

FTAMP 30.15.23

С.Ж. Кәріпбаев¹ – негізгі автор, | ©
М.А. Бимағамбетов², А.К. Молдабеков³, Ж.С. Жумадилов⁴



¹Техн. ғылым. канд., PhD, қауымдаст. профессор,

²Техн. ғылым. канд., қауымдаст. профессор,

³Химия ғылым. канд., қауымдаст. профессор, ⁴Докторант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-1107-2571> ²<https://orcid.org/0009-0008-0590-1736>

³<https://orcid.org/0009-0006-6774-6562> ⁴<https://orcid.org/0009-0009-7326-2718>



^{1,2,3,4}Азаматтық авиация академиясы,



Алматы қ., Қазақстан Республикасы



²s.karipbaev@agakaz.kz

<https://doi.org/10.55956/FSXH4404>

ГИРОСКОП РОТОРЫНЫҢ ШАРИКТІ МОЙЫНТІРЕКТЕ ӨСТІК СИММЕТРИАЛЫ БЕКІТІЛГЕНДЕГІ ДИНАМИКАСЫ

Аңдатпа. Жұмыста гироскоптың ауытқуына шарлар арасындағы саңылау мен ротордың ілу элементтері арасындағы мәселелердің әсері қарастырылған. Ротордың кинетикалық моментінің қозғалысының прецессиялық теңдеулері сепараторлар гироскоп роторының бойымен центрленгенде және сепараторлар гироскоптың статоры бойымен орталанады. Гироскоптың шығуының бұрыштық жылдамдығын анықтайтын формула алынып, гистерезис гироскопиялық электр қозғалтқышының алаңдататын сәттері болған кезде шар гироскопының дрейфіне сандық талдау жасалды.

Тірек сөздер: шарлы гироскоп, шарикті мойынтірек, ротордың кинетикалық моменті, үйкеліс күштерінің моменттері, гироскоптың бұрыштық ауытқу жылдамдығы, әрбір шарикті алдын ала үлкен тарту.



Кәріпбаев, С.Ж. Гироскоп роторының шарикті мойынтіректе өстік симметриялы бекітілгендегі динамикасы [Мәтін] / С.Ж. Кәріпбаев, М.А. Бимағамбетов, А.К. Молдабеков, Ж.С. Жумадилов // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2024. – №1(83). – Б.273-280. <https://doi.org/10.55956/FSXH4404>

Кіріспе. Шарлы гироскоп қателігінің негізгі себебі, сонымен қатар синхронды гистерезис қозғалтқышының «полярьлы» алаңдату сәтінің болуы және ротордың сфералық еместігі, ол өтеу үшін жетек қуатының маңызды бөлігін алады. Ротордың масса центрінің статорға қатысты орын ауыстыруы гироскоп статорының магнит өрісі тудыратын гармоникалық күштердің әсерінен болады. Ротордың айналуының берілген дәлдігін қамтамасыз ету, серпімді орын ауыстыруларды, демек, үйкеліс күштерінің моментін азайту, шарлар мен сақиналар арасындағы саңылауларды жою, радиалды да, осьтік бағытта да, қозғалатын қондырғыларда, мойынтіректерде қаттылықты арттыру үшін құрастыру жиі алдын ала жүктемемен орындалады. Сонымен бірге сақтау және пайдалану кезінде алдын ала тиеу мәні сақталмайды, өйткені жылжымалы денелер мен жолдардың тозуы орын алады. Ол үшін жұмыс кезінде тұрақты алдын ала жүктемені сақтайтын және механизмнің жұмысы кезінде оны кезеңді түрде реттеу мүмкіндігін қамтамасыз ететін

компенсациялық құрылғылар қолданылады. Гироскоп роторының қозғалыс теңдеулері әрбір шардың үлкен алдын ала жүктемесі бар және шарлар алдын ала жүктелмеген жағдайларда қарастырылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Гироскоптық аспаптың қалыпты жұмысы үшін алдын-ала тарту күшінің мөлшері өте маңызды. Гироскоптың негізгі тіректеріндегі шарикті мойынтіректерді шамадан тыс қатайту олардағы үйкеліс күштерінің моментінің жоғарылауына әкеледі, бірақ жұмыс жүктемесінің әсерінен шамадан тыс тартудың ішкі үйкеліске әсері іс жүзінде байқалмайды.

Алдын-ала тарту жүргізілмегендегі ротордың қозғалыс теңдеулерін қарастырамыз. Ауытқу моментін теңдеуге қоямыз

$$M_{HK}(\gamma) = (4/3) f C^* (G \cos \gamma / (N \cos v_x^1))^{1/3} G \sin \gamma, \quad (1)$$

мұндағы v_x^1 – түйісу орындарында жүргізілген ротордың динамикалық симметрия өсі мен нормаль арасындағы бұрыш.

$C^* = (3/16)[3\pi R^*/(4E^*)]^{1/3}$ -ті тек қана консервативті емес моменттердің әсерінен туындаған шарлы гироскоп роторының қозғалыс теңдеуіне

$$\begin{aligned} \dot{\delta} &= M_{HK}(\gamma) \sin \delta / (H \sin \gamma) \text{ қоямыз, сонда} \\ \dot{\sigma} &= 0, \\ \dot{\delta} &= (4/3) f C^* (G \cos \gamma / (N \cos v_x^1))^{1/3} G \sin \delta / H. \end{aligned} \quad (2)$$

Интегралданғаннан кейін (2) теңдеу келесі түрге келеді

$$\begin{aligned} \sigma &= const, \\ tg(\delta/2) &= tg(\delta_0/2) exp(B_0 t), \end{aligned} \quad (3)$$

мұндағы δ_0 – бұрышының бастапқы мәні; t – уақыт,

$$B_0 = (4/3) f C^* (N \cos v_x^1)^{-1/3} G^{4/3} / H.$$

$$f = 0.15; E = 197 \left(\frac{\Gamma H}{M^2} \right); r_{ш} = 1.98 \times 10^{-3} (\text{м}); r_c = 6.35 \times 10^{-3} (\text{м});$$

$$v = 0.3; N = 11; v_x^1 = 55; G = 7.384 (\text{Н}); \gamma = 2,$$

деп болжамдап,

(3) теңдеуден ауытқу бұрыштық жылдамдығын есептейміз

$$\dot{\delta} = B_0 \cos^{1/3} \delta \sin \delta = 2 \times 10^{-4} (\text{с}^{-1}). \quad (4)$$

Гироскоптың нақты практикалық қолданылуында ауытқудың осы бұрыштық жылдамдығы маңызды болып саналады.

Гироскоп роторының массалық центрінің тұрақтылығы үшін шариктерді алдын-ала тарту маңызды рөл атқарады, сондықтан ол қарастырылып отырған қозғалыс теңдеулеріндегі негізгі параметр болып табылады.

Әрбір шариктегі күшті алдын-ала тарту болған жағдайдағы ротордың қозғалыс теңдеулерін қарастырамыз. Бұл жағдайда иірілудің үйкеліс күштерінің ауытқыту моменті келесі түрде болады [7]:

$$M_{HK}(\gamma) = (2/9) f C^* P_0^{-2/3} G^2 \sin 2\gamma / (N \cos v_x^1), \quad (5)$$

мұндағы P_0 -әрбір шарикті алдын-ала тарту күші.

(5) өрнегін прецессиялық қозғалыс теңдеулеріне

$$\begin{aligned} H[\dot{\delta}\cos\sigma\cos\delta - \dot{\sigma}\sin\sigma\sin\delta] &= \\ &= \{M_K(\gamma)(\sin\sigma\sin\delta - \cos\delta) + M_{HK}(\gamma)(\cos\sigma\sin\delta\cos\gamma - 1.)\}/\sin\gamma, \\ H[\dot{\delta}\sin\sigma\cos\delta + \dot{\sigma}\cos\sigma\sin\delta] &= \\ &= \{M_K(\gamma)(\cos\delta - \cos\sigma\sin\delta) + M_{HK}(\gamma)(\sin\sigma\sin\delta\cos\gamma - 1.)\}/\sin\gamma, \\ -H\dot{\delta}\sin\delta &= \{M_K(\gamma)(\cos\sigma - \sin\sigma)\sin\delta + M_{HK}(\gamma)(\cos\delta\cos\gamma - 1.)\}/\sin\gamma \end{aligned}$$

қойып келесі теңдеулерді аламыз

$$\begin{aligned} \dot{\sigma} &= 0, \dot{\delta} = A_0\cos\delta\sin\delta, \\ A_0 &= (4/9) fC^*P_0^{-2/3}G^2/(HN\cos v^{(1)}). \end{aligned} \quad (6)$$

(6) теңдеуді интегралдағаннан кейін алатынымыз

$$\begin{aligned} \sigma &= const, \\ tg\delta &= tg\delta_0 exp(A_0t). \end{aligned} \quad (7)$$

$P_0 = 6,679$ Н және басқа айнымалылардың жоғарыда келтірілген мәндерінде (6) теңдеуінен ауытқып кетудің бұрыштық жылдамдығын есептейміз

$$\dot{\delta} = 2 \times 10^{-5} (c^{-1}). \quad (8)$$

Тартудың мәні P_0 жоғарылаған сайын ауытқып кетудің бұрыштық жылдамдығы төмендейді. Ғылыми деректер бойынша егер тарту мәні шамадан тыс жүктемеден бір саты жоғары болса, онда зерттеліп отырған аспадағы гироскоптың ауытқып кетуінің бұрыштық жылдамдығы шамамен 90% төмендейді деп көрсетілген [8].

Мойынтіректегі шариктерді алдын ала қатайту күштерінің мөлшері гироскопиялық құрылғының жұмысы үшін өте маңызды. Гироскоптың негізгі тіректеріндегі шарикті мойынтіректерді шамадан тыс қатайту олардағы үйкеліс күштерінің моментінің артуына әкеледі, алайда жұмыс жүктемесінің әсерінен шамадан тыс тартудың ішкі үйкеліске әсері іс жүзінде онша көп болмайды.

Статор өсіне түсірілген проекциялардағы ротордың кинетикалық моменті үшін прецессиялық теңдеуді жазамыз

$$\begin{aligned} H_{1\xi}^x &= H[\dot{\delta}\cos\sigma\cos\delta - \dot{\sigma}\sin\sigma\sin\delta] = M_1^p, \\ H_{2\xi}^x &= H[\dot{\delta}\sin\sigma\cos\delta + \dot{\sigma}\cos\sigma\sin\delta] = M_2^p. \end{aligned} \quad (9)$$

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Сепараторларды гироскоп роторы бойымен центрленгендегі алдын-ала қатты тарту үйкеліс күштерінің моменті (9) теңдеудің оң жағында орналасқан. Ротордың кинетикалық моменті үйкеліс күштерінің моментіне перпендикуляр болмағандықтан және ауытқуға ротордың кинетикалық моментіне перпендикуляр болатын құрамалар әкелетіндіктен M_1^p, M_2^p келесідей анықталады:

$$\begin{aligned} M_1^p &= M_{1\xi}^p - (M_{1\xi}^p \gamma_1^2 + M_{2\xi}^p \gamma_1 \gamma_2 + M_{3\xi}^p \gamma_1 \gamma_3), \\ M_2^p &= M_{2\xi}^p - (M_{1\xi}^p \gamma_1 \gamma_2 + M_{2\xi}^p \gamma_2^2 + M_{3\xi}^p \gamma_2 \gamma_3), \end{aligned} \quad (10)$$

өз кезегінде $M_{1\xi}^p$, $M_{2\xi}^p$, $M_{3\xi}^p$ келесі формулалар бойынша анықталатын моменттердің құрамаларының қосындысынан тұрады

$$M_{1\xi}^k = M_{1x}^k \beta_{11} + M_{2x}^k \beta_{21} + M_{3x}^k \beta_{31}, M_{2\xi}^k = M_{1x}^k \beta_{12} + M_{2x}^k \beta_{22} + M_{3x}^k \beta_{32}, \quad (11)$$

$$M_{3\xi}^k = M_{1x}^k \beta_{13} + M_{2x}^k \beta_{23} + M_{3x}^k \beta_{33},$$

мұндағы β_{ij} – үш қырлы ξ – ішіндегі үш қырлы x -тің бағыттаушы косинустары; $M_{1x}^k, M_{2x}^k, M_{3x}^k$ ротор өсіндегі проекциялардағы тербеліс үйкеліс күштері моментінің проекцияларын анықтайды және келесі түрде қабылданады:

$$\begin{aligned} M_{1x}^k &= c_0 \rho_{1x} (1 - \mu_x^2) + c_0 \rho_{1x} \{c_2 - 2(c_2 - 2\rho_{3x}^2) \mu_x^2 + (c_2 - 4\rho_{3x}^2) \mu_x^4\} / c_1, \\ M_{2x}^k &= c_0 \rho_{2x} (1 - \mu_x^2) + c_0 \rho_{2x} \{c_2 - 2(c_2 - 2\rho_{3x}^2) \mu_x^2 + (c_2 - 4\rho_{3x}^2) \mu_x^4\} / c_1 \quad (12) \\ M_{3x}^k &= c_0 \rho_{3x} \mu_x^2 + 4c_0 \rho_{3x} \{3c_2 + (-3c_2 + 2\rho_{3x}^2) \mu_x^2\} \mu_x^2 / (3c_1), \end{aligned}$$

мұндағы $c_0 = -3\pi k N \rho_0^{1/2} \Delta v f^k$, $c_1 = 1/(128\rho_0^2)$, $c_2 = \rho_{1x}^2 + \rho_{2x}^2$,

$$\begin{aligned} M_{1\xi}^k &= A_1 A_2 \rho_{1\xi} \rho_{3\xi}, M_{2\xi}^k = 2A_1 A_2 \rho_{2\xi} \rho_{3\xi}, M_{3\xi}^k = A_1 \{-2\mu_\xi [\rho_0^2 + \\ &+ 0.5(\rho_{1\xi}^2 + \rho_{2\xi}^2)] - [2\rho_{3\xi}^2 - (\rho_{1\xi}^2 + \rho_{2\xi}^2)](A_2 + \mu_\xi)\}, \end{aligned} \quad (13)$$

мұндағы $\rho_{1\xi}, \rho_{2\xi}, \rho_{3\xi}$ төмендегі формуламен анықталады

$$\begin{aligned} M_{1\xi}^k &= c_0^* \rho_{1\xi} (1 - \mu_\xi^2) + c_0^* \rho_{1\xi} \{c_2^* - 2(c_2^* - 2\rho_{3\xi}^2) \mu_\xi^2 + (c_2^* - 4\rho_{3\xi}^2) \mu_\xi^4\} / c_1, \\ M_{2\xi}^k &= c_0^* \rho_{2\xi} (1 - \mu_\xi^2) + c_0^* \rho_{2\xi} \{c_2^* - 2(c_2^* - 2\rho_{3\xi}^2) \mu_\xi^2 + (c_2^* - 4\rho_{3\xi}^2) \mu_\xi^4\} / c_1, \\ M_{3\xi}^k &= -c_0^* \rho_{3\xi} \mu_\xi^2 + 4c_0^* \rho_{3\xi} \{3c_2^* + (-3c_2^* + 2\rho_{3\xi}^2) \mu_\xi^2\} \mu_\xi^2 / (3c_1), \end{aligned} \quad (14)$$

мұндағы $c_0^* = -3\pi k N \rho_0^{1/2} \Delta v_\xi f^k$, $c_1 = 1/(128\rho_0^2)$, $c_2^* = \rho_{1\xi}^2 + \rho_{2\xi}^2$; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ротордың кинетикалық моментінің бірлік векторы – e_3 -нің компоненттері. (10) өрнектерін (9) теңдеуіне қойып, гироскоптың ауытқуын анықтаймыз

$$\begin{aligned} \dot{\sigma} &= -(M_1^p \sin \sigma - M_2^p \cos \sigma) / (H \sin \delta), \\ \dot{\delta} &= (M_2^p - H \dot{\sigma} \sin \delta \cos \sigma) / (H \cos \delta \sin \sigma). \end{aligned} \quad (15)$$

Сепараторларды гироскоп статорына қатысты центрленгендегі ротордың кинетикалық моментінің қозғалысының прецессиялық теңдеуін қарастырайық

$$H_{1\xi}^\xi = H [\dot{\delta} \cos \sigma \cos \delta - \dot{\sigma} \sin \sigma \sin \delta] = M_{1\xi}^\xi,$$

$$H_{2\xi}^{\xi} = H[\delta \sin \sigma \cos \delta + \sigma \cos \sigma \sin \delta] = M_2^{\xi}. \quad (16)$$

мұндағы

$$M_1^{\xi} = M_{1\xi}^{\xi} - (M_{1\xi}^{\xi} \gamma_1^2 + M_{2\xi}^{\xi} \gamma_1 \gamma_2 + M_{3\xi}^{\xi} \gamma_1 \gamma_3),$$

$$M_2^{\xi} = M_{2\xi}^{\xi} - (M_{1\xi}^{\xi} \gamma_1 \gamma_2 + M_{2\xi}^{\xi} \gamma_2^2 + M_{3\xi}^{\xi} \gamma_2 \gamma_3).$$

Мұндағы $M_{1\xi}^{\xi}, M_{2\xi}^{\xi}, M_{3\xi}^{\xi}$ төмендегі формулалар бойынша анықталған қосындыдан тұрады

$$M_{1\xi}^k = c_0^* \rho_{1\xi} (1 - \mu_{\xi}^2) + c_0^* \rho_{1\xi} \{c_2^* - 2(c_2^* - 2\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^2 + (c_2^* - 4\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^4\} / c_1,$$

$$M_{2\xi}^k = c_0^* \rho_{2\xi} (1 - \mu_{\xi}^2) + c_0^* \rho_{2\xi} \{c_2^* - 2(c_2^* - 2\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^2 + (c_2^* - 4\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^4\} / c_1,$$

$$M_{3\xi}^k = -c_0^* \rho_{3\xi} \mu_{\xi}^2 + 4c_0^* \rho_{3\xi} \{3c_2^* + (-3c_2^* + 2\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^2\} \mu_{\xi}^2 / (3c_1), \quad (17)$$

мұндағы $c_0^* = -3\pi k N \rho_0^{1/2} \Delta v_{\xi} f^k, c_1 = 1/(128\rho_0^2), c_2^* = \rho_{1\xi}^2 + \rho_{2\xi}^2$.

Сонымен, z^* – үш қырлының e_3 орты бойымен бағытталған H кинетикалық момент векторының бағытын анықтайтын σ және δ бұрыштарының қозғалмайтын ξ -координаталар жүйесіндегі параметрлерге тәуелділігі анықталды.

Сепараторларды статор бойымен центрлеген кезде, түйісу жүктемелері тең болады және шариктің статормен түйісуі ротормен түйісуіне қарағанда тығыздау болады, сондықтан шарик тірек элементінде таза тербеліс жасайды, ал роторда салыстырмалы иірілу және тербеліс байқалады. Ал сепараторларды роторда орнатқан кезде керісінше болады.

Сепараторларды статор бойымен центрлеу кезінде ротордың кинетикалық моментінің бірлік векторы ұшының қозғалысын қарастырамыз.

Сандық есептеу кезінде гироскоп параметрлерінің келесі базалық деректері қолданылды

$$f = 0,15; f^k = 10^{-5}(\text{м}); E = 197 \left(\frac{\text{ГН}}{\text{м}^2}\right); r_{\text{ш}} = 1,98 \times 10^{-3}(\text{м}); \quad (18)$$

$$r_c = 6,35 \times 10^{-3}(\text{м});$$

$$\nu = 0,3; N = 11; v_x^1 = 55^\circ; G = 7,384(\text{Н}); R_x = 10,3 \times 10^{-3}(\text{м}); P_0 = 6,7(\text{Н}); H = 4,5 \times 10^{-3}(\text{Нмс}); \alpha = \beta = 0^\circ; \sigma_0 = 10^{-4}(\text{рад}); \delta_0 = 0,2(\text{рад}).$$

Тәуелділік гироскоп 20 сек жұмыс істеген кезінде алынды.

Жүйелі ауытқудың шариктердің алдын-ала тартуына тәуелділігі талданды. Аздап $P_0 = 0,7(\text{Н})$ шамасында тартқанда аспаптың өсі ξ_1, ξ_3 өстерінен алыстап, ξ_1 өсіне жақындайды. Егер тартуды $P_0 = 6,7(\text{Н})$ -ге дейін арттырсақ, онда кинетикалық момент векторы симметрия өсі ξ_3 -тен алыстап ξ_1 және ξ_2 -өстеріне кетеді. Бұл жағдайда жүйелі ауытқу айтарлықтай төмендейді.

Егер тербелу үйкеліс коэффициентінің базалық көрсеткіштен 4×10^{-5} (м) (шамасынан) айырмашылығы болса, онда гироскоптың сипаттамасы нашарлайды. Жүйелі ауытқудың тағы да бір себебі – шамадан тыс жүктеме. Шамадан тыс жүктемеден пайда болатын сыртқы күш азайтылса, аспап өсінің ауытқуы азаяды. Кинетикалық момент $H = 2 \times 10^{-4}$ (Нмс) дейін ұлғайса гироскоптың ауытқуының біршама төмендеуін байқауға болады.

Тарту $P_0 = 0,7$ (Н)- нан $P_0 = 6,7$ (Н)-ға дейін ұлғайған кезде ротор мен статорда аспап өсінің тағайындалған шамадан ауытқуы азаяды.

Қорытынды. Сепараторлар роторға орнатылған кезде тарту аз болса гироскоптың ауытқып кетуінің жоғарылауы байқалады, аспап 20 сек жұмыс істегенде ауытқып кету δ бұрышы бойынша $+0,78$ (рад) құрайды, бұл ауытқып кетудің шекті рұқсат етілген мәнінен 5 есе көп.

Сепараторларды статор бойынша орналастырса ауытқып кету $0,1$ (рад) құрайды. Егер тартуды $P_0 = 6,7$ (Н)-ға дейін арттырса, онда ауытқып кету сепараторлар роторда болғанда $0,027$ (рад), ал сепараторлар статорда болғанда $0,016$ (рад) құрайды.

σ бұрышы бойынша, егер роторда ауытқу болмаса, статорда аз тартылу кезінде ауытқып кету $0,00066$ (рад)-ға азаяды, қатты тарту кезінде ол көбейіп $0,0002$ (рад) теңеледі.

Тербеліс үйкеліс коэффициенті жоғарыласа гироскоптың сипаттамасы нашарлайды. Сепараторлар роторда болғанда $f^k = 10^{-5}$ (м) кезінде δ бұрышы бойынша ауытқып кету қарқынды болады және $0,176$ (рад)-ға тең, ал σ бұрышы бойынша тұрақты болады. Егер де сепараторлар статорда болса, онда ауытқып кету $0,094$ (рад) құрайды, ал σ бұрышы бойынша $0,0013$ (рад) тең.

Шамадан тыс жүктеме нәтижесінде пайда болатын сыртқы күшті $7,4$ (Н) -нан $1,4$ (Н)-ға дейін төмендетсе аспаптың жүйелі ауытқып кетуі төмендейді. Сепараторлар роторда болғанда δ бұрышы бойынша ауытқып кету тек $0,0047$ (рад) тең болады, σ бұрышы бойынша тұрақты, ал сепараторлар статорда болғанда δ бойынша $0,0029$ (рад), ал σ бойынша $-0,00003$ (рад) тең.

Ротор жылдамдығы 40 -қа (рад/с) артқан кезде сепараторлар ротор бойынша орналасса ауытқып кету δ бойынша $0,028$ - радианнан $0,027$ радианға дейін азаяды. Егер статорда болса, ол $0,017$ (рад)-нан $0,016$ (рад)-ға дейін кемиді.

Әдебиеттер тізімі

1. Гу, А. Анализ ухода гироскопа со сферическим шарикоподшипниковым подвесом [Текст] / А. Гу // Тр. амер. об-ва инж.-мех. Проблемы трения и смазки. Серия F. – 1975. – Т.97. – №1. – С. 77-86.
2. Ган, К.Г. Методика расчета минимальной допустимой нагрузки в скоростных малонагруженных подшипниках качения [Текст] / К.Г. Ган // Вестник МГТУ. – Сер.: Машиностроение. – 1994. – №1. – С. 32-38.
3. Нурахметов, Б.К. Погрешности манипулятора от действия предварительного натяга в шаровых кинематических парах [Текст] / Б.К. Нурахметов, К.З. Сартаев, С.Ж. Карипбаев [и др.] // Вестник КазНТУ. – 2015. – №6. – С. 112-117.
4. Карипбаев, С.Ж. Механика шарового гироскопа на электростатическом и шарикоподшипниковом подвесах [Текст]: монография / С.Ж. Карипбаев, К.З. Сартаев // Академия гражданской авиации. – 2017. – 248 с.
5. Тулегулов, А.Д. Количественные оценки переходного процесса ротора бесконтактного гироскопа [Текст] / А.Д. Тулегулов, Д.С. Ергалиев, К.Б. Алдамжаров, С.Ж. Карипбаев, Н.А. Бажаев // Известия НАН РК, серия геологии и технических наук: – 2021. – № 6. – С. 147-154.

6. Тулегулов, А.Д. Современные методы гироскопического ориентирования горных выработок [Текст] / А.Д. Тулегулов, Д.С. Ергалиев, С.Ж. Карипбаев, Н.А. Бажаев, Е.Г. Адильханов // Известия НАН РК, серия геологии и технических наук. SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES. – 2022. – 4 (454). – [?].
7. Карипбаев, С.Ж. Шарлы гироскоптың сфералық шарикті мойынтректі аспасындағы иірілу тербелу моментері [Текст] / С.Ж. Карипбаев, М.А. Бимагамбетов, А.К. Молдабеков, Ш.К. Кошанова // Вестник Каз АТК. – 2022. – Том 122. – №3. – [?].
8. Карипбаев, С.Ж. Орталық сфералық тірегі бар гироскоптың прецессиялық қозғалысы [Текст] / С.Ж. Карипбаев, М.А. Бимагамбетов, А.К. Молдабеков, Ш.К. Кошанова // Вестник Каз АТК. – 2022. – Том 122, №3. – [?].
9. Карипбаев, С.Ж. Электростатикалық гироскоп роторының асферизациясы [Текст] / С.Ж. Карипбаев, А.К. Молдабеков, Ө. Тойлыбай, Г.Н. Сейфула, А.А. Рысбекова // Вестник Каз АТК, – 2024. – Том 130.(1), №1. – [?].

Материал редакцияға 26.02.24 түсті.

С.Ж. Карипбаев¹, М.А. Бимагамбетов¹, А.К. Молдабеков¹, Ж.С. Жумадилов¹

¹*Академия гражданской авиации, г. Алматы, Казахстан*

ДИНАМИКА РОТОРА ГИРОСКОПА ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ НАДСТРОЕЧНОГО ОСЕГО СИММЕТРИАЛА НА ШАРОВОМ ПОДШИПНИКЕ

Аннотация. В статье рассматривается влияние проблемы зазора между шарами и элементами подвешивания ротора на отклонение гироскопа. Прецессионные уравнения движения кинетического момента ротора центрируются, когда сепараторы центрируются вдоль ротора гироскопа, а сепараторы центрируются вдоль статора гироскопа. Получена формула, определяющая угловую скорость выхода гироскопа, и проведен количественный анализ дрейфа шарового гироскопа при наличии тревожных моментов гироскопического электродвигателя гистерезиса.

Ключевые слова: шаровой гироскоп, шарикоподшипник, кинетический момент ротора, моменты сил трения, угловая скорость ухода гироскопа, большой предварительный натяг каждого шарика.

S.J. Karipbaev¹, M.A. Bimagambetov¹, A.K. Moldabekov¹, J.S. Zhumadilov¹

¹*Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan*

GYROSCOPE ROTOR DYNAMICS AT ATTACHMENT OF AXIAL SUPERSTRUCTURE SYMMETRY ON BALL BEARING

Abstract. The article examines the influence of the problem of the gap between the balls and the rotor suspension elements on the deflection of the gyroscope. The precession equations of motion for rotor angular momentum are centered when the cages are centered along the gyroscope rotor and the cages are centered along the gyroscope stator. A formula is obtained that determines the angular velocity of the gyroscope output, and a quantitative analysis of the drift of the ball gyroscope is carried out in the presence of alarming moments of the gyroscopic hysteresis motor.

Keywords: ball gyroscope, ball bearing, kinetic moment of the rotor, moments of friction forces, angular deflection speed of the gyroscope, large pull each ball in advance.

References

1. Gu A. Analiz ukhoda giroskopa so sfericheskim sharikopodshipnikovym podvesom [Analysis of the care of a gyroscope with a spherical ball bearing suspension] // Proc. Amer. company of mechanical engineers Friction and lubrication problems. Series F. 1975. Vol.97, No. 1. P. 77-86 [in Russian].
2. Gan K.G. Metodika rascheta minimal'noy dopustimoy nagruzki v skorostnykh malonagruzhennykh podshipnikakh kacheniya [Methodology for calculating the minimum permissible load on high-speed lightly loaded rolling bearings] / Bulletin of MSTU. Ser.: Mechanical engineering. 1994. No. 1. P. 32-38 [in Russian].
3. Nurakhmetov B.K., Martaev K.Z., Karipbaev S.Zh. and others Pogreshnosti manipulyatora ot deystviya predvaritel'nogo natyaga v sharovykh kinemacheskikh parakh [Manipulator errors from the action of preload in spherical kinematic pairs] / Bulletin of KazNTU. Almaty: 2015. No. 6. P. 112 [in Russian].
4. Karipbaev S.Zh., Martaev K.Z. Mekhanika sharovogo giroskopa na elektrostaticheskom i sharikopodshipnikovom podvesakh [Mechanics of a ball gyroscope on electrostatic and ball-bearing suspensions]: monograph. – Almaty-Ekibastuz: Academy of Civil Aviation, 2017. – 248 p. [in Russian].
5. Tulegulov A.D., Ergaliev D.S., Aldamzharov K.B., Karipbaev S.Zh., Bazhaev N.A. Kolichestvennyye otsenki perekhodnogo protsessa rotora beskontaktnogo giroskopa [Colic estimates of the transient process of a contactless gyroscope rotor] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences, 2021. No. 6. P. 147-154 [in Russian].
6. Tulegulov A.D., Ergaliev D.S., Karipbaev S.Zh., Bazhaev N.A., Adilkhanov E.G. Sovremennyye metody giroskopicheskogo oriyentirovaniya gornyykh vyrabotok [Modern methods of gyroscopic orientation of mine workings] // News of the NAS RK, series of geology and technical sciences, SERIES GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES 2022. No. 4. P. 454 [in Russian].
7. Karipbaev S.Zh., Bimagambetov M.A., Moldabekov A.K., Koshanova Sh.K. Sharly giroskoptyñ sferalyk, shariktı moyntrektı aspasyndağy iirılu terbelu momenteri [Balls gyroscopes spheres balls moyntrektı aspasyndağy iiril terbelu momenteri] / Bulletin of Kaz ATK, 2022. Vol. 122, No. 3 [in Kazakh].
8. Karipbaev S.Zh., Bimagambetov M.A., Moldabekov A.K., Koshanova Sh.K. A.K., Koshanova Sh.K. Ortalyk, sferalyk, tıregı bar giroskoptyñ pretsessiyalyk, k,ozğalysy [Precessional motion of a gyroscope with a central spherical support] // Bulletin of Kaz ATK, 2022. Vol. 122, No. 3 [in Kazakh].
9. Karipbaev S.Zh., Moldabekov A.K., Toilbay Ө., Seyfula G.N., Rysbekova A.A. Elektrostatikalyk, giroskop rotorynyñ asferizatsiyasy [Aspherization of electrostatic gyroscope rotor] // Bulletin of Kaz ATK, 2024. Vol. 130.(1), No. 1 [in Kazakh].