***Динамические реакции в подшипниках ротора***

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

$m\_{1T}=80 кг;m\_{2T}=90 кг; R\_{1}=0,27 м; R\_{2}=0,29 м; O\_{1}C\_{1}^{T}=0,3 м;$

$α=0,018 рад; a\_{T}=0,10 м; b\_{T}=0,15 м; с\_{T}=0,10 м; M\_{0T}=10 Н∙м;$

$k\_{1T}=1,2 Н∙м∙с; k\_{2T}=0,7 Н∙м∙с^{2}; ω\_{0}=990 с^{-1}; τ=3,36 c $*.*

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

**

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

$k\_{1}=k\_{1T}=1,2 Н∙м∙с;$

$k\_{2}=k\_{2T}∙10^{-2}$*=*$0,7∙10^{-2} Н∙м∙с^{2}$

$M\_{0}=M\_{0T}∙10^{2}=10∙10^{2} Н∙м$*;*

$M\_{дz}=M\_{0}-k\_{1}∙ω\_{z}=10∙10^{2}-1,2∙ω\_{z} (Н∙м)$

$M\_{cz}=-k\_{2}∙ω\_{z}^{2}=-0,7∙10^{-2}∙ω\_{z}^{2} (Н∙м)$

$m\_{1}=m\_{1T}=80 кг$

$m\_{2}=m\_{2T}=90 кг$

$O\_{1}C\_{1}=O\_{1}C\_{1}^{T}∙10^{-3}=0,3∙10^{-3} м$

$a=a\_{T}=0,10=0,10 м;$

$b=b\_{T}=0,15 м;$

$с=с\_{T}∙n=0,10∙3=0,30 м.$

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

*Масса ротора определяется как сумма масс колес:*

$m=m\_{1}+m\_{2}=80+90=170 кг.$

*В соответствии со схемой задачи определим координаты центров масс колес в системе координат Axyz в виде:*$С\_{i}\left(x\_{ci};y\_{ci};z\_{ci}\right):$

$С\_{1}\left(0;O\_{1}C\_{1};a\right)=C\_{1}(0;0,3∙10^{-3};0,1)$

$C\_{2}\left(0;0;a+b\right)=C\_{2}\left(0;0;0,10+0,15\right)=C\_{2}(0;0;0,25)$

*Находим координаты центра масс ротора:*

$x\_{C}=\frac{x\_{1}∙m\_{1}+x\_{2}∙m\_{2}}{m}=\frac{0}{170}=0 м;$ *(1)*

$y\_{C}=\frac{y\_{1}∙m\_{1}+y\_{2}∙m\_{2}}{m}=\frac{0,3∙10^{-3}∙80}{170}=0,14118∙10^{-3} м;$ *(2)*

$z\_{C}=\frac{z\_{1}∙m\_{1}+z\_{2}∙m\_{2}}{m}=\frac{0,1∙80+0,25∙90}{170}=0,17941 м;$ *(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* $С\_{1}x\_{1}y\_{1}z\_{1}$*.*

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

*Моменты инерции колеса 1относительно осей:*

$J\_{1x}=J\_{1y}=\frac{m\_{1}∙R\_{1}^{2}}{4}; J\_{1Z}=\frac{m\_{1}∙R\_{1}^{2}}{2}$ *.*

*Значит тензор инерции колеса 1 в системе координат* $С\_{1}x\_{1}y\_{1}z\_{1}$ *примет вид:*

$I\_{1}^{1}=\frac{m\_{1}∙R\_{1}^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&2\end{matrix}\right]$ *. (4)*

*Аналогично, для колеса 2 оси системы координат* $С\_{2}ξηζ$ *являются главными осями инерции и соответственно тензор инерции колеса 2 в этой системе:*

$I\_{2}^{2α}=\frac{m\_{2}∙R\_{2}^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&2\end{matrix}\right]$ *(5)*

*В системе координат* $С\_{2}x\_{2}y\_{2}z\_{2}$ *тензор инерции колеса 2 определяется следующим образом:*

$I\_{2}^{2}=γ∙I\_{2}^{2α}∙γ^{T}$ *. (6)*

*Здесь* $γ - $*матрица направляющих косинусов между осями трехгранника* $С\_{2}x\_{2}y\_{2}z\_{2}$ *и трехгранника* $С\_{2}ξηζ$*.*$ γ^{T}$*-транспонированная матрицa* $γ$*.*

*Трехгранник*$ С\_{2}x\_{2}y\_{2}z\_{2}$ *повернут на угол* $α$ *относительно трехгранника* $С\_{2}ξηζ$ *вокруг оси*$ η\left(y\_{2}\right) $ *против часовой стрелки (со стороны положительного направления оси*$ η\left(y\_{2}\right)$*).*

*Тогда* $γ=\left[\begin{matrix}\cos(α)&0&-\sin(α)\\0&1&0\\\sin(α)&0&\cos(α)\end{matrix}\right]$*.*

*Так как угол*$ α$ *мал, то пренебрегаем величинами второго и выше порядка малости по*$ α$*. Имеется в виду разложение* $\sin(α)$ *и* $\cos(α)$ *в ряд Маклорена. Тогда:*$\cos(α)=1; \sin(α)=α$ *и выражение (6) приобретает вид:*

$I\_{2}^{2}=\frac{m\_{2}∙R\_{2}^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1&0&-α\\0&1&0\\α&0&1\end{matrix}\right]∙\left[\begin{matrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&2\end{matrix}\right]∙\left[\begin{matrix}1&0&α\\0&1&0\\-α&0&1\end{matrix}\right]$*=*$\frac{m\_{2}∙R\_{2}^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1&0&-2α\\0&1&0\\α&0&2\end{matrix}\right]∙$

$∙\left[\begin{matrix}1&0&α\\0&1&0\\-α&0&1\end{matrix}\right]=\frac{m\_{2}∙R\_{2}^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1+2α^{2}&0&α-2α\\0&1&0\\α-2α&0&α^{2}+2\end{matrix}\right]$

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

$I\_{2}^{2}=\frac{m\_{2}∙R\_{2}^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1&0&-α\\0&1&0\\-α&0&2\end{matrix}\right]$ *(7)*

*Для нахождения компонентов тензоров* $I\_{1}^{1}$ *и* $I\_{2}^{2}$ *в осях Axyz воспользуемся правилами преобразования тензора инерции при параллельном переносе осей координат: обобщенной теоремой Гюйгенса-Штейнера:*

$I\_{A}=I\_{C}+m∙(\vec{r\_{C}}^{2}∙E-\vec{r\_{C}}\vec{r\_{C}})$ *(8)*

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

*Здесь:*$ I\_{C}$ *-тензор инерции тела в центре масс;*

$I\_{A}$ *- тензор инерции тела в т.A;*

$\vec{r\_{C}}$ *– радиус-вектор т. С в системе координат Axyz;*

$\vec{r\_{C}}^{2}$*-скалярное произведение* $\vec{r\_{C}}$ *на самого себя;*

$\vec{r\_{C}}\vec{r\_{C}}$ *– диадное произведение* $\vec{r\_{C}}$ *на самого себя;*

*E-единичная матрица(3*$×3$*)*

*m- масса тела.*

*В координатной форме:*$ \vec{r\_{C}}^{2}=x\_{C}^{2}+y\_{C}^{2}+z\_{C}^{2}$*;*

$\vec{r\_{C}}\vec{r\_{C}}=\left[\begin{matrix}x\_{C}^{2}&x\_{c}y\_{C}&x\_{C}z\_{C}\\y\_{C}x\_{C}&y\_{C}^{2}&y\_{C}z\_{C}\\z\_{C}x\_{C}&z\_{C}y\_{C}&z\_{C}^{2}\end{matrix}\right]$

$m∙\left(\vec{r\_{C}}^{2}∙E-\vec{r\_{C}}∙\vec{r\_{C}}\right)=m∙\left[\begin{matrix}\left(y\_{C}^{2}+z\_{C}^{2}\right)&-x\_{С}y\_{C}&-x\_{C}z\_{C}\\-y\_{C}x\_{C}&\left(x\_{C}^{2}+z\_{C}^{2}\right)&-y\_{C}z\_{C}\\-z\_{C}x\_{C}&-z\_{C}y\_{C}&\left(x\_{C}^{2}+y\_{C}^{2}\right)\end{matrix}\right]$ *(9)*

*Учитывая (4),(8),(9) находим* $I\_{1}$*- тензор инерции колеса 1относительно системы координат Axyz:*

$$I\_{1}=\frac{m\_{1}∙R\_{1}^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&2\end{matrix}\right]+m\_{1}∙\left[\begin{matrix}\left(y\_{C\_{1}}^{2}+z\_{C\_{1}}^{2}\right)&-x\_{C\_{1}}∙y\_{C\_{1}}&-x\_{C\_{1}}∙z\_{C\_{1}}\\-y\_{С\_{1}}∙x\_{С\_{1}}&\left(x\_{С\_{1}}^{2}+z\_{С\_{1}}^{2}\right)&-y\_{С\_{1}}∙z\_{С\_{1}}\\-z\_{С\_{1}}∙x\_{С\_{1}}&-z\_{С\_{1}}∙y\_{С\_{1}}&\left(x\_{С\_{2}}^{2}+y\_{С\_{1}}^{2}\right)\end{matrix}\right]$$

*Подставляем значения, при этом величиной* $(O\_{1}C\_{1})^{2}=y\_{C\_{1}}^{2}=\left(0,3∙10^{-3}\right)^{2}$

*Пренебрегаем.*

$y\_{C\_{1}}^{2}=0,00000009≅0$

$C\_{1}(0;0,3∙10^{-3};0,1)$

$I\_{1}=\frac{80∙0,27^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&2\end{matrix}\right]+$

$+80∙\left[\begin{matrix}0,01&0&0\\0&0,01&-3∙10^{-5}\\0&-3∙10^{-5}&0\end{matrix}\right]$

$I\_{1}=\left[\begin{matrix}1,458&0&0\\0&1,458&0\\0&0&2,916\end{matrix}\right]+\left[\begin{matrix}0,8&0&0\\0&0,8&-0,0024\\0&-0,0024&0\end{matrix}\right]$

$I\_{1}=\left[\begin{matrix}2,258&0&0\\0&2,258&-0,0024\\0&-0,0024&2,916\end{matrix}\right]$ *(10)*

*Аналогично, для* $I\_{2}$*, учитывая (7),(8),(9) получаем:*

$I\_{2}=\frac{m\_{2}∙R\_{2}^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1&0&-α\\0&1&0\\-α&0&2\end{matrix}\right]+$

$+m\_{2}∙\left[\begin{matrix}\left(y\_{C\_{2}}^{2}+z\_{C\_{2}}^{2}\right)&-x\_{C\_{2}}∙y\_{C\_{2}}&-x\_{C\_{2}}∙z\_{C\_{2}}\\-y\_{С\_{2}}∙x\_{С\_{2}}&\left(x\_{С\_{2}}^{2}+z\_{С\_{2}}^{2}\right)&-y\_{С\_{2}}∙z\_{С\_{2}}\\-z\_{С\_{2}}∙x\_{С\_{2}}&-z\_{С\_{2}}∙y\_{С\_{2}}&\left(x\_{С\_{2}}^{2}+y\_{С\_{2}}^{2}\right)\end{matrix}\right]$

$C\_{2}(0;0;0,25)$

$I\_{2}=\frac{90∙0,29^{2}}{4}∙\left[\begin{matrix}1&0&-0,018\\0&1&0\\-0,018&0&2\end{matrix}\right]+$

$+90∙\left[\begin{matrix}0,0625&0&0\\0&0,0625&0\\0&0&0\end{matrix}\right]=$

$=\left[\begin{matrix}1,89225&0&-0,0340605\\0&1,89225&0\\-0,0340605&0&3,7845\end{matrix}\right]+$

$+\left[\begin{matrix}5,625&0&0\\0&5,625&0\\0&0&0\end{matrix}\right]$

$I\_{2}=\left[\begin{matrix}7,51725&0&-0,0340605\\0&7,51725&0\\-0,0340605&0&3,7845\end{matrix}\right]$ *(11)*

*Тензор инерции ротора* $I=I\_{1}+I\_{2}$*:*

$I=\left[\begin{matrix}2,258&0&0\\0&2,258&-0,0024\\0&-0,0024&2,916\end{matrix}\right]+\left[\begin{matrix}7,51725&0&-0,0340605\\0&7,51725&0\\-0,0340605&0&3,7845\end{matrix}\right]$

$I=\left[\begin{matrix}9,77525&0&-0,0340605\\0&9,77525&-0,0024\\-0,0340605&-0,0024&6,7005\end{matrix}\right]$ *(12)*

*Получили тензор инерции ротора в системе координат Axyz.*

*В соответствии с общей формой представления тензора инерции:*

$I\_{A}=\left[\begin{matrix}I\_{x}&-I\_{xy}&-I\_{xz}\\-I\_{yx}&I\_{y}&-I\_{yz}\\-I\_{zx}&-I\_{zy}&I\_{z}\end{matrix}\right]$

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

$I\_{xz}=0,0340605 кг∙м^{2}$

$I\_{yz}=0,0024 кг∙м^{2}$ *(13)*

$I\_{z}=6,7005 кг∙м^{2}$

***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* $M\_{дz}$ *и* $M\_{cz}$*;*

*динамические реакции подшипников в т.A и т.B:*$\vec{X\_{A}}, \vec{Y\_{A}}$ *и* $\vec{X\_{B}},\vec{Y\_{B}}$ *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*$ \vec{V^{I}}$ *и пара сил, момент которой равен главному моменту сил инерции*

$\vec{m^{I}}$ *.*

*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* $ω\_{z}>0$ *и угловым ускорением* $ε\_{z}>0$*(* $\vec{ω\_{Z}},\vec{ε\_{z}} $ *направлены в сторону положительного направления оси z).*

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

$V\_{x}^{I}=m∙x\_{c}∙ω\_{z}^{2}+m∙y\_{c}∙ε\_{z}$

$V\_{y}^{I}=m∙y\_{c}∙ω\_{z}^{2}-m∙x\_{C}∙ε\_{z}$ *(14)*

$V\_{z}^{I}=0$

*Проекции главного момента сил инерции:*

$m\_{x}^{I}=-I\_{yz}∙ω\_{z}^{2}+I\_{xz}∙ε\_{z}$

$m\_{y}^{I}=I\_{xz}∙ω\_{z}^{2}+I\_{yz}∙ε\_{z}$ *(15)*

$m\_{z}^{I}=-I\_{z}∙ε\_{z}$

*Тогда в соответствии с методом кинетостатики:*

$\vec{F}+\vec{R}+\vec{J}=0$

*Где* $\vec{F} -$ *равнодействующая активных сил, приложенных к материальной точке;*

$\vec{R} -$ *равнодействующая реакций связей, наложенных на материальную точку;*

$\vec{J}$*- фиктивная сила инерции,* $\vec{J}=-m∙\vec{W}$*,*$ \vec{W}$*- ускорение материальной точки. Это общая формулировка.*

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

$\sum\_{}^{}F\_{kx}=0; \sum\_{}^{}F\_{ky}=0; \sum\_{}^{}F\_{kz}=0$ *(16)*

$\sum\_{}^{}m\_{x}(\vec{F\_{k}})=0; \sum\_{}^{}m\_{y}(\vec{F\_{k}})=0; \sum\_{}^{}m\_{z}(\vec{F\_{k}})=0$ *(17)*

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

$X\_{A}+X\_{B}+m∙x\_{C}∙ω\_{z}^{2}+m∙y\_{C}∙ε\_{z}=0$

$Y\_{A}+Y\_{B}+m∙y\_{C}∙ω\_{z}^{2}-m∙x\_{C}∙ε\_{z}=0$

$-Y\_{B}∙\left(a+b+c\right)-I\_{yz}∙ω\_{z}^{2}+I\_{xz}∙ε\_{z}=0$ *(18)*

$X\_{B}∙\left(a+b+c\right)+I\_{xz}∙ω\_{z}^{2}+I\_{yz}∙ε\_{z}=0$

$M\_{дz}+M\_{cz}-I\_{z}∙ε\_{z}=0$

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

*Преобразуем соотношения (18)*

$I\_{z}∙\ddot{φ}=M\_{дz}+M\_{cz}$ *(19)*

*Это дифференциальное уравнение вращения ротора.*

*Подставляем числовые значения и выражаем искомые реакции:*

$X\_{B}=\frac{\left(-I\_{xz}∙ω\_{z}^{2}-I\_{yz}∙ε\_{z}\right)}{a+b+c}=\frac{\left(-0,0340605∙ω\_{z}^{2}-0,0024∙ε\_{z}\right)}{0,10+0,15+0,30}$

$$X\_{B}=\frac{\left(-0,0340605∙ω\_{z}^{2}-0,0024∙ε\_{z}\right)}{0,55} (20) $$

$$Y\_{B}=\frac{\left(I\_{xz}∙ε\_{z}-I\_{yz}∙ω\_{z}^{2}\right)}{a+b+c}$$

$$Y\_{B}=\frac{\left(0,0340605∙ε\_{z}-0,0024∙ω\_{z}^{2}\right)}{0,55} (21) $$

$X\_{A}=-m∙x\_{C}∙ω\_{z}^{2}-m∙y\_{C}∙ε\_{z}-X\_{B}$

$X\_{A}=-170∙0,14118∙10^{-3}∙ε\_{z}-X\_{B}$ *(*$x\_{C}=0)$

$$X\_{A}=-24,0006∙10^{-3}∙ε\_{z}-X\_{B} (22) $$

$$Y\_{A}=m∙x\_{C}∙ε\_{z}-m∙y\_{C}∙ω\_{z}^{2}-Y\_{B}=-170∙0,14118∙10^{-3}∙ω\_{z}^{2}-Y\_{B}$$

$$Y\_{A}=-24,0006∙10^{-3}∙ω\_{z}^{2}-Y\_{B} \left(23\right) $$

*Находим величины реакций:*

$$R\_{A}=\sqrt{X\_{A}^{2}+Y\_{A}^{2}}; R\_{B}=\sqrt{X\_{B}^{2}+Y\_{B}^{2}} (24)$$

*Подставляя данные в уравнение (19) получим:*

$\ddot{φ}=\frac{M\_{дz}+M\_{cz}}{I\_{z}}=\frac{10∙10^{2}-1,2∙ω\_{z}-0,7∙10^{-2}∙ω\_{z}^{2}}{6,7005}$ *.*

*Вводя переменную* $ω\_{z}=\dot{φ}$*, запишем уравнение (24) в форме Коши:*

$$\dot{ω\_{z}}=ε\_{z}; ε\_{z}=\frac{10∙10^{2}-1,2∙ω\_{z}-0,7∙10^{-2}∙ω\_{z}^{2}}{6,7005} (25)$$

$ω\_{0}=990 с^{-1}$*-начальные условия (при t=o).*

*Уравнение (25) является искомым уравнением для численного интегрирования на интервале* $t\in [0;τ]$*.*

***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=*$\frac{τ-t\_{0}}{24}=\frac{3,36}{24}=0,14 c$*.*

*На каждом шаге вычисляются:*$t\_{i}$*,*$ω\_{z}\left(t\_{i}\right),ε\_{z}\left(t\_{i}\right), i=\overbar{1,24}$*.*

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

$X\_{B}, Y\_{B}, X\_{A}, Y\_{A}, R\_{B}, R\_{A}. $

*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:*$ω\_{z}\left(t\right),ε\_{z}\left(t\right)$ *и* $R\_{A}(t)$*.*

**

**

**

***6.Контроль решения****.*

*Как видим, угловая скорость асимптотически стремится к значению* $ω\_{z}^{\*}$*.*

*Найдем это значение из условия:*

$ε\_{z}=\frac{10∙10^{2}-1,2∙ω\_{z}-0,7∙10^{-2}∙ω\_{z}^{2}}{6,7005}=0 $

$10∙10^{2}-1,2∙ω\_{z}-0,7∙10^{-2}∙ω\_{z}^{2}=0$

 *D=*$\left(-1,2\right)^{2}-4∙\left(-0,7∙10^{-2}\right)∙10∙10^{2}=29,44$

$ω\_{z1,2}=\frac{1,2\pm \sqrt{D}}{-2∙0,7∙10^{-2}}$

$ω\_{z1}=-473,276$

$ω\_{z2}=301,847$

*Естественно,* $ω\_{z}^{\*}=301,847 c^{-1}$*.*

*При этом* $ε\_{z}^{\*}=0 с^{-2}$*.*

*Что и наблюдаем на предоставленных графиках.*

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

*Возьмем* $τ=13,44 c$*.*

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

$ω\_{z}=301,854 c^{-1}; ε\_{z}=-0,006 c^{-2}; R\_{A}=5919,532 Н.$

*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* $t=∆t\left(N+1\right)=0,14∙\left(7+1\right)=1,12 c$

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

$X\_{B}=-14477,899 Н;$

$Y\_{B}=-1031,456 Н;$

$X\_{A}=14482,258 Н;$

$Y\_{A}=-4579,839 Н;$

$R\_{B}=14514,595 Н;$

$R\_{A}=15189,164 Н.$

*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:*

$\vec{X\_{A}^{1,12}}, \vec{Y\_{A}^{1,12}} $ *и* $\vec{ R\_{A}^{1,12}}=\vec{X\_{A}^{1,12}}+\vec{Y\_{A}^{1,12}}$

$\vec{X\_{B}^{1,12}}, \vec{Y\_{B}^{1,12}} $ *и* $\vec{ R\_{B}^{1,12}}=\vec{X\_{B}^{1,12}}+\vec{Y\_{B}^{1,12}}$*.*

*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);