РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДШИПНИКОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

РТМ 108.020.101—76

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Центральным научно-исследовательским и проектно-конструкторским котлотурбинным институтом им. И. И. Ползунова

Директор	Н. М. МАРКОВ
Заведующий базовым отраслевым отделом стандартизации	К. А. СУПРЯДКИН
Заведующий отделом паровых турбин	Н. Н. ЕРМАШОВ
Руководители темы:	И. С. ЮРЧЕНКО, А. В. КАМСКИЙ
Исполнители:	Л. А. ЗАХАРОВА, Г. М. МЕЙЕРОВИЧ

ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ Техническим управлением Министерства энергетического машиностроения

Начальник Технического управления	В. П. ПЛАСТОВ
Начальник отдела опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по турбостроению	В. К. ЛЕОНТЬЕВ

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН в действие указанием Министерства энергетического машиностроения от 1 апреля 1976 г. № ПС-002/2421

Заместитель министра	П. О. СИРЫЙ

УДК 621—135—233.2

Группа Е02

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДШИПНИКОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

РТМ 108.020.101—76

Указанием Министерства энергетического машиностроения от 1 апреля 1976 г. № ПС-002/2421 введен как рекомендуемый

Настоящий РТМ содержит методику расчета статических характеристик подшипников скольжения турбин большой мощности (300 МВт и выше).

РТМ распространяется на подшипники скольжения (цилиндрические и эллиптические) вновь проектируемых паротурбинных и газотурбинных агрегатов.

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$O_н$ — центр расточки нижнего вкладыша;

$O_в$ — центр расточки верхнего вкладыша;

$O_ц$ — центр цапфы;

x^*, y^* — координаты центра цапфы относительно осей, проходящих через $O_н$, см;

P — внешняя нагрузка на подшипнике, кгс;

L — длина вкладыша, см;

D — диаметр цапфы, см;

ω — угловая скорость вращения вала, 1/с;

δ — радиальный зазор в разъеме подшипника, см;

$\psi = 2\delta/D$ — относительный зазор;

μ — динамическая вязкость смазки, кгс · с/см^2;

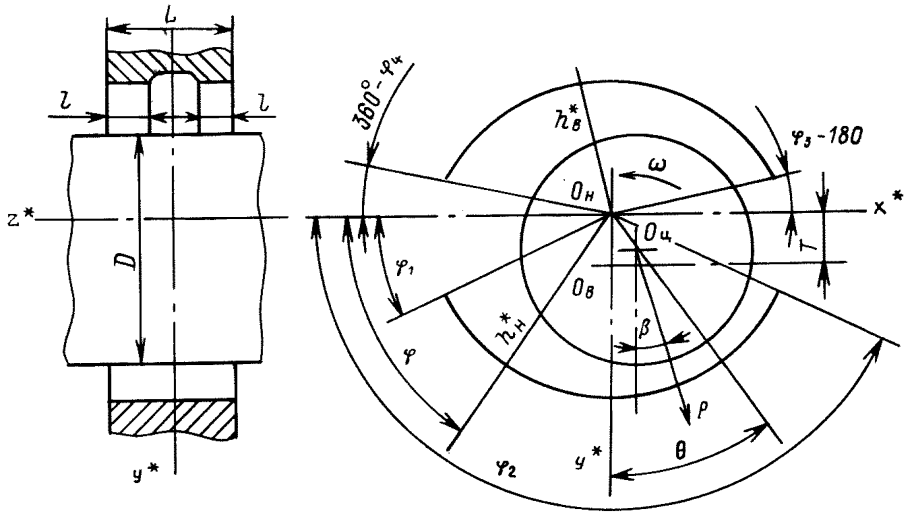
ν — кинематическая вязкость смазки, см^2/с;

$\chi = \sqrt{x^{*2} + y^{*2}}/\delta$ — относительный эксцентриситет цапфы;

β — угол действия нагрузки;

θ — угол наклона линии центров $O_н O_ц$ к вертикали;
$Re^{ср}$ — среднее число Рейнольдса;
q^* — расход смазки, см³/с;
t — средняя безразмерная температура смазки;
c — теплоемкость смазки, кг · см/(кг · °С);
γ — удельный вес смазки, кгс/см³.

Схема расточки вкладыша



2. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ

2.1. К статическим характеристикам смазочного слоя относится коэффициент нагрузки, потери мощности на трение, расход смазки и средняя температура баббита.

2.2. Метод расчета статических характеристик основан на интегрировании уравнения Рейнольдса для ламинарного смазочного слоя. Граничными условиями являются равенство нулю давления на контуре подшипника, а при обрыве смазочного слоя — равенство нулю давления и его градиента на линии обрыва. Предполагается, что в пределах половины подшипника имеется не более одной зоны обрыва.

2.3. Коэффициент нагрузки, расход смазки через рабочие зоны подшипника, а также потери мощности на трение и средняя температура при ламинарном течении (число Рейнольдса менее 1000) вычисляются на ЭВМ по программе, приведенной в настоящем РТМ.

2.4. Потери мощности на трение при числе Рейнольдса более 1000 и расход смазки через нерабочие зоны вычисляются вручную.

3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА

3.1. Производится расчет безразмерных характеристик смазочного слоя на ЭВМ по программе, приведенной в настоящем РТМ.

3.2. Вычисляется коэффициент нагрузки по формуле

$$\zeta = \frac{P\psi^2}{LD\mu\omega}.$$

3.3. По безразмерным характеристикам смазочного слоя, соответствующим полученному коэффициенту нагрузки, вычисляют расходы смазки (входной, выходной и боковой)

$$q^* = LD^2 w \psi q$$

и потери мощности на трение

$$w^* = \frac{\mu\omega^2 LD^2}{4\psi} w,$$

где q^* — расход смазки (входной, выходной или торцевой), см³/с;
q — безразмерный расход (из результатов расчета по программе приложения 1);
w^* — потери мощности на трение в смазочном слое, кгс · см;
w — безразмерные потери мощности.

3.4. Вычисляется среднее значение числа Рейнольдса

$$\mathrm{Re}^{\mathrm{cp}} = \frac{\omega D\delta}{2\nu},$$

где δ — радиальный зазор;
D — диаметр цапфы;
ν — кинематическая вязкость смазки, см²/с.

3.5. Если число Рейнольдса больше 1000, то потери мощности на трение вычисляются не так, как указано в п. 3.3, а по формуле

$$w^* = \frac{\pi\mu\omega D^2 \mathrm{Re}^{\mathrm{cp}} f_{\mathrm{т}}}{4\psi},$$

где $f_{\mathrm{т}} = \frac{0{,}078}{\mathrm{Re}^{\mathrm{cp}\,0{,}43}}$ — коэффициент турбулентного трения.

3.6. Расход смазки через нерабочие зоны

$$q^* = \frac{LD^2\omega\psi p_{\mathrm{a}}}{12} \int_{\varphi_2}^{\varphi_3} [1 + \chi\cos(\theta + \varphi)]\, d\varphi,$$

он складывается с расходом смазки через торцы подшипника, вычисленным в п. 3.3, где p_{a} — давление на входе в подшипник, кгс/см².

3.7. Для определения средней температуры смазки необходимо решить относительно T уравнение

$$T = T_0 + \frac{\mu(T)}{4c\gamma\psi^2} t,$$

где t — безразмерная температура;
$\mu(T)$ — вязкость смазки, взятая из температурно-вязкостной зависимости;

T — средняя температура смазочного слоя, соответствующая вязкости μ, °С;
T_0 — температура на входе в подшипник, °С;
c — теплоемкость смазки, кг · см/(кг · °С);
γ — удельный вес смазки, кгс/см^3.

4. ПРОГРАММА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ЭВМ

4.1. Программа расчета статических характеристик смазочного слоя составлена на языке АЛГОЛ-60 с использованием стандартных программ ИС-2 и предназначена для трансляции при помощи транслятора ТА-1М на любую ЭВМ типа М-20, имеющую не менее трех кубов памяти. Текст программы помещен в приложении 1, перечень использованных стандартных программ ИС-2 — в приложении 2.

4.2. Статические характеристики смазочного слоя вычисляются в виде функции эксцентриситета цапфы χ. Для каждого эксцентриситета, начиная с наименьшего, находят угол θ наклона линий центров $O_н O_ц$, обеспечивающий заданный угол действия нагрузки β, после чего подсчитываются коэффициент нагрузки, потери мощности на трение и расход смазки. Начальное приближение для угла θ задается в исходных данных. Если начальные приближения угла θ неизвестны, то значение начального эксцентриситета задается лишь для наименьшего эксцентриситета.

4.3. При построении разностной аппроксимации ввиду ограниченного объема памяти ЭВМ в окружном направлении подшипника (ось φ — см. чертеж) вводятся крупная и мелкая сетки. Количество делений сетки в осевом направлении подшипника постоянно. Мелкая сетка, полученная при кратной разбивке крупной сетки, обеспечивает точность решения. Разностные уравнения решаются методом матричной прогонки.

4.4. Одновременно с вычислением статических характеристик с помощью программы определяют динамические коэффициенты смазочного слоя по РТМ 24.020.21—74.

4.5. После вычисления статических и динамических характеристик в зависимости от эксцентриситета, в тех случаях, когда число эксцентриситетов не менее четырех, могут быть получены интерполяцией значения этих характеристик при заданных произвольных значениях коэффициентов нагрузки.

5. ИНСТРУКЦИЯ ПО ЗАПОЛНЕНИЮ БЛАНКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

5.1. Для вычисления статических характеристик смазочного слоя в ЭВМ вводятся исходные величины в следующем порядке:

M — число крупных разбивок опорной поверхности расточки подшипника в окружном направлении;
N — число разбивок опорной поверхности расточки подшипника в осевом направлении;

NHK — количество значений эксцентриситета χ;

NHZ — количество значений коэффициента нагрузки ζ;

UM — кратность мелкого разбиения в окружном направлении;

FI [1 : 4] — углы (в градусах), ограничивающие опорные поверхности нижней и верхней половин вкладыша;

DL — отношение длины подшипника к диаметру расточки;

LV — отношение длины верхнего опорного пояска к длине подшипника (для подшипников без выбранного верха и для цилиндрических подшипников $LV=1$);

T — отношение толщины прокладки к радиальному зазору в разъеме подшипника (удвоенная степень эллиптичности), для цилиндрических подшипников $T=0$;

EPS — приращение безразмерных координат при определении коэффициентов жесткости (рекомендуется брать 10^{-5}—10^{-7});

*EPS*1 — точность получения заданного направления нагрузки на подшипник в градусах (рекомендуется задавать 0,05);

ZX — угол между полной и вертикальной нагрузками на подшипники (для вертикальной нагрузки равен нулю);

THETA — начальный угол между вертикалью и линией, соединяющей центр нижней половины вкладыша, $O_н$ и центр цапфы $O_ц$, равный 90° для цилиндрических и 0° для эллиптических подшипников;

*Q*3 — булевская переменная, имеющая значение *false*;

HXI [1 : 2 × *NHX*] — массив, в первых *NHX* элементах которого задаются значения эксцентриситетов χ в порядке их возрастания, а в последующих *NHX* — соответствующие этим эксцентриситетам углы наклона линии центров (при неизвестных начальных значениях равные нулю). Для эллиптического подшипника без выбранного верха $HXI[1] \geqslant T/2$, а с выбранным верхом $HXI[1] \leqslant T-1+EPS$;

HZI [1 : *NHZ*] — коэффициенты нагрузки ζ в порядке их возрастания, для которых надо получить статические и динамические характеристики.

6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

6.1. В качестве примера приведен расчет статических характеристик цилиндрического и эллиптического подшипников, параметры которых приведены в табл. 1. Заполнение исходных данных помещено в приложении 2. Результаты расчета безразмерных коэффициентов даны в табл. 2 и 3.

Таблица 1

Параметры подшипников (из расчета)

Тип подшипника	L/D	l/L	t	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4
	град.						
Цилиндрический	0,8	—	0	7,5	172,5	—	—
Эллиптический	0,8	0,3	1,375	7,5	172,5	187,5	352,5

Таблица 2

Статические характеристики цилиндрического подшипника $L/D=0{,}8$

χ	θ	ζ	w	q_i	q_e	q_z	t
0	1,57	0	2,88	0,50	0,50	0	5,8
0,2	1,18	0,16	3,12	0,55	0,41	0,14	6,5
0,4	0,95	0,41	3,80	0,56	0,31	0,23	8,7
0,6	0,75	0,94	5,15	0,52	0,22	0,29	14,0
0,8	0,54	2,82	8,39	0,43	0,11	0,29	30,6
0,9	0,41	7,26	13,1	0,35	0,06	0,28	64,6

Таблица 3

Статические характеристики эллиптического подшипника $L/D=0{,}8$

χ	θ	ζ	w	q_i	q_e	q_z	t
0,538	0,12	0	12,8	0,59	0,30	0,27	61
0,6	0,33	0,46	12,6	0,59	0,27	0,29	63
0,7	0,46	1,27	13,8	0,57	0,23	0,31	63
0,8	0,48	2,77	14,5	0,54	0,18	0,32	70
0,9	0,40	7,38	18,5	0,49	0,17	0,32	56

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Рекомендуемое

ПРОГРАММА РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

```
BEGIN INTEGER M,N,NHX,II,I,J,K,R,NU,IT,JJ,NN,NHZ,IV,NY,N2,
      N3,REM ; BOOLEAN Q,Q3 ; ARRAY GR[1:30],AA[1:8] ;
      REAL H1,H2,H4,H5,H6,H7,AL,S,SS,DL,LV,T,EPS,EPS1,
      SINA,COSA,MAS,ZX,X,Y,KX,YY,HX,H1,THETA,H,F,D1,D2,
      D3,X1,X2,X3,UM ;
LABS: P0042(M,N,NHX,NHZ,UM) ;
      P1041(M,N,NHX,NHZ,UM) ;
      NN:=N×N ; N3:=3×N ; N2:=2×N ;
      BEGIN ARRAY SINS,COSS[0:2×M×UM],TS[1:4],TZ,AB,
         XST[1:2],FI,PSU,HR,HR1,HQ,HQ1[1:4],HX1[1:2×NHX],
         HZ1[1:NHZ] ; INTEGER ARRAY IN,KZ[1:N] ; REAL THX ;
        REAL
        PROCEDURE SIM(M,N,HT,V) ; VALUE M,N,HT ;
          INTEGER M,N ; REAL HT ; ARRAY V ;
          BEGIN INTEGER J ;
            S:=IF M=0 THEN (V[M]-V[N])/2 ELSE -V[N]/2 ;
            FOR J:=
            IF M=0 THEN 1 ELSE M STEP 2 UNTIL N DO
              S:=S+2×V[J]+V[J+1] ;
            SIM:=2×HT×S/3
          END ;
        PROCEDURE PRG ;
          BEGIN ARRAY P1,P2[1:N3] ;
            BEGIN ARRAY B,X,XS[1:NN],B1,B2[1:N+2],F,Y,
                YS[1:N3],W,A,C[1:N] ; INTEGER JJJ ;
              P0717(P0034,P0035,P0036,P0037,P0500,P0501,
```

```
    P1067) ;
  P0500(2,(4×M×UM+2)×(R-1)+1,SINS,COSS) ;
  Q:=TRUE ;
  FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO IN[K]:=M ;
  FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO Y[K]:=0 ;
  FOR K:=1 STEP 1 UNTIL NN DO X[K]:=0 ;
  FOR I:=1 STEP 1 UNTIL M DO
    P0500(11,(I-1)×(NN+N3)+1,X,Y) ;
  REM:=NV:=1 ;
  JJ:=IF UM=1 THEN 1 ELSE 0 ; JJJ:=M-1 ;
  H1:=(1+XX×COSS[1]-YY×SINS[1])↑3 ;
  FOR I:=JJ STEP 1 UNTIL JJJ DO
    BEGIN IV:=REM ;
      FOR K:=1 STEP 1 UNTIL NN DO XS[K]:=0 ;
      FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO YS[K]:=0 ;
      FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO
        XS[K×N-N+K]:=1 ;
      FOR MU:=1 STEP 1 UNTIL IF I=0 THEN UM-1
        ELSE UM DO
          BEGIN FOR K:=1 STEP 1 UNTIL NN DO
              B[K]:=0 ;
            H2:=H1 ; NV:=NV+1 ; COSA:=COSS[NV] ;
            SINA:=SINS[NV] ;
            H5:=-COSA×TS[R+2]↑2 ;
            H6:=SINA×TS[R+2]↑2 ;
            H7:=(XX×H6-YY×H5)×6 ;
```

```
H4:=(1+XXXCOSA-VVXSINA)↑3XABS(R) ;
NV:=NV+1 ;
H1:=(1+XXXCOSS(NV)-VVXSINS(NV))↑3 ;
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO
  BEGIN A(K):=H1 ; C(K):=H2 ;
    F(K):=H5 ; F(K+N):=H6 ;
    F(K+N8):=H7 ;
    B(KXN-N+K):=H1+H2+2XH4 ;
    IF K>1 THEN B(KXN-N2+K):=-H4 ;
    IF K<N THEN B(KXN+K):=-H4 ;
  END ;
B(NN-N):=2XB(NN-N) ;
P0035(C,X,X) ;
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL NN DO
  B(K):=B(K)-X(K) ;
P0037(B,B1,B2) ;
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL NN DO
  X(J):=0 ;
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL N DO
  X(JXN-N+J):=C(J) ;
P1067(N,N,3,V,X,P1) ;
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO
  F(J):=F(J)+P1(J) ;
P1067(N,N,3,F,B,V) ;
P0034(B,A,X) ;
IF H1≤H2 THEN GO TO ME1 ;
```

```
                    IF P0501(3,2) THEN GO TO ME1 ;
                    FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO
                      BEGIN W[K]:=IF Q3 THEN
                          XXXY[K+N]-YYXY[K] ELSE
                          Y[K+N2] ;
                        IF W[K]>0 THEN GO TO ME1 ;
                      END ;
                    Q:=FALSE ; JJ:=1 ; REM:=IV ;
                    GO TO ME2 ;
ME1:                P1067(N,N,3,Y,XS,P1) ;
                    P0800(11,IV,X,Y) ;
                    IV:=IV+NN+N3 ;
                    FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO
                      YS[K]:=YS[K]+P1[K] ;
                    P0036(X,XS,8) ;
                    FOR K:=1 STEP 1 UNTIL NN DO
                      XS[K]:=8[K] ;
                  END ;
                P0500(11,REM,XS,YS) ;
                IF I>0 THEN REM:=REM+NN+N3 ;
                IF EPS1>1 THEN P1041(X,XS,Y,YS,I) ;
              END ;
            GO TO ME3 ;
ME2:        FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO IN[K]:=I+MU-1 ;
ME3:        FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO P1[K]:=0 ;
            P0500(1),REM,P1) ;
```

```
                FOR I:=IN[N]-1 STEP -1 UNTIL 1 DO
                  BEGIN REM:=REM-NN-N3 ;
                    P0500(1,REM,X,P2) ;
                    IF EPS1>1 THEN P1041(1,X,P2) ;
                    P1067(N,N,3,P1,X,V) ;
                    FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO
                      P1[K]:=V[K]+P2[K] ;
                    IF P0501(3,2) THEN GO TO ME7 ;
                    FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO
                      BEGIN A[K]:=IF Q3 THEN
                          XX*P1[K+N]-YY*P1[K] ELSE
                          P1[K+N2] ;
                        P1[K+N2]:=A[K] ;
                        IF A[K]<0 THEN
                          BEGIN P1[K]:=P1[K+N]:=P1[K+N2]:=
                            0 ;
                              IN[K]:=1
                            END
                        END ;
ME7:                  P0500(11,REM,P1) ;
                      IF EPS1>1 THEN P1041(1,P1) ;
                    END ;
                  P0717 ;
                  IF Q THEN JJ:=M-1 ;
                END ;
                BEGIN ARRAY PS[1:3],PSX,PSY[1:3*M] ;
```

```
P0717(SIM,P0500,P0501) ;
FOR I:=1 STEP 1 UNTIL 3*M DO
  PSX[I]:=PSY[I]:=0 ;
FOR I:=1 STEP 1 UNTIL IF Q THEN M-1 ELSE
  JJ DO
    BEGIN P0500(1,(I-1)*(NN+N3)+1,P1) ;
      K:=I ;
      FOR J:=1,2,3 DO
        BEGIN PS[J]:=SIM((J-1)*N+1,J*
            N,TZ[R],P1) ;
          PSX[(J-1)*M+I]:=-PS[J]*COS[2*
            UMK] ;
          PSY[(J-1)*M+I]:=PS[J]*SIN[2*
            UMK]
        END
    END ;
HR[R]:=6*SIM(1,M,TS[R],PSX) ;
HR[R+2]:=6*SIM(1,M,TS[R],PSY) ;
HR1[R]:=6*SIM(M+1,2*M,TS[R],PSX) ;
HR1[R+2]:=6*SIM(M+1,2*M,TS[R],PSY) ;
PSU[R]:=.5*SIM(2*M+1,3*M,TS[R],PSX) ;
PSU[R+2]:=.5*SIM(2*M+1,3*M,TS[R],PSY) ;
IF R=1ORLV>.5 THEN GO TO AUS ;
HR[2]:=2*HR[2] ; HR[4]:=2*HR[4] ;
HR1[2]:=2*HR1[2] ; HR1[4]:=2*HR1[4] ;
PSU[2]:=2*PSU[2] ; PSU[4]:=2*PSU[4] ;
```

```
AUS:
                    END
                  END ; REAL
                PROCEDURE CO(X) ; VALUE X ; REAL X ;
                  BEGIN XX:=X:=HX*SIN(X) ; V:=HX*COS(X) ;
                    FOR R:=1,2 DO
                      BEGIN HH(X,V) ;
                        PRG ;
                        IF T<V THEN
                          BEGIN PSU[2]:=PSU[4]:=0 ;
                            GO TO MCC ;
                          END
                      END ;
MCC:                  GR[1]:=PSU[3]+PSU[4] ;
                      GR[3]:=SIGN(GR[1]) ;
                      GR[2]:=PSU[1]+PSU[2] ; GR[2]:=IF ABS(GR[
                      1])>10-10 THEN GR[2]/GR[1] ELSE
                        IF ABS(GR[2])<10-10 THEN ZX ELSE
                          IF GR[2]>10-10 THEN 1.570796 ELSE
                            -1.570796 ;
                      IF ABS(GR[2])>10-10 AND ABS(GR[1])>10-10 THEN
                        GR[2]:=POD76(GR[2],GR[3]) ;
                      IF GR[2]>3.14159 THEN
                        GR[2]:=GR[2]-6.2831853 ;
                      SS:=GR[2]-ZX ;
EXI:                  IF POS01(1,1) THEN
```

```
                P1041(X,SS,GR[2],GR[1],IT) ;
              IF ABS(SS)<w-10 THEN MAS:=1 ELSE
                IF ABS(X/SS)<10 THEN MAS:=100 ;
              CD:=SS/MAS
            END ;
          PROCEDURE HH(X,Y) ; VALUE X,Y ; REAL X,Y ;
            BEGIN XX:=X ; YY:=Y-Tx(R-1) ;
            END ;
          PROCEDURE CC(X,Y,ZX,ZY) ; VALUE X,Y ;
            REAL X,Y,ZX,ZY ;
            BEGIN XX:=X ;
              THETA:=IF ABS(Y)<w-10 THEN 1.5708 ELSE
                ARCTAN(X/Y) ;
              FOR R:=1,2 DO
                BEGIN HH(X,Y) ;
                  PRG ;
                  IF T<W THEN
                    BEGIN PSU[2]:=PSU[4]:=0 ;
                      GO TO MET
                    END
                END ;
MET:            ZX:=PSU[1]+PSU[2] ; ZY:=PSU[3]+PSU[4]
            END ;
          PROCEDURE CF(X,G) ; ARRAY X,G ;
            BEGIN IF X[2]>10RX[2]<T-1 THEN
                X[2]:=T-1+.05xIT/2 ;
```

```
      IF X[1]↑2>1-(T-X[2])↑2 THEN X[1]:=.05×1T ;
      CC(X[1],X[2],G[1],G[2]) ;
      THX:=G[1]↑2+G[2]↑2 ;
      IF POSO1(1,1) THEN
        PO16O(A1,'S(-.4D₁₀+2D2X)L',X[1],X[2],G[
        1],G[2],1T) ;
      FOR I:=1,2 DO G[I]:=W-3×G[I]
    END ;
  PROCEDURE STEFF(N,EPS,F,X,K) ; VALUE N,EPS ;
    REAL EPS ; INTEGER N,K ; ARRAY X ;
    PROCEDURE F ;
    BEGIN REAL S ; INTEGER I,J ;
        ARRAY G,H[1:N],A[1:N,1:N],B1,B2[1:N+2) ;
REP:  F(X,G) ;
      S:=0 ;
      FOR I:=1 STEP 1 UNTIL N DO S:=S+G[I]↑2 ;
      IF S<EPS↑2OR K>10 THEN GO TO EX ;
      FOR I:=1 STEP 1 UNTIL N DO
        IF ABS(G[I])<W-10 THEN
          BEGIN X[I]:=X[I]+EPS ;
            GO TO REP
          END ;
ITER: FOR J:=1 STEP 1 UNTIL N DO
        BEGIN S:=X[J] ; X[J]:=X[J]-G[J] ;
          F(X,H) ;
          FOR I:=1 STEP 1 UNTIL N DO
```

```
                    A[I,J]:=(H[I]-G[I])/G[J] ;
                  X[J]:=S
                END ;
              P0037(A,B1,B2) ;
              P0033(A,B,H) ;
              S:=0 ; K:=K+1 ;
              FOR I:=1 STEP 1 UNTIL N DO
                BEGIN S:=S+H[I]↑2 ; X[I]:=X[I]+H[I] ;
                END ;
              GO TO REP ;
EX:
            END ;
          PROCEDURE P9 ;
            BEGIN ARRAY HXI[1:13×NHX),HZI[1:13×NHZ] ;
              P0500(1,1,HZI) ;
              FOR II:=1 STEP 1 UNTIL NHX DO
                BEGIN P0737(FALSE,II+1,GR) ;
                  HXI[II]:=IF GR[15]=0 THEN 0 ELSE
                    IF IT=1 THEN GR[1] ELSE
                      SQRT(GR[15]) ;
                  FOR J:=3 STEP 1 UNTIL 12 DO
                    HXI[II+(J-2)×NHX]:=GR[J] ;
                  FOR J:=25,26 DO
                    HXI[II+(J-14)×NHX]:=GR[J] ;
                END ;
              P1071(NHX,NHZ,HXI,HZI,AA,12,3,FALSE) ;
```

```
      P0160(A1,'3L') ;
      FOR I1:=1 STEP 1 UNTIL NHZ DO
        P0160(A1,'3XZD.D2X',HZI[I1]) ;
      P0160(A1,'L') ;
      FOR J:=1 STEP 1 UNTIL 12 DO
        BEGIN FOR I1:=1 STEP 1 UNTIL NHZ DO
            P0160(A1,'X-2ZD.3D',HZI[I1+JxNHZ]) ;
          P0160(A1,'L') ;
        END ;
      P0160(A1,'3L') ;
      P0040(HZI) ;
      FOR I1:=1 STEP 1 UNTIL NHZ DO
        BEGIN FOR J:=0 STEP 1 UNTIL 12 DO
            P0160(A1,'X-2ZD.3D',HZI[I1+JxNHZ]) ;
          P0160(A1,'L')
        END ;
      P0160(A1,'3L') ;
    END ;
  PROCEDURE STPR ;
    BEGIN ARRAY P1,P2,P3[1:N],QI,QE,W[0:N],QB,
        WS[0:M] ; REAL TSR ;
      P0717(P0160,P0500,SIM) ;
      TSR:=TS[R] ;
      IF R=1 THEN
        P0160(A1,'5L20X'НИЖНЯЯПОЛОВИНА'2L') ELSE
        P0160(A1,'5L20X'ВЕРХНЯЯПОЛОВИНА'2L') ;
```

```
H1:=1+XX*COSS(0)-YY*SINS(0) ;
IF Q THEN JJ:=M ;
IF Q THEN
  H4:=1+XX*COSS(2*M*UM)-YY*SINS(2*M*UM) ;
FOR I:=0 STEP 1 UNTIL M DO
  QB[I]:=WS[I]:=0 ;
FOR I:=0 STEP 1 UNTIL JJ DO
  BEGIN H2:=1+XX*COSS(2*I*UM)-YY*SINS(2*
      I*UM) ;
    W[0]:=1/H2 ;
    PO160(A1,'ZD2X',1) ;
    PO160(A1,'3D2X',
      57,3*(FI(2*R-1)+I*TSR)) ;
    IF I>0 THEN
      PO500(1,(I-1)*(NN+N3)+N2+1,P2) ;
    IF I>1 THEN
      PO500(1,(I-2)*(NN+N3)+N2+1,P1) ;
    IF I<JJ THEN
      PO500(1,I*(NN+N3)+N2+1,P3) ;
    FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO
      BEGIN IF I=0 THEN P2(K):=0 ;
        IF I<1 THEN P1(K):=0 ;
        IF I=JJ THEN P3(K):=0 ;
        W(K):=W(0)+H2*(P3(K)-P1(K))/(4*
          TSR) ;
        IF I=1 THEN
```

```
            Q1[K]:=H1/2-H1↑3×(2×P2[K]-.5×
              P3[K])/(12×TSR) ;
            IF I=M-1ANDQ THEN
              QE[K]:=H4/2-H4↑3×(.5×P1[K]-2×
              P2[K])/(12×TSR) ;
            PO160(A1,'X-4ZD.4D',P2[K]) ;
          END ;
        PO160(A1,'L') ;
        WS[I]:=SIM(0,N,TZ[R],W) ;
        QB[I]:=H2↑3×(2×P2[I]-.5×P2[2])/(12×
          TZ[R]) ;
    END ;
  FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO
    IFNOTQ THEN
      BEGIN IT:=IF IN[K]≤JJ THEN 2×IN[K]×UM
          ELSE 2×(JJ×UM+IN[K]-JJ) ;
        H4:=1+XX×COSS[IT]-YY×SINS[IT] ;
        QE[K]:=H4/2
      END ;
  QE[0]:=QE[1] ; Q1[0]:=H1/2 ;
  GR[R+18]:=SIM(0,N,TZ[R],Q1) ;
  GR[R+20]:=SIM(0,N,TZ[R],QE) ;
  GR[R+22]:=SIM(0,M,TSR,QB)/DL↑2 ;
  IFNOTQ THEN FOR I:=JJ+1 STEP 1 UNTIL M DO
    BEGIN W[0]:=H4/(1+XX×COSS[2×I×UM]-YY×
        SINS[2×I×UM])↑2 ;
```

```
        WS[I]:=W[0] ;
      END ;
    GR[R+16]:=SIM(0,M,T8R,WS) ;
    IF GR[R+18]≠0 THEN
      GR[R+26]:=2×GR[R+16]/(GR[R+18]+GR[R+20]) ;
  END ;
P0042(FI,DL,LV,T,EPS,EPS1,ZX,THETA) ;
P10$1(FI,DL,LV,T,EPS,EPS1,ZX,THETA) ;
P1177(Q3) ;
P0015(Q3) ;
FOR R:=1,2,3,4 DO FI[R]:=,01745333×FI[R] ;
ZX:=ZX×,0174533 ; EPS1:=EPS1×,0174533 ; A1:=0 ;
P0160(A1,'3L') ;
TZ[1]:=1/N ; TZ[2]:=LV/N ;
P0717(SIN,COS) ;
FOR R:=1,2 DO
  BEGIN TS[R]:=(FI[2×R]-FI[2×R-1])/M ;
    TS[R+2]:=TS[R]/UM ;
    AS[R]:=(TS[R+2]/(TZ[R]×DL))↑2 ;
    FOR I:=0 STEP 1 UNTIL 2×M×UM DO
      BEGIN F:=FI[2×R-1]+I×TS[R+2]/
        SINS[I]:=SIN(F) ;
      END ;
    P0500[12,(4×M×
  END ;
P0707 ;
```

```
                P0042(HX1,HZ1) ;
                P1041(HX1,HZ1) ;
                P0160(A1,'2L') ;
                MAS:=1 ;
                FOR II:=1 STEP 1 UNTIL NHX DO
                  BEGIN IF II=1ANDHZ1[1]=0 THEN
                      BEGIN XST[1]:=HX1[1]*SIN(THETA) ;
                        XST[2]:=HX1[1]*COS(THETA) ; IT:=0 ;
                        STEFF(2,10-3*EPS1,CF,XST,IT) ;
                        HX1[1]:=SQRT(XST[1]↑2+XST[2]↑2) ;
                        IF ABS(XST[2])<10-8 THEN X3:=1.5708 ELSE
                          X3:=ARCTAN(XST[1]/XST[2]) ;
                        GO TO MR2
                      END ;
                    HX:=HX1[1] ; IT:=0 ; MAS:=1 ;
                    IF HX1[II+NHX]≠0 THEN THETA:=HX1[II+NHX] ;
                    X2:=IF HX≤1-T THEN 1.5708-EPS1 ELSE
                      ABS(1.5708-ARCSIN((T↑2+HX↑2-1)/(2*T*HX)))
                      -EPS1 ;
                    IF ABS(THETA)>X2 THEN THETA:=X2/2 ;
                    X3:=X1:=THETA ; D2:=D1:=CO(X3) ;
ITER:               IF ABS(D2)<EPS1/MAS THEN GO TO MR2 ;
                    IT:=IT+1 ;
                    IF SIGN(D2)≠SIGN(D1) THEN GO TO MR4 ;
                    D3:=CO(X3-D2) ;
                    D3:=IF D2=D3 THEN 0 ELSE D2↑2/(D2-D3) ;
```

```
                X1:=X3 ; X3:=X3-D3 ;
                IF ABS(X3)>X2 THEN X3:=SIGN(X3)*X2/1T ;
                GO TO MR5 ;
MR4:            D3:=X1-D1*(X3-X1)/(D2-D1) ; X1:=X3 ;
                X3:=D3 ;
MR5:            D1:=D2 ;
                IF IT>6 THEN GO TO MR2 ;
                D2:=GD(X3) ;
                GO TO ITER ;
MR2:            HX[II+NHX]:=X3 ; THETA:=X3 ;
              END ;
            PO160(A1,'3L') ;
            P1041(HX) ;
            P0040(HX) ;
            FOR II:=1 STEP 1 UNTIL NHX DO
              BEGIN HX:=HX[II] ; THETA:=HX[II+NHX] ;
                X:=HX*SIN(THETA) ; V:=HX*COS(THETA) ;
                FOR R:=1 STEP 1 UNTIL 30 DO GR[R]:=0 ;
                FOR R:=1,2 DO
                  BEGIN HH(X,V) ;
                    PRG ;
                    STPR ;
                    PO160(A1,'2L') ;
MPR:                IF T<V THEN
                      BEGIN PSU[2]:=PSU[4]:=HR[2]:=HR[4]:=
                        HR1[2]:=HR1[4]:=0 ;
```

```
                GO TO MS
              END
            END ;
MS;         GR[3]:=HX ; GR[4]:=THETA ;
            GR[1]:=PSU[3]+PSU[4] ;
            GR[14]:=PSU[1]+PSU[2] ;
            GR[15]:=GR[14]↑2+GR[1]↑2 ; GR[2]:=IF GR[
            1]<w-8 THEN 57.2958xZx ELSE
              57.2958xARCTAN(GR[14]/GR[1]) ;
            IF LV>.5 THEN GO TO LAB ;
            FOR R:=18,20,22,24 DO GR[R]:=2xGR[R] ;
LAB:        GR[25]:=GR[17]+GR[18] ;
            GR[26]:=GR[19]+GR[20] ;
            GR(9):=HR[1]+HR[2] ; GR[11]:=HR[3]+HR[4] ;
            GR[10]:=HR1[1]+HR1[2] ;
            GR[12]:=HR1[3]+HR1[4] ;
            FOR R:=9,10,12 DO
              IF ABS(GR[R])<w-12 THEN GR[R]:=w-12 ;
            GR[13]:=100x(GR[11]-GR[10])/GR[10] ;
            GR[10]:=GR[11]:=.5x(GR[10]+GR[11]) ;
            IF EPS1>1 THEN GO TO LEX ;
            CC(X-EPS,Y,HQ[1],HQ[2]) ;
            CC(X+EPS,Y,HQ[3],HQ[4]) ;
            GR[5]:=.5x(HQ[3]/EPS-HQ[1]/EPS) ;
            GR[7]:=.5x(HQ[4]/EPS-HQ[2]/EPS) ;
            CC(X,Y-EPS,HQ[1],HQ[2]) ;
```

```
                    CO(X,Y+EPS,HQ[3],HQ[4]) ;
                    GR[6]:=.5*(HQ[3]/EPS-HQ[1]/EPS) ;
                    GR[7]:=.5*(HQ[4]/EPS-HQ[2]/EPS) ;
LEX:                P1041(GR,11) ;
                    P0737(TRUE,11+1,GR) ;
                    IF P0501(3,45) THEN GO TO M5
                  END ;
M5:               P0160(A1,'3L') ;
                  FOR 11:=1 STEP 1 UNTIL NHX DO
                    BEGIN P0737(FALSE,11+1,GR) ;
                      FOR R:=1,2 DO P0160(A1,'X-2ZD.3D',GR[R]) ;
                      FOR R:=6 STEP 1 UNTIL 12 DO
                        P0160(A1,'X-3ZD.4D',GR[R]) ;
                      P0160(A1,'2(X-D.3D)',GR[3],GR[4]) ;
                      P0160(A1,'X2ZD.Z',ABS(GR[13])) ;
                      P0160(A1,'L') ;
                    END ;
                  P0300(11,1,HZ1) ;
                  FOR 11:=1 STEP 1 UNTIL NHX DO
                    BEGIN P0737(FALSE,11+1,GR) ;
                      P0160(A1,'D.3D',GR[3]) ;
                      FOR R:=17 STEP 1 UNTIL 26 DO
                        P0160(A1,'X-3ZD.4D',GR[R]) ;
                      P0160(A1,'2(XZD.2D)',GR[27],GR[28]) ;
                      P0160(A1,'L') ;
                    END ;
                    IF NHX<4 THEN GO TO AU ;
                    FOR IT:=1,2 DO P9 ;
AU:
                  END ;
                  GO TO LABS
                END
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Рекомендуемое

ОБРАЗЦЫ ЗАПОЛНЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Исходные данные для цилиндрического подшипника

Номер перфокарты	Адрес	Команды и числа						Пояснения	№ позиции
1/1		+	+	+	02	16		*M*	
	1	+	+	+	02	16	*KΣ*		2
	2								3
1/2	3	+	+	+	01	4		*N*	4
	4	+	+	+	01	4	*KΣ*		5
	5								6
1/3	6	+	+	+	01	6		*NHX*	7
	7	+	+	+	01	6			8
									9
1/4	1	+	+	+	02	12		*NHZ*	10
	2	+	+	+	02	12	*KΣ*		11
	3								12
1/5	4	+	+	+	01	2		*UM*	
	5	+	+	+	01	2	*KΣ*		2
	6								3
1/6	7	+	+	+	01	75			4
		+	+	+	03	1725		*FI*	5
	1	+	+	+	03	1875			6
	2	+	+	+	03	3525			7
	3						*KΣ*		8
	4								9

Продолжение

Номер перфокарты	Адрес	Команды и числа						Пояснения	№ позиции
1/7	5	+	+	+	00	8			10
	6	+	+	+	00	8	*KΣ*	*DL*	11
	7								12
1/8		+	+	+	00	3		*LV*	
	1	+	+	+	00	3	*KΣ*		2
	2								3
1/9	3					0		*T*	4
	4					0	*KΣ*		5
	5								6
1/10	6	+	+	—	06	1		*EPS*	7
	7	+	+	—	06	1	*KΣ*		8
									9
1/11	1	+	+	+	00	5		*EPS*1	10
	2	+	+	+	00	5	*KΣ*		11
	3								12
1/12	4					0		*ZX*	
	5					0	*KΣ*		2
	6								3
1/13	7					0		*THETA*	4
						0	*KΣ*		5
	1								6
1/14	2					0		*Q*3	7
	3					0	*KΣ*		8
1/15						0			
	1	+	+	+	00	2			2
	2	+	+	+	00	4			3
	3	+	+	+	00	6		*HXI*	4

Продолжение

Номер перфокарты	Адрес	Команды и числа						Пояснения	№ позиции
1/15	4	+	+	+	00	8			5
	5	+	+	+	00	9			6
	6	+	+	+	01	157			7
	7	+	+	+	01	125			8
		+	+	+	01	1			9
	1	+	+	+	00	79			10
	2	+	+	+	00	6			11
	3	+	+	+	00	5			12
1/16	4					0			
	5	+	+	+	00	2			2
	6	+	+	+	00	4		*HZI*	3
	7	+	+	+	00	6			4
		+	+	+	00	8			5
	1	+	+	+	01	1			6
	2	+	+	+	01	12			7
	3	+	+	+	01	14			8
	4	+	+	+	01	16			9
	5	+	+	+	01	18			10
	6	+	+	+	01	2			11
	7	+	+	+	01	22			12

Исходные данные для эллиптического подшипника

Номер перфокарты	Адрес	Команды и числа						Пояснения	№ позиции
1/1		+	+	+	02	16		*M*	
	1	+	+	+	02	16	$K\Sigma$		2
	2								3
1/2	3	+	+	+	01	4		*N*	4
	4	+	+	+	01	4	$K\Sigma$		5
	5								6

Продолжение

Номер перфокарты	Адрес	Команды и числа						Пояснения	№ позиции
1/3	6	+	+	+	01	5		*NHX*	7
	7	+	+	+	01	5			8
									9
1/4	1	+	+	+	02	12		*NHZ*	10
	2	+	+	+	02	12	*KΣ*		11
	3								12
1/5	4	+	+	+	01	2		*UM*	
	5	+	+	+	01	2	*KΣ*		2
	6								3
1/6	7	+	+	+	01	75			4
		+	+	+	03	1725		*FI*	5
	1	+	+	+	03	1875			6
	2	+	+	+	03	3525			7
	3						*KΣ*		8
	4								9
1/7	5	+	+	+	00	8		*DL*	10
	6	+	+	+	00	8	*KΣ*		11
	7								12
1/8		+	+	+	00	3		*LV*	
	1	+	+	+	00	3	*KΣ*		2
	2								3
1/9	3					0		*T*	4
	4					0	*KΣ*		5
	5								6
1/10	6	+	+	—	06	1		*EPS*	7
	7	+	+	—	06	1	*KΣ*		8
									9

Продолжение

Номер перфокарты	Адрес	Команды и числа						Пояснения	№ позиции
1/11	1	+	+	+	00	5		*EPS*1	10
	2	+	+	+	00	5	$K\Sigma$		11
	3								12
1/12	4					0		*ZX*	
	5					0	$K\Sigma$		2
	6								3
1/13	7					0		*THETA*	4
						0	$K\Sigma$		5
	1								6
1/14	2					0		*Q*3	7
	3					0	$K\Sigma$		8
1/15					00	54			
	1				00	6			2
	2				00	7		*HXI*	3
	3				00	8			4
	4				00	9			5
	5				00	12			6
	6				00	32			7
	7				00	46			8
					00	48			9
	1				00	4			10
	2						$K\Sigma$		11
	3								12
1/16	4					0			
	5				00	2			2
	6				00	4			3
	7				00	6		*HZI*	4
					00	8			5
	1				01	1			6
	2				01	12			7

Продолжение

Номер перфокарты	Адрес	Команды и числа						Пояснения	№ позиции
	3				01	14			8
	4				01	16			9
1/16	5				01	18			10
	6				01	2			11
	7				01	22			12

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Рекомендуемое

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СТАНДАРТНЫХ ПРОГРАММ

В программе РТМ используются следующие стандартные программы ИС-2:

Р0166 — подключение стандартных программ к БСП;
Р0042 — ввод десятичных чисел и перевод их в двоичную систему;
Р1041 — перевод чисел из двоичной системы в десятичную и печать;
Р1177 — ввод кодов;
Р0015 — печать кодов;
Р0036 — умножение квадратных матриц;
Р0037 — обращение матрицы методом Жордана с выбором главного элемента;
Р0033 — умножение матрицы на вектор;
Р0034 — умножение квадратной матрицы на диагональную;
Р0035 — умножение диагональной матрицы на квадратную полную;
Р1067 — умножение прямоугольных матриц;
Р1071 — интерполяция по схеме Эйткена;
Р0737 — программа обмена МОЗУ с МБ;
Р0500 — программа обмена с дополнительными МОЗУ;
Р0501 — разветвления в алгольной программе в зависимости от ключей КЗУ;
Р0160 — программа печати;
Р0660 — программа печати.

Программы Р0500, Р0501, Р0160 и Р0660 подсоединяются к БСП после трансляции при помощи программы Р0166.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Условные обозначения	1
2. Статические характеристики смазочного слоя	2
3. Порядок расчета	2
4. Программа для вычислений на ЭВМ	4
5. Инструкция по заполнению бланка исходных данных	4
6. Примеры расчета	6
Приложение 1. Программа расчета статических характеристик	7
Приложение 2. Образцы заполнения исходных данных	25
Приложение 3. Перечень используемых стандартных программ	31

Ответственный за выпуск *В. С. Розанова*

Редактор *Н. М. Егорова.*

Техн. ред. *Н. П. Белянина.* Корректор *Н. М. Чернецова.*

Сдано в набор 20.10.76. Подписано к печ. 22.12.76. Формат бум. $60\times90^{1}/_{16}$.

Объем 2 печ. л. Тираж 400 экз. Заказ 864. Цена 40 коп.

gost.e-ecolog.ru

Редакционно-издательский отдел ЦКТИ им. И. И. Ползунова.
194021, Ленинград, Политехническая ул., д. 24.