

ӘОЖ 531.383

DOI 10.52167/1609-1817-2022-122-3-58-65

С.Ж. Кәріпбаев[■], **М.А. Бимағамбетов**, **Ш.К. Кошанова**, **А.К. Молдабеков**
Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан
E-mail: kczh.1957@mail.ru

ШАРЛЫ ГИРОСКОПТЫҢ СФЕРАЛЫҚ ШАРИКТИ МОЙЫНТИРЕКТИ АСПАСЫНДАҒЫ ИІРІЛУ ЖӘНЕ ТЕРБЕЛУ МОМЕНТТЕРІ

Аңдатпа. Мақалада өстік дебалансқа және ротордың кінәратсіз сфера болмауынан пайда болатын күштер моменттерінің консервативті құрамдас бөліктері анықталғаны көрсетілген.

Үлкен керіліс пен шамадан тыс жүктеме әсерінен шариктердің шар гироскопындағы сақиналармен түйісуінен туындаған "құрғақ" үйкелістің ауытқу моменттерінің өрнегі алынған.

Тербелмелі үйкеліс моменті, иірілу және түйісу жүктемесі арасындағы байланыстар анықталған. Шарикті мойынтіректердегі сфералық кинематикалық жұптармен жабдықталған аспаптардың жұмысы кезінде кинетикалық моментке перпендикуляр, ауытқу моментін тудыратын азимутальды қателер байқалатыны көрсетілген.

Анықталған ауытқу моменттері бағыт, тұрақтану және навигациялық гироскоптық жүйелерде қолданылатын аспаптар мен жабдықтардың қателіктерін жоюға және қызмет мерзімін ұлғайтуға, дәлдігін және жұмыс жылдамдықтарын арттыруға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер. Үлкен керіліс пен шамадан тыс жүктеме, күштер моменттерінің консервативті құрамдас бөліктері, "құрғақ" үйкелістің ауытқыту моменті, ротор, статор, тербелмелі үйкеліс моменті.

Кіріспе.

Шариктердің сақиналармен түйісетін жерлерінде пайда болатын және тіреу мойынтіректерін алдын-ала тарту, сондай-ақ шар гироскопымен жабдықталған объектінің белсенді қозғалыс аймағындағы шамадан тыс жүктеме нәтижесінде пайда болатын кулондық үйкеліс күштерінің моменттері анықталды.

Шарикті мойынтіректердегі сфералық кинематикалық жұптармен жабдықталған аспаптардың жұмысы кезінде кинетикалық моментке перпендикуляр, ауытқу моменті тудыратын азимутальды қателер байқалады.

Ауытқу моменті көптеген себептерге байланысты болуы мүмкін, мысалы, объектінің белсенді қозғалыс аймағындағы шамадан тыс жүктеме, мойынтіректің шамадан тыс тартылуы, өндірісте жасалу кезіндегі қателіктер, құрылғыны орнату кемшіліктері, жанасатын денелердің контактілік және жалпы деформациясы, құрғақ контактілер, электр қозғалтқышының ток көзімен жабдықтаудың кемшілігі және тағы басқалар.

Бұл құбылыстардың табиғаты әлі толық зерттелген жоқ.

Материалдар мен тәсілдер.

Машиналар мен механизмдердің сақталу уақыты мен азимутальды қатенің арасында байланыс байқалады. Ауытқу моментінің пайда болуында жеткіліксіз майланған

және шариктердің сақиналар мен құрғақ түйісуі маңызды рөл атқарады, себебі компенсацияға жетек қуатының едәуір бөлігі кетеді.

Тербелмелі үйкеліс моменті, иірілу (верчение) және түйісу жүктемесі арасындағы байланысты анықтаймыз.

Иірілу үйкеліс күшінің консервативті емес моментінің $M_{\text{нк}}$ векторы ауытқу моменті болып табылады және келесі түрде көрсетіледі

$$M_{\text{нк}}(\gamma) = -m^{\text{в}} n_x^{(\text{в})} N \pi a_0^2, \quad (1)$$

мұндағы $m^{\text{в}} = (r_c/2r_{\text{ш}}) M^{\text{в}} \text{sign}(\Omega_x, n_x^{(\text{в})}) / (\pi a_0^2)$ – түйісу алаңының бірлігіне тиесілі иірілу үйкеліс күштерінің моментінің тығыздығы:

Ω_x – гироскоп роторының абсолютті бұрыштық жылдамдығы;

$n_x^{(\text{в})}$ – гироскоп роторының бетіне жүргізілген сыртқы нормальдің бірлік векторы;

r_c – гироскоп статорының радиусы. $r_{\text{ш}}$ шариктің радиусы.

$m^{\text{в}}$ өрнегінде a_0 арқылы түйісу шеңберінің радиусы белгіленген және ол келесі өрнекпен анықталады [22]

$$a_0 = [3\pi F_x^0 R^* / (4E^*)]^{1/3}. \quad (2)$$

Мұндағы F_x^0 деформацияға дейін нормаль бойымен екі шариктер жиынтығының түйісу бетіне әсер ететін күш векторының тең әсер етушісінің модулі.

$$1/R^* = 1/r_{\text{ш}} - 1/R_x, \quad 1/E^* = 2(1 - \nu^2) / (\pi E), \quad (3)$$

мұндағы ν, E гироскоптың элементтері бір материалдан жасалғандағы Пуассон коэффициенті және сақина мен шариктердің Юнг модулі.

Нәтижелер.

Екі түйісетін сфералық денелер арасындағы иірілу үйкеліс күштері моментінің модулі $M^{\text{в}}$ арқылы анықталады:

$$M^{\text{в}} = \int_0^a 2\pi \rho_{\perp}^2 f p(\rho_{\perp}) d\rho_{\perp} = (3/16)\pi f [3\pi R^* / (4E^*)]^{1/3} (F_x^0)^{4/3}. \quad (4)$$

мұндағы $p(\rho_{\perp})$ арқылы екі сфералық дененің түйісу жеріндегі қысымның бөлінуі көрсетілген

$$p(\rho_{\perp}) = 3F_x [1 - (\rho_{\perp}/a_0)^2]^{1/2} / (2\pi a_0^2), \quad (5)$$

мұндағы ρ_{\perp} – түйісу центрінен радиус бойынша қашықтық;

F_x – нормаль бойымен түйісу бетіне әсер ететін күш векторының тең әсер етушісінің модулі;

f – шариктердің сфералық беттермен түйісу орындарындағы жылжымалы үйкеліс коэффициенті.

$$M^{\text{в}} = (r_c/2r_{\text{ш}}) f C^* [f_x^*(v_x, \varphi_x) \pi a_0^2]^{4/3} / \sqrt{(1 - \mu_x^2)} d\mu_x d\varphi_x. \quad (6)$$

Алдын-ала жақсы тарту әсерінен біркелкі қозғалу орын алады, сондағы $f_x^*(v_x, \varphi_x)$ ротордың бетіне нормаль бойынша әсер ететін күштердің тең әсер етушісінің тығыздығын білдіреді.

$$f_x^{*N}(v_x, \varphi_x) = f_x^{*1}(v_x, \varphi_x) + f_x^{*2}(v_x, \varphi_x) = (kN/\pi a_0^2) \sum_{j=1}^2 (\rho_{j0} + \rho_{max} \cos \tau_j)^{3/2} = (kN/\pi a_0^2) \sum_{j=1}^2 \rho_{j0}^{3/2} (1 + (\rho_{max}/\rho_{j0}) \cos \tau_j)^{3/2} \quad (7)$$

мұндағы N-әр жиынтықтағы шариктердің саны;

v_x, φ_x - ротордың сфералық бұрыштары;

ρ_{j0} – алдын - ала тарту әсерінен туындаған орын ауыстыру векторы;

k- Герцтің пропорционалдық коэффициенті, ол түйісу орындарындағы жанасатын денелердің басты қисықтықтарына және түйісетін денелердің материалдарына тәуелді болады;

$f_x^{*1}(v_x, \varphi_x), f_x^{*2}(v_x, \varphi_x)$ – сыртқы жүктемелердің және қолдаушы күштердің тең әсер етушісінің тығыздықтары, түйісу орындарында әрекет етеді және ортақ нормаль бойымен бірінші және екінші жиынтықтардағы түйісу байланыс беттеріне тиісінше бағытталған, бірақ бір ғана шарикке әсер етеді; $\cos \tau$ – максималды ығысу векторы мен жергілікті нүктенің радиус векторы арасындағы бұрыштың косинусы.

$$\cos \tau = \cos v_x \cos \gamma + \sin v_x \sin \gamma \cos(\varphi_x - \varphi^*), \quad (8)$$

мұндағы γ, φ^* - бұрыштары ρ_{max} – тің z_3^* өсіне қатысты орналасу орнын анықтайтын бұрыштар.

Ротордың беткі нүктелері мен сфералық координаталардың үштіктері арасындағы сәйкестік өзара біркелкі болуы үшін r_x, v_x, φ_x келесі шектерде өзгереді деп санаймыз.

$$0 \leq r_x < \infty, \quad 0 < v_x < \pi/2, \quad \pi/2 < v_x < \pi, \quad 0 \leq \varphi_x \leq 2\pi. \quad (9)$$

(7) өрнектегі $\rho_{max} = O_\xi O_x / (r_c - R_x)$, мұндағы O_x - ротордың геометриялық орталығы, O_ξ - статордың геометриялық орталығы [1]. ρ_{max} векторы ротордың статор центрінен максималды ығысуына тең және G сыртқы жүктеме бағытына сәйкес келеді, өйткені тепе-теңдік бұзылғандықтан пайда болатын серпімді моментті азайту үшін шариктер жиынтығындағы әрбір шарик алдын-ала қатты тартылу әсерінде болады.

$$[f_x^*(v_x, \varphi_x)]^{4/3} = (k\rho_0^{3/2} / (\pi a_0^2))^{4/3} [1 + (\rho_{max}/\rho_0) \cos \tau]^2 = (k\rho_0^{3/2})^{4/3} [1 + 2(\rho_{max}, n_x^{(e)}) / \rho_0 + (\rho_{max}, n_x^{(e)}) / \rho_0^2] \quad (10)$$

өрнекті (6) формулаға салып алынған өрнекті (1) қойсақ, онда ауытқу моментін келесі түрде жазуға болады

$$M_{HK}(\gamma) = - k^* \iint_S [1 + 2(\rho_{max}, n_x^{(e)}) / \rho_0 + (\rho_{max}, n_x^{(e)}) / \rho_0^2] / \sqrt{(1 - \mu_x^2)} d\mu_x d\varphi_x n_x^{(e)}, \quad (11)$$

$$k^* = (r_c / 2r_{ш}) N f C^* (k\rho_0^{3/2})^{4/3}. \quad (12)$$

Мұндағы C^* келесі түрде ұсынылады

$$C^* = (3/16)[3\pi R^*/(4E^*)]^{1/3}. \quad (13)$$

(11)- тартудың әсерінен ауытқу болмағанда консервативті емес момент алынады, яғни алдын-ала тарту болмаса иірілу (верчение) үйкеліс күштерінің ауытқу моменті [7] - көрсетілгендей анықталады.

$$M_{\text{нк}}(\gamma) = (4/3) f C^* (G \cos \gamma / (N \cos v_x^1))^{1/3} G \sin \gamma, \quad (14)$$

мұндағы v_{x1} -ротордың динамикалық симметрия өсі мен түйісу орындарында жүргізілген нормаль арасындағы бұрыш.

Әр шарикте алдын-ала үлкен тарту өткізілсе, онда [7] ауытқу моменті келесі түрде болады

$$M_{\text{нк}}(\gamma) = (2/9) f C^* P_0^{-2/3} G^2 \sin 2\gamma / (N \cos v_x^1), \quad (15)$$

мұндағы P_0 -әрбір шарикті алдын-ала тарту күші.

Гироскоптың ауытқуын жылжымайтын үшқырлығы қатысты қарастырамыз, сонда иірілу үйкеліс күштерінің моменттерін статор осіндегі проекцияда келесідей өрнектеуге болады

$$\begin{aligned} M_{1\xi} &= M_{1x}\beta_{11} + M_{2x}\beta_{21} + M_{3x}\beta_{31}, M_{2\xi} = M_{1x}\beta_{12} + M_{2x}\beta_{22} + M_{3x}\beta_{32}, \\ M_{3\xi} &= M_{1x}\beta_{13} + M_{2x}\beta_{23} + M_{3x}\beta_{33}. \end{aligned} \quad (16)$$

Мұндағы β_{ij} - ξ үшқырлығының ішіндегі x үшқырлығының бағыттаушы косинустары

$$\begin{aligned} \beta_{11} &= \cos \varphi^* \cos \sigma \cos \delta - \sin \varphi^* \sin \sigma, \\ \beta_{12} &= \cos \varphi^* \cos \delta \sin \sigma + \sin \varphi^* \cos \sigma, \\ \beta_{13} &= -\cos \varphi^* \sin \delta, \\ \beta_{21} &= -\sin \varphi^* \cos \sigma \cos \delta - \cos \varphi^* \sin \sigma, \\ \beta_{22} &= -\sin \varphi^* \sin \sigma \cos \delta + \cos \varphi^* \cos \sigma, \\ \beta_{23} &= \sin \varphi^* \sin \delta, \\ \beta_{31} &= \sin \delta \cos \sigma, \\ \beta_{32} &= \sin \delta \sin \sigma, \\ \beta_{33} &= \cos \delta, \end{aligned}$$

мұндағы $\delta, \sigma, \varphi^*$ - x координаталар жүйесінен ξ координаталар жүйесіне ауысу бұрыштары.

M_{1x}, M_{2x}, M_{3x} ротор осіндегі проекциялардағы иірілу күштерінің үйкеліс моментінің проекцияларын анықтайды

$$M_{1x} = B_3 \rho_{1x}, M_{2x} = B_3 \rho_{2x}, M_{3x} = A_1 \{-2\mu_x [\rho_0^2 + 0.5(\rho_{1x}^2 + \rho_{2x}^2)] - [2\rho_{3x}^2 - (\rho_{1x}^2 + \rho_{2x}^2)](A_2 + \mu_x)\}. \quad (17)$$

Мұндағы

$$B_3 = 2A_1A_2\rho_{3x}, A_1 = r_c \pi \Delta v N C^* a P_0^{4/3} \sin v_x / (\rho_0^2 r_{ш}),$$

$$A_2 = -\mu_x + \mu_x^3 - 1.5\mu_x^2 \sin v_x \Delta v,$$

$\rho_{1x}, \rho_{2x}, \rho_{3x}$ келесі өрнек бойынша анықталады

$$\rho_{1x} = F_{1x} / (p_x \sin^2 v_x^1), \rho_{2x} = F_{2x} / (p_x \sin^2 v_x^1), \rho_{3x} = F_{3x} / (2p_x \cos^2 v_x^1). \quad (18)$$

Сепараторларды гироскоп роторы бойымен центрленгендегі тербелмелі үйкеліс күштерінің моментін анықтаймыз

$$M_p^k = -(r_c / 2r_{ш}) f^k F_x \Omega_p^k / |\Omega^k|. \quad (19)$$

Мұндағы F_x [1] формула бойынша анықталады

$$F_x = kN \sum_{j=1}^2 \rho_{j0}^{3/2} \iint_{S_j} \left[1 + (\rho_{max}, n_x^{(e)}) / \rho_{j0} \right]^{3/2} / \sqrt{(1 - \mu_x^2)} n_x^{(e)} d\mu_x d\varphi_x, \quad (20)$$

ал бұрыштық айналу жылдамдығы Ω^k келесідей болады:

$$\Omega_x^k = -(r_c / 2r_{ш}) \left\{ [n_{1x}(n_x^{(e)}, \Omega_x) - \Omega_{1x}] e_1 + [n_{2x}(n_x^{(e)}, \Omega_x) - \Omega_{2x}] e_2 + [n_{3x}(n_x^{(e)}, \Omega_x) - \Omega_{3x}] e_3 \right\}, \quad (21)$$

мұндағы e_1, e_2, e_3 - гироскоп роторымен мықты байланысқан x үшқырлының бірлік векторлары.

Статор осіндегі проекциялардағы тербеліс үйкеліс күштерінің моменті келесідей:

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

$$M_{3\xi}^k = M_{1x}^k \beta_{13} + M_{2x}^k \beta_{23} + M_{3x}^k \beta_{33}. \quad (22)$$

Мұндағы $M_{1x}^k, M_{2x}^k, M_{3x}^k$ ротор осіндегі проекциялардағы тербеліс үйкеліс күштерінің моментінің проекцияларын анықтайды және келесідей ұсынылады:

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

$$M_{2x}^k = c_0 \rho_{2x} (1 - \mu_x^2) + c_0 \rho_{2x} \{ c_2 - 2(c_2 - 2\rho_{3x}^2) \mu_x^2 + (c_2 - 4\rho_{3x}^2) \mu_x^4 \} / c_1$$

$$M_{3x}^k = c_0 \rho_{3x} \mu_x^2 + 4c_0 \rho_{3x} \{ 3c_2 + (-3c_2 + 2\rho_{3x}^2) \mu_x^2 \} \mu_x^2 / (3c_1), \quad (23)$$

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

Мойынтіректер статорға бекітілген жағдайды қарастырайық.

Консервативтік емес $M_{нк}$ моментінің шамасы шариктердің сакиналармен түйістің жерлерінде ротор бетінде әрекет ететін тангенциалдық күштермен құрылады және роторға

шариктер тарапынан әсер ететін сыртқы сақинамен түйісетін жердегі моменттердің құрамдастарының қосындысы, яғни іс жүзінде кинетикалық Н-ге перпендикуляр ауытқу моменті.

Ауытқу моментінің векторын келесі түрде болады

$$M_{\text{нк}}(\gamma) = -m^{\text{e}} n_{\xi}^{(\text{e})} N \pi a_0^2, \quad (24)$$

мұндағы $m^{\text{e}} = (R_x/2r_{\text{ш}}) M^{\text{e}} \text{sign}(\Omega_{\xi}, n_{\xi}^{(\text{e})}) / (\pi a_0^2)$ – түйісу алаңының бірлігіне тиесілі иірілу үйкеліс күштері моментінің тығыздығы.

Күш тығыздығының өрнегін қою жолымен

$$[f_{\xi}^z(v_{\xi}, \varphi_{\xi})]^{4/3} = (k \rho_0^{3/2} / (\pi a_0^2))^{4/3} [1 + (\rho_{\text{max}} / \rho_0) \cos \tau]^2 = (k \rho_0^{3/2})^{4/3} [1 + 2(\rho_{\text{max}}, n_{\xi}^{(\text{e})}) / \rho_0 + (\rho_{\text{max}}, n_{\xi}^{(\text{e})}) / \rho_0^2] \quad (25)$$

(24)-ке қою арқылы, ауытқу моменті анықтаймыз:

$$M_{\text{нк}}(\gamma) = k_1^* \iint_S [1 + 2(\rho_{\text{max}}, n_{\xi}^{(\text{e})}) / \rho_0 + (\rho_{\text{max}}, n_{\xi}^{(\text{e})}) / \rho_0^2] / \sqrt{(1 - \mu_x^2)} d\mu_{\xi} d\varphi_{\xi} n_{\xi}^{(\text{e})}, \quad (26)$$

мұндағы $k_1^* = k^*(R_x/r_c)$.

Статор осіндегі проекцияларда иірілу үйкеліс күштерінің моменті (26) мынадай түрде беріледі

$$M_{1\xi} = A_1 A_2 \rho_{1\xi} \rho_{3\xi}, M_{2\xi} = 2A_1 A_2 \rho_{2\xi} \rho_{3\xi}, M_{3\xi} = A_1 \{-2\mu_{\xi} [\rho_0^2 + 0.5(\rho_{1\xi}^2 + \rho_{2\xi}^2)] - [2\rho_{3\xi}^2 - (\rho_{1\xi}^2 + \rho_{2\xi}^2)](A_2 + \mu_{\xi})\}, \quad (27)$$

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

$$\rho_{1\xi} = G \sin \alpha \cos \beta / (p_{\xi} \sin^2 v_{\xi}^1), \rho_{2\xi} = G \sin \alpha \sin \beta / (p_{\xi} \sin^2 v_{\xi}^1), \rho_{3\xi} = G \cos \alpha / (2p_{\xi} \cos^2 v_{\xi}^1). \quad (28)$$

Мұндағы α, β – шар аспасының симметрия осіне қатысты шамадан тыс жүктемелердің бағдарлау бұрыштары

Тербеліс үйкеліс күштерінің моментін анықтаймыз:

$$M_c^k = -(R_x/2r_{\text{ш}}) f^k F_c \Omega_c^k / |\Omega^k|. \quad (29)$$

Тербеліс үйкеліс күштері моментінің статор осіндегі проекциялары (28.2.68) келесі түрде жазылады:

$$\begin{aligned} M_{1\xi}^k &= c_0^* \rho_{1\xi} (1 - \mu_{\xi}^2) + c_0^* \rho_{1\xi} \{c_2^* - 2(c_2^* - 2\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^2 + (c_2^* - 4\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^4\} / c_1, \\ M_{2\xi}^k &= c_0^* \rho_{2\xi} (1 - \mu_{\xi}^2) + c_0^* \rho_{2\xi} \{c_2^* - 2(c_2^* - 2\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^2 + (c_2^* - 4\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^4\} / c_1, \\ M_{3\xi}^k &= -c_0^* \rho_{3\xi} \mu_{\xi}^2 + 4c_0^* \rho_{3\xi} \{3c_2^* + (-3c_2^* + 2\rho_{3\xi}^2) \mu_{\xi}^2\} \mu_{\xi}^2 / (3c_1). \end{aligned} \quad (30)$$

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

Талқылау.

Жұмыста өстік дебалансқа және ротордың кінәратсіз сфера болмауынан пайда болатын күштердің консервативті құрамдастары және үлкен тартылыс пен шамадан тыс

жүктемеге байланысты шариктердің шар гироскопындағы сақиналармен түйісуінен туындаған ауытқыту "құрғақ" үйкеліс моменттері анықталған.

Ауытқу моменті көптеген себептерге байланысты болуы мүмкін, мысалы, объектінің белсенді қозғалыс аймағындағы шамадан тыс жүктеме, мойынтіректің шамадан тыс тартылуы, өндірісте жасалу кезіндегі қателіктер, құрылғыны орнату кемшіліктері, жанасатын денелердің контактілік және жалпы деформациясы, құрғақ контактілер, электр қозғалтқышын ток көзімен жабдықтаудың кемшілігі және тағы басқалар.

Қорытынды.

Консервативтік емес $M_{нк}$ моментінің шамасы шариктердің сақиналармен түйістің жерлерінде ротор бетінде әрекет ететін тангенциалдық күштермен құрылады және роторға шариктер тарапынан әсер ететін сыртқы сақинамен түйісетін жердегі моменттердің құрамдастарының қосындысы, яғни іс жүзінде кинетикалық H -ге перпендикуляр ауытқу моменті.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Кобрин А.И., Сартаев К.З. Погрешности гироскопа с центральной сферической опорой, вызванные влиянием возмущающих моментов двигателя // Вестник МГТУ. Серия: Приборостроение. – 1994 - №2. – С.87-91.

[2] Ковалев М.П. Динамическое и статическое уравнивание гироскопических устройств. – М.: Машиностроение, 1965.

[3] Ковалев М.П., Народецкый М.З. Расчет высокоточных шарикоподшипников. – М.: Машиностроение, 1980. – 376 с.

[4] Ковалев М.П. Опоры и подвесы гироскопических устройств. – М.: Машиностроение, 1970. – 287 с.

[5] Делекторский Б.А., Мастяев Н.З., Орлов И.Н. Проектирование гироскопических электродвигателей. – М.: Машиностроение, 1968. – 252 с.

[6] Гу А. Анализ ухода гироскопа со сферическим шарикоподшипниковым подвесом // Тр. амер. об-ва инж.-мех. Проблемы трения и смазки. Серия F. – 1975. – Т.97. - №1.

Saliakyn Karipbayev, Candidate of Technical Sciences, PhD, associate professor, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, kczh.1957@mail.ru

Mahmudiya Bimagambetov, candidate of technical sciences, associate professor, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, bimagambetov50@mail.ru

Aidos Moldabekov, candidate of chemical sciences, associate professor, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, a.moldabekov@agakaz.com

Sholpan Koshanova, master, senior lecturer, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, s.koshanova@agakaz.kz

TORSION AND OSCILLATION MOMENTS OF A SPHERICAL BALL BEARING SUSPENSION OF A SPHERICAL GYROSCOPE

Abstract. This article presents the results of determining the leading moments of "dry" friction caused by the contact of balls with rings in a ball gyroscope, due to high tension and overload.

Conservative components of the moments of forces arising from the axial imbalance and non-spherical rotor are established. The relationships between the moment of oscillatory friction, twisting and contact load are determined.

It is shown that during the operation of devices equipped with spherical kinematic pairs in ball bearings, azimuthal errors perpendicular to the kinetic moment are observed, causing the moment of departure.

Keywords. High tension and overload, conservative components of moments of forces, the moment of departure from "dry" friction rotor, stator, oscillating friction moment.

Салиакын Карипбаев, к.т.н., PhD, ассоциированный профессор, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан, kczh.1957@mail.ru

Махмедия Бимагамбетов, к.т.н., ассоциированный профессор, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан, bimagambetov50@mail.ru

Айдос Молдабеков, к.х.н., ассоциированный профессор, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан, a.moldabekov@agakaz.com

Шолпан Кошанова, магистр, старший преподаватель, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан, s.koshanova@agakaz.kz

КРУТИТЕЛЬНЫЕ И КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ МОМЕНТЫ СФЕРИЧЕСКОГО ШАРИКОВОГО ПОДШИПНИКА СФЕРИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Аннотация. Уводящие моменты, возникающие вследствие упругих деформаций чувствительных элементов навигационных систем, изучены еще недостаточно.

В данной статье представлены результаты определения уводящих моментов «сухого» трения, вызванные за счет контакта шариков с кольцами в шаровом гироскопе, обусловленные большим натягом и перегрузкой.

Установлены консервативные составляющие моментов сил, возникающие из-за осевого дебаланса и несферичностью ротора.

Определены связи между моментом колебательного трения, верчения и контактной нагрузкой.

Показано, что при работе приборов, оснащенных сферическими кинематическими парами в шарикоподшипниках, наблюдаются азимутальные погрешности, перпендикулярные кинетическому моменту, вызывающие момент ухода.

Ключевые слова. Большой натяг и перегрузка, консервативные составляющие моментов сил, момент ухода от "сухого" трения, ротор, статор, момент колебательного трения.
