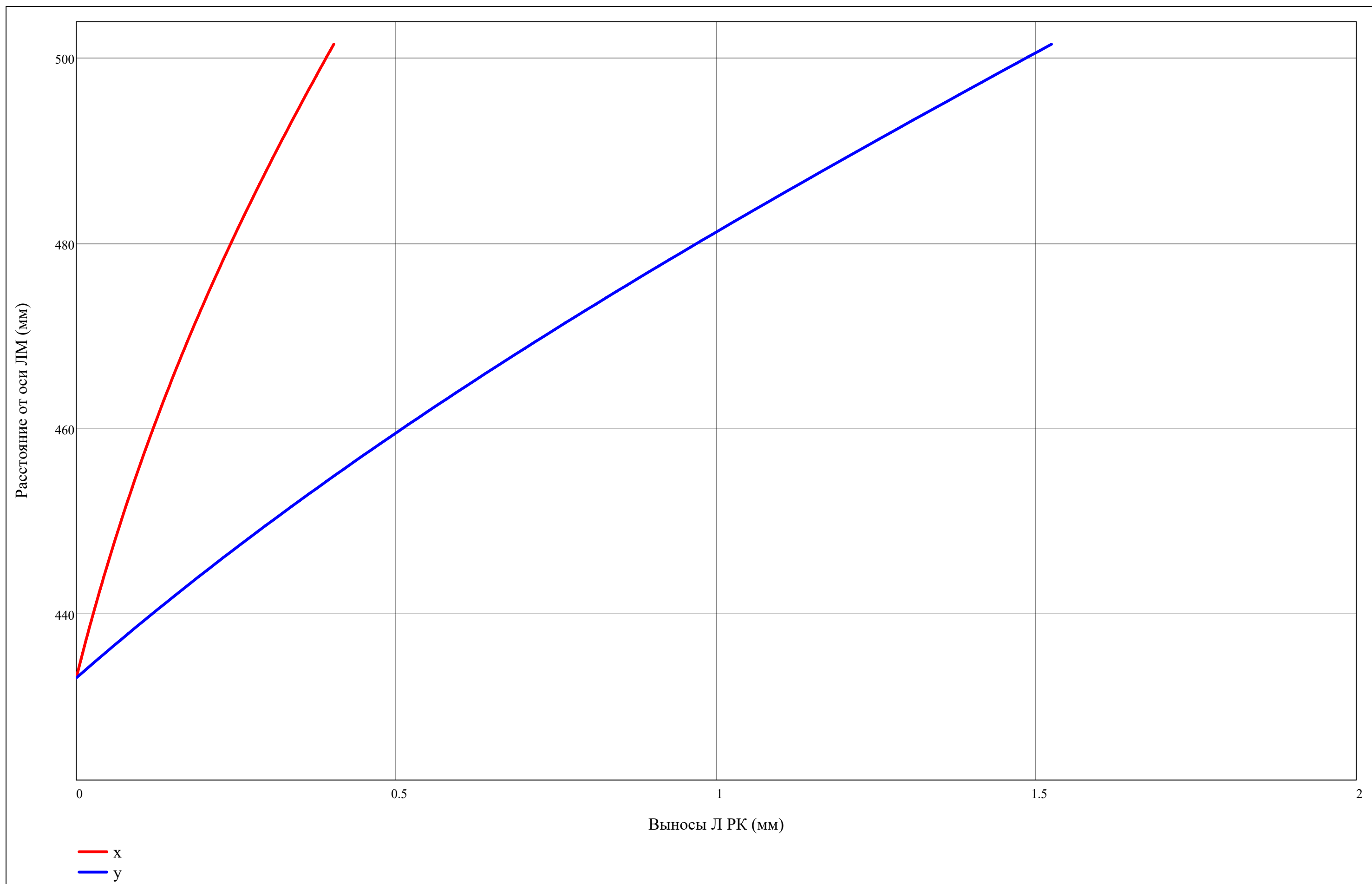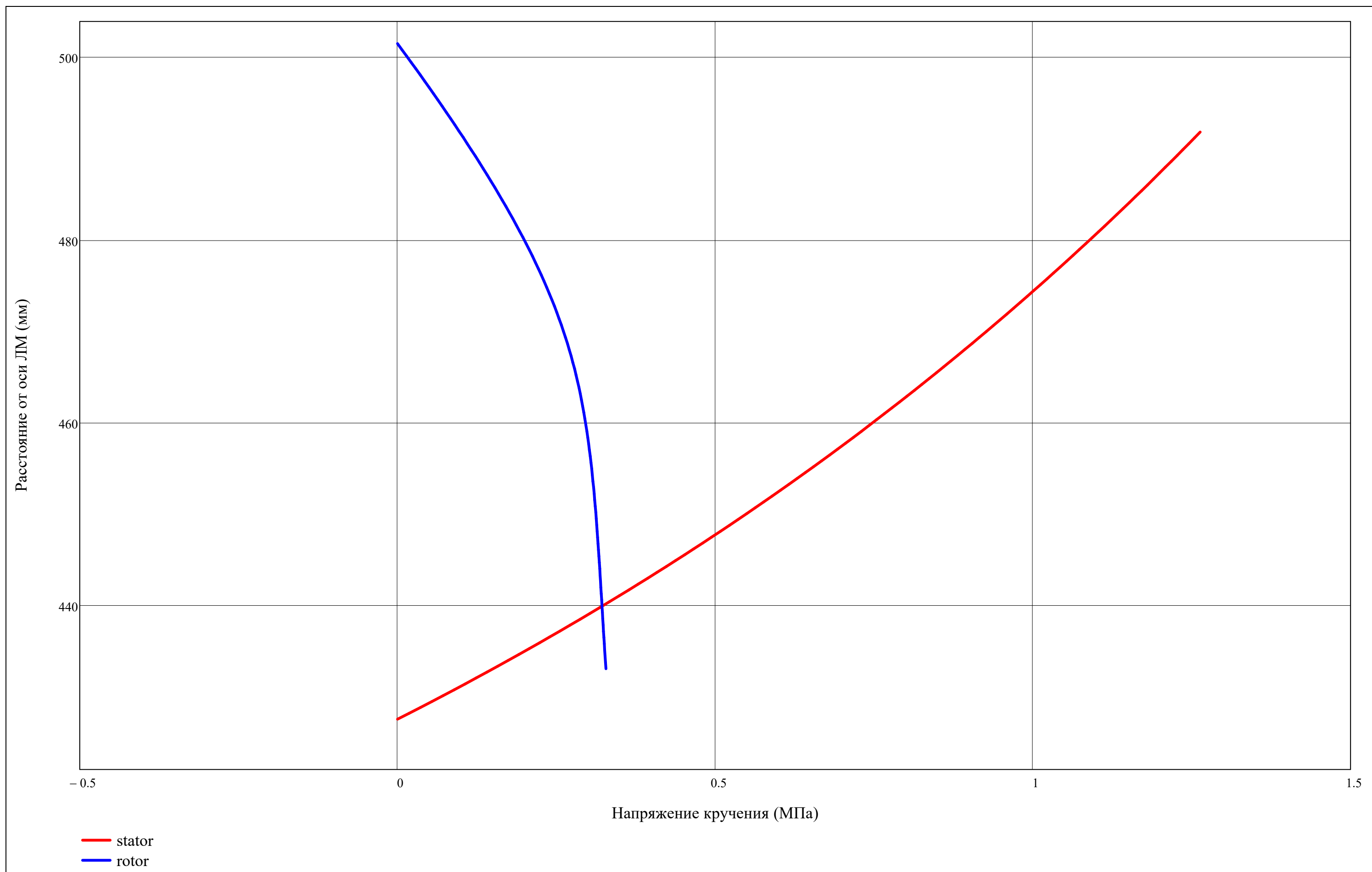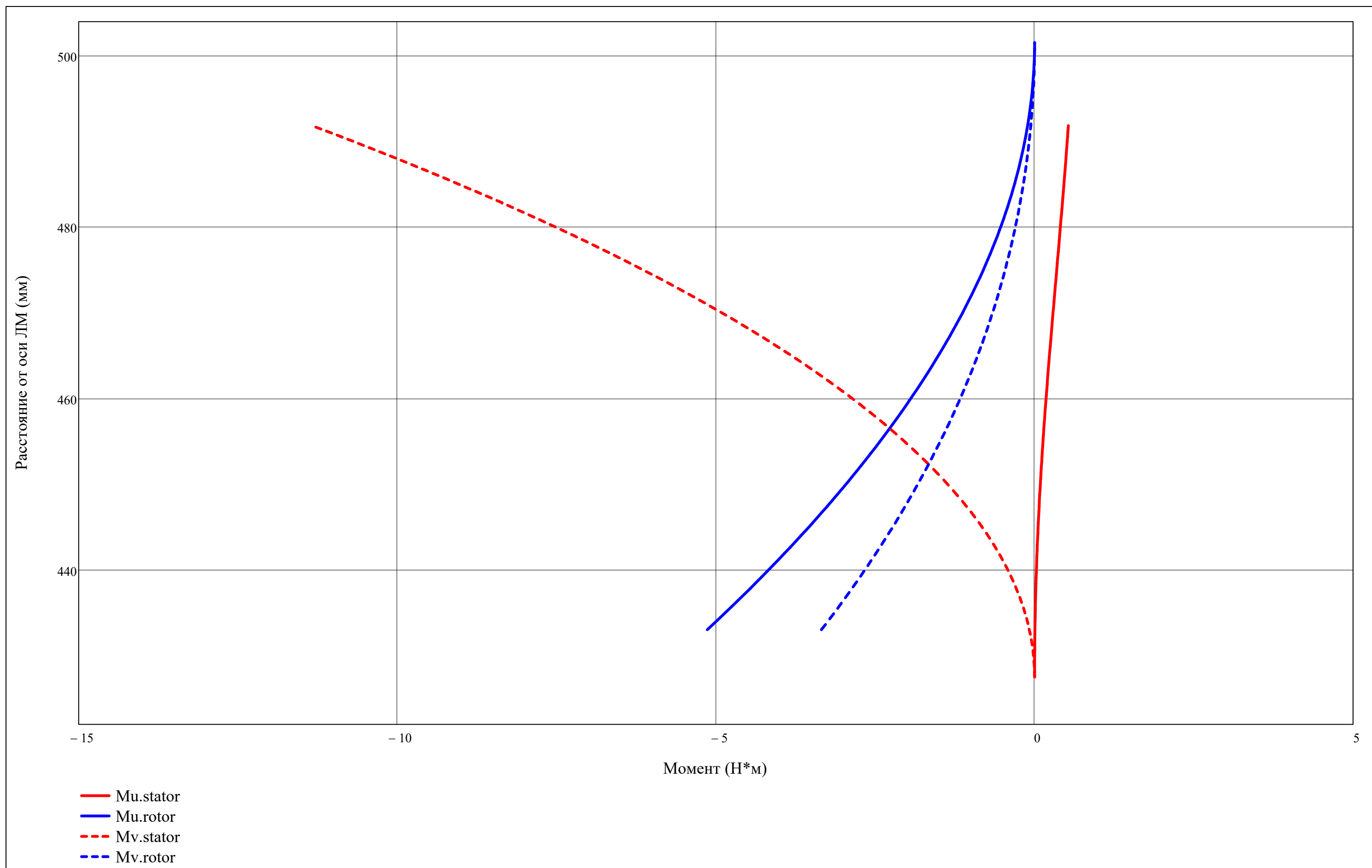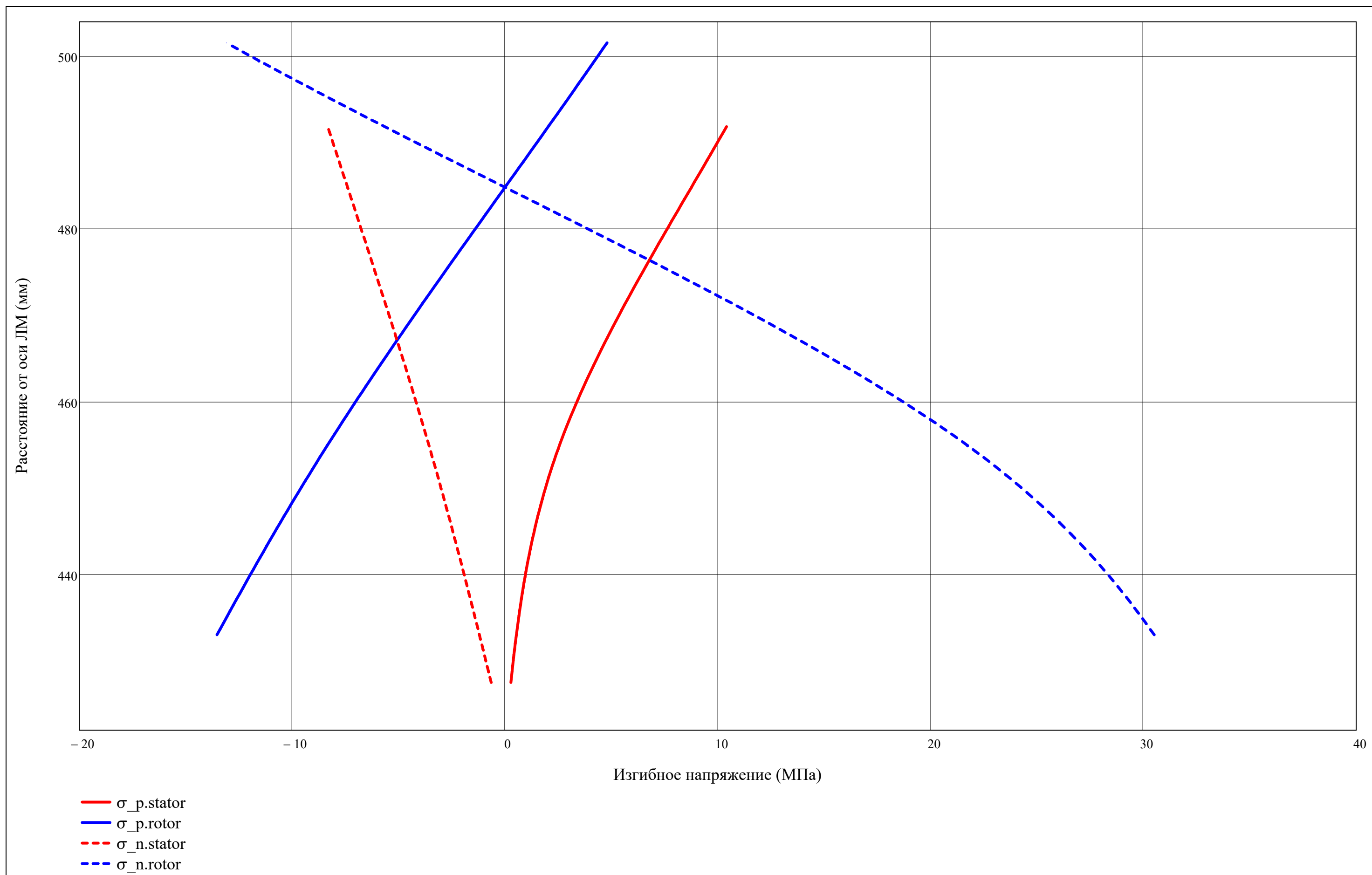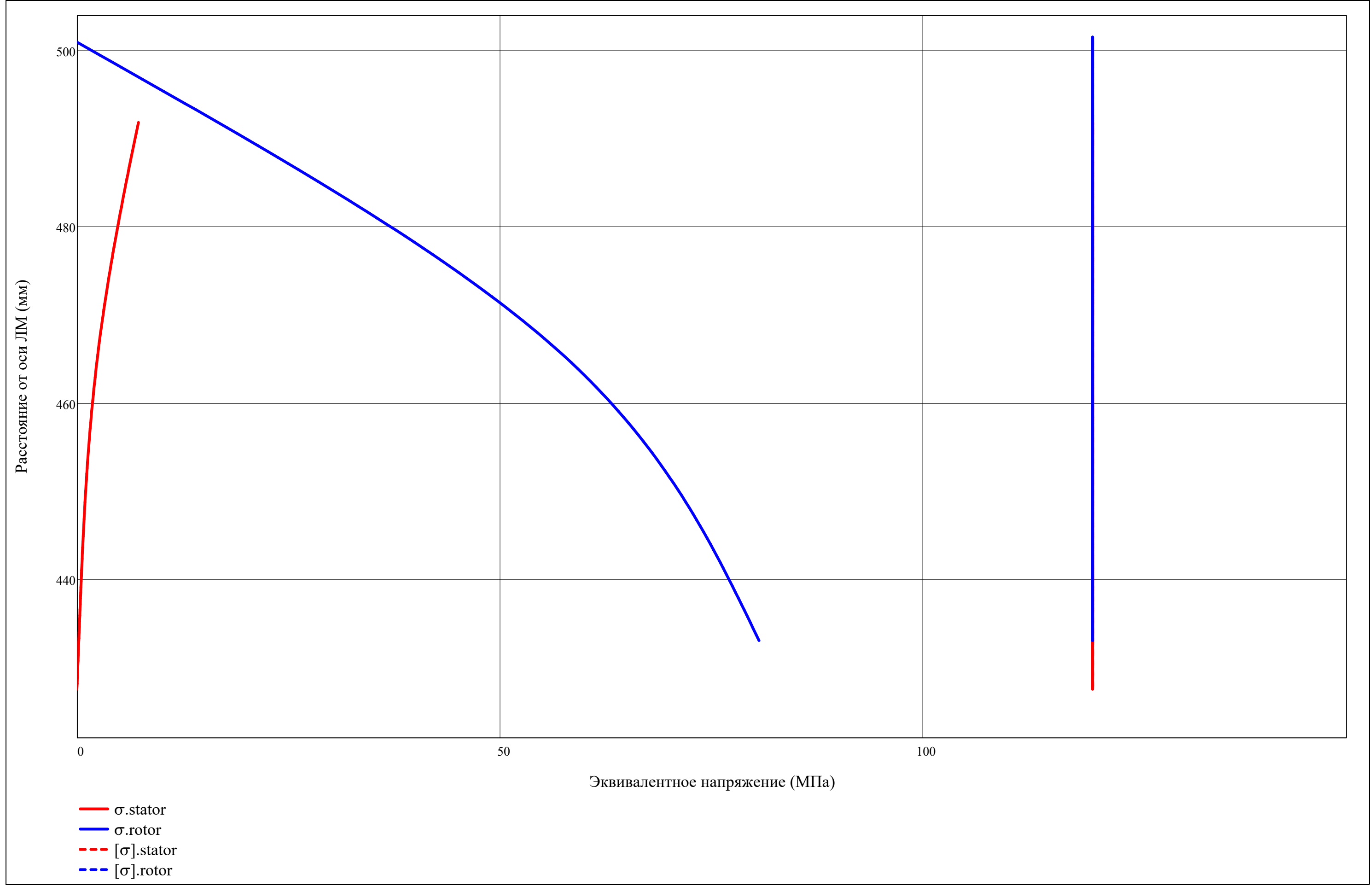
Результаты расчета на прочность Л

Y-axis: Расстояние от оси ЛМ (мм)

X-axis: Растягивающая сила (кН)

- stator
- rotor
- rotor equal strength

Растягивающее напряжение (МПа)

Расстояние от оси ЛМ (мм)

- stator
- rotor
- rotor equal strength

Газодинамические параметры нагрузки

Газодинамические параметры нагрузки

Расстояние от оси ЛМ (мм)

Растягивающее напряжение (МПа)

P1
P2
P3
ρ1
ρ2
ρ3

c.a1
c.a2
c.a3
c.u1
c.u2
c.u3

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	-0.62	3.77
2	25.85	-9.14
3	22.59	8.77
4	-24.75	-15.93

$\cdot 10^{-3}$

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	-8.8	2.3
2	22.6	-3.4

$\cdot 10^{6}$

Эквивалентные напряжения (Па):

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

	1
1	2.5
2	56.7

$\cdot 10^{6}$

Коэф. запаса:

$$\begin{pmatrix} \text{safety}_{stator_{j,r}} \\ \text{safety}_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1
1	48.515
2	2.117

$$\begin{pmatrix} v\_p \\ v\_n \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} v\_u_{rotor_{j,r}} \\ v\_l_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade = "rotor"} \\ \begin{pmatrix} v\_u_{stator_{j,r}} \\ v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{vmatrix} =$$

	1
1	8.774
2	-15.935

$\cdot 10^{-3}$

$$\begin{pmatrix} x0 \\ y0 \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} x0_{rotor_{j,r}} \\ y0_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade = "rotor"} \\ \begin{pmatrix} x0_{stator_{j,r}} \\ y0_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{vmatrix} =$$

	1
1	29.217
2	6.773

$\cdot 10^{-3}$

$$\text{chord} = \begin{vmatrix} \text{chord}_{rotor_{j,r}} & \text{if blade = "rotor"} \\ \text{chord}_{stator_{j,r}} & \text{if blade = "stator"} \end{vmatrix} = 69.4 \cdot 10^{-3}$$

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

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

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	0.22	3.00
2	23.50	-8.08
3	37.61	15.82
4	-19.53	-22.31

$\cdot 10^{-3}$

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	-0.1	8.7
2	0.2	-7.4

$\cdot 10^6$

Эквивалентные напряжения (Па):

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

	1
1	8.8
2	3.3

$\cdot 10^6$

Коэф. запаса:

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

	1
1	13.626
2	36.173

$$\begin{pmatrix} \underline{v\_p} \\ \underline{v\_n} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} v\_u_{rotor_{j,r}} \\ v\_l_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade} = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} v\_u_{stator_{j,r}} \\ v\_l_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{vmatrix} =$$

	1
1	15.820
2	-22.312

$\cdot 10^{-3}$

$$\begin{pmatrix} \underline{x0} \\ \underline{y0} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} x0_{rotor_{j,r}} \\ y0_{rotor_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade} = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} x0_{stator_{j,r}} \\ y0_{stator_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{vmatrix} =$$

	1
1	29.217
2	7.440

$\cdot 10^{-3}$

$$\underline{chord} = \begin{vmatrix} chord_{rotor_{j,r}} & \text{if blade} = \text{"rotor"} \\ chord_{stator_{j,r}} & \text{if blade} = \text{"stator"} \end{vmatrix} = 69.4 \cdot 10^{-3}$$

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

$$\begin{pmatrix} \underset{\sim}{\text{blade}} \\ \underset{\sim}{r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{"rotor"} \\ 1 \end{pmatrix}$$
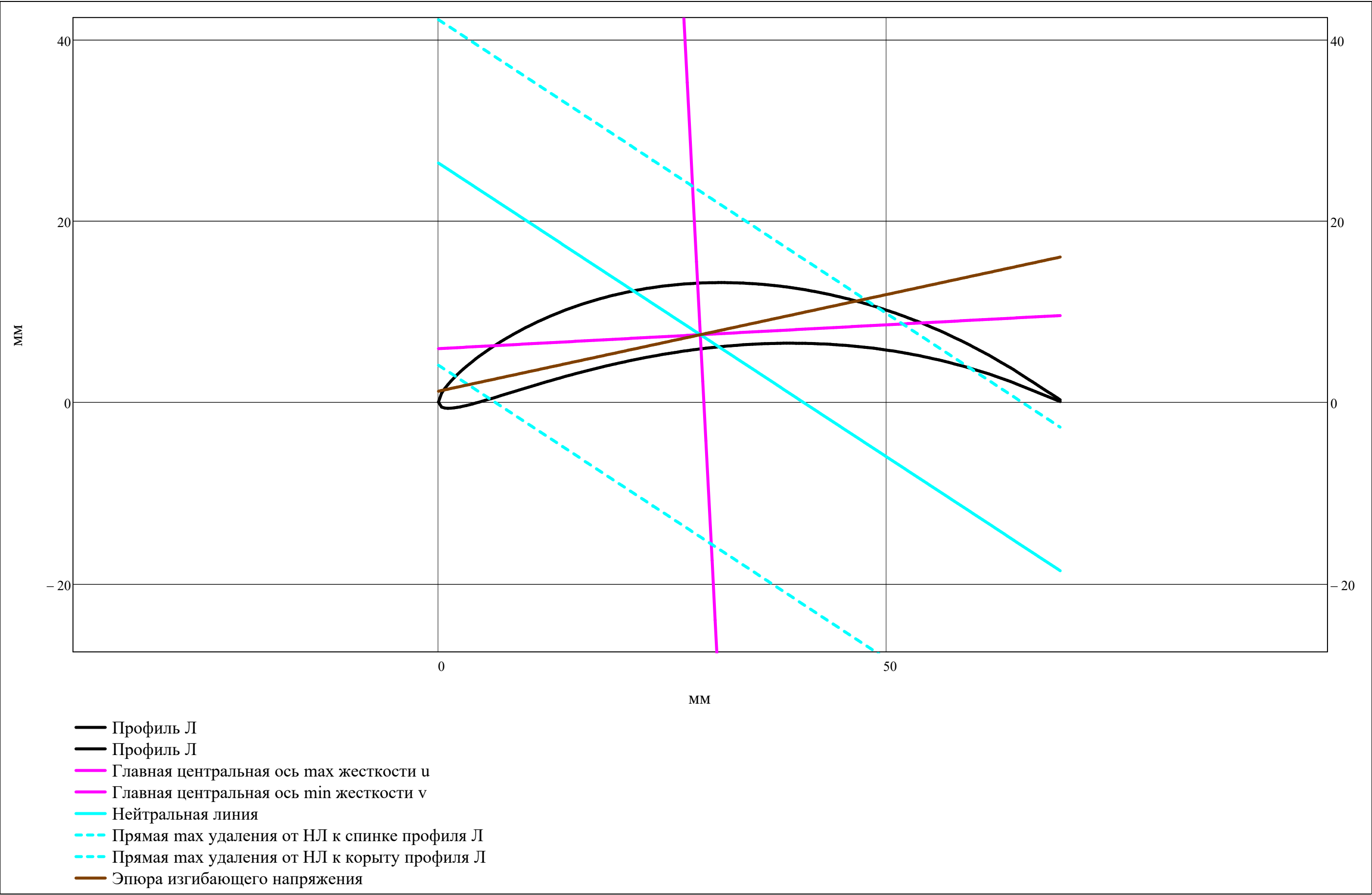
Наиболее удаленные точки от НЛ (мм):

$$\begin{pmatrix} u\_u_{\text{rotor}_{j,r}} & v\_u_{\text{rotor}_{j,r}} \\ u\_l_{\text{rotor}_{j,r}} & v\_l_{\text{rotor}_{j,r}} \\ u\_u_{\text{stator}_{j,r}} & v\_u_{\text{stator}_{j,r}} \\ u\_l_{\text{stator}_{j,r}} & v\_l_{\text{stator}_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1	2
1	-1.00	5.30
2	28.01	-10.22
3	15.69	6.03
4	-26.66	-12.00

$\cdot 10^{-3}$

Изгибные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{\text{rotor}_{j,r}} & \sigma\_p_{\text{stator}_{j,r}} \\ \sigma\_n_{\text{rotor}_{j,r}} & \sigma\_n_{\text{stator}_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1	2
1	-15.9	0.1
2	33.4	-0.1

$\cdot 10^{6}$

Эквивалентные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{\text{stator}_{j,r}} \\ \sigma_{\text{rotor}_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1
1	0.2
2	80.6

$\cdot 10^{6}$

Коэф. запаса:

$$\begin{pmatrix} \text{safety}_{\text{stator}_{j,r}} \\ \text{safety}_{\text{rotor}_{j,r}} \end{pmatrix} =$$

	1
1	751.571
2	1.490

$$\begin{pmatrix} \underset{\sim}{v\_p} \\ \underset{\sim}{v\_n} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} v\_u_{\text{rotor}_{j,r}} \\ v\_l_{\text{rotor}_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade} = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} v\_u_{\text{stator}_{j,r}} \\ v\_l_{\text{stator}_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{vmatrix} =$$

	1
1	5.299
2	-10.223

$\cdot 10^{-3}$

$$\begin{pmatrix} \underset{\sim}{x0} \\ y0 \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} x0_{\text{rotor}_{j,r}} \\ y0_{\text{rotor}_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade} = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} x0_{\text{stator}_{j,r}} \\ y0_{\text{stator}_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{vmatrix} =$$

	1
1	21.043
2	7.333

$\cdot 10^{-3}$

$$\underset{\sim}{\text{chord}} = \begin{vmatrix} \text{chord}_{\text{rotor}_{j,r}} & \text{if blade} = \text{"rotor"} \\ \text{chord}_{\text{stator}_{j,r}} & \text{if blade} = \text{"stator"} \end{vmatrix} = 50.0 \cdot 10^{-3}$$

мм

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

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

Наиболее удаленные точки от НЛ (мм):

$$\begin{pmatrix} u\_u_{\text{rotor}_{j,r}} & v\_u_{\text{rotor}_{j,r}} \\ u\_l_{\text{rotor}_{j,r}} & v\_l_{\text{rotor}_{j,r}} \\ u\_u_{\text{stator}_{j,r}} & v\_u_{\text{stator}_{j,r}} \\ u\_l_{\text{stator}_{j,r}} & v\_l_{\text{stator}_{j,r}} \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 1 & 2 \\ \hline 1 & -0.62 & 3.77 \\ \hline 2 & 25.85 & -9.14 \\ \hline 3 & 22.59 & 8.77 \\ \hline 4 & -24.75 & -15.93 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

Изгибные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma\_p_{\text{rotor}_{j,r}} & \sigma\_p_{\text{stator}_{j,r}} \\ \sigma\_n_{\text{rotor}_{j,r}} & \sigma\_n_{\text{stator}_{j,r}} \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 1 & 2 \\ \hline 1 & -8.8 & 2.3 \\ \hline 2 & 22.6 & -3.4 \\ \hline \end{array} \cdot 10^6$$

Эквивалентные напряжения (Па):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{\text{stator}_{j,r}} \\ \sigma_{\text{rotor}_{j,r}} \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 2.5 \\ \hline 2 & 56.7 \\ \hline \end{array} \cdot 10^6$$

Коэф. запаса:

$$\begin{pmatrix} \text{safety}_{\text{stator}_{j,r}} \\ \text{safety}_{\text{rotor}_{j,r}} \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 48.515 \\ \hline 2 & 2.117 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{pmatrix} \underset{\sim}{v\_p} \\ \underset{\sim}{v\_n} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} v\_u_{\text{rotor}_{j,r}} \\ v\_l_{\text{rotor}_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade} = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} v\_u_{\text{stator}_{j,r}} \\ v\_l_{\text{stator}_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{vmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 3.765 \\ \hline 2 & -9.138 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{pmatrix} \underset{\sim}{x0} \\ \underset{\sim}{y0} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \begin{pmatrix} x0_{\text{rotor}_{j,r}} \\ y0_{\text{rotor}_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{if blade} = \text{"rotor"} \\ \begin{pmatrix} x0_{\text{stator}_{j,r}} \\ y0_{\text{stator}_{j,r}} \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{vmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 19.349 \\ \hline 2 & 6.782 \\ \hline \end{array} \cdot 10^{-3}$$

$$\underset{\sim}{\text{chord}} = \begin{vmatrix} \text{chord}_{\text{rotor}_{j,r}} & \text{if blade} = \text{"rotor"} \\ \text{chord}_{\text{stator}_{j,r}} & \text{if blade} = \text{"stator"} \end{vmatrix} = 45.9 \cdot 10^{-3}$$

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

Вывод результатов расчета Л на прочность

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

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

Плотность материала Д (кг/м^3):

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

Предел длительной прочности Д (Па):

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

$material\_disk^T =$

	1	2	3	4
1	"ЭП742"	"ЭП742"	"ЭП742"	"ЭП742"

$\rho\_disk^T =$

	1	2	3	4
1	8320	8320	8320	8320

$\sigma\_disk\_long^T =$

	1	2	3	4
1	680	680	680	680

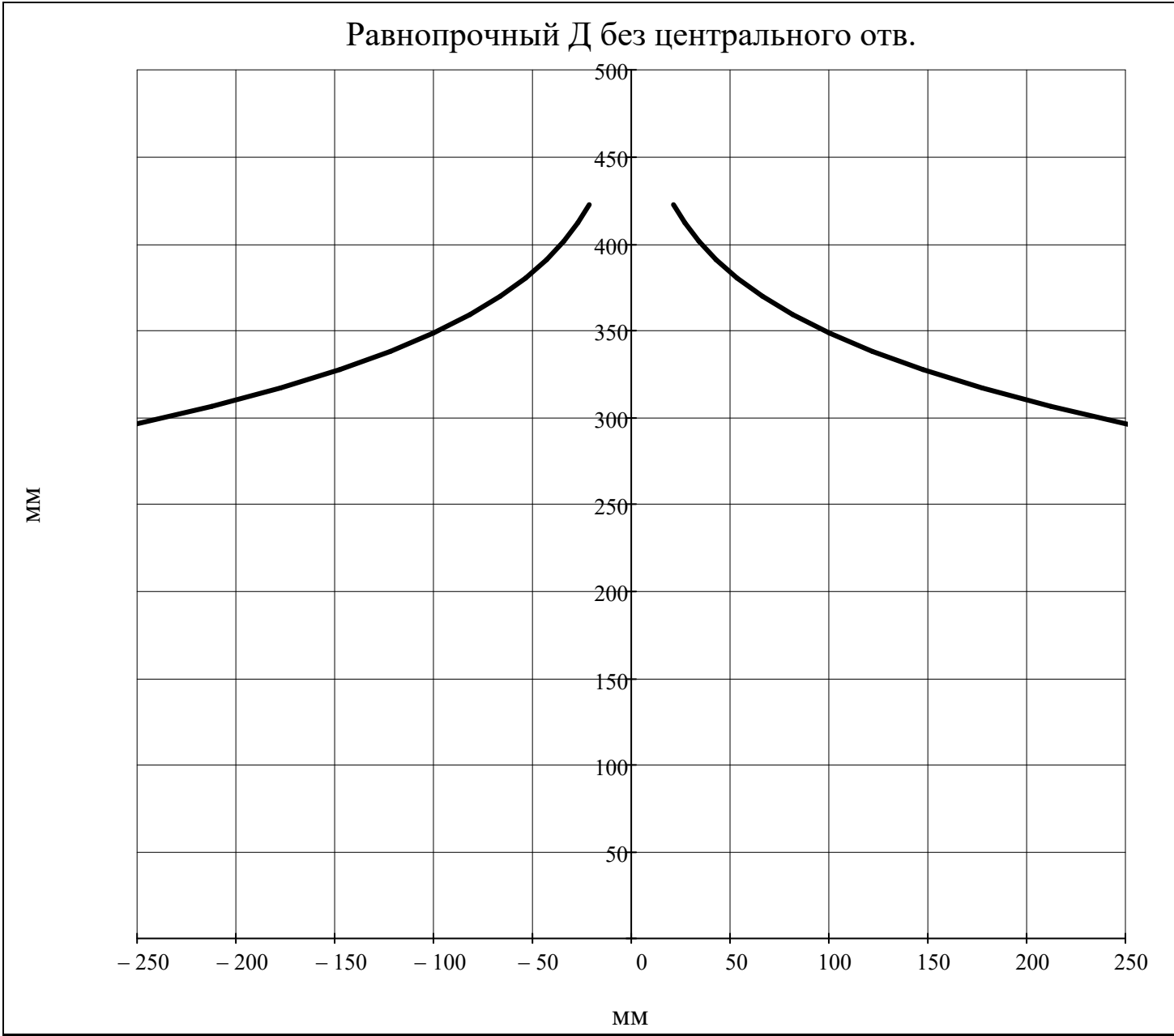$\cdot 10^6$

Рассматриваемая ступень:

$$i_v = \begin{vmatrix} j = Z & = 4 \\ j = \begin{vmatrix} \text{"Такой ступени не существует!"} & \text{if } (j < 1) \vee (j > Z) \\ j & \text{otherwise} \end{vmatrix} \end{vmatrix}$$

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

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

Равнопрочный Д без центрального отв.

$$\underset{\sim\sim\sim}{\text{type}} = \begin{array}{|l} \text{type} = \text{"stator"} \hspace{4cm} = \text{"stator"} \\ \text{type} = \begin{array}{|l} \text{"Нет такого типа!"} \quad \text{if} \ \ \text{type} \neq \text{"stator"} \land \text{type} \neq \text{"rotor"} \\ \text{type} \quad \text{otherwise} \end{array} \end{array}$$

Рассматриваемая ступень: $\underset{\wedge\wedge}{\text{j}} = \begin{array}{|l} \text{j} = 1 \hspace{5cm} = 1 \\ \text{j} = \begin{array}{|l} \text{"Такой ступени не существует!"} \quad \text{if} \ (\text{j} < 1) \lor (\text{j} > \text{Z}) \\ \text{j} \quad \text{otherwise} \end{array} \end{array}$
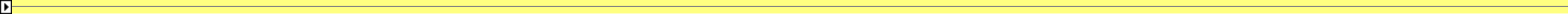
$$\begin{pmatrix} c_{st(j,1),r} \\ c_{st(j,2),r} \\ c_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 196.80 \\ 511.29 \\ 231.75 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} c_{a_{st(j,1),r}} \\ c_{a_{st(j,2),r}} \\ c_{a_{st(j,3),r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 194.59 \\ 253.24 \\ 231.37 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} w_{st(j,1),r} \\ w_{st(j,2),r} \\ w_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 282.51 \\ 325.09 \\ 324.12 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \alpha_{st(j,1),r} \\ \alpha_{st(j,2),r} \\ \alpha_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 81.41 \\ 29.69 \\ 86.70 \end{pmatrix}, °$$

$$\begin{pmatrix} u_{st(j,1),r} \\ u_{st(j,2),r} \\ u_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 234.20 \\ 240.32 \\ 240.32 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \beta_{st(j,1),r} \\ \beta_{st(j,2),r} \\ \beta_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 43.53 \\ 128.83 \\ 45.55 \end{pmatrix}, °$$

$$\varepsilon_{stator_{j,r}} = 51.72, °$$

$$\varepsilon_{rotor_{j,r}} = 83.28, °$$

$$\begin{pmatrix} c_{st(j,1),r} \\ c_{st(j,2),r} \\ c_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 196.62 \\ 483.45 \\ 231.73 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} c_{a_{st(j,1),r}} \\ c_{a_{st(j,2),r}} \\ c_{a_{st(j,3),r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 196.19 \\ 232.28 \\ 231.73 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} w_{st(j,1),r} \\ w_{st(j,2),r} \\ w_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 308.77 \\ 285.12 \\ 348.14 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \alpha_{st(j,1),r} \\ \alpha_{st(j,2),r} \\ \alpha_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 86.17 \\ 28.72 \\ 89.95 \end{pmatrix} \cdot °$$

$$\begin{pmatrix} u_{st(j,1),r} \\ u_{st(j,2),r} \\ u_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 251.56 \\ 258.65 \\ 260.00 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \beta_{st(j,1),r} \\ \beta_{st(j,2),r} \\ \beta_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 39.45 \\ 125.44 \\ 41.73 \end{pmatrix} \cdot °$$

$$\varepsilon_{stator_{j,r}} = 57.46 \cdot °$$

$$\varepsilon_{rotor_{j,r}} = 83.71 \cdot °$$

$$\begin{pmatrix} c_{st(j,1),r} \\ c_{st(j,2),r} \\ c_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 196.61 \\ 458.40 \\ 231.72 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} c_{a_{st(j,1),r}} \\ c_{a_{st(j,2),r}} \\ c_{a_{st(j,3),r}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 196.60 \\ 212.23 \\ 231.46 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} w_{st(j,1),r} \\ w_{st(j,2),r} \\ w_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 333.95 \\ 248.53 \\ 371.50 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \alpha_{st(j,1),r} \\ \alpha_{st(j,2),r} \\ \alpha_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 90.30 \\ 27.58 \\ 92.70 \end{pmatrix} \cdot °$$

$$\begin{pmatrix} u_{st(j,1),r} \\ u_{st(j,2),r} \\ u_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 268.92 \\ 276.98 \\ 279.68 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \beta_{st(j,1),r} \\ \beta_{st(j,2),r} \\ \beta_{st(j,3),r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 36.07 \\ 121.36 \\ 38.54 \end{pmatrix} \cdot °$$

$$\varepsilon_{stator_{j,r}} = 62.72 \cdot °$$

$$\varepsilon_{rotor_{j,r}} = 82.82 \cdot °$$