

Undisturbed Universal Pendulum Device for Determining Spatial Position of Aircraft

T.I. Karimli

Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave. 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)

For correspondence:

Karimli Togrul / e-mail: tkarimli@mail.ru

Abstract

The article gives a review of devices for determining the spatial position of static and dynamic objects for various purposes, and principles of their operation are investigated. The state of a disturbed classical pendulum in determining the spatial position of objects under the influence of accelerating motion and the classical solution to eliminate the impact of the disturbance are considered. Variants of an undisturbed universal-purpose mechanical pendulum are presented.

Keywords: aircraft, spatial position, pendulum, Schuler period, accelerometer, gyroscope, electrolyte, air bubble.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_01_34_42

Received 01.03. 2022

Revised 17.03.2023

Accepted 27.03.2023

For citation:

Karimli T.I.

[Undisturbed universal pendulum device for determining spatial position of aircraft]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 34-42 (in Azerbaijan)

Uçuş aparatlarının fəza vəziyyətini müəyyən edən həyəcanlanmayan universal rəqqashı qurğu

T.İ. Kərimli

Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

Yazışma üçün:

Kərimli Toğrul / e-mail: tkarimli@mail.ru

Xülasə

Məqalədə müxtəlif təyinatlı statik və dinamik obyektlərin fəza vəziyyətini ölçən qurğular təhlil edilmiş, onların iş prinsipləri araşdırılmışdır. Təcilli hərəkətə malik obyektlərin fəza vəziyyətini müəyyən edən mexaniki rəqqasın həyəcanlanma halına baxılmış və həyəcanlanmanın təsirinin aradan götürülməsinin klassik həlli göstərilmişdir. Universal təyinata malik mexaniki rəqqasın təcilə görə həyəcanlanmayan variantları təqdim edilmişdir.

Açar sözlər: uçuş aparatı, fəza vəziyyəti, rəqqas, Şuler periodu, akselerometr, giroskop, elektrolit, hava qovucuğu.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_01_34_42

УДК 629.7.05

Невозмущающее универсальное маятниковое устройство определения пространственного положения летательных аппаратов

Т.И. Каримли

Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардакянский пр. 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)

Для переписки:

Каримли Тогул / e-mail: tkarimli@mail.ru

Аннотация

В статье проводится обзор устройств определения пространственного положения статических и динамических объектов различного назначения, исследованы их принципы работы. Рассмотрено возмущенное состояние механического маятника при определении пространственного положения объектов под воздействием ускорительного движения и классическое решение устранения воздействия возмущения. Представлены варианты невозмущенного механического маятника универсального назначения.

Ключевые слова: летательный аппарат, пространственное положение, маятник, период Шулера, акселерометр, гироскоп, электролит, воздушный пузырек.

Giriş

Uçuş aparatlarının (UA) təhlükəsiz idarəedilməsi üçün əsas pilotaj parametrlər kimi hesab edilən fəza vəziyyətinin (kren və tanqaj bucaqlarının) təyin edilməsi zəruridir. Bu bucaqlar giroskopik qurğular və peyk naviqasiya sistemi ilə müəyyən edilir.

UA-nın fəza vəziyyətini ölçmək məqsədilə əsasını inersial ölçmə metodu təşkil edən İnersial İstinad Sistemi (İİS) - (IRS - Inertial Reference System), Fəza Vəziyyəti və Yön İstinad Sistemi (FVYİS) – (AHRS – Attitude and Heading Reference System), İnteqrasiyalı Ehtiyat Uçuş Displayi (İEUD) – (ISFD - Integrated Standby Flight Display) tətbiq edilir. Bu sistemlərdə platformalı və platformasız inersial metoddan istifadə edilir. İİS və FVYİS eyni funksiyalara malik olsa da, İİS daha dəqiq sistem olub, inersial naviqasiya məsələlərin həllində istifadə edilir. Bucaq parametrlərinin ölçülməsi üçün sistemə daxil olan əsas qurğu kimi lazer, optik-lifli və mikromexaniki giroskoplar istifadə olunur. Giroskopların başlanğıc bucaqları akselerometrlər və ya peyk naviqasiya sistemi vasitəsi ilə daxil edilir və sonrakı iş prosesində fasiləsiz olaraq korreksiya məruz qalır. Təcilli hərəkət nəticəsində korreksiya prosesində platformanın faktiki şaquli vəziyyəti həqiqi şaquli vəziyyətdən fərqli olur [1-3].

Məsələnin aktuallığı

1994-2003-cü illər üzrə aparılmış statistikaya əsasən Hava gəmilərinin (HG) fəza vəziyyətinin pozulması nəticəsində 202 aviasiya qəzası (accidents) qeydə alınmışdır. Bunlardan 91%-i (184 qəza) faciəvi sonluqla nəticələnmişdir. Materiallarda təqdim edilən digər statistik məlumatlarda qeyd edilmişdir ki, bütün aviasiya qəzalarının 5-10%-i pilotlar tərəfindən HG-nin fəza vəziyyətinin düzgün müəyyən edilməməsi səbəbindən baş vermişdir və bunların da 90%-i ölümlə nəticələnmişdir.

Ümumi aviasiya qəzalarının baş verməsi səbəbinin 20% HG-nin fəza vəziyyətinin itirilməsinin payına düşür [1, 2]. Belə hal HG müərkəb fəza vəziyyətinə malik olduqda baş verir.

Mürəkkəb fəza vəziyyəti dedikdə, HG-nin müsbət tanqaj bucağı 25° , mənfi tanqaj bucağı 10° , kren (yana əyilmə) bucağı 45° qiymətlərindən çox olan vəziyyət kimi qəbul edilir [3].

ABŞ-dan olan pilot-tədqiqatçı Bill Erkolayn tərəfindən 1971-2000-ci illəri əhatə edən aviasiya qəzalarının tədqiqi aparılan işdə qeyd edilmişdir ki, son 15 il ərzində HG-nin fəza vəziyyətinin itirilməsinə görə 82 pilot həlak olmuşdur ki, bu da A sinifli aviasiya qəzalarının 20%-ni təşkil edir. İtirilmiş texnikanın qiyməti 1.9 milyard ABŞ dolları təşkil etmişdir. Tədqiqat işində göstərilmişdir ki, pilotların əksər hissəsi (90%) HG-nin fəza vəziyyətini qeyri-düzgün qiymətləndirmişlər [4].

Digər bir misal olaraq, 23 dekabr 2005-ci ildə Bakı-Aktau №217 reysini yerinə yetirən Azərbaycan Hava Yollarına məxsus An-140-100 HG-nin faciəvi qəzasının həlledici səbəbi kimi HG-nin fəza vəziyyətinin səhv qiymətləndirilməsi olmuşdur [5]. Bu təyyarədə fəza vəziyyətini qiymətləndirmək məqsədi ilə elektromexaniki rotorlu giroskoplardan istifadə edilirdi.

Statistik məlumatlardan göründüyü kimi, ümumi aviasiya qəzalarının böyük hissəsi HG-nin fəza vəziyyətinin səhv qiymətləndirilməsi səbəbindən baş verdiyinə görə bu sahədə aparılan elmi tədqiqat işlərinin aparılması kifayət qədər çəkisi olan aktuallığa malikdir.

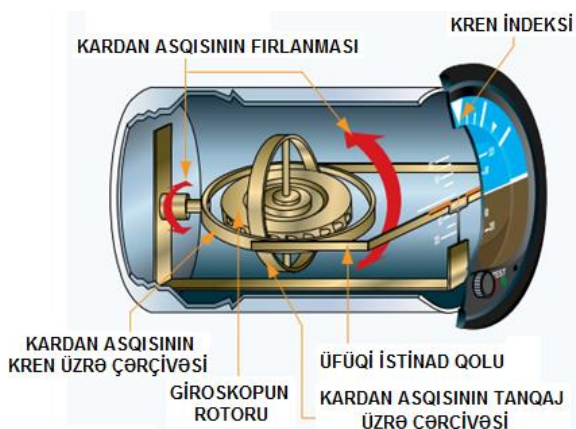
İşin məqsədi

Qarşıya qoyulmuş məsələnin həlli zamanı işin məqsədi UA-nın və müxtəlif təyinatlı nəqliyyat vasitələrinin, stabilizasiya edilən dinamik obyektlərin fəza vəziyyətinin təyin edilməsi üçün elektrik qidalanma və təcilli hərəkətlərdə (şaquli istiqamətdə sərbəst düşmə

təcili istisna olmaqla) Şuler periodu üzrə sazlanma sxemi tələb etməyən, həyəcanlanmayan universal rəqqaslı qurğu ilə informasiya etibarlılığının və uçuşların təhlükəsizliyinin səviyyəsinin artırılması üçün şəraitin yaradılmasından ibarətdir.

Məsələnin həlli

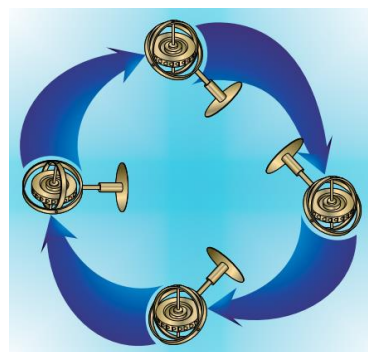
Aşağıdakı şəkildə elektromexaniki rotorlu aviahorizontun prinsipial sxemi verilmişdir. Giroskopun rotoru Kardan asqısında yerləşən üç sərbəstlik dərəcəsinə malik mexanizmdir. Giroskop yüksək sürətlə öz oxu ətrafında fırlanan asinxron elektrik mühərrikdən və ya vakuumlu intiqala malik rotordan təşkil edilə bilər.



Şəkil 1 – Elektromexaniki rotorlu aviahorizont
Figure 1 – Electromechanical artificial horizon

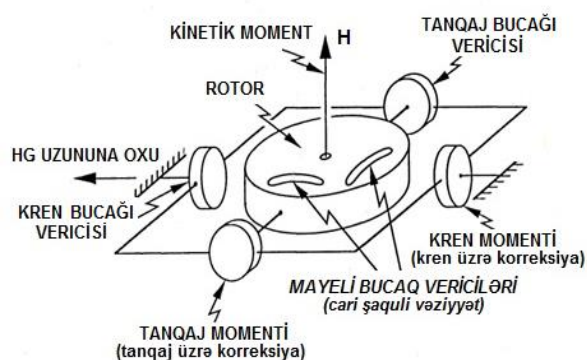
HG kren və tanqaj bucaqlarına malik olduqda, rotorun yüksək kinetik momenti hesabına H kinetik momentinin istiqaməti sabit qalır. Fəza vəziyyəti bucaqları rotorun kinetik momentinin istiqamətinə nəzərən müvafiq kren və tanqaj şkalaları üzrə vizual olaraq müəyyən edilir [6]. Üfüqi istinad qolu ilə tanqaj bucağı, kren indeksi ilə kren bucaqları müəyyən edilir (şək. 1).

Lakin, Kardan asqısının oxlarında sürünmə qüvvəsinin mövcud olması səbəbindən girokopun dreyfi baş verir. UA-nın uzunmüddətli uçuşu zamanı girokop şaquli vəziyyətə görə korreksiya edilməzsə, qütblərdə və ekvatorada rotorun fırlanma oxunun istiqaməti (kinetik momentin istiqaməti) nəzəri olaraq sabit qalması hesabına girokop cari şaquli və ya üfüqi vəziyyətdən kənara meyl edir (şək. 2).



Şəkil 2 – Korreksiya edilməyən girokop
Figure 2 – Non-corrected gyroscope

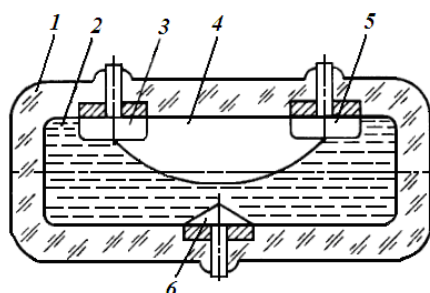
Giroskopun fırlanma oxunu müntəzəm olaraq şaquli vəziyyətdə saxlamaq üçün korreksiya sxemindən istifadə edilir (şək. 3). Sxemin əsasını rotorun cari şaquli vəziyyətini ölçən fiziki rəqqas olaraq mayeli bucaq vericiləri və ya civəli rəqqas (HG-nin uzununa və eninə istiqamətləri üzrə), bu vericilərdən alınan elektrik siqnalları əsasında fəaliyyət göstərən Kardan asqısını üfüqi vəziyyətə gətirən kren və tanqaj kanallarında momentlər yaradan elektrik mühərrikləri təşkil edir [7].



Şəkil 3 – Korreksiya edilən aviahorizont
Figure 3 – Corrected artificial horizon

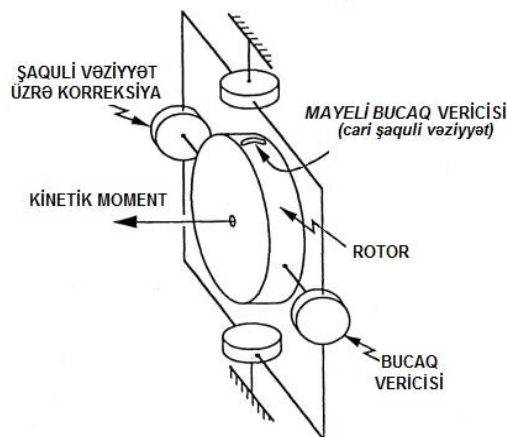
Giroskopun gövdəsi və asqısı üfüqi vəziyyətdən kənara meyl etdikdə cari şaquli vəziyyətə uyğun olaraq, fiziki rəqqasın elektrodlarından cərəyan axaraq qravitasiya qüvvəsi ilə qərarlaşan civəli rəqqas və ya mayenin daxilindəki hava qovuqucuğu mərkəzi şaquli vəziyyətə gətirilənədək korreksiya mühərrikləri Kardan asqısını üfüqi vəziyyətə gətirir. Kren və tanqaj bucaqları haqqında elektrik siqnalları kren və tanqaj bucağı vericilərində formalaşır.

Fiziki rəqqas qismində tətbiq edilən qravitasiya qüvvəsinə həssas olan elektrolit və hava qovuqucundan təşkil olunmuş mayeli bucaq vericisi (şək. 4) giroskopun gövdəsinin üzərində sərt bərkidilərək 1 şüşə borudan, borunun daxilində yerləşən 2 elektrolit mayedən, 4 hava qovuqucundan, platindən hazırlanmış 3, 5, 6 elektrodlardan ibarətdir. Giroskopun gövdəsi və asqısı üfüqi vəziyyətdə olduqda hava qovuqucuğu şüşə borunun mərkəzində qərarlaşır. Bu zaman elektrodlardan cərəyan axmır və korreksiya mühərriklərinə cərəyan daxil olmur. Üfüqə nəzərən mailik bucağı dəyişdikdə 4 hava qovuqucunun 3 və 5 elektrodla doğru hərəkəti kren və tanqaj üzrə korreksiya mühərriklərini işə qoşaraq hərəkətli platformanın və onun üzərində yerləşən giroskopun və maye-rəqqaslı vericinin üfüqi vəziyyətə gətirilməsinə səbəb olur. Verilmiş verici mürəkkəb və qiymətli elementlərlə birgə fəaliyyət göstərərək yalnız konkret korreksiya məsələsinin həlli üçün nəzərdə tutulmuşdur [8].



Şəkil 4 – Mayeli bucaq vericisi
Figure 4 – Liquid angle sensor

Şəkil 5-də oxşar qayda ilə rotorun kinetik momenti istiqamətinin üfüqi vəziyyəti, korreksiya edilən girokompasın kinematik sxemi verilmişdir [7].



Şəkil 5 – Korreksiya edilən girokompas
Figure 5 – Corrected gyrocompass

Mövcud mayeli bucaq vericiləri HG-nin təcilli hərəkətində, səhv korreksiyanın qarşısının alınması məqsədilə, xüsusi korreksiya açarı vasitəsilə korreksiya şəbəkəsindən ayrılır (sxemdə verilməyib). Bu zaman giroskop yaddaş rejimində işləyir. Təcilli hərəkət davamlı olarsa, məsələn, HG-nin virajı zamanı, giroskopun ölçmə xətası toplanaraq, 3^0-4^0 -yə qədər çatır [7-9]. Verilmiş vericinin qiymətli elementdən ibarət olması, (elektrod kimi platindən istifadə edilir) əlavə olaraq, korreksiya ayırıcı kimi ikinci girokopik qurğudan istifadə və konkret korreksiya məsələsinin həllində istifadə edilməsi, viraj zamanı xətanın get-gedə artması qurğunun qüsurları hesab edilir.

Müxtəlif təyinatlı sualtı və suüstü nəqliyyat vasitələri, uçuş aparatları və onların müəyyən səthlərini üfüqi və ya şaquli vəziyyətdə stabilləşdirmək və idarə etmək məqsədi ilə inersial ölçmə metoduna əsaslanan platformalı və platformasız inersial naviqasiya sistemlərində (İNS) Şuler periodu üzrə sazlanma yerinə yetirilir [10]. Platformalı sistemdə Şuler

perioduna sazlanmanı təmin edən qurğunun mürəkkəbliyi və bununla əlaqədar olaraq elementlərin çoxluğu, platformasız inersial navigasiya sistemləri ilə müqayisədə qurğunun etibarlılığının aşağı qiymətə malik olmasına səbəb olur. Lakin, platformasız İNS-də həyəcənlanmayan şaquli giroskopik qurğularda Şuler periodu program təminatı əsasında sazlanır.

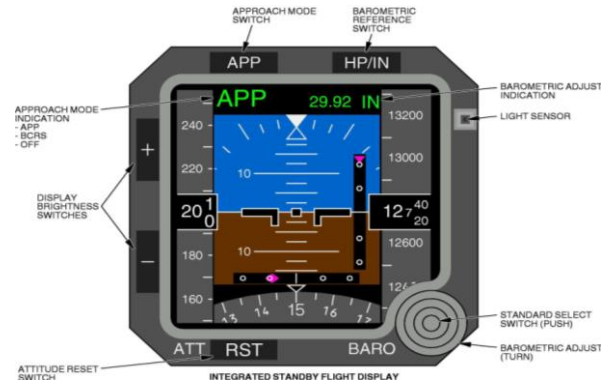
Uçuş aparatlarının fəza vəziyyətinin ölçülməsi üçün giroskopik qurğularla yanaşı, peyk, astronomik qurğulardan istifadə edilir. Peyk və astronomik qurğuların işi əsasən xarici şəraitdən asılı olduğundan, etibarlı informasiya mənbəyi kimi giroskopik qurğuların üzərinə daha çox məsuliyyət düşür. Məlumdur ki, qeyd edilən informasiya mənbələri elektrik qida mənbəyindən qidalanır.

Şəkil 6-da Boeing 787 HG-də tətbiq edilən, ehtiyat cihaz qismində istifadə edilən, fəza vəziyyətini ölçən İEUD verilmişdir [11]. Burada tanqaj bucağı müsbət olduqda göy rəngli şkala, mənfi olduqda isə torpaq rəngli şkala üzrə, kren sola və ya sağa tərəf olduqda isə cihaz lövhəsinin yuxarı hissəsində olan ağ rəngli üçbucağa nəzərən vizual informasiyalar əldə edilir.

Cihaz işə qoşulduqda 15 san ərzində daxili test aparılır. Sonra işə salma ardıcılığı 80 san davam edir. Giroskopun başlanğıc bucaqları (kren və tanqaj) cihazın daxilində quraşdırılmış akselerometrlər vasitəsilə tapşırılır.

İşə salma zamanı HG-də hərəkət qeydə alınarsa işə salma ardıcılığı 6 dəqiqəyədək davam edə bilər.

Əgər bu zaman da işə salma uğursuz olarsa, ekranda ATT RST (Attitude Reset – fəza vəziyyətini yenidən işə sal) işarəsi əks olunur. Bundan sonra ATT RST düyməsi sıxılmalıdır. RST düyməsi 2 dəfə sıxıldıqda giroskopun uzlaşması (sıfıra gətirilməsi) icra olunur.

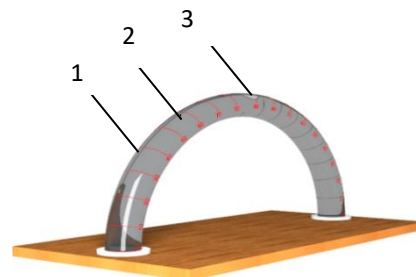


Şəkil 6 – İnteqrasiyalı Ehtiyat Uçuş Displeyi
Figure 6 – Integrated Standby Flight Display

Beləliklə, ən müasir HG-də elektrik qida mənbəyindən asılı olmayan, nisbətən böyük ölçmə xətasına malik, lakin yüksək informasiya etibarlılığı ilə fərqlənən və avtonom qurğu hesab edilən maqnit kompasının tətbiqi misalında, fəza vəziyyətini mexaniki olaraq ölçməyə imkan verən qurğunun yaradılması və istifadə edilməsi mülki HG-də, suüstü və sualtı nəqliyyat vasitələrinin təhlükəsizliyinin səviyyəsinin artmasına töhfə vermiş olardı.

Şəkil 7-14-də heç bir başlanğıc sazlanma tələb etməyən statik obyektlərin fəza vəziyyətini ölçən Universal Mayeli Bucaqölçənlərin (UMB) variantları verilmişdir.

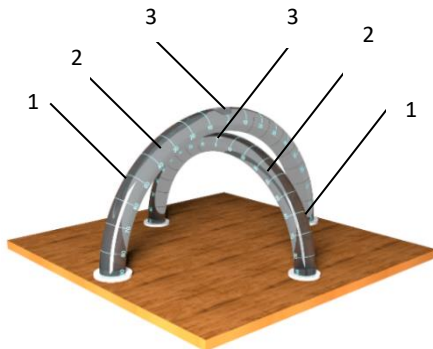
Şəkil 7-8-də açıq konturlu şəffaf yarım-dairəvi 1 şüşə borunun daxilində 2 maye və 3 hava qovucluğu yerləşir. UMB mailik bucağı ölçülən obyektin üzərinə qoyulur. Şüşə borunun üzərinə çəkilmiş şkalanın qarşısında hava qovucluğu mailik bucağını əks etdirir.



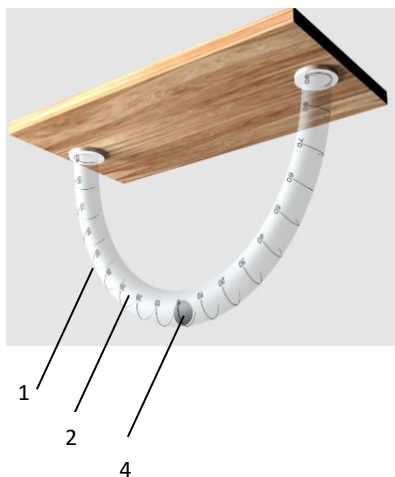
Şəkil 7 – Universal Mayeli Bucaqölçənlər (variantları)
Figure 7 – Universal Liquid Angle Indicator (options)

Şəkil 7-də təsvir edilən qurğu bir, şəkil 8-də təsvir edilən qurğu, eyni zamanda, iki koordinat üzrə statik obyektlərin maillik bucaqlarını ölçməyə imkan verir [12, 13].

Şəkil 9-10-da şəffaf 1 şüşə borunun daxilində 2 maye və 4 mayedən ağır kürəcik yerləşir. UMB maillik bucağı ölçülən obyektin üzərinə qoyulur. Şüşə borunun üzərinə çəkilmiş şkalanın qarşısında ağır kürəcik obyektin (məsələn tavanın) maillik bucağını əks etdirir. Şəkil 9-da olan qurğu 0-180° statik obyektlərin bucaqlarını ölçə bilər.

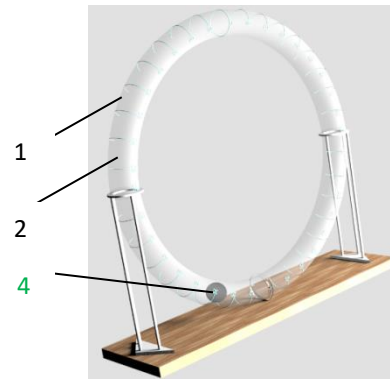


Şəkil 8 – Universal Mayeli Bucaqölçənlər (variantları)
Figure 8 – Universal Liquid Angle Indicator (options)

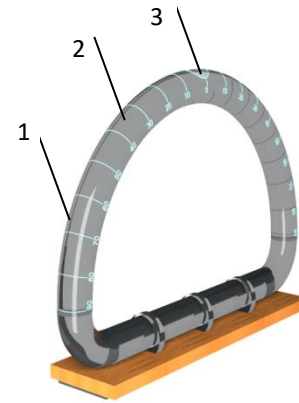


Şəkil 9 – Universal Mayeli Bucaqölçənlər (variantları)
Figure 9 – Universal Liquid Angle Indicator (options)

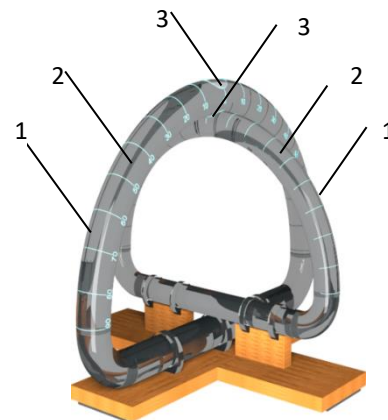
Şəkil 10-da təsvir edilən qurğu 0-360° diapazonunda statik obyektlərin maillik bucaqlarını ölçməyə imkan verir.



Şəkil 10 – Universal Mayeli Bucaqölçənlər (variantları)
Figure 10 – Universal Liquid Angle Indicator (options)



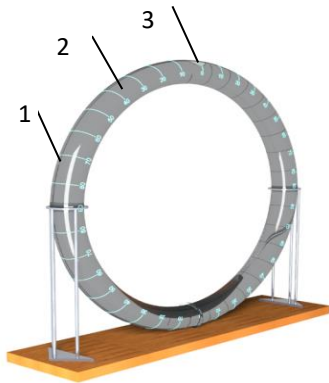
Şəkil 11 – Universal Mayeli Bucaqölçənlər (variantları)
Figure 11 – Universal Liquid Angle Indicator (options)



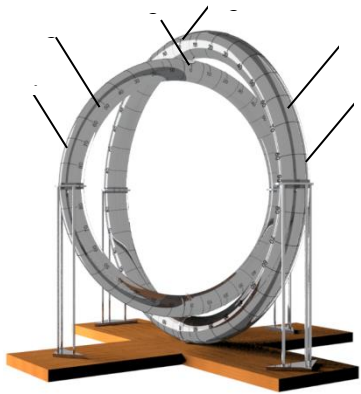
Şəkil 12 – Universal Mayeli Bucaqölçənlər (variantları)
Figure 12 – Universal Liquid Angle Indicator (options)

Sxemlərdə (şək. 11, 12) 0°÷180° intervalda, digər sxemlərdə isə (şək. 13, 14) 0°÷360° intervalda statik və dinamik səthlərin X və Y oxları üzrə maillik bucaqlarını təyin edən

konstruksiyada şəffaf dairəvi 1 borunun başlanğıc və son nöqtələrinin əks əlaqəli birləşməsi (qapalı konturlu) təcilli hərəkətlərdən yaranan qüvvələrə (xüsusilə mərkəzəqaçma qüvvələrinə) qarşı həssaslığını kifayət qədər azaldır. Universal mayeli bucaqölçən mailliyi ölçülən dinamik səth üzərinə qoyulduqda şüşə borunun daxilində yerləşən maye qravitasiya qüvvəsinin təsiri ilə qovucuğu şaquli səviyyə üzrə istiqamətləndirir.



Şəkil 13 – Universal Mayeli Bucaqölçənlər (variantları)
Figure 13 – Universal Liquid Angle Indicator (options)



Şəkil 14 – Universal Mayeli Bucaqölçənlər (variantları)
Figure 14 – Universal Liquid Angle Indicator (options)

Dinamik obyekt sərbəstdüşmə təcili ilə aşağıya doğru hərəkət etmirsə, səthin mailliyini təcilli hərəkətlərdə ölçərkən, şüşə borunun üzərinə hərəkət istiqamətinə nəzərən xəyali toxunan xətt çəksək, mayenin kütləsi və təcildən formalaşan parazit qüvvə toxunan xətt üzrə

bir-birinin əksinə yönələn iki qüvvəyə bölünür (saat əqrəbi və saat əqrəbinin əksi istiqamətində).

Borunun qapalı konturlu yarımdairəvi və ya dairəvi forması parazit qüvvənin iki təşkilədicilərinin bir-biri ilə qarşılaşmasına, və bunun nəticəsi olaraq, bir-birinin zərərli təsirlərinin neytrallaşmasına səbəb olur. Xüsusilə, dairəvi və qapalı konturlu sxemlərdə (şək. 13, 14) təcilli hərəkətlərin yaratdığı parazit qüvvənin iki təşkilədiciləri istiqamətcə əks, modulca bir-birinə bərabər olduğundan zərərli təsir qüvvələrinin cəmi sıfıra, həyəcanlandırıcı təsiri isə tamamilə kompensasiya edilir.

Beləliklə, maye və qovucuğun vəziyyəti yalnız maillik bucağından asılı olan qravitasiya qüvvəsi ilə qərarlaşır, qovucuğun şüşə boru üzərinə çəkilmiş şkaladakı mövqeyi ölçülən maillik bucağına uyğundur.

Nəticə

Verilmiş sxemlərdən (şək. 11-14) istifadə etməklə, digər ölçmə qurğulardan fərqli olaraq, sazlanma üçün zaman itkisi olmadan, heç bir elektrik qidalanma tələb etməyən ehtiyat cihazı qismində tətbiq edilərsə, istismar edilən nəqliyyat vasitələrinin istismarının təhlükəsizlik səviyyəsinin artırılması üçün şərait yaranmış olar.

Şəffaf borunun üzərindəki şkala fosforlu boya ilə işarələnərsə, yəni ölçmə qurğusu həyəcanlanmayan şaquli və ya üfüqi ehtiyat cihazı kimi fəaliyyət göstərə bilər. Təcilli hərəkətlərdə ətalət qüvvələrinin bir-birinin kompensasiyası müxtəlif təyinatlı hərəkətli obyektlərdə, o cümlədən UA və gəmilərdə, belə qurğunun ehtiyat cihazı qismində tətbiqini mümkün edir. Hava gəmiləri üçün optimal ölçü və iki ölçmə kanalı ilə seçilən şəkil 11-də təsvir edilən qurğu daha əlverişlidir. Əgər yarımdairəvi borunun radiusu 57.5 mm olarsa,

onda həmin borunun uzunluğu təqribən 180 mm-ə bərabər olacaq. Yəni, hər bir millimetr bir dərəcə bucağa uyğun gəlir. Viraj zamanı UA-nın fəza vəziyyətini ölçən elektromexaniki giroskoplarda yaranan xəta ($3-4^0$) ilə müqayisədə təklif edilən qurğunun xətası daha az ($1-2^0$) qiymətə malik olması onu göstərir ki, mülki HG-də həyəcanlanmayan universal rəq-qaslı qurğunun (Universal Mayeli Buca-

qölçənlər) ehtiyat cihaz olaraq tətbiq edilməsi gələcəkdə aviasiya qəzalarının sayının əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb ola bilər.

Maraqlar münaqişəsi

Müəllif bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edir.

REFERENCES

1. Safety Advisor. Safe Pilots. Safe Skies. - Maryland: AOPA Air Safety Foundation, 421 Aviation Way, 2004. - p.12 (*in English*)
2. **Kovalenko P.A.** Pagubnoye vliyaniye pryamoy indikasii v aviagorizontakh na kotastrofu samoleta Boeing 737, 14.09.08. Pod Permyu i drugie proisshestviya. Moskva: MGOU, 2011. 107 s. (*in Russian*)
3. Rukovodstvo po podgotovke dlya predotvrasheniya popadaniya samoleta v slojnyye prostranstvennyye polozeniya i vyvoda iz nikh. ICAO. Kanada, 2014, p. 121. (*in Russian*)
4. **Erkolayn B.** Poterya prostranstvennoy orientatsii v aviasii: issledovaniya, vlianiya na bezopasnost polyetov, resheniye problem. Mejdunarodnyy seminar "Prostranstvennaya orientirovka v aviasii. Issledovaniya, vliyaniye na bezopasnost poletov, puti resyeniya problemy". – Sankt-Peterburg, 28-29 aprely, 2010, s. 12-16. (*in Russian*)
5. Katastrofa An-140-100 aviakompanii AZAL v rajone Baku. <http://www.airdisaster.ru/database.php?id=95> (*in Russian*)
6. Instrumentation. JAA ATPL. Theoretical knowledge manual. Oxford Aviation, Frankfurt, Germany, 2001. p. 662 (*in English*)
7. **Arthur E., Bryson Jr.** Control of Spacecraft and Aircraft. Princeton University. 1994, p. 378 (*in English*)
8. **Vorobyev V.Q., Qlukhov V.V., Kadyshchev I.K.** Aviasionnyye pribory, informatsionno izmeritelnyye sistemy i komplekсы. Moskva: Transport, 1992. p. 399 (*in Russian*)
9. **HəzərxaNov Ə.T., Kərimli T.İ., Neymətov V.A., Kərimli V.İ.** Pyezoelektrik özüsazlanan girooskop-akselerometrin iş rejimləri. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2018. Cild 10, №1. s.7-15 (*in Azerbaijani*)
10. **Juravleva V.F., Klimova D.M., Plotnikov P.K.** K voprosu ispolzovaniya kompyuternoy mexaniki v teorii inersialnykh naviqatsionnykh sistem. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Mekhanika tverdogo tela*. 2019, № 2, p. 48–62. (*in Russian*)
11. Boeing787 Training Student Lab Notebook Navigation Systems - Avionics Book 4 of 5. p. 172-190 (*in English*)
12. **HəzərxaNov Ə.T., Kərimli T.İ., Abdullabəyli A.A.** Mayeli bucaqölçən (variantlar). Patent-ixtira İ20170043, 12.09.2017, 10 s (*in Azerbaijani*)
13. **Hazakhanov A.T., Karimli T.I., Abdullabayli A.A.** Universal liquid angle indicator. United States Patent. US 10190878B2, 2019, p.11 (*in English*)