***Динамические реакции в подшипниках ротора***

*Начальные исходные данные в соответствии с вариантом №2:*

*.*

***1. В соответствии с вариантом схемы №2 изображаем схему задачи:***

*C:\Users\1\Documents\Ротор.tif*

***2.Находим исходные данные(n=3,N=7):***

*=*

*;*

***3.Вычисление масс-инерционных характеристик ротора***

*Масса ротора определяется как сумма масс колес:*

*В соответствии со схемой задачи определим координаты центров масс колес в системе координат Axyz в виде:*

*Находим координаты центра масс ротора:*

*(1)*

*(2)*

*(3)*

*Найдем тензоры инерции каждого колеса в системе координат, оси которой являются для соответствующего колеса главными осями инерцию*

*Для колеса 1 такой системой координат является .*

*Поскольку, оси этой системы являются для колеса 1 главными осями симметрии, то все центробежные моменты равны 0.*

*Моменты инерции колеса 1относительно осей:*

*.*

*Значит тензор инерции колеса 1 в системе координат примет вид:*

*. (4)*

*Аналогично, для колеса 2 оси системы координат являются главными осями инерции и соответственно тензор инерции колеса 2 в этой системе:*

*(5)*

*В системе координат тензор инерции колеса 2 определяется следующим образом:*

*. (6)*

*Здесь матрица направляющих косинусов между осями трехгранника и трехгранника .-транспонированная матрицa .*

*Трехгранник повернут на угол относительно трехгранника вокруг оси против часовой стрелки (со стороны положительного направления оси).*

*Тогда .*

*Так как угол мал, то пренебрегаем величинами второго и выше порядка малости по. Имеется в виду разложение и в ряд Маклорена. Тогда: и выражение (6) приобретает вид:*

*=*

*Пренебрегая членами 2-го порядка малости по , получаем:*

*(7)*

*Для нахождения компонентов тензоров и в осях Axyz воспользуемся правилами преобразования тензора инерции при параллельном переносе осей координат: обобщенной теоремой Гюйгенса-Штейнера:*

*(8)*

*Это и есть правило преобразования тензора инерции при параллельном переносе системы координат.*

*Здесь: -тензор инерции тела в центре масс;*

*- тензор инерции тела в т.A;*

*– радиус-вектор т. С в системе координат Axyz;*

*-скалярное произведение на самого себя;*

*– диадное произведение на самого себя;*

*E-единичная матрица(3)*

*m- масса тела.*

*В координатной форме:;*

*(9)*

*Учитывая (4),(8),(9) находим - тензор инерции колеса 1относительно системы координат Axyz:*

*Подставляем значения, при этом величиной*

*Пренебрегаем.*

*(10)*

*Аналогично, для , учитывая (7),(8),(9) получаем:*

*(11)*

*Тензор инерции ротора :*

*(12)*

*Получили тензор инерции ротора в системе координат Axyz.*

*В соответствии с общей формой представления тензора инерции:*

*Выпишем элементы тензора инерции, которые потом будут использованы при составлении уравнений равновесия:*

*(13)*

***4.Составление уравнений равновесия;***

*Для составления уравнений равновесия есть несколько способов.*

*Мы воспользуемся методом кинетостатики, в основе которого лежит принцип Даламбера.*

*На ротор действуют: внешние моменты и ;*

*динамические реакции подшипников в т.A и т.B: и соответственно;*

*фиктивные силы инерции, которые можем привести к произвольной точке на оси вращения z. Выберем точку приведения-т.A.*

*В результате приведения получим силу, равную главному вектору сил инерции и пара сил, момент которой равен главному моменту сил инерции*

*.*

*Предположим ротор вращается вместе со связанной с ним системой координат Axyz(правая система осей координат) вокруг оси z против часовой стрелки(со стороны положительного направления оси z)c угловой скоростью и угловым ускорением ( направлены в сторону положительного направления оси z).*

*Тогда, проекции главного вектора сил инерции на оси системы координат Axyz:*

*(14)*

*Проекции главного момента сил инерции:*

*(15)*

*Тогда в соответствии с методом кинетостатики:*

*Где равнодействующая активных сил, приложенных к материальной точке;*

*равнодействующая реакций связей, наложенных на материальную точку;*

*- фиктивная сила инерции, ,- ускорение материальной точки. Это общая формулировка.*

*Применительно к нашему случаю (твердое тело) получаем 6 уравнений равновесия:*

*(16)*

*(17)*

*С учетом соотношений (14) и соотношений (15) уравнения равновесия (16) и (17) в нашем случае приобретают вид:*

*(18)*

*Уравнение проекций сил на ось z тождественно равно 0.*

*Преобразуем соотношения (18)*

*(19)*

*Это дифференциальное уравнение вращения ротора.*

*Подставляем числовые значения и выражаем искомые реакции:*

*(*

*Находим величины реакций:*

*Подставляя данные в уравнение (19) получим:*

*.*

*Вводя переменную , запишем уравнение (24) в форме Коши:*

*-начальные условия (при t=o).*

*Уравнение (25) является искомым уравнением для численного интегрирования на интервале .*

***5.Решение задачи на ЭВМ и обработка результатов.***

*Для решения задачи использован математический пакет Scilab 5.5.2.*

*Численное решение задачи Коши (уравнение(25)) произведено методом Рунге-Кутта 4-го порядка. Шаг h=.*

*На каждом шаге вычисляются:,.*

*Затем, по формулам (20),(21),(22),(23),(24) последовательно вычисляются:*

*Листинг программы представлен в приложении 1.*

*Результаты расчетов:*

*t,c | omega | ebs | Xb | Yb | Xa | Ya | Rb | Ra*

*0.00 |990.000 |-1051.966 |-60691.221 |-4341.946|60716.468|-19181.042|60846.337|63674.185*

*0.14 |862.866 |-783.107 |-46104.501 |-3297.392|46123.296|-14571.980|46222.265|48370.456*

*0.28 |766.681 |-602.136 |-36398.723 |-2602.232|36413.175|-11505.307|36491.624|38187.582*

*0.42 |691.798 |-474.629 |-29635.835 |-2117.764|29647.226|-9368.566|29711.406|31092.250*

*0.56 |632.193 |-381.510 |-24749.044 |-1767.632|24758.200|-7824.639|24812.088|25965.236*

*0.70 |583.904 |-311.513 |-21112.674 |-1507.046|21120.151|-6675.811|21166.393|22150.107*

*0.84 |544.221 |-257.638 |-18340.570 |-1308.363|18346.754|-5800.059|18387.178|19241.727*

*0.98 |511.227 |-215.349 |-16184.202 |-1153.787|16189.370|-5118.851|16225.277|16979.350*

*1.12 |483.527 |-181.601 |-14477.899 |-1031.456|14482.258|-4579.839|14514.595|15189.164*

*1.26 |460.080 |-154.289 |-13107.881 |-933.221|13111.584|-4147.070|13141.059|13751.793*

*1.40 |440.096 |-131.917 |-11993.962 |-853.339|11997.128|-3795.209|12024.280|12583.112*

*1.54 |422.964 |-113.401 |-11078.355 |-787.670|11081.077|-3505.998|11106.322|11622.491*

*1.68 |408.202 |-97.939 |-10318.582 |-733.172|10320.933|-3266.016|10344.597|10825.364*

*1.82 |395.427 |-84.926 |-9682.865 |-687.568|9684.903|-3065.222|9707.246|10158.393*

*1.96 |384.330 |-73.899 |-9147.057 |-649.127|9148.831|-2895.989|9170.061|9596.242*

*2.10 |374.659 |-64.499 |-8692.549 |-616.516|8694.097|-2752.437|8714.384|9119.387*

*2.24 |366.207 |-56.444 |-8304.813 |-588.694|8306.168|-2629.977|8325.652|8712.588*

*2.38 |358.803 |-49.510 |-7972.378 |-564.838|7973.566|-2524.984|7992.362|8363.809*

*2.52 |352.301 |-43.515 |-7686.088 |-544.292|7687.133|-2434.567|7705.336|8063.444*

*2.66 |346.581 |-38.315 |-7438.565 |-526.527|7439.485|-2356.394|7457.176|7803.750*

*2.80 |341.541 |-33.789 |-7223.809 |-511.113|7224.620|-2288.570|7241.868|7578.435*

*2.94 |337.094 |-29.839 |-7036.902 |-497.697|7037.618|-2229.542|7054.480|7382.339*

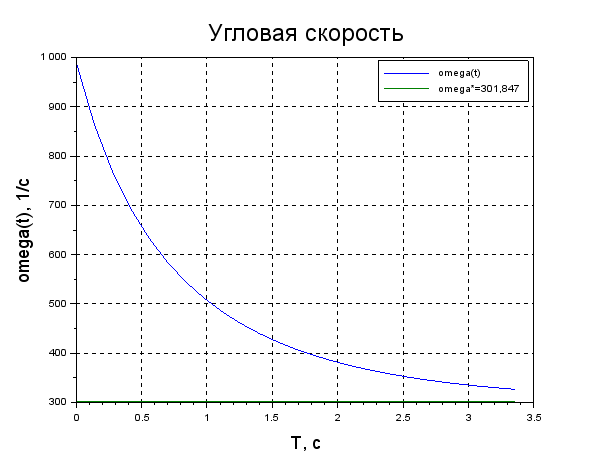
*3.08 |333.163 |-26.383 |-6873.782 |-485.988|6874.415|-2178.027|6890.940|7211.198*

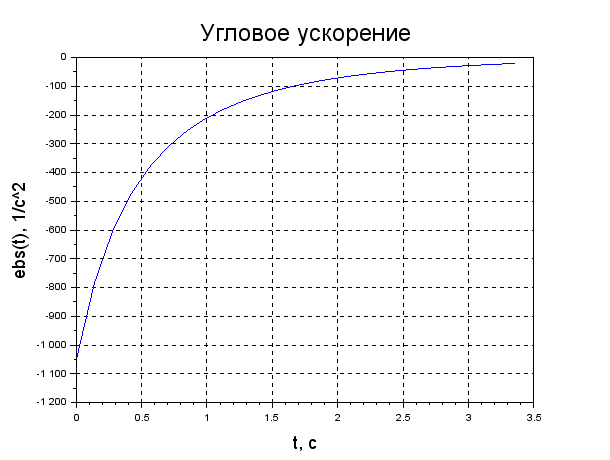
*3.22 |329.687 |-23.353 |-6731.070 |-475.744|6731.631|-2132.958|6747.862|7061.470*

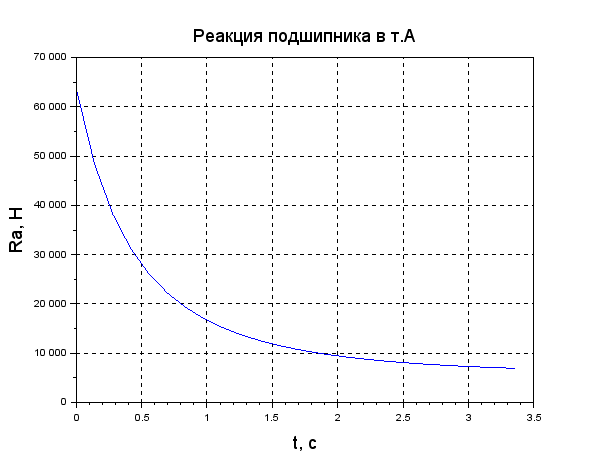
*3.36 |326.607 |-20.690 |-6605.940 |-466.761|6606.437|-2093.442|6622.410|6930.188*

*Размерность всех величин в СИ.*

*Ниже приведены графические зависимости: и .*

**

**

**

***6.Контроль решения****.*

*Как видим, угловая скорость асимптотически стремится к значению .*

*Найдем это значение из условия:*

*D=*

*Естественно, .*

*При этом .*

*Что и наблюдаем на предоставленных графиках.*

*Более того, нам несложно изменить значение , с тем, чтобы определить через какое время ротор выйдет на устойчивый режим работы.*

*Возьмем .*

*Выводить все результаты не будем, укажем значения при t=13,44c:*

*Как видим - ротор практически достиг устойчивого режима работы.*

*А из графика (представленного ниже) видно, что уже на 7-секунде вращение ротора практически равномерно.*

**

*Анализ поведения системы указывает на то, что задача решена верно.*

*В заключение для момента времени*

*Из таблицы результатов (выделенная цветом строка) находим:*

*Знак ″-″ указывает на то, что направление реакции противоположно направлению, указанному на схеме.*

*Показываем на схеме динамические реакции подшипников в момент времени t=1,12 c:*

*и*

*и .*

*Приложение 1*

*Программа в среде Scilab 5.5.2.*

h=0.14;

t=0:1:24;

om=0:1:24;

ebs=0:1:24;

Xa=0:1:24;

Ya=0:1:24;

Xb=0:1:24;

Yb=0:1:24;

Ra=0:1:24;

Rb=0:1:24;

funcprot(0);

function **ebsz**=ff(**omegaz**)

**ebsz**=(10e+2-1.2\***omegaz**-0.7e-2\*(**omegaz**^2))/6.7005;

endfunction

function **XB**=rxb(**omegaz**, **ebsz**)

**XB**=(-0.0340605\*(**omegaz**^2)-0.0024\***ebsz**)/0.55;

endfunction

function **YB**=ryb(**omegaz**, **ebsz**)

**YB**=(0.0340605\***ebsz**-0.0024\*(**omegaz**^2))/0.55;

endfunction

function **XA**=rxa(**XB**, **ebsz**)

**XA**=-24.0006e-3\***ebsz**-**XB**;

endfunction

function **YA**=rya(**YB**, **omegaz**)

**YA**=-24.0006e-3\*(**omegaz**^2)-**YB**;

endfunction

function **RA**=ra1(**XA**, **YA**)

**RA**=sqrt(**XA**^2+**YA**^2);

endfunction

function **RB**=rb1(**XB**, **YB**)

**RB**=sqrt(**XB**^2+**YB**^2);

endfunction

t(1)=0;

om(1)=990;

ebs(1)=ff(om(1));

Xb(1)=rxb(om(1),ebs(1));

Yb(1)=ryb(om(1),ebs(1));

Xa(1)=rxa(Xb(1),ebs(1));

Ya(1)=rya(Yb(1),om(1));

Ra(1)=ra1(Xa(1),Ya(1));

Rb(1)=rb1(Xb(1),Yb(1));

printf(' t,c | omega | ebs | Xb | Yb | Xa | Ya | Rb | Ra \n');

printf('%.2f |%.3f |%.3f |%.3f |%.3f|%.3f|%.3f|%.3f|%.3f\n',t(1),om(1),ebs(1),Xb(1),Yb(1),Xa(1),Ya(1),Rb(1),Ra(1));

for i=1:1:24

D1=om(i);

k1=ff(D1);

D2=D1+(h/2)\*k1;

k2=ff(D2);

D3=D1+(h/2)\*k2;

k3=ff(D3);

D4=D1+h\*k3;

k4=ff(D4);

K4=(k1+2\*k2+2\*k3+k4);

j=i+1;

om(j)=D1+(h\*K4)/6;

ebs(j)=ff(om(j));

Xb(j)=rxb(om(j),ebs(j));

Yb(j)=ryb(om(j),ebs(j));

Xa(j)=rxa(Xb(j),ebs(j));

Ya(j)=rya(Yb(j),om(j));

Ra(j)=ra1(Xa(j),Ya(j));

Rb(j)=rb1(Xb(j),Yb(j));

t(j)=t(i)+h;

printf('%.2f |%.3f |%.3f |%.3f |%.3f|%.3f|%.3f|%.3f|%.3f\n\',t(j),om(j),ebs(j),Xb(j),Yb(j),Xa(j),Ya(j),Rb(j),Ra(j));

end

lim=0:1:24;

for i=1:1:25

lim(i)=301.847;

end

*//plot(t,om,t,lim,t,ebs);*

*//legend('omega(t)','omega\*=295,620','ebs(t)');*

xgrid(0);

*//plot (t,om,t,lim);*

*//legend('omega(t)','omega\*=301,847');*

*//plot(t,ebs);*

plot(t,Ra);