

TƏYYARƏNİN FƏZA KULİS ŞASSİ MEXANİZMİNİN 3D KOMPÜTER MODELİNDƏ KİNEMATİK TƏDQIQI

*Mustafayev M.R., Pənahova N.C., Rəhimova S.M.
Milli Aviasiya Akademiyası*

Məqalədə, dördbəndli fəza mexanizmlərinin kinematik tədqiqi üçün 3D kompüter modelinə əsaslanmış yeni qrafa-analitik üsul təklif olunmuş və ondan istifadə etməklə təyyarənin şassisini yığan fəza kulis mexanizminin kinematik tədqiqi aparılmışdır. Mexanizmin parametrləri arasında yeni analitik asılılıq alınmış və onun əsasında kinematik parametrlər hesablanmışdır. Fəza mexanizmlərinin kinematik tədqiqində ən mürəkkəb məsələ olan vəziyyətlər planının qurulmasına dair AutoCAD qrafiki paketinə AutoLISP alqoritmik dilində işlənmiş əlavənin proqramı verilmişdir. Təklif olunan üsulun üstünlükləri və alınmış nəticələrin dəqiqliyi etibarlı qrafiki üsulla alınmış qiymətlərlə müqayisə edilərək təsdiqlənmişdir.

Açar sözlər: fəza mexanizmi, kinematik cüt, kinematik analiz, sürət, təcil, 3D model, qrafik üsul, qrafa-analitik üsul.

Lingli fəza mexanizmləri lingli müstəvi mexanizmlərə nəzərən bir çox üstünlüklərə malik olsa da, layiq olduğu tətbiqi tapmamışdır [1]. Onun əsas səbəbi kimi bu mexanizmlərin analiz və sintezi üçün üsulların mürəkkəbliyi və işlənilmə vəziyyətinin qənaətbəxş olmadığını göstərmək olar. Fəza mexanizmlərinin analizində xüsusi əhəmiyyət kəsb edən parametrləri arasındakı asılılıq, bir qayda olaraq, kifayət qədər mürəkkəbdir, bu səbəbdən də bir çox hallarda analitik şəkildə alınmamışdır. Bu səbəbdən də fəza mexanizmlərinin sintez və analizi üçün yeni, müasir kompüter texnologiyalarına əsaslanmış üsulların işlənməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

İşin məqsədi: Lingli fəza mexanizmlərinin analizi üçün müasir kompüter texnologiyalarına əsaslanmış, konstruktorlar üçün əlçatan, qrafiki üsula əsaslanaraq mexanizmin parametrləri arasında analitik asılılıqlar alınmasına imkan verən sadə üsulun işlənməsi və ondan istifadə etməklə təyyarənin fəza kulis şassi mexanizminin kinematik tədqiqini aparmaqdır.

Məsələnin həlli. Məqalədə fəza mexanizmlərinin tədqiqi üçün qrafa-analitik üsul təklif olunur və onun əsas mahiyyəti ondan ibarətdir ki, məsələ qrafiki üsulla 3D kompüter modelində həll olunur və həll ardıcılığı alqoritm kimi qəbul olunaraq, analitik asılılıq alınır, hansı ki, qrafik həlli ümumiləşdirir, məsələnin analizinə və məlum olmayan parametrləri istənilən dəqiqliklə təyin etməyə imkan verir. Qrafiki həlldə parametrlər arasındakı asılılıq konkret şərtlər həddində yaradılır, bu əlaqələr qrafiki həlldə göründüyündən onları analitik şəkllə salmaq böyük çətinlik yaratmır. Bundan başqa, qrafiki həll əyanidir, məsələnin həlli gedişini asan başa düşməyə imkan verir. Hesablama texnikasının inkişafı, xüsusən, tətbiqi qrafiki proqramlar paketlərinin qrafiki həllərində əhəmiyyətli dəyişikliklər yaratmışdır, üstünlükləri saxlamaqla çatışmazlıqlardan azad olmuşdur.

Hal-hazırda qrafiki qurmaların dəqiqliyi analitik üsulla müqayisə olunan səviyyəyə yüksəlmişdir [2].

Qrafiki həllər əsasında alınmış analitik asılılıqlar, təsadüfi deyil ki, digər üsullarla alınmış ifadələrdən sadə və təbiidir, belə ki, məsələnin ağlabatan qrafiki həlli verilənlərdən axtarılanlara keçidin ən təbii yoludur.

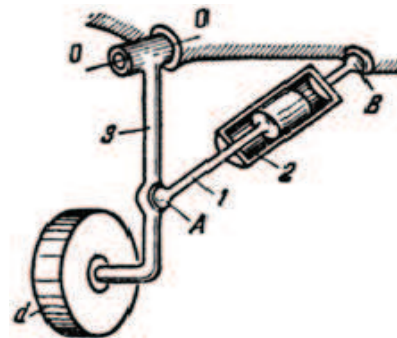
Məqalədə, təklif olunan qrafa-analitik üsulun tətbiqi ilə, təyyarənin şassisini yığmaq üçün istifadə olunan fəza kulis mexanizminin kinematik tədqiqi həyata keçirilmişdir. Mexanizmin yarım konstruktiv sxemi şəkil 1-də təsvir olunmuşdur [3]. Bu mexanizmin üstünlüyü, minimum saylı hərəkətli bəndlərin və sürtünən səthlərin olmasıdır.

Bənd 3 d təkəri ilə birlikdə, təyyarənin gövdəsinə bərkidilmiş O-O oxu ətrafında fırladılır. Bənd 2 sferik A kinematik cütü ilə, bənd 3 ilə və silindrik kinematik cüt ilə, həmçinin 1 bəndi ilə birləşir. Bənd 1 sferik C kinematik cütü və təyyarənin gövdəsi ilə birləşir. Porşen 2 silindr 1 daxilində irəliləmə hərəkəti etdikdə bənd 3 O-O oxu ətrafında fırlanaraq təyyarənin şassisini yığır. Mexanizmin kinematik sxemi şəkil 2-də verilmişdir.

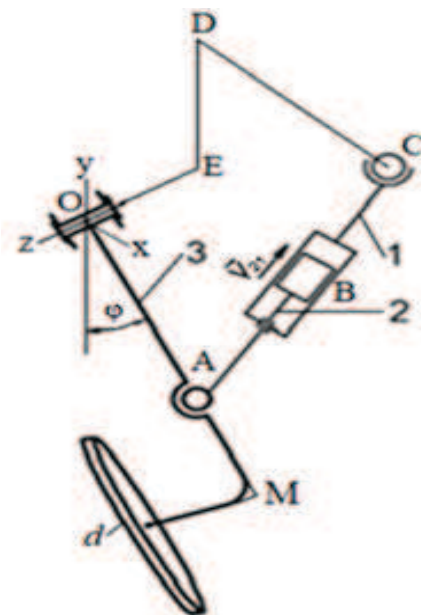
Fəza mexanizmlərinin analizinin mürəkkəb məsələlərindən biri mexanizmin vəziyyətlər planının qurulmasıdır. Bu işdə ən sadə və əyani üsul qrafiki üsul hesab olunur.

Fəza mexanizmlərinin bəndlərinin vəziyyətlərini təyin etmək üçün onların fəzada hərəkəti zamanı əmələ gətirdikləri həndəsi fiqurların xassələrindən istifadə olunur. Belə ki, OA bəndinin tərpənməz O-E oxu ətrafında fırlanmasından alınan nöqtələrin həndəsi yeri, O-E oxuna perpendikulyar və O nöqtəsindən keçən müstəvinə təşkil edir (şəkil 2). A nöqtəsinin fırlanması nəticəsində isə qeyd olunan müstəvi üzərində mərkəzi O nöqtəsində olan və radiusu /OA/-ya bərabər olan çevrə cızır. Digər tərəfdən A nöqtəsinin C nöqtəsinə nəzərən hərəkəti zamanı onun cızdığı nöqtələrin həndəsi yeri, mərkəzi C nöqtəsində yerləşən və radiusu /CA/-ya bərabər olan kürədir. Odur ki, A nöqtəsi qeyd olunan müstəvi ilə kürənin kəsişmə xətti üzərində olacaq. Mexanizmin kinematik analizini, onun 3D kompüter modelində nəzərdən keçirək. Bunun üçün: $AC=s$; $CD=b$; $DE=c$; $EO=d$; $OA=r_1$ işarə edək. CAD sistemlərindən mexanizmin 3D kompüter modelinin yaradılması üçün AutoCAD daha münasibdir. Belə ki, istifadəçilər arasında geniş yayılmış, əlavələr üçün açıqdır, yüksək səviyyəli proqramlaşma dili AutoLISP və CAD hesablama sistemi ilə təchiz edilmişdir [3, 4]. AutoCAD-a əlavələrin işlənilməsi hesablamalar və həndəsi qurmlar üçün vahid mühitin yaradılmasının əlverişli üsullarından biridir. Qoyulan məsələnin AutoCAD-da həlli üçün şimal-şərq izometrik üçölçülü koordinat sistemi (NE) seçilir və koordinat oxlarının istiqaməti uyğunlaşdırılır (şəkil 2). $O(0,0,0)$; $E(0,0,-d)$; $D(0,c,-d)$; $C(b,c,-d)$ koordinatlarına uyğun olaraq OE, ED və DC xətləri çəkilir. Bundan sonra xOy müstəvisində mərkəzi O nöqtəsində yerləşən r_1 radiuslu C_1 çevrəsi çəkilir. Mərkəzi C nöqtəsində yerləşən radiusu $r=s$ olan kürənin 3D bərk cisim modeli qurulur və onun xOy müstəvisi ilə kəsişməsindən alınan r_2 ($r_2 = \sqrt{s^2 - d^2}$) radiuslu və mərkəzi $O_2(b,c,0)$ nöqtəsində yerləşən C_2 çevrəsi çəkilir. A nöqtəsinin vəziyyəti C_1 və C_2 çevrələrinin kəsişmə nöqtəsi kimi təyin olunur. A nöqtəsi ilə O nöqtəsi birləşdirilərək OA bəndinin vəziyyəti müəyyən edilir və beləliklə də $\varphi=f(s)$ asılılığı qurulur.

Qeyd olunan qrafiki üsula uyğun $\varphi=f(s)$ asılılığı üçün analitik ifadənin alınmasını nəzərdən keçirək. Qeyd olunduğu kimi, A nöqtəsi xOy müstəvisi üzərindəki C_1 və C_2 çevrələrinin kəsişmə nöqtəsi kimi tapılır. C_1 çevrəsinin mərkəzi $O_1(0,0,0)$ nöqtəsində yerləşir və radiusu r_1 -ə bərabərdir. C_2 çevrəsinin mərkəzi $O_2(b,c,0)$ nöqtəsində yerləşir və radiusu r_2 -yə bərabərdir (şəkil 3).

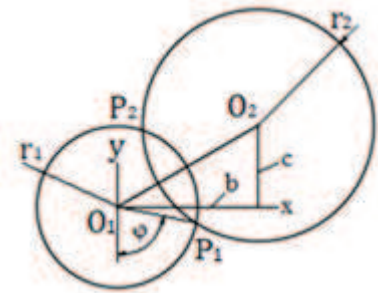


Şəkil 1. Fəza kulis şassi mexanizminin yarım konstruktiv sxemi



Şəkil 2. Fəza kulis şassi mexanizminin kinematik sxemi

İlk növbədə çevrələrin mərkəzləri arasındakı məsafəni təyin edək $d_0 = \sqrt{b^2 + c^2}$, əgər $d_0 > r_1 + r_2$, olarsa həll yoxdur, çevrələr kəsişmir. Həmçinin $d_0 < |r_1 - r_2|$ halında da həll yoxdur, yəni çevrənin biri digərinin içərisində yerləşir. C_1 və C_2 çevrələrinin tənliklərini (1) birlikdə həll edərək kəsişmə nöqtələrinin koordinatları $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$ və $\varphi = f(s)$ asılılığı təyin olunur.



Şəkil 3. $\Psi=f(\varphi)$ asılılığının təyini üçün hesabat sxemi

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = r_1^2 \\ (x - b)^2 + (y - c)^2 = r_2^2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{y_1}{x_1}\right) \quad (2)$$

$$\text{Burada } x_{1,2} = \frac{-b_1 \pm \sqrt{b_1^2 - 4a_1c_1}}{2a_1}, y_{1,2} = \frac{b}{c}x_{1,2} + c_0, c_0 = -\frac{r_2^2 - r_1^2 - b^2 - c^2}{2c},$$

$$a_1 = 1 + (b/c)^2, b_1 = -2(b/c)c_0,$$

$$c_1 = \left(\frac{(b^2 + c^2 + r_1^2 + r_2^2)}{2c} \right)^2 - r_1^2$$

Mexanizmin mövcudluğunu aşağıdakı şərtlə (3) yoxlamaq olar:

$$|\sqrt{s^2 - d^2} - r_1| < \sqrt{b^2 + c^2} < \sqrt{s^2 - d^2} + r_1 \quad (3)$$

İfadə (2) $\varphi = f(s)$ asılılığını analitik üsulla istənilən dəqiqliklə müəyyən etməyə imkan verir və doğruluğu qrafiki üsulla yoxlanılmışdır. Qrafiki qurmaları həyata keçirmək üçün mexanizmin 3D kompüter modelinin yaradılması üçün AutoCAD-a AutoLISP alqoritmik dilində işlənmiş əlavənin proqramı aşağıda verilmişdir [4, 5].

;Mexanizmin 3D kompüter modelinin qurulmasına dair AutoCAD-a işlənmiş əlavənin
;proqramı
(defun c:zzz (s /)

;Koordinat sisteminin (3D) seçilməsi və koordinat oxlarının çəkilməsi
(command "view" "Ne" "ucs" "W" "erase" "all" "" "cal" (cal "1*1"))(setvar "osmode" 0)
(setq P0(list 0 0 0))(setq P1(list 120 0 0))(setq P2(list 0 120 0))(setq P3(list 0 0 120))
(command "line" p1 p0 "" "line" p2 p0 p3 "")(command "ucs" "w" "ucs" "3" p0 p2 p3)
;Mexanizmin ölçülərinin daxil edilməsi
(setq bl 50 cl 25.0 dl 30 r1 60)
(setq PO(list 0 0 0) PE(list 0 0 (- 0 dl)) PD(list 0 cl (- 0 dl)) PC(list bl cl (- 0 dl)))
(command "line" PO PE PD PC "") (command "circle" P0 r1)(setq cev1(entlast))
;Kürənin 3D modelinin qurulması və müstəvi ilə kəsişmə xəttinin qurulması
(command "sphere" PC s) (setq sf(entlast))
(command "section" sf "" "xy" "")(setq cev2 (entlast)) (command "erase" sf "")
(setvar "TRIMEXTENDMODE" 0)
(command "trim" cev2 "" (list (- 0 r1) 0 0) "") (command "erase" cev2 "")
(setq an1(cdr(assoc 50(entget(entlast))))) (setq fi (cal"an1*180/pi"))
(setvar "TRIMEXTENDMODE" 1)
(setq fii(rtos fi 2 14)) (print s)(print fii)
(princ))

Mexanizmdə 2 bəndi mürəkkəb hərəkət edir, silindr 1-ə nəzərən irəliləmə və C nöqtəsinə nəzərən fırlanma hərəkəti. Odur ki, A_2 nöqtəsinin sürətini iki toplanana $\vec{V}_{21}$ və $\vec{V}_A^r$ ayırmaq olar. $\vec{V}_{21}$ -in həm qiyməti, həm də istiqaməti ($\vec{V}_{21} \parallel AC$) məlumdur. $\vec{V}_A$ və $\vec{V}_A^r$ istiqamətləri məlumdur, $\vec{V}_A \perp OA$, $\vec{V}_A^r \perp AC$, və $V_{A_2} \equiv V_{A_3}$ olduğundan A_3 nöqtəsinin sürətini aşağıdakı vektor tənliklər sistemini (4) qrafiki həll etməklə təyin etmək olar:

$$\begin{cases} \vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{21} + \vec{V}_A^T \\ \vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{A_3C} \end{cases} \quad (4)$$

Şəkil 4. Fəza kulis şassi mexanizminin 3D sürətlər planı

$$\vec{V}_{B_2} = \vec{V}_{A_2} + \vec{V}_{A_2 B_2}, \quad (5)$$

$\vec{V}_{A_2B_2} \perp AC$ və onun qiyməti:

$$\vec{V}_{A_2B_2} = \vec{V}_A^T BC/AC$$

B_3 nöqtəsinin sürətini isə aşağıdakı vektor tənliyi ilə müəyyən etmək olar:

$$\vec{V}_{B_1} = \vec{V}_{B_2} + \vec{V}_{21} \quad (6)$$

Sürətlər planından göründüyü kimi, mexanizmin ölçüləri və V_{21} qiyməti və istiqaməti məlum olduqda mexanizmin digər xarakterik nöqtələrinin sürətinin qiymətini və istiqamətini aşağıdakı analitik ifadələrlə hesablamaq olar:

$$V_a = V_{21}/\cos \alpha, \quad (7)$$

$$V_A^r = tg \alpha V_{21}, \quad (8)$$

$$V_{B_2} = \sqrt{V_{21}^2 + (V_A^r(BC/AC))^2}, \quad (9)$$

$$V_{B_1} = V_A^r(BC/AC), \quad (10)$$

$$\alpha = \arccos((s^2 + r_1^2 - l_{CH}^2)/(2 s r_1)), \quad (11)$$

Burada $l_{CH} = \sqrt{(x_C - x_H)^2 + (y_C - y_H)^2 + (z_C - z_H)^2}$, $x_C = b, y_C = c, z_C = -d$,

$$x_H = \sqrt{2} r_1 \cos(\varphi - 45), y_H = \sqrt{2} r_1 \sin(\varphi - 45), z_H = 0,$$

$$x_K = x_A + \frac{AK}{AC} (x_C - x_A), y_K = y_A + \frac{AK}{AC} (y_C - y_A), z_K = z_A + \frac{AK}{AC} (z_C - z_A),$$

$$x_A = r_1 \sin \varphi, y_A = -r_1 \cos \varphi, z_A = 0.$$

$$x_a = x_A + \frac{Aa}{AH} (x_H - x_A), y_a = y_A + \frac{Aa}{AH} (y_H - y_A), z_a = 0,$$

$$x_{b_2} = x_K + \frac{AB}{AC} (x_a - x_K), y_{b_2} = y_K + \frac{AB}{AC} (y_a - y_K), z_{b_2} = z_K + \frac{AB}{AC} (z_a - z_K),$$

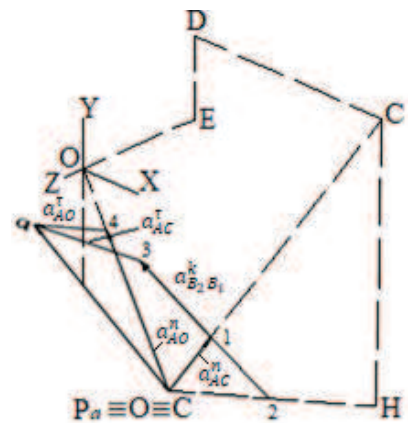
$$x_{b_1} = x_A + x_{b_2} - x_K, y_{b_1} = y_A + y_{b_2} - y_K, z_{b_1} = z_A + z_{b_2} - z_K$$

Göründüyü kimi mexanizmin xarakterik nöqtələrinin sürətini V_{21} – in qiyməti məlum olduqda (7-10) ifadələri ilə təyin etmək olar.

Mexanizmin təcillər planının qurulmasını nəzərdən keçirək. Təcillər planının 3D modelini qurmaq üçün, sürətlər planında olduğu kimi, şəkil 2-dəki koordinat sisteminə uyğun koordinat sistemi yaradılır və onun xOy müstəvisində O nöqtəsi koordinat başlanğıcında olmaqla OA bəndi və ona perpendikulyar uzunluğu r_1 -ə bərabər AH xətti çəkilir (şəkil 5). A nöqtəsini təcillər planının polyus nöqtəsi qəbul edib, P_a ilə işarə edək. Bundan sonra koordinatlarına uyğun olaraq C(b, c, -d) nöqtəsi və AC xətti çəkilir. İlk növbədə, aşağıdakı vektor tənliyindən (12) istifadə etməklə A nöqtəsinin təcilini tapaq:

$$\vec{a}_{AO}^n + \vec{a}_{AO}^r = \vec{a}_{AC}^n + \vec{a}_{B_2B_1}^k + \vec{a}_{AC}^r \quad (12)$$

Tənliyin sol tərəfindəki vektorlar xOy müstəvisi üzərində, sağ tərəfindəki birinci iki vektor isə A,H,C nöqtələrindən keçən müstəvi üzərində yerləşir. $\vec{a}_{AO}^n$ vektorunun qiyməti və istiqaməti məlumdur ($a_{AO}^n = v_A^2/l_{AO}$, $\vec{a}_{AO}^n \parallel AO$) $\vec{a}_{AO}^r$ vektoru $\vec{a}_{AO}^n$ vektorunun sonundan ona perpendikulyar istiqamətdə olur. Həmçinin a_{AC}^n və $a_{B_2B_1}^k$ vektorların qiymət və istiqamətləri də məlumdur ($a_{AC}^n = (V_A^r)^2/l_{AC}$, $\vec{a}_{AC}^n \parallel AC$, $a_{B_2B_1}^k = 2\omega_1 V_{21}$, istiqaməti isə V_{21} sürətinin istiqamətini ω_1 istiqamətində 90° döndərməklə alınır). A nöqtəsinin təcili $\vec{a}_{AO}^r$ vektoru ilə $\vec{a}_{AC}^n$ və $\vec{a}_{B_2B_1}^k$ vektorlarının cəminin sonuncu nöqtəsindən keçən və AC xəttinə perpendikulyar müstəvinin kəsişmə nöqtəsi kimi təyin edilir.



Şəkil 5. Fəza kulis şassi mexanizminin 3D təcillər planı

Fəza mexanizmlərində təcilin təyini kinematik diaqramlar üsulu ilə daha sadə olduğundan [6] təcillər planı yalnız A nöqtəsi üçün yerinə yetirilmişdir (analitik (2) ifadəsindən alınan qiyməti müqayisə etmək üçün).

Alınmış analitik (2) ifadəsindən A nöqtəsinin sürət və təcilin ədədi qiymətlərinin hesablanması və qrafiki üsulla alınmış nəticələrlə müqayisəsini nəzərdən keçirək.

Məlumdur ki, bucaq sürətini müəyyən etmək üçün $\varphi=f(s)$ asılılığını zamana görə diferensiallamaq lazımdır [6].

$$\frac{d\varphi}{ds} = \frac{\frac{d\varphi}{d\tau}}{\frac{ds}{d\tau}} = \frac{\omega}{V_{21}} \text{ və ya } \omega = \frac{d\varphi}{ds} V_{21}, \xi = \frac{d^2\varphi}{d\tau^2} V_{21} \quad (13)$$

Baxılan halda bu əməliyyatı ədədi üsulla yerinə yetirmək daha rahatdır [7].

$$V_A = \frac{\Delta\varphi}{\Delta s} V_{21} r_1 / (180/\pi) \quad (14)$$

$$a_A = r_1 V_{21} \sqrt{\omega^4 + \xi^2} \quad (15)$$

$$f'(s) = \frac{f(s+h)-f(s-h)}{2h} \quad (16)$$

$$f''(s) = \frac{f(s+h)-2f(s)+f(s-h)}{h^2} \quad (17)$$

A nöqtəsinin sürəti üçün $s=90\text{mm}$ və $h=0.0001$ qiymətində (14) ifadəsindən və sürətlər planından eyni qiymət 1.61402 mm/san^2 alınır.

A nöqtəsinin tam təcili üçün $s=90\text{mm}$ və $h=0.0001$ qiymətində (15) ifadəsindən 0.0482350 və təcillər planından isə $0.0482349 \text{ mm/san}^2$ alınır.

Nəticə: Lingli fəza mexanizmlərinin analizində ən mürəkkəb məsələ olan vəziyyətlər planının qurulması, mexanizmin 3D kompüter modelində bəndlərin hərəkəti zamanı kinematik cütlərin əmələ gətirdiyi nöqtələrin həndəsi yeri, onların kəsişmə xətlərinin və kəsişmə nöqtələrinin təyininə əsaslanmış üsul tətbiq edilərək həyata keçirilmiş və bu həll ardıcılığı alqoritm qəbul edilərək mexanizmin parametrləri arasında $\varphi=f(s)$ analitik ifadə alınmış və dəqiqliyi təsdiqləmişdir. $\varphi=f(s)$ ifadəsindən riyazi üsulla hesablanmış xarakterik nöqtələrin sürət və təcilin qiyməti, yüksək dəqiqliklə, etibarlı qrafiki üsulla alınmış qiymətlərlə üst-üstə düşür. Beləliklə, lingli fəza mexanizmlərinin analizi üçün təklif olunan yeni qrafa-analitik üsul, konstruktorlar üçün əlçatan, mexanizmin parametrləri arasında analitik ifadənin alınması üçün əlverişli, kifayət qədər dəqiq və sadədir.

ƏDƏBİYYAT

1. Полухин В.П. Проектирование механизмов швейно-обметочных машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 280 с.
2. Хлебосолов И.О. Графоаналитические методы расчета механизмов с использованием ЭВМ // Теория механизмов и машин, 2004, №2, Том 2. С. 40-44.
3. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. Справочное пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей. В 7 томах. Том II. Кулисно-рычажные и кривошипно-ползунные механизмы / Пространственный кулисный механизм убирающегося шасси самолета – 1352. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
4. Лич Дж. Энциклопедия AutoCAD 2002. СПб.: Питер, 2002. – 1072 с.
5. Полешук Н.Н., Лоскутов П.В. AutoLISP и Visual LISP в среде AutoCAD. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 960 с.
6. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учебник для вузов /– 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.
7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: 1981. – 720 стр.

REFERENCES

1. Poluxin V.P. Proyektirovanie mexanizmov shveyno-obmetochnix mashin. – M.: Mashinostroenie, 1972. - 280 str.
2. Xlebosolov İ.O. Qrafoanaliticheskie metody rascheta mexanizmov c ispolzovaniem EVM // Teoriya mexanizmov i mashin, 2004, №2, Tom 2. - S. 40-44.
3. Artobolevskiy I.I. Mehanizmy v sovremennoy tekhnike. Spravochnoe posobie dlya inzhenerov, konstruktorov i izobretatelej. V 7 tomah. Tom II. Kulisno-rychazhnye i krivoshipno-polzunnye mehanizmy / Prostranstvennyy kulisnyy mehanizm ubirayushegosya shassi samoleta – 1352. – M.: Nauka, 1979. – 560 s.
4. Lich Dj. Ensiklopediya AutoCAD 2002. SPb.: Piter, 2002. - 1072 s.
5. Poleshuk H.H., Loskutov P.V. AutoLISP i Visual LISP v srede AutoCAD. SPb.: BKhV-Peterburg, 2006. - 960 s.
6. Artobolevskiy İ.İ. Teoriya mexanizmov i mashin // 4-e izd., pererab. İ dop. - M.: Nauka, 1988. – 640 s.
7. Bronshteyn I.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashikhshya vtuzov. – M.: 1981. - 720 str.

KINEMATIC ANALYSIS OF THE SPATIAL LINK MECHANISM OF THE RETRACTABLE LANDING GEAR OF AN AIRCRAFT ON A 3D COMPUTER MODEL

Mustafayev M.R., Panahova N.D., Rahimova S.M.
National Aviation Academy

The article presents a new graphic-analytical method, based on a 3D computer model, for the kinematic analysis of a spatial four-link mechanism, and using this method, a kinematic analysis of the spatial rocker mechanism of an aircraft landing gear is made. Between the parameters of the mechanism, a new analytical dependence is obtained and the kinematic parameters of the mechanism are calculated from it. A program developed in the AutoLISP algorithmic language to supplement the AutoCAD graphic package for constructing a state plan, which is the most difficult task in the kinematic study of space mechanisms, is provided. The advantages of the proposed method and the reliability of the results obtained are confirmed by a comparison of reliable data obtained by a graphical method.

Keyword: space mechanism, kinematic pair, kinematic analysis, speed, acceleration, 3D model, graphic method, graph-analytical method.

Rəyçi: *t.e.d., prof. P.Ş. Abdullayev*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Mustafayev Mustafa Rəhim oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası (MAA)	Nəqliyyat mexanikası kafedrasının professoru, t.e.d.	mob.(+994) 50 613-38-14 musta-mro@rambler.ru
Pənahova Nigar Cəfər qızı	MAA	Nəqliyyat mexanikası kafedrasının dosenti, f.-r.e.n.	mob.(+994) 50 281-29-54 panahovanigar@yahoo.com
Rəhimova Səidə Məmməd qızı	MAA	Nəqliyyat mexanikası kafedrasının müəllimi	mob.(+994) 50 508-86-97 saida_abdullayeva@bk.ru