

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОДШИПНИКОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ
БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

РТМ 108.020.101—76

Издание официальное

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

Директор
Заведующий базовым отраслевым отделом
стандартизации

Н. М. МАРКОВ

Заведующий отделом паровых турбин
Руководители темы:

К. А. СУПРЯДКИН
Н. Н. ЕРМАШОВ
И. С. ЮРЧЕНКО
А. В. КАМСКИЙ
Л. А. ЗАХАРОВА,
Г. М. МЕЙЕРОВИЧ

Исполнители:

**ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ Техническим управлением
Министерства энергетического машиностроения**

Начальник Технического управления
Начальник отдела опытно-конструкторских
и научно-исследовательских работ
по турбостроению

В. П. ПЛАСТОВ

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

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_n — центр расточки нижнего вкладыша;

O_v — центр расточки верхнего вкладыша;

O_z — центр цапфы;

x^* , y^* — координаты центра цапфы относительно осей, проходящих через O_n , 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/см²;

ν — кинематическая вязкость смазки, см²/с;

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

β — угол действия нагрузки;

θ — угол наклона линии центров O_nO_u к вертикали;
 Re^{cp} — среднее число Рейнольдса;

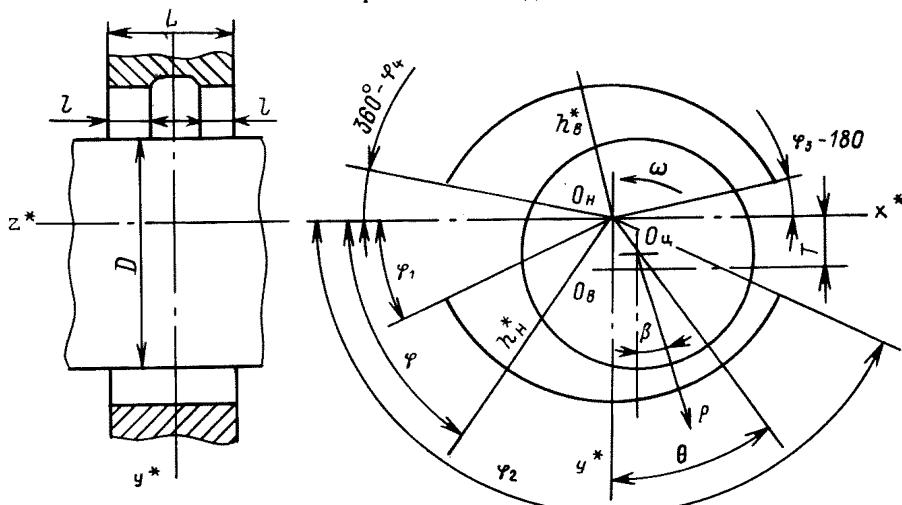
q^* — расход смазки, $\text{см}^3/\text{с}$;

t — средняя безразмерная температура смазки;

c — теплоемкость смазки, $\text{кг} \cdot \text{см}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

— удельный вес смазки, кгс/см³.

Схема расточкики 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.

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).

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

и потери мощности на трение

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

где q^* — расход смазки (входной, выходной или торцевой), $\text{см}^3/\text{с}$;
 q — безразмерный расход (из результатов расчета по программе приложения 1);

w^* — потери мощности на трение в смазочном слое, $\text{кгс} \cdot \text{см}$;
 w — безразмерные потери мощности.

3.4. Вычисляется среднее значение числа Рейнольдса

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

где δ — радиальный зазор;

D — диаметр цапфы;

v — кинематическая вязкость смазки, $\text{см}^2/\text{с}$.

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

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

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

3.6. Расход смазки через нерабочие зоны

$$q^* = \frac{LD^2\omega\psi p_a}{12} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} [1 + \gamma \cos(\theta + \varphi)] d\varphi,$$

он складывается с расходом смазки через торцы подшипника, вычисленным в п. 3.3, где p_a — давление на входе в подшипник, $\text{кгс}/\text{см}^2$.

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 , $^{\circ}\text{C}$;
 T_0 — температура на входе в подшипник, $^{\circ}\text{C}$;
 c — теплоемкость смазки, $\text{кг} \cdot \text{см}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$;
 γ — удельный вес смазки, $\text{кгс}/\text{см}^3$.

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 эксцентрикитета цапфы χ . Для каждого эксцентрикитета, начиная с наименьшего, находят угол θ наклона линий центров $O_{\text{н}}O_{\text{ц}}$, 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 эксцентрикитета задается лишь для наименьшего эксцентрикитета.

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 эксцентрикитета, в тех случаях, когда число эксцентрикитетов 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 эксцентрикитета 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});
EPS1 — 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_n и центр цапфы $O_{ц}$, равный 90° для цилиндрических и 0° для эллиптических подшипников;
Q3 — булевская переменная, имеющая значение *false*;
***HXI* [1 : 2 \times *NHX*]** — массив, в первых *NHX* элементах которого задаются значения эксцентрикитетов χ в порядке их возрастания, а в последующих *NHX* — соответствующие этим эксцентрикитетам углы наклона линии центров (при неизвестных начальных значениях равные нулю). Для эллиптического подшипника без выбранного верха $HXI[1] \geqslant \geqslant T/2$, а с выбранным верхом $HXI[1] \leqslant \leqslant T - 1 + EPS$;
***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 I

Рекомендуемое

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА
СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

```

BEGIN INTEGER M,N,NHX,II,I,J,K,R,NU,IT,JO,NN,NHZ,IV,NY,NZ,
      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,EP81,
      SINA,COSA,MAS,ZK,X,Y,KX,YK,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:=MAXI + N3:=3NN ; N2:=2NN ;
      BEGIN ARRAY S1N8,C088(0:2NNUM),TS(1:4),TZ,AB,
      XST(1:2),F1,P84,MR,HR1,HR,HR3(1:4),HX(1:2NNX),
      HZ(1:NHZ) ; INTEGER ARRAY IM,KZ(1:N) ; REAL THX ;
      REAL
      PROCEDURE S1M(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+0.5(V(J)+V(J+1)) ;
      S1M:=2XHTM/S ;
      END ;
      PROCEDURE PRC ;
      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 JOJO ;
      P0717(P0034,P0035,P0036,P0037,P0500,P0501,

```

```
P1067) }

P0500(2,(4*MM*UM+2)*(R-1)+1,SINS,COS$) ;

Q:=TRUE ;

FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO IN(K):=M ;
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO V(K):=0 ;
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL NN DO X(K):=0 ;
FOR I:=1 STEP 1 UNTIL M DO
  P0500(1,(I-1)*(NN+N3)+1,X,Y) ;
REM:=NV:=1 ;
JJ:=IF UM=1 THEN 1 ELSE 0 ; JJJ:=M-1 ;
H1:=(1+XXXC06$1)-YYXSINS(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 VS(K):=0 ;
    FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO
      XS(K*NN-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:=COS$1(NV) ;
          SIN$1:=SINS(NV) ;
          H5:=-COS$1*XTS(R+2)†2 ;
          H6:=SIN$1*XTS(R+2)†2 ;
          H7:=(XXXH6-YY*H5)†6 ;
        END ;
      END ;
    END ;
  END ;
END ;
```

```

H4:=(1+XXXC08A-MYX8INA)+3XA8(R) ;
NV:=NV+1 ;
H1:=(1+XXXC088(NV)-MYX8INS(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+N2):=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(0xN-N+J):=C(J) ;
P1067(N,N,3,Y,X,P1) ;
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO
  F(J):=F(J)+P1(J) ;
P1067(N,N,3,F,B,Y) ;
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
XXXX(K+N)-YYYY(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,3,4,XS,P1) ;
P0800(11,IV,X,Y) ;
IV:=IV+NN+N3 ;
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO
VS(K):=VS(K)+P1(K) ;
P0036(X,X8,B) ;
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL NN DO
X8(K):=B(K) ;
END ;
P0500(11,REM,XS,VS) ;
IF I>0 THEN REM:=REM+NN+N3 ;
IF EPS1>1 THEN P1041(X,X8,Y,VS,I) ;
END ;
GO TO ME3 ;
ME2:
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO IN(K):=I+MU-1 ;
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N3 DO P1(K):=0 ;
P0500(11,REM,P1) ;

```

```

FOR I:=IN[N]-1 STEP -1 UNTIL 1 DO
  BEGIN REM:=REM-NN-N3 ;
    P0500(1,REM,X,P2) ;
    IF EP81>1 THEN P1041(I,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
        XXXP1(K+N)-XXXP1(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
    END ;
    P0500(11,REM,P1) ;
    IF EP81>1 THEN P1041(1,P1) ;
  END ;
  P0717 ;
  IF Q THEN JJ:=M-1 ;
END ;
BEGIN ARRAY PS(1:3),PSX,PSY(1:3xM) ;

```

```

P0717(SIM,PS000,PS001) ;

FOR I:=1 STEP 1 UNTIL 3xM DO
  PSX[I]:=PSY[I]:=0 ;
  FOR I:=1 STEP 1 UNTIL IF Q THEN M-1 ELSE
    J DO
      BEGIN PS000(1,(I-1)x(NN+N3)+1,P1) ;
      K:=I ;
      FOR J:=1,2,3 DO
        BEGIN PS(I,J):=SIM((J-1)xN+1,Jx
        N,TZ[R],P1) ;
        PSX(I,J-1)xM+1):=-PS(I,J)xG0SS(2x
        UMK) ;
        PSY(I,J-1)xM+1):=PS(I,J)xS1NS(2x
        UMK) ;
      END
      END
    END ;
  HR[R]:=6xSIM(1,M,TS[R],PSX) ;
  HR[R+2]:=6xSIM(1,M,TS[R],PSY) ;
  HR1[R]:=6xSIM(M+1,2xM,TS[R],PSX) ;
  HR1[R+2]:=6xSIM(M+1,2xM,TS[R],PSY) ;
  PSU[R]:=5xSIM(2xM+1,3xM,TS[R],PSX) ;
  PSU[R+2]:=5xSIM(2xM+1,3xM,TS[R],PSY) ;
  IF R=10RLV>.5 THEN GO TO AUS ;
  HR[2]:=2xHR[2] ; HR[4]:=2xHR[4] ;
  HR1[2]:=2xHR1[2] ; HR1[4]:=2xHR1[4] ;
  PSU[2]:=2xPSU[2] ; PSU[4]:=2xPSU[4] ;

```

AUS:

```

      END
      END ; REAL
PROCEDURE CD(X) ; VALUE X ; REAL X ;
BEGIN XX:=X; HXX:=X*SIN(X) ; Y:=HXX*COS(X) ;
FOR R:=1,2 DO
BEGIN HH(X,Y) ;
PNC ;
IF T<Y THEN
BEGIN PSU(2):=PSU(4):=0 ;
GO TO MCC ;
END
END ;
MCC:
GR(1):=PSU(3)+PSU(4) ;
GR(3):=8*GN(GR(1)) ;
GR(2):=PSU(1)+PSU(2) ; GR(2):=IF ABS(GR(1))>W-10 THEN GR(2)/GR(1) ELSE
IF ABS(GR(2))<W-10 THEN ZX ELSE
IF GR(2)>W-10 THEN 1.570796 ELSE
-1.570796 ;
IF ABS(GR(2))>W-10 AND ABS(GR(1))>W-10 THEN
GR(2):=PO076(GR(2),GR(3)) ;
IF GR(2)>3.14159 THEN
GR(2):=GR(2)-6.2831853 ;
SS:=GR(2)-ZX ;
IF POS01(1,1) THEN

```

```

P1041(X,SS,GR(2),GR(1),IT) ;
IF ABS(SS)<=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)<=10 THEN 1.5708 ELSE
ARCTAN(X/Y) ;
FOR R:=1,2 DO
BEGIN HH(X,Y) ;
PRG ;
IF T<Y THEN
BEGIN PSU(2):=PSU(4):=0 ;
GO TO MET
END
END ;
NET: 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+.05*IT/2 ;

```

```

IF X(1)+2>1-(T-X(2))+2 THEN X(1):=.05*T ;
GC(X(1),X(2),G(1),G(2)) ;
THX:=G(1)+2+G(2)+a ;
IF POS01(1,1) THEN
  P0160(A1,'S(-.4Dn+2D2X)L',X(1),X(2),G(
  1),G(2),IT) ;
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,E1:N;A[1:N,1:N],B1,B2[1:N+2] ;
F(X,G) ;
S:=0 ;
FOR I:=1 STEP 1 UNTIL N DO S:=S+G(I)+2 ;
IF S<EPs+20*H>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 ;
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
    X(I):=X(I)+S ;
  END ;
END REP ;
END STEFF ;
REP:
EX:
ITER:

```

```

      A(1,3):=(H(1)-G(1))/G(3) +
      X(3):=8
      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 HX(1:13×NHX),HZ1(1:13×NHz) ;
P0500(1,1,HZ1) ;
FOR I1:=1 STEP 1 UNTIL NHX DO
  BEGIN P0737(FALSE,I1+1,GR) ;
  HX(I1):=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
    HX(I1+(J-2)×NHX):=GR(J) ;
  FOR J:=25,26 DO
    HX(I1+(J-14)×NHX):=GR(J) ;
  END ;
P1071(NHX,NHz,HX1,HZ1,AA,12,3,FA1SE) ;

```

```

P0160(A1,'3L') ;
FOR I1:=1 STEP 1 UNTIL NHZ DO
  P0160(A1,'3XZD.02X',HZI[1]) ;
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[1]+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[1]+JxNHZ) ;
    P0160(A1,'L') ;
  END ;
P0160(A1,'3L') ;
END ;
PROCEDURE STPR ;
BEGIN ARRAY P1,P2,P3[1:N],Q1,QE,W[0:N],QB,
  WS[0:M] ; REAL TBR ;
  P0717(P0160,P0500,SIM) ;
  TSR:=TS[R] ;
  IF R=1 THEN
    P0160(A1,'SL20X'НИЖНЯЯПОЛОВИНА'2L') ELSE
    P0160(A1,'SL20X'ВЕРХНЯЯПОЛОВИНА'2L') ;
  END ;

```

```

H1:=1+XXxC088(0)-YYxS1NS(0) ;
IF Q THEN J3:=M ;
IF Q THEN
H4:=1+XXxC088(2xMxUM)-YYxS1NS(2xMxUM) ;
FOR I:=0 STEP 1 UNTIL M DO
QB(I):=WS(I);:=0 ;
FOR I:=0 STEP 1 UNTIL J3 DO
BEGIN H2:=1+XXxC088(2x1xUM)-YYxS1NS(2x
1xUM) ;
W(0):=1/H2 ;
P0160(A1,'ZD2X',1) ;
P0160(A1,'3D2X',
57,3x(F((2xR-1)+IxTSR)) ;
IF I>0 THEN
P0500(1,(I-1)x(NN+N3)+N2+1,P2) ;
IF I>1 THEN
P0500(1,(I-2)x(NN+N3)+N2+1,P1) ;
IF I<J3 THEN
P0500(1,Ix(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>2 THEN P3(K):=0 ;
W(K):=W(0)+N8x(P3(K)-P1(K))/(4x
TSR) ;
IF I>1 THEN

```

```

        Q1(K):=H1/2-H1†3x(2xP2(K)-.5x
        P3(K))/(12xTSR) ;
        IF I=M-1 AND Q THEN
        QE(K):=H4/2-H4†3x(,.5xP1(K)-2x
        P2(K))/(12xTSR) ;
        P0160(A1,'X-4ZD,4D',P2(K)) ;
        END ;
        P0160(A1,'L') ;
        WS(1):=SIM(0,N,TZ(R),W) ;
        QB(1):=H2†3x(2xP2(1)-.5xP2(2))/(12x
        TZ(R)) ;
        END ;
        FOR K:=1 STEP 1 UNTIL M DO
        IF NOT Q THEN
        BEGIN IT:=IF IN(K)<JJ THEN 2xIN(K)xUM
        ELSE 2x(JJxUM+IN(K)-JJ) ;
        H4:=1+XXXC055(|T|-YYxSIN8(|T|) ;
        QE(K):=H4/2
        END ;
        QE(0):=QE(1) ; Q1(0):=H1/2 ;
        CR(R+18):=SIM(0,N,TZ(R),Q1) ;
        CR(R+20):=SIM(0,N,TZ(R),QE) ;
        CR(R+22):=SIM(0,M,TSR,QB)/DL†2 ;
        IF NOT Q THEN FOR I:=JJ+1 STEP 1 UNTIL M DO
        BEGIN W(0):=H4/(1+XXXC055(2xIN(K))-YYx
        SINS(2xIN(K)))†2 ;

```

```

WB[1]:=W[0] ;
END ;
GR[R+16]:=SIM(0,M,T&R,WB) ;
IF GR[R+16]>0 THEN
  GR[R+26]:=2xGR[R+16]/(GR[R+16]+GR[R+20]) ;
END ;
P0042(F1,DL,LV,T,EP&,EP&1,ZX,THETA) ;
P1061(F1,DL,LV,T,EP&,EP&1,ZX,THETA) ;
P1177(Q3) ;
P0015(Q3) ;
FOR R:=1,2,3,4 DO F1[R]:=,0174533xF1[R] ;
ZX:=ZXx,0174533 ; EP&1:=EP&1x,0174533 ; A1:=0 ;
P0160(A1,'3L') ;
TZ[1]:=1/N ; TZ[2]:=LV/N ;
P0717(SIN,COS) ;
FOR R:=1,2 DO
  BEGIN T8(R):=(F1[2xR]-F1[2xR-1])/M ;
  T8[R+2]:=T8(R)/UM ;
  A8(R):=(T8[R+2]/(TZ[R]xDL))†2 ;
  FOR I:=0 STEP 1 UNTIL 2xMxUM DO
    BEGIN F:=P1[2xR-1]+1xT8[R+2]/?
      SIN3[I]:=SIN(F) ;
    END ;
  P0500{12,{4xMxU
END ;
P0707 ;

```

```

P0042(HX1,HZ1) ;
P1041(HX1,HZ1) ;
P0160(A1,'2L') ;
MAS:=1 ;
FOR II:=1 STEP 1 UNTIL NHX DO
BEGIN IF II=1 AND HZ1[1]=0 THEN
BEGIN XST[1]:=HX1[1]*SIN(THETA) ;
XST[2]:=HX1[1]*COS(THETA) ; IT:=0 ;
STEFF(2,1-3*EPS1,CF,XST,IT) ;
HX1[1]:=SQRT(XST[1]^2+XST[2]^2) ;
IF ABS(XST[2])<1-8 THEN X3:=-1.5708 ELSE
X3:=ARCTAN(XST[1]/XST[2]) ;
GO TO MR2
END ;
HX:=HX1[1] ; IT:=0 ; MAS:=1 ;
IF HX1[1]+NHX)>0 THEN THETA:=HX1[1]+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:=CD(X3) ;
ITER: IF ABS(D2)<EPS1/MAS THEN GO TO MR2 ;
IT:=IT+1 ;
IF SIGN(D2)≠SIGN(D1) THEN GO TO MR4 ;
D3:=CD(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)XX2/IT ;
GO TO MRS ;
MRS:
D3:=X1-D1*(X3-X1)/(D2-D1) ; X1:=X3 ;
X3:=D3 ;
MRS1:
D1:=D2 ;
IF IT>8 THEN GO TO MR2 ;
D2:=CD(X3) ;
GO TO ITER ;
MR2:
HX1(1)+NHX):=X3 ; THETA:=X3 ;
END ;
P0160(A1,'3L') ;
P1041(HX1) ;
P0040(HX1) ;
FOR I1:=1 STEP 1 UNTIL NHX DO
BEGIN HX:=HX1(I1) ; THETA:=HX1(I1)+NHX) ;
X:=HX*EXP(THETA) ; Y:=HX*EXP(THETA) ;
FOR R:=1 STEP 1 UNTIL 30 DO GR[R]:=0 ;
FOR R:=1,2 DO
BEGIN HH(X,Y) ;
PNC ;
STPR ;
P0160(A1,'2L') ;
MPR:
IF TSV THEN
BEGIN PSU[2]:=PSU[4]:=HR[2]:=HR[4]:=0 ;
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]
       1]<=8 THEN 57.2958*ZX ELSE
       57.2958*ARCTAN(GR[14]/GR[1]) ;
       IF LV>.5 THEN GO TO LAB ;
       FOR R:=16,20,22,24 DO GR[R]:=2*GR[R] ;
       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])<=12 THEN GR[R]:=12 ;
       GR[13]:=100*(GR[11]-GR[10])/GR[10] ;
       GR[10]:=GR[11]:=5*(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]:=5*(HQ[3]/EPS-HQ[1]/EPS) ;
       GR[7]:=5*(HQ[4]/EPS-HQ[2]/EPS) ;
       CC(X,Y-EPS,HQ[1],HQ[2]) ;

```

```

      CC(X,Y+EPS,HQ(3),HQ(4)) ;
      GR(6):=.5X(HQ(3)/EPS-HQ(1)/EPS) ;
      GR(7):=.5X(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 ;
      P0800(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

Продолжение

Номер перфокарты	Адрес	Команды и числа							Пояснения	№ позиции
1/7	5 6	+	+	+	00 00	8 8	$K\Sigma$	DL		10 11
	7									12
1/8	1 1	+	+	+	00 00	3 3	$K\Sigma$	LV		2
	2									3
1/9	3 4					0 0	$K\Sigma$	T		4 5
	5									6
1/10	6 7	+	+	-	06 06	1 1	$K\Sigma$	EPS		7 8
										9
1/11	1 2	+	+	+	00 00	5 5	$K\Sigma$	$EPS1$		10 11
	3									12
1/12	4 5					0 0	$K\Sigma$	ZX		2
	6									3
1/13	7					0 0	$K\Sigma$	$THETA$		4 5
	1									6
1/14	2 3					0 0	$K\Sigma$	$Q3$		7 8
1/15	1 2 3	+	+	+	00 00 00	2 4 6		HXI		2 3 4

Продолжение

Исходные данные для эллиптического подшипника

Продолжение

Продолжение

Номер перфо-карты	Адрес	Команды и числа							Пояснения	№ позиции
1/11	1	+	+	+	00	5	$K\Sigma$	<i>EPS1</i>	10	
	2	+	+	+	00	5			11	
	3								12	
1/12	4					0		<i>ZX</i>		
	5					0	$K\Sigma$		2	
	6								3	
1/13	7					0		<i>THETA</i>	4	
						0	$K\Sigma$		5	
	1								6	
1/14	2					0		<i>Q3</i>	7	
	3					0	$K\Sigma$		8	
1/15	1				00	54				
					00	6			2	
	2				00	7		<i>HXI</i>	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		<i>HZI</i>	4	
					00	8			5	
	1				01	1			6	
	2				01	12			7	

Продолжение

Номер перфо-карты	Адрес	Команды и числа				Пояснения	№ позиции
1/16	3			01	14		8
	4			01	16		9
	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:

P0166 — подключение стандартных программ к БСП;

P0042 — ввод десятичных чисел и перевод их в двоичную систему;

P1041 — перевод чисел из двоичной системы в десятичную и печать;

P1177 — ввод кодов;

P0015 — печать кодов;

P0036 — умножение квадратных матриц;

P0037 — обращение матрицы методом Жордана с выбором главного элемента;

P0033 — умножение матрицы на вектор;

P0034 — умножение квадратной матрицы на диагональную;

P0035 — умножение диагональной матрицы на квадратную полную;

P1067 — умножение прямоугольных матриц;

P1071 — интерполяция по схеме Эйткена;

P0737 — программа обмена МОЗУ с МБ;

P0500 — программа обмена с дополнительными МОЗУ;

P0501 — разветвления в алгольной программе в зависимости от ключей КЗУ;

P0160 — программа печати;

P0660 — программа печати.

Программы P0500, P0501, P0160 и P0660 подсоединяются к БСП после трансляции при помощи программы P0166.

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. 60×90¹/₁₆.
Объем 2 печ. л. Тираж 400 экз. Заказ 864. Цена 40 коп.

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