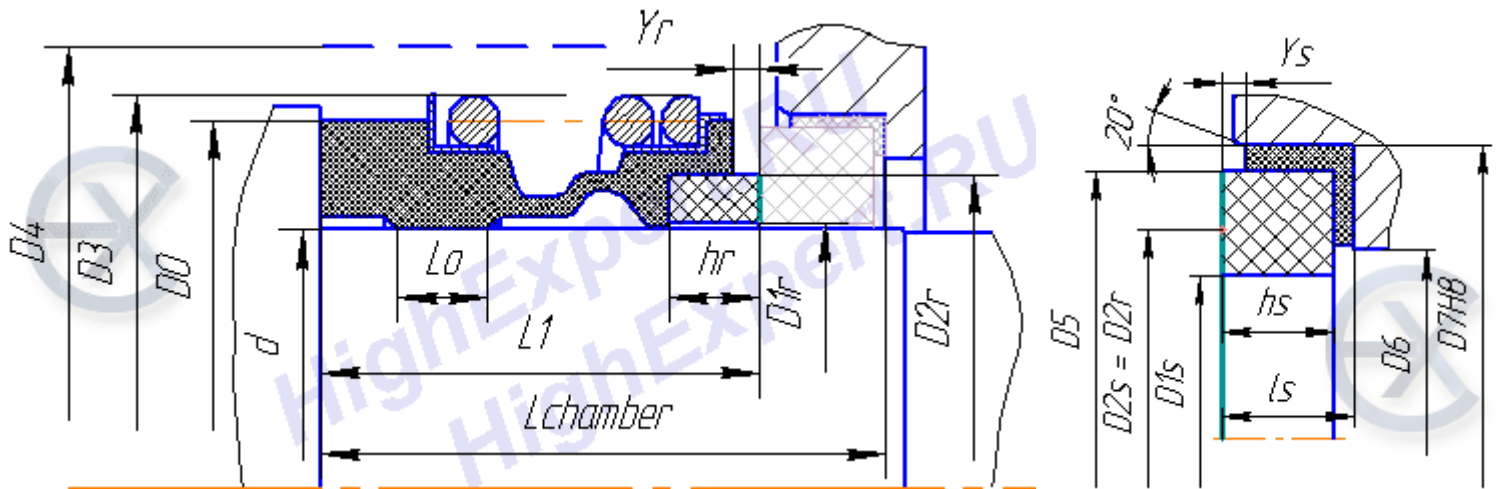


Расчет торцевого уплотнения вращающегося вала насоса (Module 1)

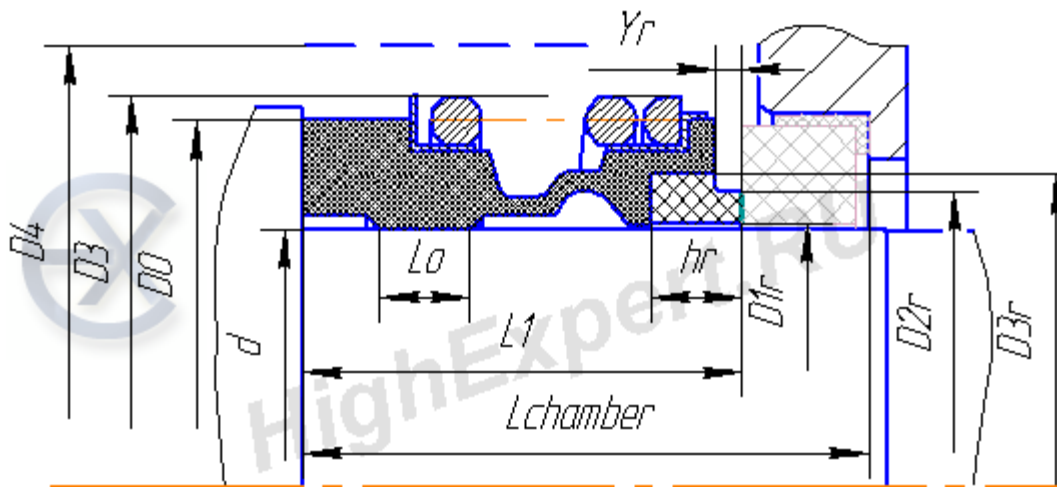
Настоящий расчет некоторых параметров торцевого уплотнения с резиновой защитной оболочкой проводится с использованием библиотеки MSL LITE (DEMO), поэтому выводится лишь малая часть результатов расчета. Для настоящей усеченной версии библиотеки предполагается применение колец пары трения только простого прямоугольного сечения. Уточненный расчет параметров торцевого уплотнения с заданием геометрии колец пары трения более сложной формы для различных материалов и рабочих жидкостей возможен только в зарегистрированной версии MSLC LITE X.

Эскиз торцевого уплотнения и конtringльца простой прямоугольной формы с Г-образной резиновой манжетой:

Для кольца вращения без ступеньки диаметр $D3r = D2r$:



Для кольца вращения со ступенькой диаметр $D3r > D2r$:



Исходные данные:

- $d := 40$ мм - диаметр вала под установку торцового уплотнения
- $D_4 := 75$ мм - диаметр камеры в оборудовании под установку торцового уплотнения
- $D_6 := 50$ мм - диаметр отверстия в корпусе (фланце) насоса под выход вала
- $D_7 := 58$ мм - установочный диаметр в корпусе (фланце) насоса под конtringкольцо
- $D_{1r} := 42.0$ мм - внутренний диаметр вращающегося кольца пары трения
- $D_{2r} := 48.0$ мм - наружный рабочий диаметр вращающегося кольца пары трения
- $D_{3r} := 50.0$ мм - наружный максимальный диаметр вращающегося кольца пары трения $D_{3r} \geq D_{2r}$
- $h_r := 8$ мм - высота вращающегося кольца пары трения
- $Y_r := 2.5$ мм - осевая длина поверхности вращающегося кольца на наружном диаметре D_{2r} , омываемая рабочей жидкостью
- $\epsilon_r := 0.15$ - степень обжатия вращающегося кольца пары трения в резиновой оболочке
- $D_{1s} := 41.5$ мм - внутренний диаметр неподвижного кольца (контtringкольца) пары трения
- $D_{2s} := D_{2r}$ мм - рабочий диаметр неподвижного кольца (контtringкольца) пары трения равен наружному диаметру вращающегося кольца пары трения для контtringкольца
- $D_5 := 52$ мм - наружный диаметр неподвижного кольца пары трения (контtringкольца)
- $h_s := 7.8$ мм - высота неподвижного кольца пары трения (контtringкольца)

- $Y_s := 1.0$ мм - осевая длина поверхности контркольца на наружном диаметре D_5 , омываемая рабочей жидкостью
- $\epsilon_s := 0.12$ - степень обжатия контркольца в резиновой Г-образной манжете
- $L_1 := 36$ мм - установочная длина вращающейся части торцового уплотнения
- $D_3 := 60$ мм - максимальный наружный диаметр вращающейся части
- $D_o := 55$ мм - максимальный наружный диаметр резиновой оболочки вращающейся части торцового уплотнения
- $L_o := 5$ мм - поясок контакта резиновой оболочки с валом
- $f_{L_o} := 0.2$ - коэффициент трения покоя резиновой оболочки о вал насоса
- $\epsilon_{L_o} := 0.05$ - степень растяжения резиновой оболочки вращающейся части торцового уплотнения, обычно 0.03...0.07
- $E_{L_o} := 10$ МПа - модуль упругости резины (7...12 МПа): IRHD (твёрдость) = 70 - E = 7 МПа; IRHD 80 - E = 10 МПа
- $\Delta p := 2.0 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ - перепад давления рабочей жидкости на торцовом уплотнении (рабочая жидкость находится снаружи)
- $n := 3000$ мин⁻¹ - скорость вращения вала под торцовым уплотнением
- $t_{\text{inp}} := 25$ °С - температура рабочей жидкости на входе в камеру уплотнения (температура перекачиваемой жидкости, если она подаётся в камеру уплотнения с линии нагнетания насоса)
- $\Delta t_{1\text{max}} := 10$ °С - предельный перепад температуры рабочей жидкости между выходом и входом камеры торцового уплотнения, должен быть не более 10 °С необходимо уточнить после проведения первого расчёта с учётом температуры в паре трения и критериев термостойкости
- $F_{cs} := 9.0$ кгс - установочная сила пружины сжатия, для обеспечения необходимого начального контактного давления в паре трения торцового уплотнения $q_{cs} = 1.2...5.0$ кгс/см²
- $a := 0.57$ - начальное приближение коэффициента распределения давления рабочей жидкости в зазоре пары трения торцового уплотнения (**при раскрытии наружного диаметра коэффициент a стремится к 1**)
- $h_o := 0.15$ мкм - начальный зазор в паре трения при линейной скорости $v = 0$ (**неплоскостность поверхностей**).
- $C_{\text{ww}} := 0.60$ - коэффициент, зависит от вязкости жидкости, размеров и микрогеометрии поверхности колец пары трения торцового уплотнения, находится в диапазоне: **[0.6...0.8]**

$d_{\text{drop}} := 3.0$ мм - диаметр капли рабочей жидкости
(используется при расчёте утечки через пару трения - капли/мин)

PROCESSING_MEDIA_D2r := 1 - рабочая среда (жидкость) на диаметре D2r для торцового уплотнения:
0 - воздух;
1 - вода.
расчет с другими рабочими жидкостями доступен только в полнофункциональной версии программного комплекса и библиотеки

PROCESSING_MEDIA_D1r := 0 - рабочая среда (жидкость) на диаметре D1r для торцового уплотнения:
0 - воздух;
1 - вода.
расчет с другими рабочими жидкостями доступен только в полнофункциональной версии программного комплекса и библиотеки

$K_f := 2.0$ - уточняющий коэффициент трения, зависящий от сочетания материалов колец пары трения, а также от уплотняемой рабочей жидкости и режима работы $f(G)$, коэффициент находится в диапазоне **[0.5...2.0]**

$KWS := 0$ - *поправочный коэффициент для рабочей жидкости

$KSC := 0$ - **объёмная концентрация твёрдых включений в рабочей жидкости, %

ROTARY_RING_MATERIAL := 4 - материал **вращающегося** кольца пары трения торцового уплотнения:
0 - углеродистый графит, пропитанный смолами (B);
1* - углеродистый графит, пропитанный сурьмой (A);
2* - углеродистый графит, пропитанный медью;
3* - карбид кремния (Q1);
4 - карбид кремния (Q2);
5* - силицированный графит типа СГ-П;
6* - силицированный графит типа СГ-Т;
7* - силицированный графит типа ГАКК;
8* - карбид вольфрама (WC Ni);
9* - карбид вольфрама (WC Co);
10* - нержавеющая сталь типа 95X18 (440B);
11* - МДО (керамика Al_2O_3 на поверхности алюминиевого сплава);
12* - оксидная керамика Al_2O_3 (99%);
13* - оксидная керамика Zr_2O_3 (оксид циркония);
14* - нитрид кремния Si_3N_4 .
20* и далее - материалы пользователя - вызов функции MSL(x)

STATIONARY_RING_MATERIAL := 4 - материал **неподвижного** кольца (контркольца) пары трения торцового уплотнения:

- 0* - углеграфит, пропитанный смолами (B);
- 1* - углеграфит, пропитанный сурьмой (A);
- 2* - углеграфит, пропитанный медью;
- 3* - карбид кремния (Q1);
- 4 - карбид кремния (Q2);**
- 5* - силицированный графит типа СГ-П;
- 6* - силицированный графит типа СГ-Т;
- 7* - силицированный графит типа ГАКК;
- 8 - карбид вольфрама (WC Ni);**
- 9* - карбид вольфрама (WC Co);
- 10* - нержавеющая сталь типа 95X18 (440B);
- 11* - МДО (керамика Al_2O_3 на поверхности алюминиевого сплава);
- 12* - оксидная керамика Al_2O_3 (99%);
- 13* - оксидная керамика Zr_2O_3 (оксид циркония);
- 14* - нитрид кремния Si_3N_4 .
- 20* и далее - материалы пользователя - вызов функции MSL(x)**

RUBBER_MATERIAL := 0 - **материал резиновых деталей: 0 - NBR, 1* - EPDM, 2* - VITON, 3* - AFLAS

STEEL_MATERIAL := 0 - **материал стальных деталей: 0 - SS304, 1* - SS316L, 2* - SS316Ti, 3* - SS318L

VISIBLE := 1 - отображение процесса расчёта специальным окном: 1(LITE) отображается всегда.

Описание и подготовка матриц входных параметров для функции (Module 1):

MEP := $\begin{pmatrix} d \\ D_4 \\ D_6 \\ D_7 \\ L_1 \end{pmatrix}$ - матрица параметров-размеров в оборудовании под установку торцового уплотнения

$$\text{MRP} := \begin{pmatrix} D_3 \\ D_o \\ L_o \\ E_{L_o} \\ f_{L_o} \\ \varepsilon_{L_o} \end{pmatrix}$$

- матрица параметров-размеров вращающейся части торцового уплотнения

$$\text{MRR} := \begin{pmatrix} D_{1r} \\ D_{2r} \\ D_{3r} \\ h_r \\ Y_r \\ \varepsilon_r \end{pmatrix}$$

- матрица параметров-размеров вращающегося кольца пары трения торцового уплотнения

$$\text{MSR} := \begin{pmatrix} D_{1s} \\ D_{2s} \\ D_5 \\ h_s \\ Y_s \\ \varepsilon_s \end{pmatrix}$$

- матрица параметров-размеров неподвижного кольца (контркольца) пары трения торцового уплотнения

$$MCP := \begin{pmatrix} \Delta p & C \\ n & d_{drop} \\ t_{inp} & PROCESSING_MEDIA_D2r \\ \Delta t_{1max} & K_f \\ F_{cs} & KWS \\ h_0 & KSC \\ a & VISIBLE \end{pmatrix}$$

- матрица общих рабочих параметров торцового уплотнения

$$MMP := \begin{pmatrix} ROTARY_RING_MATERIAL \\ STATIONARY_RING_MATERIAL \\ RUBBER_MATERIAL \\ STEEL_MATERIAL \end{pmatrix}$$

- матрица материалов деталей торцового уплотнения

Обращение к функции (Module 1):

RV := Mechanical_Seal_Module_I (MEP, MRP, MRR, MSR, MCP, MMP)

Чтение расчётных параметров (LITE): $D_1 := (RV^{(0)})_0$ $D_2 := (RV^{(0)})_1$

$b := (RV^{(0)})_2$ $\Delta H := (RV^{(0)})_3$ $\omega := (RV^{(0)})_4$ $S_c := (RV^{(0)})_5$ $q_{cs} := (RV^{(0)})_6$

$p_c := (RV^{(0)})_7$ $K_{\omega} := (RV^{(0)})_8$ $D_{mid} := (RV^{(0)})_9$ $v := (RV^{(0)})_{10}$ $PV := (RV^{(0)})_{11}$

$h_{mid} := (RV^{(0)})_{12}$ $Q_{\Sigma} := (RV^{(0)})_{13}$ $t_c := (RV^{(0)})_{14}$ $\Delta t := (RV^{(0)})_{15}$ $\underline{v} := (RV^{(0)})_{16}$

$V_{lpm} := (RV^{(0)})_{17}$ $U := (RV^{(0)})_{18}$ $N_{dpm} := (RV^{(0)})_{19}$ $\Delta p_{max} := (RV^{(0)})_{20}$

$PV_{max_r} := (RV^{(0)})_{21}$ $PV_{max_s} := (RV^{(0)})_{22}$ $t_{critical} := (RV^{(0)})_{23}$

$C_{\Delta tmax_r} := (RV^{(0)})_{24}$ $C_{\Delta tmax_s} := (RV^{(0)})_{25}$ $F_{\Delta t} := (RV^{(0)})_{30}$ $F_{st} := (RV^{(0)})_{31}$

$C_{2_r} := (RV^{(0)})_{26}$ $C_{2_s} := (RV^{(0)})_{27}$ $MPV_{max} := \begin{pmatrix} PV_{max_r} \\ PV_{max_s} \end{pmatrix}$ $PV_{max} := \min(MPV_{max})$

$C_{3_r} := (RV^{(0)})_{28}$ $C_{3_s} := (RV^{(0)})_{29}$

$MC_{\Delta tmax} := \begin{pmatrix} C_{\Delta tmax_r} \\ C_{\Delta tmax_s} \end{pmatrix}$ $MC_2 := \begin{pmatrix} C_{2_r} \\ C_{2_s} \end{pmatrix}$ $MC_3 := \begin{pmatrix} C_{3_r} \\ C_{3_s} \end{pmatrix}$

$$C_{1\min} := \min(MC_{\Delta t\max})$$

$$C_{2\min} := \min(MC_2)$$

$$C_{3\min} := \min(MC_3)$$

$$NP := (RV^{(0)})_{87}$$

$$R_m := (RV^{(0)})_{44}$$

$$J_r := (RV^{(0)})_{49}$$

$$p_{av'} := (RV^{(0)})_{65}$$

$$U_{id} := (RV^{(0)})_{79}$$

$$M_{r_\Sigma} := (RV^{(0)})_{48}$$

$$J_s := (RV^{(0)})_{57}$$

$$p_{av} := (RV^{(0)})_{66}$$

$$N_{id_dpm} := (RV^{(0)})_{82}$$

$$M_{s_\Sigma} := (RV^{(0)})_{56}$$

$$Z_c := (RV^{(0)})_{68}$$

$$\underline{a} := (RV^{(0)})_{67}$$

$$h_{od} := (RV^{(0)})_{61}$$

$$h_{id} := (RV^{(0)})_{62}$$

$$j := 0.. NP - 1 \quad NP = 9$$

$$VX_j := (RV^{(1)})_j \quad Vp_j := (RV^{(2)})_j$$

$$Fp(x) := \text{interp}(\text{cspline}(VX, Vp), VX, Vp, x)$$

$$Fp_i(x) := \frac{1}{1 - [(RV^{(1)})_0]} \cdot x - (RV^{(1)})_0 \cdot \frac{1}{1 - [(RV^{(1)})_0]}$$

$$x := [(RV^{(1)})_0], [(RV^{(1)})_0] \cdot 1.00001 .. 1$$

$$ND_{rot} := (RV^{(3)})_0$$

$$NL_{rot} := (RV^{(3)})_1$$

$$AE_{rot} := (RV^{(3)})_2$$

$$N_{ALL_rot} := (RV^{(3)})_3$$

$$N_{INSIDE_rot} := (RV^{(3)})_4$$

$$N_{OUTSIDE_rot} := (RV^{(3)})_5$$

$$t_{s_rot} := (RV^{(0)})_{34}$$

$$t_{s_sta} := (RV^{(0)})_{35}$$

$$ND_{sta} := (RV^{(3)})_{15}$$

$$NL_{sta} := (RV^{(3)})_{16}$$

$$AE_{sta} := (RV^{(3)})_{17}$$

$$N_{ALL_sta} := (RV^{(3)})_{18}$$

$$N_{INSIDE_sta} := (RV^{(3)})_{19}$$

$$N_{OUTSIDE_sta} := (RV^{(3)})_{20}$$

$$t_{rot} := (RV^{(0)})_{83}$$

$$t_{sta} := (RV^{(0)})_{84}$$

$$i := 0.. ND_{rot} - 1$$

$$j := 0.. NL_{rot} - 1$$

$$ND_{rot} = 80$$

$$NL_{rot} = 160$$

$$VRT_{rot,i,NL_{rot}-j-1} := (RV^{(i+4)})_j$$

$$Y_{c_rot} := (RV^{(3)})_{10}$$

$$X_{c_rot} := (RV^{(3)})_{11}$$

$$t'_{rot} := (RV^{(3)})_6$$

$$t'_{s_rot} := (RV^{(3)})_7$$

$$\underline{m} := 0.. ND_{sta} - 1$$

$$\underline{m} := 0.. NL_{sta} - 1$$

$$ND_{sta} = 105$$

$$NL_{sta} = 157$$

$$VRT_{sta,i,m} := (RV^{(i+4)})_{m+NL_{rot}+2}$$

$$Y_{c_sta} := (RV^{(3)})_{25}$$

$$X_{c_sta} := (RV^{(3)})_{26}$$

$$\Delta t_{rot} := \max(VRT_{rot}) - \min(VRT_{rot})$$

$$t'_{sta} := (RV^{(3)})_{21}$$

$$t'_{s_sta} := (RV^{(3)})_{22}$$

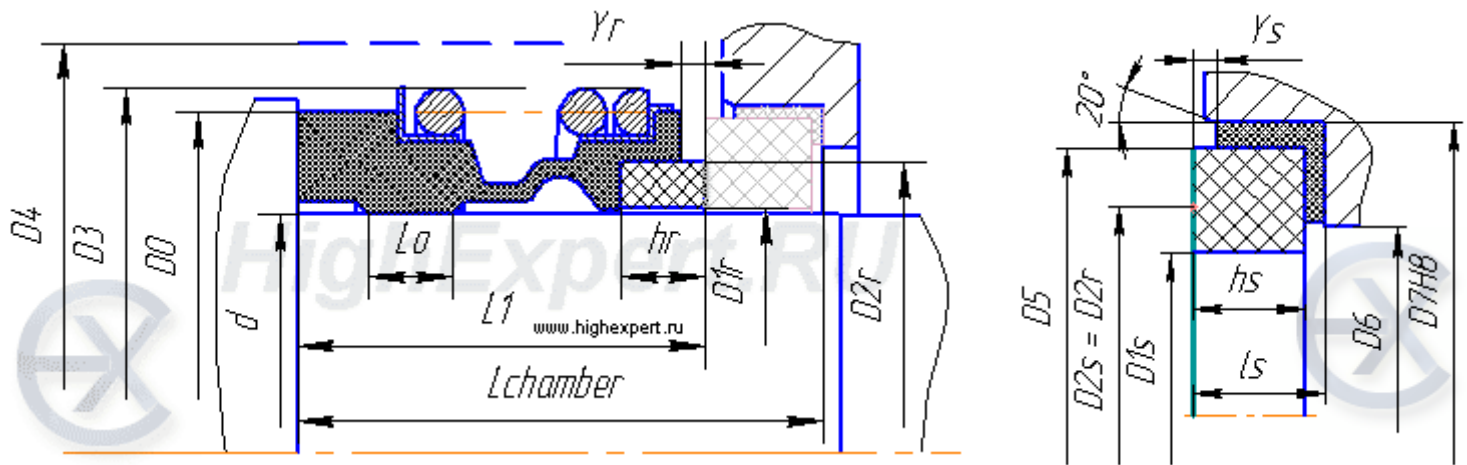
$$\Delta t_{sta} := \max(VRT_{sta}) - \min(VRT_{sta})$$

Погрешности при решении уравнений: $\epsilon_f := (RV^{(0)})_{88}$ $\epsilon_t := (RV^{(0)})_{89}$ $\epsilon_h := (RV^{(0)})_{90}$ $\epsilon_{\Delta t} := (RV^{(0)})_{91}$

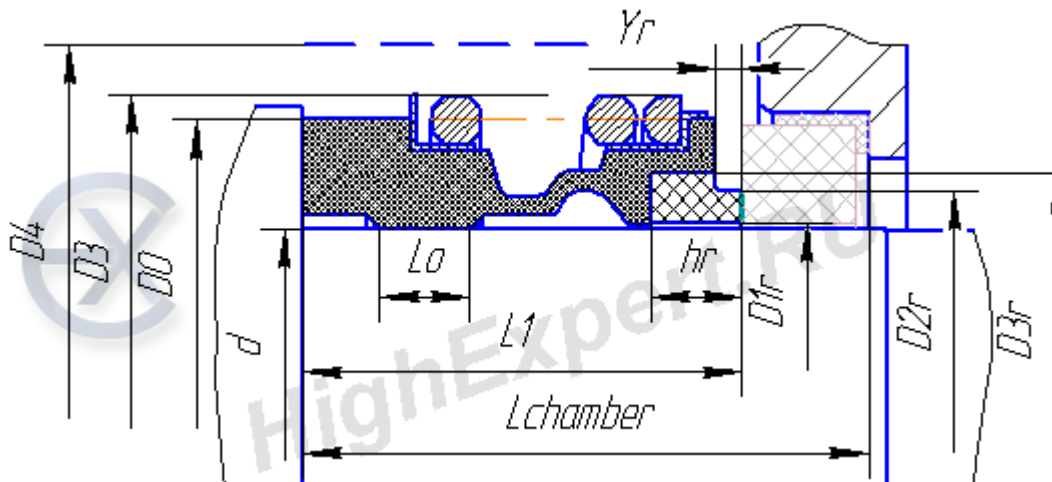
Результаты расчёта параметров торцевого уплотнения (Module 1)

Эскиз торцевого уплотнения и контрольца простой прямоугольной формы с Г-образной резиновой манжетой:

Для кольца вращения без ступеньки диаметр $D3r = D2r$:



Для кольца вращения со ступенькой диаметр $D3r > D2r$:



Исходные данные:

$d = 40$ мм $D_1 = 4.2$ мм $D_2 = 4.8$ мм $h_r = 8$ мм $h_s = 7.8$ мм

$D_4 = 75$ мм $D_0 = 55$ мм $L_0 = 5$ мм $D_3 = 60$ мм $Y_s = 1$ мм

$D_5 = 52$ мм $D_6 = 50$ мм $D_7 = 58$ мм $L_0 = 5$ мм $L_1 = 36$ мм

$\Delta p = 2$ $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ - перепад давления рабочей жидкости в торцовом уплотнении

$n = 3 \times 10^3$ мин^{-1} - скорость вращения вала

$t_{\text{inp}} = 25$ град С - температура рабочей жидкости на входе в камеру уплотнения (температура перекачиваемой жидкости, если она подаётся в камеру уплотнения с линии нагнетания насоса)

$\Delta t_{1\text{max}} = 10$ град С - предельный перепад температуры рабочей жидкости между выходом и входом камеры торцового уплотнения, должен быть не более 10 град С, необходимо уточнить после проведения первого расчёта с учётом температуры в паре трения и критериев термостойкости

$f_{L0} = 0.2$ - коэффициент трения покоя резиновой оболочки о вал

$\epsilon_{L0} = 0.05$ - степень обжатия резиновой оболочки, для подвижных соединений 0.03...0.07

$E_{L0} = 10$ - модуль упругости резины (7...12 МПа): IRHD (твёрдость) = 70 - E = 7 МПа; IRHD 80 - E = 10 МПа

$F_{CS} = 9$ кгс - установочная сила пружины сжатия

Расчётные параметры (LITE):

$h_0 = 0.15$ мкм - начальный зазор в паре трения при линейной скорости $v = 0$ (неплоскостность поверхностей)

$b = 0.3$ см - ширина рабочего пояса пары трения

$\Delta H = 0.75$ см - радиальный зазор между стенкой камеры и максимальным наружным диаметром торцового уплотнения

$D_{\text{mid}} = 4.5$ см - средний диаметр в паре трения

$\omega = 314.159$ с^{-1} - угловая скорость вращения вала

$a = 0.575$ - коэффициент распределения давления рабочей жидкости в зазоре пары трения торцового уплотнения (при раскрытии наружного диаметра, коэффициент a стремится к 1)

$Z_c = 0.462$ - центр эпюры распределения давления рабочей жидкости в зазоре пары трения

$\Delta p = 2$ $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ - перепад давления рабочей жидкости, должен быть меньше $[\Delta p_{\text{max}} = 11.94$ кгс/см²]

$S_c = 4.241 \text{ см}^2$ - номинальная площадь контактной поверхности в паре трения

$q_{cs} = 2.114 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ - начальное контактное давление в паре трения (от усилия пружины сжатия)

$p_c = 3.271 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ - рабочее контактное давление в паре трения

$K = 1.154$ - коэффициент гидравлической нагрузки

$v = 7.069 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - линейная скорость скольжения на среднем диаметре пары трения, должна быть **меньше**, чем [$v_{\max} = 12 \text{ м/с}$]

$PV = 2.063 \text{ МПа} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - критерий **PV** должен быть **меньше**, чем [$PV_{\max} = 31.595 \text{ МПа м/с}$]

$V = 6.512 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ - минимальный расход рабочей жидкости через камеру уплотнения при установившемся режиме трения в паре и заданном перепаде температур рабочей жидкости между выходом и входом $\Delta t = 10$ град С

$V_{lpm} = 0.109 \frac{\text{л}}{\text{мин}}$ - минимальный расход рабочей жидкости через камеру уплотнения при установившемся режиме трения в паре и заданном перепаде температур рабочей жидкости между выходом и входом $\Delta t = 10$ град С

$Q_{\Sigma} = 75.273 \text{ Вт}$ - суммарное количество тепла (тепло в паре трения + тепло от барботажа рабочей жидкости)

$t_c = 30.342 \text{ град С}$ - оценочное среднее значение максимальной температуры рабочей жидкости в паре трения, должно быть **ниже** критической температуры [$t_{\text{critical}} = 110.425 \text{ град С}$], при невыполнении условия необходимо уменьшить Δt и(или) использовать другие материалы колец пары трения

$C_{1\min} = 102.6 \text{ К}$ - критерий **термопрочности 1**
максимальный перепад температур, который выдерживает материал колец пары трения, **должен быть выше**, чем [$t_c - t_{\text{inp}} = 5.342 \text{ К}$]

$C_{2\min} = 9.725 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ - критерий **термопрочности 2**
коэффициент температурной трещиностойкости пары трения:
[1500...24000] - хорошо;
[> 24000] - очень хорошо.

$C_{3\min} = 4.251 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{с}}$ - критерий **термопрочности 3**, чем больше, тем лучше, сравнение необходимо проводить для разных материалов колец пары трения торцового уплотнения

$$F_{\Delta t} = 17.104$$

- отношение максимального перепада температур в паре трения к максимально допустимому перепаду температур для выбранных материалов колец пары трения, величина должна быть **больше**, чем [1.1]

$$F_{st} = 14.241$$

- фактор стабильности плёнки рабочей жидкости в зазоре пары трения, должен быть **больше**, чем [1.1]

$$U = 0.249$$

$\frac{\text{см}^3}{\text{ч}}$ - оценочная величина утечки рабочей жидкости через пару трения в атмосферу, определённая с вероятностью 95%.

$$N_{dpm} = 0.294$$

$\frac{\text{капель}}{\text{мин}}$ - оценочная величина утечки рабочей жидкости - количество капель рабочей жидкости при условии, что диаметр капли $d_{\text{drop}} = 3$ мм, определённая с вероятностью 95%.

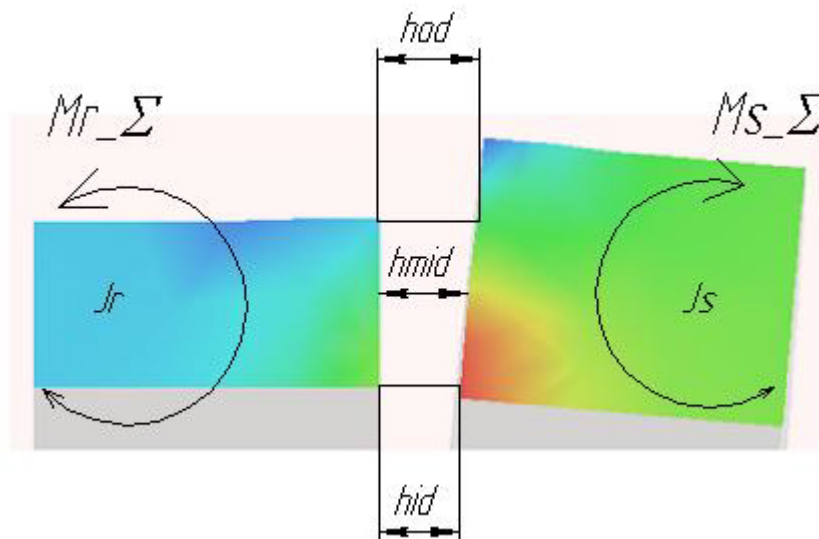
$$U_{id} = 0.134$$

$\frac{\text{см}^3}{\text{ч}}$ - оценочная величина утечки рабочей жидкости через пару трения на внутреннем радиусе вращающегося кольца

$$N_{id_dpm} = 0.153$$

$\frac{\text{капель}}{\text{мин}}$ - оценочная величина утечки рабочей жидкости - количество капель рабочей жидкости при условии, что диаметр капли $d_{\text{drop}} = 3$ мм, на внутреннем радиусе вращающегося кольца.

(с) Шенелёв В.А., e-mail:highexpert@yandex.ru , highexpert@gmail.com



$$R_m = 2.239$$

см - радиус действия силы от давления рабочей жидкости в паре трения

$$M_{r_Σ} = 2.62$$

кгс·см - суммарный момент вращающегося кольца пары трения

$$J_r = 6.476 \times 10^{-3}$$

см^3 - момент инерции для вращающегося кольца пары трения

$$M_{s_Σ} = 6.968$$

кгс·см - суммарный момент контркольца пары трения

$J_s = 9.169 \times 10^{-3}$	см ³	- момент инерции для контркольца пары трения
$X_{c_rot} = 0.422$	см	- координата точки центра тяжести вращающегося кольца в осевом
$Y_{c_rot} = 2.287$	см	- координата точки центра тяжести вращающегося кольца в радиальном направлении
$X_{c_sta} = 0.391$	см	- координата точки центра тяжести контркольца в осевом направлении
$Y_{c_sta} = 2.337$	см	- координата точки центра тяжести контркольца в радиальном направлении

$h_{od} = 1.118$ мкм - зазор в паре трения на наружном диаметре

$h_{mid} = 1.008$ мкм - **средний зазор в паре трения торцового уплотнения**

$h_{id} = 0.899$ мкм - зазор в паре трения на внутреннем диаметре

$p_{av} = 0.558$ - относительное среднее гидростатическое давление в паре трения торцового уплотнения

$p_{av} = 1.115$ $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ - среднее гидростатическое давление в паре трения торцового уплотнения

Погрешности при решении системы уравнений, % :

$\epsilon_f = 3.133 \times 10^{-6} \cdot \%$

$\epsilon_t = 0 \cdot \%$

$\epsilon_h = 0.141 \cdot \%$

$\epsilon_{\Delta t} = 3.659 \times 10^{-12} \cdot \%$

Оценочное распределение температуры в кольцах пары трения определяется в конечно-элементной модели

В полнофункциональной версии MSLC возможно задание геометрии колец пары трения практически любой сложной формы и последующий расчет распределения температуры в этих кольцах

$N_{ALL_rot} = 1.183 \times 10^4$ шт. - количество уравнений в модели вращающегося кольца

$N_{ALL_sta} = 1.646 \times 10^4$ шт. - количество уравнений в модели контркольца

$AE_{rot} = 2.637 \times 10^{-5}$ % - относительная невязка решения для модели вращающегося кольца

$AE_{sta} = 7.428 \times 10^{-6}$ % - относительная невязка решения для модели контркольца

С версии библиотеки MSL 1.5.0.3 в модуль HTC_FDM/FEM включен модуль визуализации результатов VIS_HTC_FDM/FEM, который сохраняет графические файлы с некоторыми результатами расчетов в папку HTC и папку McadFiles.

Чтение этих графических файлов позволяет в Mathcad v 11 и выше отобразить эти файлы сразу же после проведенных расчётов:

VISG := READRGB("htc_visg.bmp")

VISC := READRGB("htc_visc.bmp")

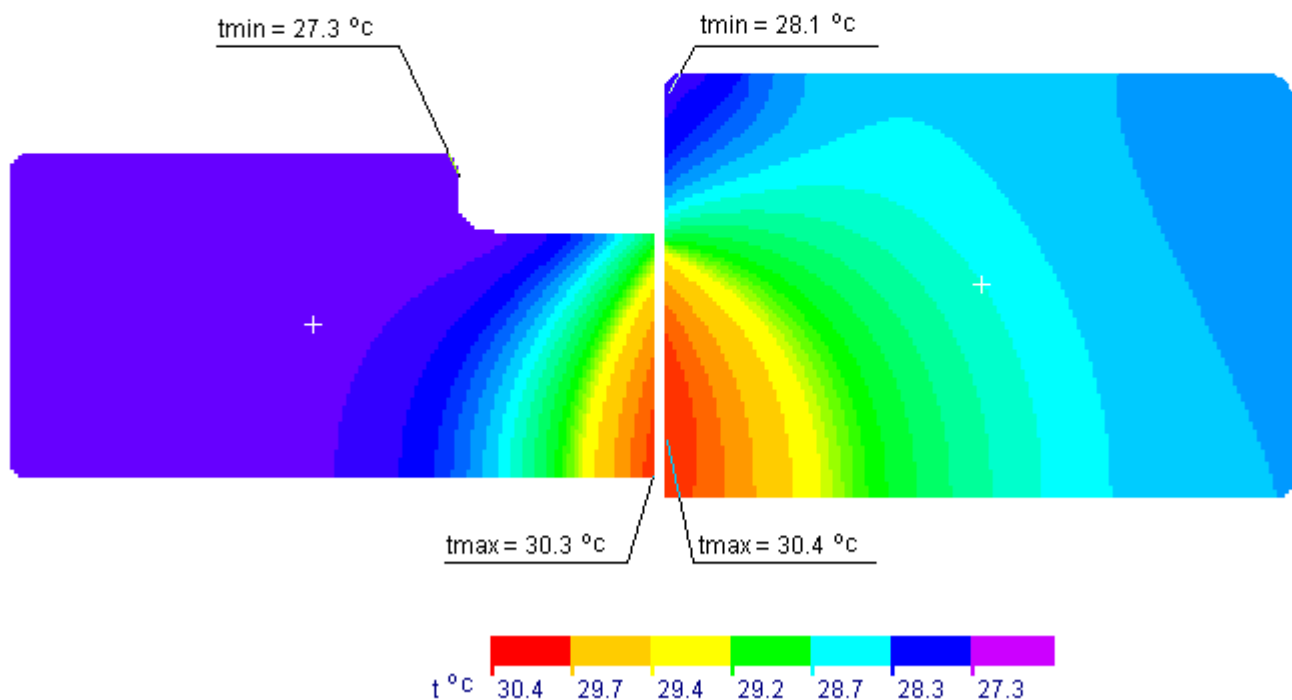
© Шенелёв В.А | www.HighExpert.RU | www.Seals.HighExpert.RU | e-mail: highexpert@gmail.com / highexpert@yandex.ru

= Mechanical Seals Library (MSL) =

HTC_FDM/FEM version 1.2 | Present Date: 9.2.2012, Present Time: 15:33:37

VIS Module version 1.1 | VIS parameters: ScaleXY = 2 Width = 1005 Height = 800

n = 3000 [1/мин], Deltar = 2 [кrc/см*см], t_inp = 25 [oC], Deltat1 = 10 [oC] | Qrot/Qsta = 1.32 | затрачено: 506 секунд



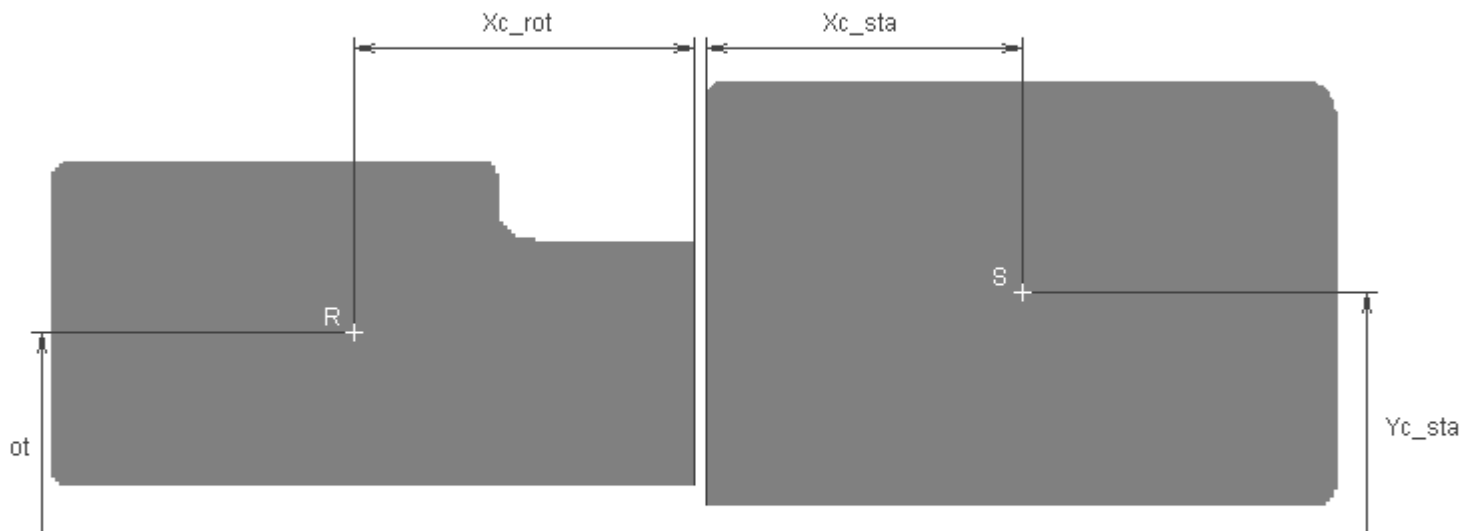
VISC

= Mechanical Seals Library (MSL) =

HTC_FDM/FEM version 1.2 | Present Date: 9.2.2012, Present Time: 15:33:35

VIS Module version 1.1 | VIS parameters: ScaleXY = 2 Width = 1005 Height = 800

n = 3000 [1/мин], Deltap = 2 [кrc/см*см], t_inp = 25 [oC], Deltat1 = 10 [oC] | Qrot/Qsta = 1.32 | затрачено: 506 секунд



Кольцо вращения (R):

Статический момент инерции сечения $S_x = 124.97$ [мм³]

Статический момент инерции сечения $S_y = 676.53$ [мм³]

Координата центра тяжести $X_c = 4.22$ [мм]

Координата центра тяжести $Y_c = 22.87$ [мм]

Момент инерции сечения $J_{xs} = 15513.17$ [мм⁴]

Момент инерции сечения $J_{ys} = 677$ [мм⁴]

Контркольцо (S):

Статический момент инерции сечения $S_x = 161.34$ [мм³]

Статический момент инерции сечения $S_y = 961.82$ [мм³]

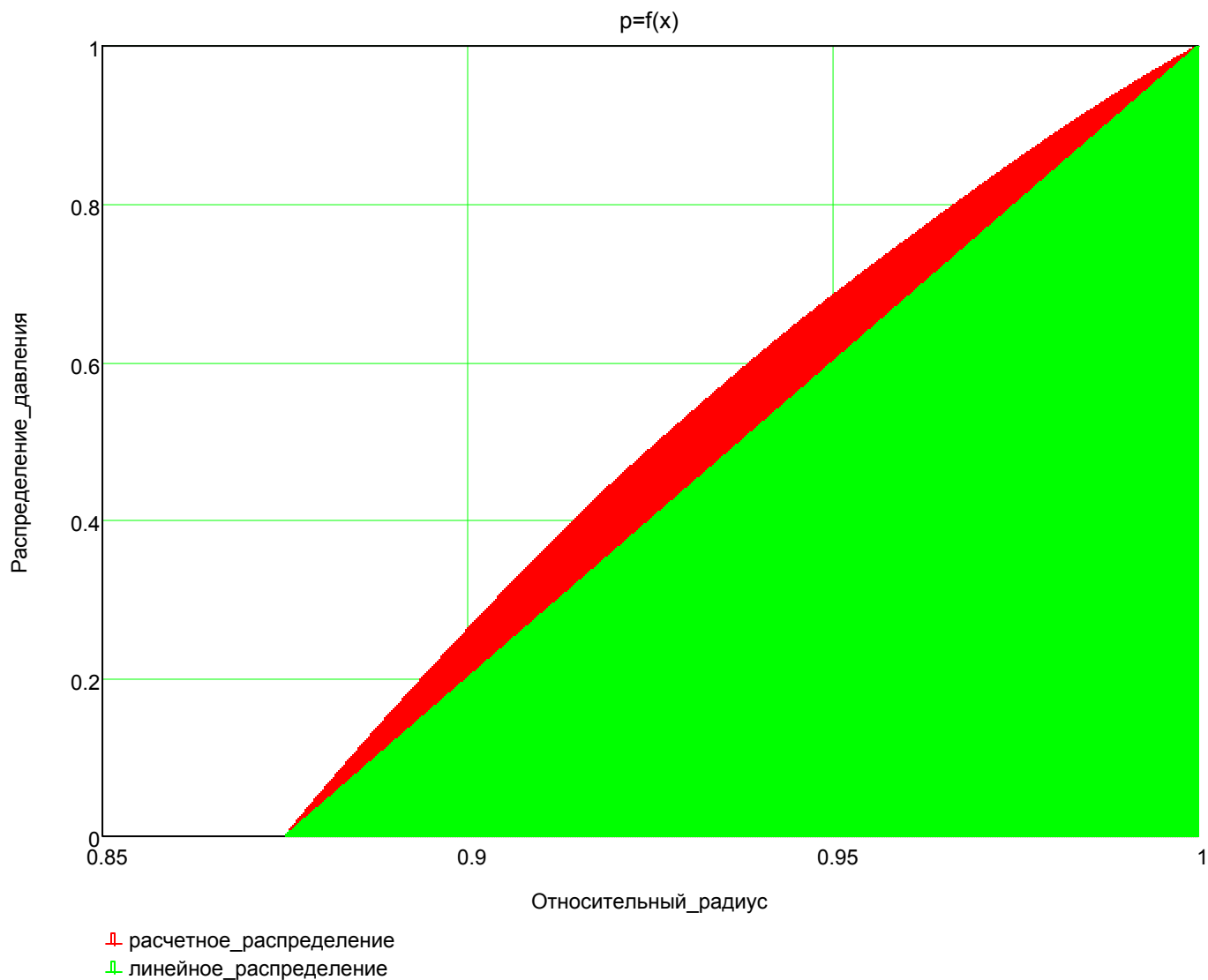
Координата центра тяжести $X_c = 3.92$ [мм]

Координата центра тяжести $Y_c = 23.37$ [мм]

Момент инерции сечения $J_{xs} = 22575.02$ [мм⁴]

VISG

График распределения статического давления в зазоре пары трения торцового уплотнения



$a = 0.575$

- коэффициент распределения давления рабочей жидкости в зазоре пары трения торцового уплотнения (при раскрытии наружного диаметра, коэффициент a стремится к 1).

Как видно из графика распределение давления рабочей жидкости в зазоре пары трения торцового уплотнения вращающегося вала имеет нелинейный характер, поэтому коэффициент распределения давления рабочей жидкости в зазоре пары трения торцового уплотнения, строго говоря, не равен 0,5.