

CİHAZQAYIRMA

UOT: 623

DOI: 10.34826/NAA.2023.25.3.008

DÖRDBƏNDLİ FƏZA MEXANİZMİNİN ÜÇÖLÇÜLÜ KOMPÜTER MODELİ

Mustafayev M.R., Yəhyayeva A.N., Rəhimova S.M.

Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə AutoCAD qrafiki proqram paketində dördbəndli lingli fəza mexanizminin üçölçülü parametrik kompüter modeli və onun əsasında bəndlərinin vəziyyətlərinin təyini üçün qrafiki üsul və aparılan bəndin dönmə bucağının təyini üçün yeni analitik ifadə verilmişdir. Təklif olunan üsul həndəsi qurmalarla əsaslanmışdır. Həndəsi qurmaların yerinə yetirilməsi və alınan nəticələrin vizüallaşdırılması üçün AutoCAD-da əlavə işlənmişdir. Mexanizmin təklif olunan üçölçülü parametrik modeli, mexanizmin vəziyyətlər planı ilə yanaşı, onun sürət və təcil planlarının qurulmasına imkan verir.

Açar sözlər: AutoCAD qrafiki proqramlar paketi, dördbəndli lingli fəza mexanizmi, üçölçülü kompüter modeli, parametrik model, vəziyyətlər planı, həndəsi qurmalar, aparılan bəndin dönmə bucağı, analitik ifadə.

Fəza lingli mexanizmləri müstəvi lingli mexanizmlərin malik olduğu bütün üstünlüklərə malik olmaqla yanaşı, onlar yüksək sürətdə maşınların etibarlı işini təmin edir. Həmçinin bu mexanizmlər qeyd olunanlardan əlavə:

- kəsişən və çarpaz oxlar arasında az saylı bəndlər və sürtünən səthlərlə hərəkət ötürməyə;
- çox sayda hərəkət qanununu almağa;
- verilən şərtləri (məsələn, aparılan bəndin maksimum dönmə bucağı, qeyri-müntəzəmlik əmsalı) daha böyük intervalda dəyişməyə;
- sxemdə hərəkət edən bəndlərin sayını azaltmaqla maşın və mexanizmin dinamiki keyfiyyətlərini yaxşılaşdırmağa imkan verir

Fəza mexanizmlərinin kinematik analizinə dair nəzəriyyə keçən yüz illiyin ortalarında işlənilsə də, bu mexanizmlər hələ də layiq olduğu tətbiq sahəsini tapmamışdır. Buna təsir göstərən əsas səbəblərdən biri, bu mexanizmlərin sintezi və analizinə dair üsulların mürəkkəbliyi və kifayət qədər işlənilməməsidir. Fəza mexanizmlərinin analizində ən mürəkkəb məsələ mexanizmin bəndlərinin vəziyyətlərinin müəyyən edilməsidir [1,2].

İşin məqsədi: Dördbəndli fəza mexanizmlərinin analizində ən mürəkkəb məsələ olan mexanizmin bəndlərinin vəziyyətlərinin müəyyən edilməsi üçün yeni üsulun işlənilməsidir.

Bu məqsəd üçün qrafiki üsul daha sadə və inandırıcıdır. Qrafiki üsulla məsələnin həlli, həllinin gedişini izləməyi və başadüşməyi asanlaşdırır ki, bu da qoyulan məsələnin həllini sürətləndirir. Həmçinin qrafiki həllin nəticəsinə baxmaq həllin korrekliyini müəyyən etməyə imkan verir. Ənənəvi qrafiki üsulun çatışmazlığı kimi onun dəqiqliyinin analitik üsulla müqayisədə yüksək olmamağı və qrafiki qurmaların çox əmək tutumlu olması hesab olunur. Lakin, hesablama texnikasının inkişafı, xüsusi ilə, tətbiqi qrafiki proqramların tətbiqi sayəsində, qrafiki üsul öz üstünlüklərini saxlamaqla çatışmazlıqlarından məhrum olmuşdur. Hal-hazırda qrafiki qurmaların dəqiqliyi analitik üsulların dəqiqliyi ilə müqayisə olunan səviyyədədir və parametrik qrafiki modellərin istifadəsi böyük eyni tipli qurmaların aparılması zərurətini aradan qaldırmışdır [3,4].

Bir çox sahələrdə müasir maşınlarda çarpaz və kəsişən oxlar arasında hərəkətin ötürülməsi üçün fəza lingli dördbəndli mexanizmlərdən istifadə olunur (şəkil 1). Mexanizmdə iki beşinci sinif fırlanma (A və D) və iki üçüncü sinif sferik cütü (B və C) vardır.

Koordinat oxlarının və proyeksiya müstəvilərinin ixtiyari götürülməsi fəza mexanizmlərinin analizi və sintezi zamanı ayrı-ayrı mənbələrdən götürülmüş nəticələrin istifadəsi zamanı çox çətinliklər yaradır.

Əgər müstəvi mexanizmlərdə bir koordinat sistemindən digərinə keçmək ciddi çətinlik yaratmasa da, fəza mexanizmlərində bəzi hallarda yaranan çətinliklər məsələnin yeni həlli ilə eyni səviyyədə olur. Əksinə, koordinat oxlarının (analitik üsul üçün) və proyeksiya müstəvilərinin (qrafiki üsul üçün) rəşional seçimi bir çox hallarda məlum həlləri sadələşdirir və ya fəza mexanizminin analiz və sintezinə dair daha mürəkkəb məsələlərin həllinə imkan verir [5].

Qrafik və analitik üsulu eyni zamanda istifadə etdikdə proyeksiya müstəvilərindən oxlara keçid çətinlik yaratmamalıdır. Müstəvi mexanizmi fəza mexanizminin xüsusi halı kimi ümumiləşmiş fəza mexanizmindən alınmalıdır. Sonuncu hal, alınmış nəticələrin yoxlanılmasını asanlaşdırır.

Deyilənlərdən göründüyü kimi, fəza mexanizmlərinin kinematik analizi üçün sadə, lakin kifayət qədər dəqiq qrafiki üsulun işlənilməsi aktual məsələdir. Bu məqsədlə, son illərdə üçölçülü kompüter modeli daha aktual hesab olunur.

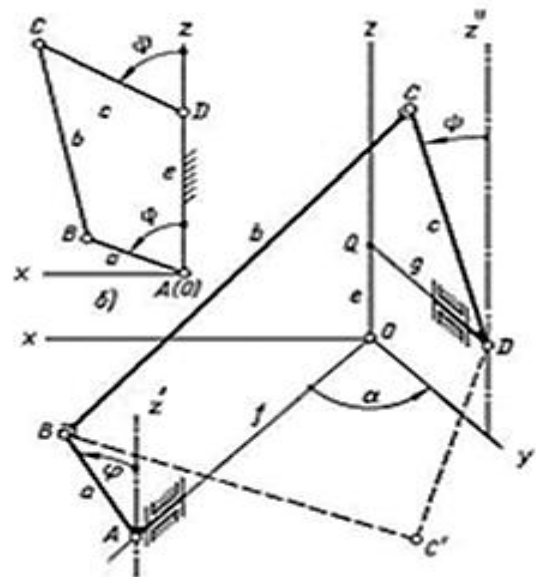
CAD sistemlərindən AutoCAD fəza mexanizmlərinin üçölçülü modelinin yaradılması üçün daha münasibdir. Belə ki, geniş yayılmışdır, əlavələr üçün açıqdır, yüksək səviyyəli AutoLISP proqramlaşdırma dili və CAL hesablama sisteminə malikdir [6,7]. AutoCAD-a əlavənin işlənilməsi hesablama işləri və qrafiki qurmaların eyni mühitdə birləşdirilməsi üçün ən effektiv üsuldur.

Nümunə kimi şəkil 1-də verilmiş fəza lingli dördbəndli mexanizminin üçölçülü kompüter modelinin qurulmasını nəzərdən keçirək. Mexanizmin AB aparən bəndinin φ dönmə bucağı Z'/Z oxunun, DC aparılan bəndin Ψ dönmə bucağı Z''/Z oxunun müsbət tərəfindən hesablanır və müsbət istiqamət uyğun olaraq OA və QD xətlərin ucundan baxılırsa, saat əqrəbinin hərəkət istiqamətinin əksi götürülür. Göründüyü kimi, mexanizmin BC bəndi öz uzununa oxu ətrafında dönmə imkanına malikdir, başqa sözlə əlavə sərbəstlik dərəcəsinə malikdir.

Koordinat sisteminin belə seçimi müstəvi mexanizmə keçməyə imkan verir. Belə ki, fəza mexanizmindən $\alpha = 0$ və $f = g = 0$ qiymətlərində müstəvi mexanizmi alınır. Belə mexanizm şəkil 1b-də verilmişdir. Bu halda e normalının uzunluğu AD tərpənməz bəndinin uzunluğu, a, b, c bəndlərin uzunluğu kimi qalır, dördbəndli mexanizm, XOZ müstəvisi üzərində alınır. φ və Ψ dönmə bucaqları Z oxunun müsbət istiqamətindən X oxunun müsbət tərəfinə doğru hesablanır.

Qrafiki və qrafoanalitik üsulla lingli fəza dördbəndli mexanizminin xüsusi hallarının vəziyyətlər planının qurulması [8,9] baxılmışdır. Bu işlərdə qrafiki qurmalar tərsimi həndəsənin qaydalarına əsaslanmışdır və icraçıdan yüksək hazırlıq tələb edir, belə ki, kifayət qədər mürəkkəb qurma əməliyyatları əllə yerinə yetirilir.

Həmçinin bu işlərin nəticələrini ixtiyari vəziyyətdə olan mexanizmlərə tətbiq etmək mümkün deyildir. İxtiyari lingli fəza dördbəndli mexanizminin kinematik analizi üçün (o cümlədən vəziyyətlər planının qurulması üçün) mexanizmin AutoCAD paketində qurulmuş 3D



Şəkil 1. Mexanizmin kinematik sxemi

kompyuter modelindən istifadə etmək daha məqsədə uyğundur [4]. Bu, apararı və aparılan bəndlərin yerləşdiyi müstəvilərin vəziyyətindən asılı olmayaraq ümumiləşmiş mexanizmin kinematik analizinə və bu prosesin avtomatlaşdırılmasına imkan verir.

Mexanizmin vəziyyətlər planını qurmaq üçün onun B və C nöqtələrinin fəzadakı vəziyyətini müəyyən etmək kifayətdir. Baxılan halda B nöqtəsi, A nöqtəsindən keçən və OA düz xəttinə perpendikulyar müstəvi üzərində, mərkəzi A nöqtəsində olan və radiusu $r = l_{AB}$ olan çevrə üzərində yerləşir. C nöqtəsi isə B nöqtəsindən l_{CB} məsafəsində yerləşməlidir. Bu nöqtələrin həndəsi yeri isə, mərkəzi B nöqtəsində yerləşən və radiusu $r = l_{CB}$ olan K kürəsidir. Digər tərəfdən C nöqtəsi D nöqtəsindən keçən və DQ düz xəttinə perpendikulyar olan müstəvi üzərindəki, mərkəzi D nöqtəsində olan və radiusu $r = l_{DC}$ olan C_2 çevrəsinin üzərində olmalıdır. Başqa sözlə C nöqtəsi K kürəsi ilə C_2 çevrəsinin kəsişmə nöqtəsidir.

Məlumdur ki, müstəvi xətt ilə səthin kəsişmə nöqtəsini tapmaq üçün [10], xətdən müstəvi keçirib onunla səthin kəsişmə xəttini qurmaq və kəsişmə xətti ilə verilən xəttin kəsişmə nöqtəsini təyin etmək lazımdır ki, bu nöqtə xətlə səthin kəsişmə nöqtəsi olur. Baxılan halda K kürəsini D nöqtəsindən keçən və DQ xəttinə perpendikulyar müstəvi ilə kəsib, kəsişmədən alınan C_1 çevrəsi ilə C_2 çevrələrinin kəsişmə nöqtələri təyin edilir. Onlardan biri seçilir və CD bəndinin vəziyyəti təyin edilir.

Bu məsələnin həlli üçün, mexanizmin üçölçülü kompyuter modelində koordinat oxları şəkil 1-ə uyğun olması üçün AutoCAD-da dünyəvi (W) şimal-şərq izometrik fəza koordinat sistemi (NE) seçilir. Bu koordinat sistemində XOY müstəvisi üzərində OA , ZOY müstəvisi üzərində QD düz xətt parçaları çəkilir və OA düz xətt parçasından istifadə edərək yeni istifadəçi koordinat sistemi (İKS) yaradılır, hansının ki, koordinat başlanğıcı A nöqtəsində, Z oxu isə AO xətti üzərində olur. Bu koordinat sistemində XY müstəvisi üzərində dünyəvi koordinat sisteminin (W) Z oxu ilə φ bucağı əmələ gətirən AB düz xətt parçası çəkilir. Bundan sonra koordinat başlanğıcı D nöqtəsində və Z oxu DQ xətti üzərinə düşən yeni (İKS) yaradılır və onun XOY müstəvisi üzərində mərkəzi D nöqtəsində yerləşən və radiusu $r_2 = l_{DC}$ olan C_2 çevrəsi çəkilir. Bundan sonra mərkəzi B nöqtəsində olan və radiusu $r = l_{BC}$ olan kürənin 3D modeli qurulur və o, D nöqtəsindən keçən DQ düz xəttinə perpendikulyar olan müstəvi ilə kəsilir. Kürənin müstəvi ilə kəsişməsindən C_1 çevrəsi alınır. C_1 və C_2 çevrələrinin kəsişmə nöqtələri C nöqtəsinin vəziyyəti olur.

Yuxarıda qeyd olunan metodu reallaşdırmaq üçün, AutoLISP alqoritmik dilindən istifadə etməklə, AutoCAD-a əlavə işlənilmişdir, hansının ki, proqramı aşağıda verilir.

;Qrafiki üsulla dördbəndli fəza mexanizminin vəziyyətlər planının qurulması

(defun c:zz (fi /)

;(setq fi 10) (print fi)

; Koordinat sisteminin seçilməsi və koordinat oxlarının çəkilməsi

*(command "view" "Ne" "ucs" "W" "erase" "all" "" "cal" (cal "1*1"))(setq "osmode" 0)*

(command "line"(list 0 0 0)(list 0 0 120)"")

(command "line"(list 0 120 0)(list 0 0 0)(list 120 0 0)"")

; Mexanizmin ölçülərinin daxil edilməsi

(setq al 45 bl 75 cl 80.0 f 100 gl 83 el 20 alf 50)

; A və B nöqtələrinin koordinatlarının təyini və çəkilməsi

(setq ya(f (cal"cos(alf)")) xa(* f (cal"sin(alf)")))(setq PA(list xA yA 0))*

*(setq xB(cal"f*sin(alf)+al*sin(fi)*cos(alf)"))*

*(setq yB(cal"f*cos(alf)-al*sin(fi)*sin(alf)"))*

*(setq zB(cal"al*cos(fi)")) (setq pB(list xB yB zB))*

(command "line"(list 0 0 0) pA)"")(command "line" PA pB "")

; Koordinat başlanğıcı A nöqtəsində yerləşən və xOy müstəvisi AO xəttinə perpendikulyar

```
; yeni istifadəçi koordinat sisteminin yaradılması
(command "ucs" "ZA" PA (list 0 0 0))
(command "circle" (list 0 0 0) al)
; Mərkəzi B nöqtəsində olan və radiusu r=bl olan kürənin çəkilməsi
(command "ucs" "w" "sphere" (list xB yB zB) bl) (setq sf (entlast))
; D nöqtəsinin yerinin təyini, QD xəttinin çəkilməsi və yeni koordinat sisteminin seçilməsi
(setq pQ(list 0 0 el) pD(list 0 gl el)) (command "line" pQ pD "")
(command "ucs" "ZA" PD pQ)
; Kürənin müstəvi ilə kəsilməsi
(command "section" sf "" "xy" "") (setq ck (entlast))
(command "erase" sf "") (setq c(entlast))(command "circle" (list 0 0 0) cl)
Çevrələrin kəsişmə nöqtələrinin oxunması
(command "trim" c"" (list (- 0 cl) 0 0) "")
(setq an(cdr(assoc 51(entget(entlast))))) (setq ksi(- 90 (cal"an*180/pi")))
(setq xCu (cal"cl*cos(an*180/pi)")) (print xC) (setq zCu 0)
(setq yCu (cal"cl*sin(an*180/pi)")) (print yC) (setq pCu(list xCu yCu zCu))
(setq Cw(cal"u2w(pCu)"))
(command "ucs" "w" "line" pB Cw pD "")
(print fi) (print ksi)
(princ))
```

Qrafiki həll ardıcılığı əsasında aparılan bəndin dönmə bucağı üçün aşağıdakı analitik ifadə alınmışdır.

$$\psi = \arctg \frac{x_1}{y_1} \quad (1)$$

harada ki,

$$y_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \quad a_1 = y_{o1} \quad x_{o1}; \quad x_{o1} = x_B - x_D; \quad y_{o1} = z_B - e;$$

$$x_1 = a_1 y_1 + b_1; \quad a = a_1^2 + 1; \quad b = 2a_1 b_1; \quad c = b_1^2 - r_2^2;$$

$$b_1 = \sqrt{r_2^2 + x_{o1}^2 + y_{o1}^2 - r_1^2} \quad 2x_{o1}; \quad r_1 = \sqrt{b_l^2 + dy^2}; \quad dy = g - y_B;$$

$$x_B = f \sin \alpha + a_l \sin \varphi \cos \alpha; \quad y_B = f \cos \alpha + a_l \sin \varphi \sin \alpha; \quad z_B = a \cos \varphi;$$

$$y_D = g; \quad z_D = e; \quad r_2 = l_{DC}; \quad a_l = l_{AB}; \quad b_l = l_{BC};$$

Mexanizmin vəziyyətlər planının qurulmasından əvvəl, onun verilən ölçülərlə mümkün olub-olmamağını aşağıdakı şərtlərlə yoxlamaq lazımdır.

$$\begin{aligned} g - y_B &< l_{BC}; \\ r_1 + r_2 &> (x_{o1}^2 + y_{o1}^2)^{0.5} \\ r_1 &< r_2 + (x_{o1}^2 + y_{o1}^2)^{0.5} \end{aligned} \quad (2)$$

Nəticə: Fəza dördbəndli mexanizminin vəziyyətlər planının qurulmasında qrafiki üsul və onun əsasında alınmış analitik ifadə (1) kifayət qədər sadə və dəqiqdir. Belə ki, ϕ və Ψ -nin uyğun

qiymətləri əsasında analitik üsulla hesablanmış B və C nöqtələri arasındakı məsafə yüksək dəqiqliklə (0.001%) l_{BC} -nin qiyməti ilə üst-üstə düşür. Bu isə öz növbəsində alınmış analitik ifadənin köməyi ilə mexanizmin riyazi modelini yaratmağa və onun vasitəsi ilə mexanizmi tədqiq etməyə imkan verir.

ƏDƏBİYYAT

1. Диментберг Ф.М. Теория пространственных шарнирных механизмов. М.: Наука, 1982. 336 с.
2. Бурмистров А.Г. Графический метод определения положений пространственных пятизвенных механизмов. Машиноведение, №2, 1966.
3. Хлебосолов И.О. Графоаналитические методы расчета механизмов с использованием ЭВМ // Теория механизмов и машин, 2004. №2. Том 2. с. 40-44.
4. Мустафаев М.Р. и др. Графическое определение положений пространственных пятизвенных механизмов на ее трехмерной компьютерной модели в пакете AutoCAD. МАА, Elmi Məcmuə, cild 19, №3, 2017.
5. Левитский Н.И., Полухин В.П. К выбору осей координат и плоскостей проекций в пространственном четырехзвеннике. «Наука», «Машиноведение», 1968, №6.
6. Лич Дж. Энциклопедия AutoCAD 2002. - СПб.: Питер, 2002, 1072 с.
7. Полешук Н.Н., Лоскутов П.В. AutoLISP и Visual LISP в среде AutoCAD. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 960 с.
8. Артоболевский И.И. Теория механизмов. М.: 1965, 776 с.
9. Полухин В.П. Проектирование механизмов швейно-обметочных машин. М.: 1972, 280 с.
10. Фролов С.Ф. Начертательная геометрия. М., Машиностроение, 1983, 240 с.

REFERENCES

1. Dimentberg F.M. Teoriya prostranstvennikh sharnirnikh mekhanizmov. M.: Nauka, 1982. 336 s.
2. Burmistrov A.G. Graficheskiy metod opredeleniya polozheniy prostranstvennikh pyatizvennikh mekhanizmov. Mashinovedeniye, №2, - 1966.
3. Khlebosolov I.O. Grafoanaliticheskie metodi rascheta mekhanizmov s ispol'zovaniyem EVM // Teoriya mekhanizmov i mashin, 2004. №2. Tom 2. c. 40-44.
4. Mustafayev M.R. i dr. Graficheskoe opredelenie polozheniy prostranstvennikh pyatizvennikh mekhanizmov na ee trekhmernoy kompyuternoy modeli v pakete AutoCAD. МАА, Elmi Mejmueler, jild 19, №3, 2017.
5. Levitskiy N.I., Polukhin V.P. K viboru osey koordinat i ploskostey proektsiy v prostranstvennom chetiryokhzvennike. "Nauka", "Mashinovedenie", 1968, №6.
6. Lich Dzh. Ensiklopediya AutoCAD 2002. - SPb.: Piter, 2002, 1072 s.
7. Poleshuk N.N., Loskutov P.V. AutoLISP i Visual LISP v srede AutoCAD. - SPb.: BKhV-Peterburg, 2006, 960 s.
8. Artobolevskiy I.I. Teoriya mekhanizmov. M. 1965. 776 s.
9. Polukhin V.P. Proyektirovanie mekhanizmov shveyno-obmetochnik mashin. M.: 1972, 280 s.
10. Frolov S.F. Nachertatel'naya geometriya. M., Mashinostroyeniye, 1983, 240 s.

THREE-DIMENSIONAL COMPUTER MODEL OF A FOUR-POINT SPACE MECHANISM

Mustafayev M.R., Yakhyayeva A.N., Ragimova S.M.
National Aviation Academy

A 3D parametric computer model of a lever spatial 4-link mechanism is proposed in the AutoCAD package and, based on it, a graphical method for determining the mechanism links positions, as well as a new analytical dependence for determining the driven links position. These methods are based on geometric constructions. To automate geometric construction and display the results obtained, an AutoCAD user application has been developed. The proposed the mechanism 3D parametric model also allows building velocity and acceleration diagram of the mechanism.

Keywords: AutoCAD graphic program package, four - bar link space mechanism, three-dimensional computer model, parametric model, plan of displacement, geometric constructions, rotation angle of the constructed link, analytical expression.

Rəyçi: *f.-r.e.n., dos. Yaqubov Ə.H.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Mustafayev Mustafa Rəhim oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası, Nəqliyyat mexanikası kafedrası	t.e.d., professor	musta-mro@rambler.ru mob: (+994) 50-613-38-14
Yəhyayeva Aygül Nazir qızı	Milli Aviasiya Akademiyası, Nəqliyyat mexanikası kafedrası	Laborant	aygul.yehyayeva@mail.ru mob: (+994) 55-886-98-57
Rəhimova Səidə Məmməd qızı	Milli Aviasiya Akademiyası, Tədris-Metodik Şöbə	Metodist	saida_abdullayeva@bk.ru mob: (+994) 50-508-86-97