

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTŁƏRİN DİNAMİK PARAMETRLƏRİNİN ÖLÇMƏ ÜSULU VƏ VASİTƏLƏRİ

İxtisas: 3337.01 – İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri
(ölçmə texnologiyası)

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Çingiz Paşa oğlu Əliyev**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ - 2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi institutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Texnika elmləri doktoru, professor
Mansurov Tofiq Məhəmməd oğlu

Rəsmi opponentlər: Texnika elmləri doktoru, professor
Məmmədov Azər Qəhrəman oğlu


Texnika elmləri namizədi, dosent
Qasımov Rafail Aslan oğlu

Texnika elmləri namizədi, dosent
Abdulova Nafisə Abdulfəs qızı

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının
sədri:  **Yusifbəyli Nurəli Adil oğlu**

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:  **Fərhadov Vahid Qara oğlu**

Elmi seminarın sədri:  **İsayev Məzahir Məhəmməd oğlu**

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Hərəkətdə olan obyektlərin müxtəlifliyinin və sayının durmadan artması həmin obyektlərin dinamik parametrlərini ölçülməsi üçün istifadə olunan informasiya-ölçmə sistemlərinin (İÖS) işlənməsinin zəruri olduğunu ön plana çəkir. İÖS-lər hərəkətdə olan müxtəlif növ obyektlərin dinamik parametrlərinin, yəni baxılan halda xətti təcil və sürətlərinin ölçmə nəticələri haqqında informasiyanın qəbul edilməsini, çevrilməsini, emalını, yadda saxlanılmasını, ötürülməsini, operator tərəfindən qəbul edilməsini və (və ya) idarəetmə sisteminə daxil edilməsini təmin edən rəqəmli və ya optik rabitə kanalları ilə bir-birinə bağlı olan əsas və köməkçi qovşaqlardan ibarətdir. Ona görə də, İÖS mürəkkəb ölçmə kompleksi olmaqla onun tərkibinə daxil olan qovşaqların idarə edilməsi məqsədi ilə müasir kompyuter texnologiyalarından geniş istifadə olunur.

Hərəkətdə olan obyektlərdə yaranan rəqsi proseslərin tədqiq edilməsinin aktuallığı əsasən vibrometriyadan geniş istifadə edilməklə texniki və texnoloji ölçmə qurğularının işlənməsi, sınaqdan keçirilməsi və istismarı ilə bağlıdır. Bununla yanaşı, yüksək texniki-iqtisadi səmərə əldə etməyə, mürəkkəb texniki sistemlərin və texnoloji proseslərin avtomatik idarə edilməsini, vibronəzarət, monitorinq və diaqnostika proseslərini yerinə yetirən İÖS-dən də geniş istifadə olunur. Bu sistemlərin əsas qovşağı vibrasiya (titrəmə) və zərbədən yaranan rəqslərin dinamik parametr vericiləridir ki, bunlar da bilavasitə ölçmə obyektində yerləşdirilməklə yaranan mexaniki rəqsləri elektrik siqnallarına çevirir və qeydedici qurğuya ötürür. Bütün növ vericilər arasında ən çox istifadə olunanları pyezoelektrik vibrasiya (titrəmə) ölçən akselerometrlərdir ki, bunlar da generator tipli vericilərə aid olmaqla, vibrasiya və ya zərbənin sürətlərini bilavasitə onlara mütənasib elektrik siqnallarına çevirirlər. Ona görə də, akselerometrlərin başqa bir tərkib hissəsi vibrasiya nəticəsində yaranan rəqsi proseslərin çox kiçik amplitudlarını ölçməyə imkan verən yerdəyişmə detektorudur.

Bununla əlaqədar hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələri haqqında informasiyanın qəbul edilməsinə imkan verən İÖS-nin, hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən akselerometrlərin, işçi orqanının riyazi

modelinin, və onların parametrlərinin analitik hesabat üsulunun işlənməsi nəzəri və praktik aktuallığa malikdir.

Mövzunun işlənmə dərəcəsi. Hal-hazırda hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan akselerometrərin işlənməsi və tədqiqi ilə bağlı məsələlərin həllinə yerli və xarici alimlərin, belə ki Q.Çilikinin, B.İbobotenko, Y.Qədimov, A.Paniçin, Q.Rannevin, N.Rubiçevin, Y.İorişin, A.Dmitriyevin, A.Yurinin, Q.Zlodeyevin, Y.Koptevin, V.Klyuyevin, Y.İorişin, S.Bazikinin, V.Klyuyevin, N.Novukovun, V.Yançiqin, M.Narayananın, U.Lindemannın, A. Hockin, M Stuberin, W.Keckin, C.Beckerin. S.Lakshminaryanın, V.Şarapovun, T.Qurbanovun, T.Mansurovun və başqalarının elmi əsərləri həsr olunmuşdur.

Bu işlərin əksəriyyətində həssaslıq vektorunun istiqaməti ölçülən ətalət qüvvələrinin istiqaməti ilə əks olduğuna görə kiçik həddə dəyişən ətalətin və yalnız təcilin ölçülməsi həyata keçirilir.

Tədqiqat obyektı və predmeti. Dissertasiya işinin tədqiqat obyektı real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən akselerometrlər, **tədqiqatın predmeti isə** həmin obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə üsulları və qurğularının riyazi modelləridir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İşin məqsədi real zaman miqyasında hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsini təmin edən xətti təcil və sürətlərinin ölçmə üsulunun və vasitələrinin, yəni akselerometrərin, onların işçi orqanlarının parametrlərinin hesab üsulunun və riyazi modelinin işlənməsindən ibarətdir.

Dissertasiya işində qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər formalaşdırılmış və həll edilmişdir:

1.Problemin mövcud vəziyyətinin analizi əsasında mövzunun aktuallığının əsaslandırılması, işlənmə dərəcəsinin analiz edilməsi;

2.Dinamik parametrləri ölçən pyezoelektrik vibrasiyalı və üçkoordinatlı akselerometrərin riyazi modelinin işlənməsi;

3.Dinamik parametrləri ölçən pyezoelektrik vibrasiyalı və üçkoordinatlı akselerometrərin, optik şüanın enerji effektivliyinin artırılmasını və itkinin azaldılmasını təmin edən prezision mövqeləşdirici qurğunun işlənməsi;

artırılmasını və itkinin azaldılmasını təmin edən prezision mövqeləşdirici qurğunun işlənməsi;

4.Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən akselerometrlərin işçi orqanının parametrlərinin hesabat üsulunun işlənməsi;

5.Akselerometrin və prezision mövqeləşdirici qurğunun işçi orqanının eksperimental tədqiqi.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində qoyulan məsələlərin həlli zamanı tədqiqat üsulu kimi ölçmə nəzəriyyəsi, riyazi modelləşdirmə, xətlər nəzəriyyəsi və eksperimental tədqiqat üsullarından istifadə olunmuşdur.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

- hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üçkoordinatlı akselerometrlərin riyazi modeli;

- riyazi model əsasında işlənmiş avtomatik rejimdə xətti təcil və sürəti ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üçkoordinatlı akselerometrlər;

- optik şüanın enerji effektivliyinin artırılmasını və itkisinin azaldılmasını təmin edən prezision mövqeləşdirici qurğu;

- pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlərin parametrlərinin analitik hesabat üsulu;

- pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlərin işçi orqanının eksperimental tədqiqinin nəticələri.

Tədqiqatın elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir:

- hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üçkoordinatlı akselerometrin riyazi modeli işlənmişdir;

- formalaşdırılmış riyazi model əsasında avtomatik rejimdə dinamik parametrləri ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üçkoordinatlı akselerometrlər işlənmişdir;

- təklif olunan akselerometrlər və onların işçi orqanının parametrlərinin hesabat üsulu işlənmişdir;

- optik şüanın enerji effektivliyinin artırılmasına və itkinin azaldılmasına imkan verən prezision mövqeləşdirici qurğu işlənmişdir;

- dinamik parametrləri ölçən akselerometrlərin işçi orqanı eksperimental tədqiqi aparılmış və alınan nəticələrin analizi verilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

Dissertasiya işində alınmış nəzəri asılılıqlar, riyazi model və hesabat üsulu hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı ölçmə dəqiqliyini və İÖS-lərinin funksional imkanlarını artırmağa imkan verir ki, bu da tədqiqatın nəzəri əhəmiyyətini müəyyənləşdirir.

Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti kimi dissertasiya işində aparılmış eksperimental tədqiqatın nəticələri obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı yeni akselerometrlərin və İÖS-lərin işlənməsi zamanı istifadə edilə bilər.

Dissertasiya işinin nəzəri və praktiki nəticələrindən elmi-tədqiqat, istehsal və istismar müəssisələri tərəfindən mövcud İÖS-nin təkmilləşdirilməsi, yeni İÖS-nin işlənməsi və tətbiq edilməsi zamanı istifadə edilə bilər.

Aprobasiya və tətbiqi.

Dissertasiya işinin əsas müddəaları və nəticələri məruzə və müzakirə olunub:

- Moskva Rabitə və İnformatika Texniki Universitetinin 95 illiyinə həsr olunmuş "Müasir cəmiyyətin texnologiyaları" mövzusunda X Beynəlxalq sahə ETK-da (Moskva, 2016) - 1 ədəd;

- "İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri" adlı Beynəlxalq ETK-da (Bakı, 2016) - 1 ədəd;

- "Müasir rabitə sistemləri" mövzusunda XX, XXI və XXII Beynəlxalq ETK-da (Minsk, 2015, 2016 -2 ədəd, 2017) - 4 ədəd;

- IEEE EPK-da «İnfokommunikasiyanın Problemləri. Elm və Texnologiya" (PIC S&T) (Xarkov, 2018, 2021, 2022) - 3 ədəd;

- "Telekommunikasiyada innovativ texnologiyalar" mövzusunda Beynəlxalq ETK-da (Bakı, 2019) - 1 ədəd;

- "Müasir İnformasiya, Ölçmə və İdarəetmə Sistemləri: Problemlər və Perspektivlər (MIÖİS'2019)" mövzusunda II Beynəlxalq EPK-da (Bakı, 2020) - 1 ədəd.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi institutunda yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.

Dissertasiya işi giriş, dörd bölmədən, nəticə, istifadə olunan ədəbiyyatın siyahısından, ixtisarların və şərti işarələrin siyahısından ibarətdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda işarə ilə həcmi aşağıdakı kimidir:

Dissertasiyanın girişi 14887 işarədən, I fəslə 31148 işarədən, II fəslə 60435 işarədən, III fəslə 52396 işarədən, IV fəslə 20837 işarədən, nəticə 1057 işarədən, dissertasiyanın ümumi həcmi isə 201830 işarədən ibarətdir.

Dissertasiya işinin **nəticələrinin əsaslandırılması** qəbul edilmiş elmi müddəalardan və aprobasiya olunmuş tədqiqat üsullarından istifadə etməklə dissertasiya işində alınmış nəticələrinin riyazi apa-ratının düzgün tərtibi, tətbiqi və nəticələrin məlum nəzəri nəticələrlə uyğunluğu ilə təsdiqlənir.

Nəticələrin doğruluğu riyazi modelləşdirmənin və aparılmış eksperimental tədqiqatların köməyi ilə əldə edilmiş nəticələrlə elmi və praktiki nəticələr arasında tam uyğunluğun olması ilə təsdiqlənir.

Şəxsi töhvə. Dissertasiya işində və dərc olunmuş materiallardakı nəzəri və praktik nəticələr müstəqil və elmi rəhbərin rəhbərliyi altında müəllif tərəfindən alınmışdır.

Dərclər. Dissertasiya işində alınmış nəticələr üzrə 30 iş elmi və tədris-metodiki iş dərc olunmuşdur ki, onlardan da 11 ədədi məqalə, 2 ədədi Thomson Reuters və 3 ədədi isə Skopus beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə bazalarına daxil olan dövrü elmi nəşrlərdə, 11 ədəd Beynəlxalq və 1 ədəd Respublika ETK materialları, 1 ədəd Avrasiya, 2 ədəd Azərbaycan Respublikasının patenti alınmış və 1 ədəd Təhsil Nazirliyinin qrifi ali məktəblərin bakalavriat səviyyəsində tədris olunan və əsas fənn blokuna daxil "Elektrik ölçmələri və vasitələri" adlı dərslük çap

edilmişdir.

İşin qısa məzmunu

Girişdə dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işlənmə dərəcəsi analiz edilmiş, tədqiqatın obyektı və predmeti müəyyənləşdirilmiş, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri formalaşdırılmış, tədqiqat metodları, müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqatın elmi yeniliyi, tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, işin nəticələrinin aprobasiyası, dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı, dissertasiyanın struktur bölmələrinin qısa xarakteristikaları verilmişdir.

Birinci fəsildə İÖS-lərin xüsusiyyətlərinin və inkişaf mərhələlərinin analizi, akselerometrlərin təsnifatı və hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə və işçi xarakteristikaları verilmiş, tədqiqatın məqsəd funksiyası və məsələnin qoyuluşu formalaşdırılmışdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, İÖS-lərin inkişaf mərhələlərinin analizi göstərir ki, İÖS-də çoxkanallı və çoxprocessorlu sistemlərdən istifadə olunması bir tərəfdən emal və idarəetmə funksiyalarını bir-birindən ayırmağa, bu proseslərin paralelləşdirilməsi hesabına onun cəldişləməsinə kifayət qədər artırmağa, digər tərəfdən isə real zaman miqyasında böyük həcmli və yüksək etibarlılıq ölçmələrin aparılmasına, ölçmə prosesində subyektiv amillərin təsirinin azaldılmasına, istifadə olunan texniki ölçmə vasitələrinin xüsusiyyətlərinin nəzərə alınmasına və sistemin işlənməsi və layihələndirilməsinə qoyulan tələblərin ödənilməsinə imkan verir. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı akselerometrlərin piezoelektrik, piezoresistiv, tutuma malik, Xoll effektli, maqnitorezistiv, istilik ötürmə və MEMS (Mikro Elektromexaniki Sistemlər) texnologiyalarından istifadə olunur. Akselerometrlərin analiz olunan texnologiyaları içərisində pyezoelektrik akselerometrlər yüksək dəqiqliyə malik olduqları üçün hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı bu növ akselerometrlər geniş tətbiq olunur. Qeyd olunan prinsipləri əsas götürərək, akselerometrlərin iş rejimini qiymətləndirmək üçün tədqiqatın aşağıda verilən məqsəd funksiyası formalaşdırılmışdır:

$$f(x) = \{ \min[\delta_{ölç}, P_m], \max[\tau_{ii}, A_h, D_{ölç}] \}, \quad (1)$$

burada $\delta_{ölç}$ – ölçmə prosesində yaranan nisbi xətalər; P_m – koordinat sisteminin ölçmə aparılmayan koordinat oxu üzrə yaranan maneə səviyyəsi; τ_{ii} – akselerometrin tezişləməsi; A_h – akselerometrin həssaslığı; $D_{ölç}$ – akselerometrin qeyd edə biləcəyi və dar tezlik zolağında yerləşən rəqslərin yuxarı və aşağı səviyyələri ilə təyin olunan dinamik diapazonudur.

Beləliklə, seçilmiş meyarlar əsasında formalaşdırılan məqsəd funksiyası hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini avtomatik rejimdə ölçmək üçün istifadə olunan akselerometrlərin optimal iş rejimini qiymətləndirməyə imkan verir.

Bununla əlaqədar olaraq, obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsinə, pyezoelementin xətti təcil vektorunun akselerometrin həssaslıq oxu istiqamətinə yönəltməyə imkan verən pyezoelektrik akselerometrlərin, onların riyazi modelinin və parametrlərinin hesabət üsulunun işlənilib hazırlanması aktual bir məsələdir.

İkinci fəsildə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan İÖS-nin, pyezoelektrik vibrasiyalı və üçkoordinatlı akselerometrin və optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işlənməsi məsələləri həll olunmuşdur.

Hərəkətdə olan obyektlərin (aviasiya və kosmik texnologiya) mürəkkəb quruluşa malik olması onların sınaqları zamanı çoxlu sayda fiziki kəmiyyətlərin ölçülməsi zəruriyyəti yaradır. Bu kəmiyyətlər ya homogen (məsələn, temperatur sahələri və ya obyektin struktur elementlərinin gərginlik - deformasiya halları) və ya heterogen (yuxarıda qeyd olunan fiziki kəmiyyətlərin məcmusu, hərəkətdə olan obyektlərin müəyyən kursdan kənara çıxması, yanacaq çənlərindəki təzyiq və s.) ola bilər.

Fiziki kəmiyyətlərin ölçülməsi zamanı fərdi ölçmə vasitələrinin istifadəsi aşağıdakı səbəblərdən məhdudlaşdırılır:

-ölçü vasitələrinin ölçülərinə və çəkirlərinə ciddi məhdudiyətlər qoyulduğundan nəzarət olunan və hərəkətdə olan obyektlərdə (məsələn, təyyarədə) ölçü vasitələrinin yerləşdirilməsi həmişə mümkün olmur;

- ölçü vasitələrinin göstərişlərinindən istifadə etmək üçün ölçmə nəticələrinin tam həcmdə əldə edilməsi məhdud vaxt ərzində yerinə yetirilməlidir və operatorun fizioloji cəhətdən imkanının məhdud olması səbəbindən bu proses çətinliklər yaradır.

Yuxarıda göstərilən hallarda istifadə üçün nəzərdə tutulmuş müasir ölçü vasitələri ölçmələrlə yanaşı, tədqiq olunan obyekt üçün müəyyən informasiya xidmətini də təmin etməlidir. İnformasiya xidmətləri ayrı-ayrı ölçmələr nəticəsində alınan ölçmə nəticələrinin avtomatik toplanması, təqdim edilməsi, çatdırılması, saxlanılması, qeydiyyatı, əks olunması, emalı və təhlilini əhatə edir.

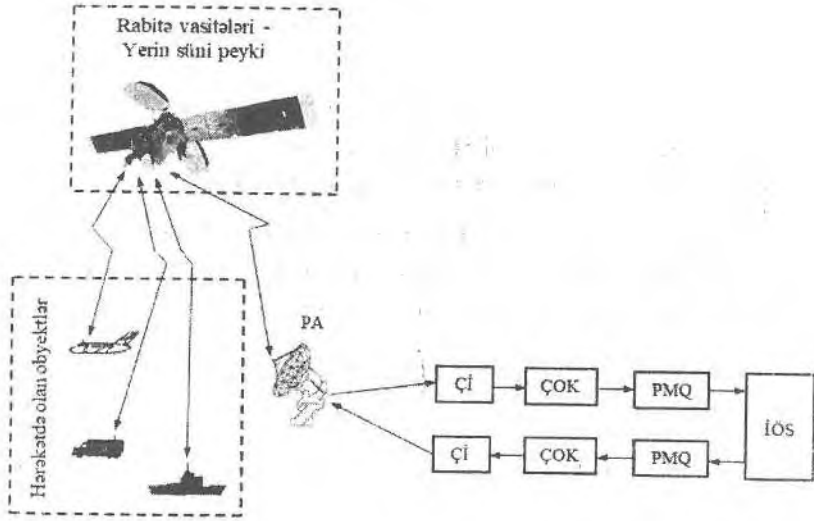
Bu problemlərin həlli zərurəti ölçü məlumatlarının avtomatik toplanması və emalı üçün nəzərdə tutulmuş yeni ölçü vasitələri sinfinin - çoxkanallı informasiya-ölçmə sistemlərinin (ÇK - İÖS) işlənməsini tələb edir [1].

Bir sıra hallarda, məsələn, təyyarənin uçuş sınaqları və ya kosmik tədqiqatlar aparılan zaman zamanı tədqiq olunan obyektə ölçmə nəticələrini emal edən avadanlıq arasındakı məsafə böyük olur.

Mövcud İÖS-dən çoxkanallı interfeysin, çoxkanallı optik kommutatorun və mövqələşdirmə dəqiqliyinin artırılması hesabına enerji effektivliyinin artırılmasına və itkisinin azaldılmasına imkan verən prezision mövqələşdirici qurğunun daxil edilməsi ilə fərqlənən çoxkanallı İÖS-nin işlənməmişdir ki, onun da struktur sxemi şəkil 1-də verilmişdir [72, s. 23-27].

Ölçmə nəticəsi haqqında informasiya çoxkanallı İÖS-dən operatora və/və ya kompyutera ötürülə bilər. Operator və kompyuter sisteminin işçi proqramını dəyişməklə idarəedicilə qurğuya təsir etmə imkanı yaradılır. Çoxkanallı İÖS-in tərkibinə kompyuter daxil olduqda informasiya bu kompyutera bilavasitə emal və ya yaddaş qurğusundan daxil ola bilər.

Beləliklə, təklif olunan təklif olunan çoxkanallı İÖS hərəkətdə olan obyektlərdən ölçülən dinamik parametrlər haqqında informasiyanın çoxkanallı interfeys vasitəsi ilə qəbul edilməsi, emalı, yaddaş saxlanması, operatora və ya kompyutera ötürülməsi, ölçmə aparılan obyektlərə idarəedicilə təsirlərin formalaşdırılması proseslərini yerinə yetirir.



Şəkil 1. Çoxkanallı informasiya-ölçmə sisteminin struktur sxemi

PA-peyk antenası; Çİ-çoxkanallı interfeys; ÇOK-çoxkanallı optik kommutator; PMQ-prezision mövqələşdirici qurğu

Aparılmış analizlər göstərir ki, mövcud akselerometrlər əsasən vibrasiya və zərbə nəticəsində yaranan təcillərin ölçməklə, hərəkətdə olan obyektlərin hərəkət sürətlərini ölçməyə imkan vermir. Digər tərəfdən akselerometrin həssaslıq vektorunun istiqaməti ölçülən ətalət qüvvəsi ilə əks istiqamətə yönəldiyi üçün kiçik həddə dəyişən xətti ətalətlərin və yalnız təcilin ölçülməsini həyata keçirməklə sürətin ölçülməsi isə təmin edilmir.

Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyalı və üçkoordinatlı akselerometrlərin riyazi modeli və həmin model əsaslanaraq pyezoelektrik vibrasiyalı və üçkoordinatlı akselerometr işlənmişdir.

İstənilən zaman anında işçi orqan kimi pyezoelementin sərbəst ucunun sürət vektorunu zaman vektoru üzrə diferensiallamaqla təcil vektorunu aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\dot{i} = \frac{d\dot{v}}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}, \quad (2)$$

burada \dot{i} – pyzeoelementin sərbəst ucunun təcili (m/s^2), \dot{v} – sürət (m/s), t – zaman (s), r – hərəkət trayektoriyasıdır.

Əgər pyzeoelementin sərbəst ucunun hərəkət trayektoriyasını $\dot{r}(t) = \dot{r}_0$ və t_0 – zaman anında $\dot{i}(t)$ – təcilin zamandan asılılığını nəzərə alsaq, onda (4) tənliyini inteqrallamaqla sərbəst ucun hər bir t – zaman koordinatını və \dot{v} – sürətini təyin edə bilərik:

$$\dot{r}(t) = \dot{r}_0 + \int_{t_0}^t \dot{i}(t) dt, \quad (3)$$

$$\dot{r}(t) = \dot{r}_0 + (t - t_0) \dot{v}_0 + \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t \dot{i} dt^2. \quad (4)$$

Ümumi halda, əgər \dot{i} təcil vektoru zamana görə sabitdirsə, onda bu hərəkət bərabərtəcilli hərəkət sayılır və bunu nəzərə alaraq (3) və (4) ifadələrini sadələşdirərək aşağıdakı riyazi asılılıqları alırıq:

$$\dot{v}(t) = \dot{v}_0 + (t - t_0) \cdot \dot{i}, \quad (5)$$

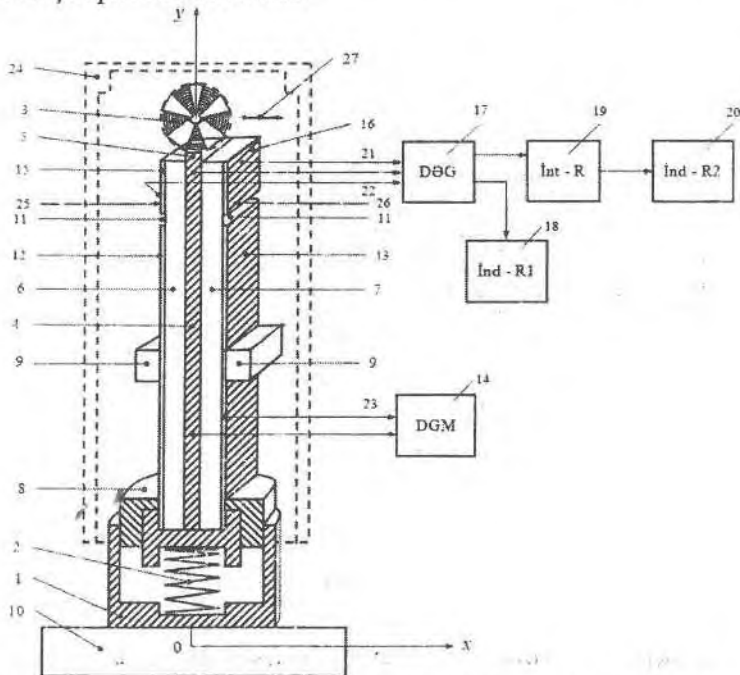
$$\dot{r}(t) = \dot{r}_0 + (t - t_0) \cdot \dot{v}_0 + \frac{(t - t_0)^2}{2} \cdot \dot{i}. \quad (6)$$

Təklif olunan riyazi model pyzeoelektrik vibrasiyalı və üçkoordinatlı akselerometrin işlənməsinin əsasını təşkil edir. Hərəkət vaxtı yaranan ətalətin təsirinin artması və pyzeoelektrik vibrasiyalı akselerometr həm hərəkət vaxtı yaranan təcilin və həm də inteqrator vasitəsi ilə siqnalı inteqrallamaqla sürətin ölçülməsini təmin etməsi onun funksional imkanlarını genişləndirir.

Təklif olunan pyzeoelektrik vibrasiyalı akselerometrin struktur sxemi şəkil 2-də verilmişdir.

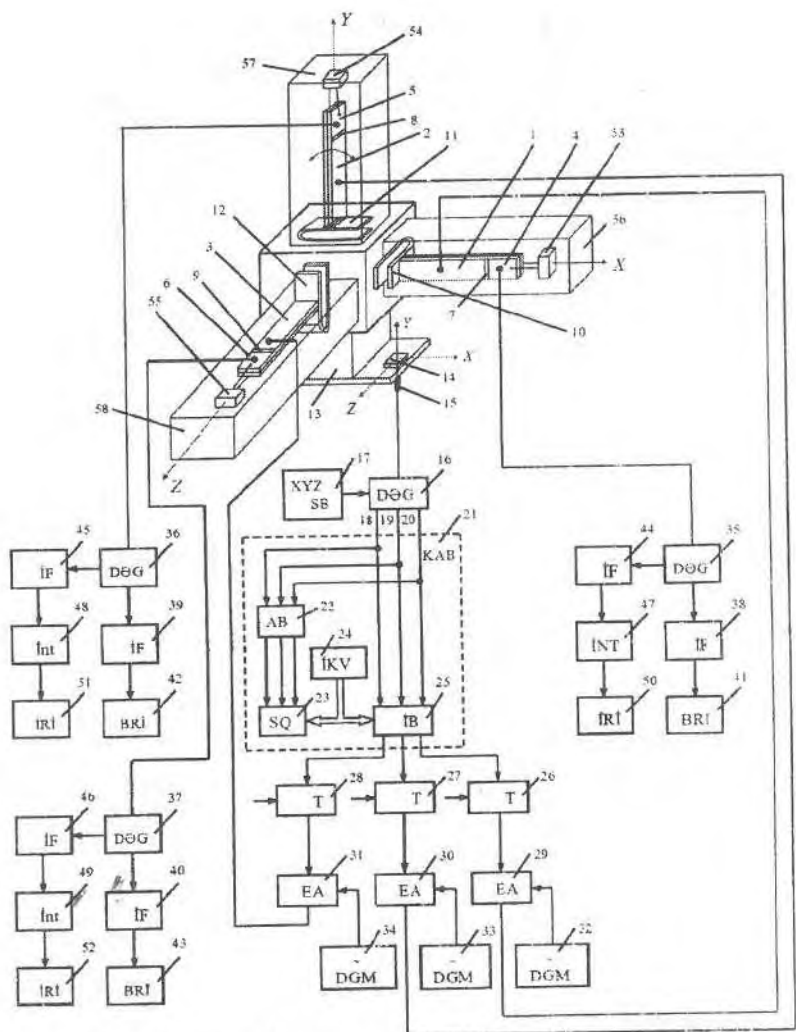
Təklif olunan pyzeoelektrik vibrasiyalı akselerometr gövdədən -1, vintli yayla -2 sıxılmış, dartılma-sıxılma mexaniki deformasiyalı pyzehəssas elementindən, onun üzərində bərkidilmiş ətalət kütləsindən -3, yastı metal lövhədən -4, çıxıntıdan -5, qaynaq vasitəsi ilə bərkidilmiş çoxtəbəqəli pyzeoelektrik bimorf vibratorunu təşkil edən pyzeoelektrik lövhələrdən -6,7, bərkidici qəlibdən -8, pyzeoelektrik bimorf vibratorun enli səthlərində hər iki tərəfdən möhkəm bərki-

dilmiş metal kubdan -9, ölçmə obyektindən -10, izolyasiya zolaqları -11 vasitəsi ilə ayrılmış həyəcanlandırma seksiyasından -12,13, dəyişən gərginlik mənbəyindən -14, pyezohəssas elementin seksiyalarından-15,16, diferensial əməliyyat gücləndiricisindən -17, birinci indikatorndan-18, integratordan-19, ikinci indikatorndan-20, pyezohəssas elementinin elektrik əlaqə sıxaclarından-21,22, həyəcanlandırma seksiyasının elektrik əlaqə sıxaclarından-23, akselerometri xarici mexaniki təsirlərdən mühafizə etmək üçün tərpənməz qapaqdan-24 və ətalət kütləsinin sərbəst hərəkətini təmin etmək üçün isə tərpənməz qapağın içinin yuxarı hissəsinin ortasında kəşik sferik şəkilli boşluqdan-25 ibarətdir.



Şəkil 2. Pyzelektrik vibrasiyalı akselerometrin struktur sxemi

Yuxarıda verilmiş riyazi modelin (2-6) ifadələri əsasında avtomatik rejimdə ölçmə obyektinin xətti təcil və sürətini ölçən üçkoordinatlı akselerometrin struktur sxemi şəkil 3-də verilmişdir.



Şəkil 3. Üçkoordinatlı akselerometrin struktur sxemi

Təklif olunan üçkoordinatlı akselerometr həyəcanlandırma seksiyasına -1,2,3, həssas elementin seksiyasına -4,5,6 malik ikitəbəqəli müstəvi lövhələr şəklində yerinə yetirilmiş pizeoelementlərdən, öz aralarında yapışdırılmış və ya qaynaq edilmiş, bir-birindən izolə kanalcıqlarından -7,8,9, dempferlənmiş "II" - şəkilli

yastı yaylardan -10,11,12, ölçmə obyektindən -13, üçkoordinatlı vəziyyət vericilərindən -14, üçkoordinatlı vəziyyət vericilərinin elektrodlarından-15, birinci diferensial əməliyyat gücləndiricisindən-16, "XYZ" düzbucaqlı koordinat sisteminin oxlarının seçmə blokundan-17, diferensial əməliyyat gücləndiricisinin üç koordinat oxları üzrə çıxışlarından-18,19,20, kanal aşkarlama blokundan-21, aşkarlama blokundan-22, sədd qurğusundan-23, idarəetmə kod vericisindən-24, idarəedici blokundan-25, triqerlərdən-26,27,28, elektron açarlardan-29,30,31, dəyişən gərginlik mənbələrindən-32,33,34, "XYZ" koordinat oxlarının diferensial əməliyyat gücləndiricilərindən-35,36,37, impuls formalayıcılarından-38,39,40, birinci rəqəmli indiqatorlardan-41,42,43, impuls formalayıcılarından-44,45,46, "XYZ" koordinat oxları üzrə qoşulmuş inteqratorlardan-47,48,49, ikinci rəqəmli indiqatorlarından 50,51,52, akselerometrin bütün elementlərinin yerləşdirildiyi qoruyucu örtükdən -56,57,58 ibarətdir.

Bu zaman təklif olunan pyezoelektrik vibrasiyalı və üçkoordinatlı akselerometrlərdə işçi orqan kimi pyezoelementdən istifadə olunması yüksək temperatur sabilliyi, termal gradientlər üzrə siqnalın yüksək keyfiyyəti, yüksək davamlılıq və etibarlılıq, gövdənin daxili izolyasiyası və ağır şəraitdə uzunmüddətli istifadə üçün nəzərdə tutulması ilə əlaqədardır.

Pyezoelektrik akselerometrlər mexaniki vibrasiyaların ölçülməsi zamanı yüksək dəqiqliyi təmin edir və metroloji baxımdan geniş tezlik diapazonuna, ətraf mühitin təsirinə yüksək dayanıqlığa, geniş dinamik diapazonda xarakteristikasının xəttiliyinə, hərəkətli hissələrin az olması ilə əlaqədar yüksək davamlılığa, aktiv çevirici enerji mənbəyi tələb etməməsinə, mexanik rəqslərin yaratdığı təcilə mütənasib olan çıxış elektrik siqnalının vibrasiya sürətinə və ya vibrasiya yerdəyişməsinə mütənasib siqnala çevirmə imkanına malik olmasıdır.

Təklif olunan pyezoelektrik vibrasiyalı və üçkoordinatlı akselerometr hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərinin ölçülməsi, obyektin düzbucaqlı koordinat sistemində üçkoordinat oxu üzrə hərəkəti zamanı avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərdə və dreyfin çox kiçik sürətlərində naviqasiya avadanlıqlarında, həmçinin,

neft quyularının qazılması zamanı maillik və yerdəyişmə bucağının ölçülməsində istifadə edilə bilər.

Ölçmə nəticələrinin optik şüa vasitəsi ilə optik lifə daxil edilməsi dəqiqliyi “optik şüa mənbəyi - optik lif - optik şüa qəbulbuledici” sisteminin əsas göstəricisi olub, bu zaman mövqələşdirmə prosesinin effektivliyi optik şüanın optik lifə daxil edilən maksimal mümkün enerjisinin qiymətindən, yəni energetik effektivliyindən asılıdır.

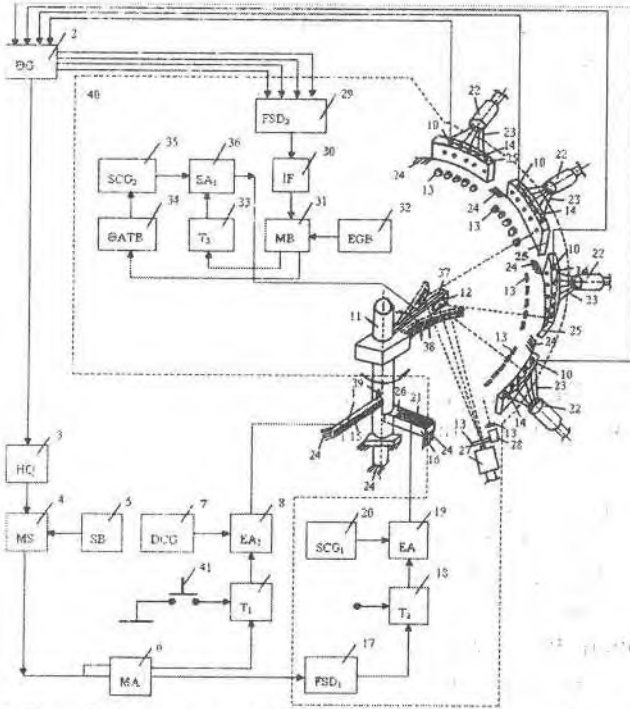
İÖS-nin komponentləri arasında optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusu (PMQ) bir çox meyarlarla müəyyən olunur ki, bunlara da optik lifə daxil edilən optik şüanın enerji potensialının artırılması, optik şüanın və optik liflərin mövqələşdirmə prosesinin istifadə olunmasının əsas qanunauyğunluqlarının tədqiqi və optik şüanın maksimum enerji potensialının optik lifə daxil edilməsi daxildir. Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq tədqiqatın məqsəd funksiyası kimi təklif olunan prezision mövqələşdirici qurğunun effektivliyini aşağıdakı asılıqla ifadə etmək olar:

$$E_{möv} = \left\{ \min[t_{möv}, a_{ds}, A_0, A_{\eta}, \Delta_{möv}], \max[\nu_{möv}, \eta = P_{dg} / P_{\zeta}] \right\}, \quad (7)$$

burada $t_{möv}$ – mövqələşdirmə müddəti; a_{ds} – mövqələşdirmə prosesində PMQ tərəfindən daxil edilən sönmə; A_0 – optik siqnalın əksolunma itkisi; A_{η} – şüalanma itkiləri; $\Delta_{möv}$ – mövqələşdirmə prosesində yaranan xəta; $\nu_{möv}$ – mövqələşdirmə sürəti; $\eta = P_{dg} / P_{\zeta}$ – optik şüanın gücünün optik lifə daxil edilmə əmsalı, burada P_{dg} – optik şüanın optik lifə daxil edilən gücü; P_{ζ} – optik şüa mənbəyinin çıxış gücüdür.

Məqsəd funksiyası əsasında optik şüanın PMQ işlənmiş və onun vasitəsi ilə optik şüanın mövqələşdirmə dəqiqliyinin artırılması təmin olunur ki, bu da ötürülən optik şüanın enerji itkisinin azaldılmasına gətirib çıxarır və bu halda yaranan itkilər 0,8...3,0dB təşkil edir.

İdarəetmə blokuna malik optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusu təklif olunmuş və onun struktur sxemi şəkil 4-də verilmişdir.



Şəkil 4. Prezision mövqələşdirici qurğunun struktur sxemi

PMQ addım mühərrikindən-1, əməliyyat gücləndiricisindən-2, hesabi qurğudan-3, müqayisə sxemindən-4, seçmə blokundan-5, məntiqi açardan-6, dəyişən cərəyan generatorundan-7, birinci elektron açardan-8, birinci triqerdən-9, fotodioddan-10, addım mühərrikinin pyzoelementi 45° bucaq altında sıxılmış fırlanan ox üzərində bərkidilmiş silindrik valdan-11, optik şüa əksətdiricisindən-12, fokuslayıcı linzadan-13, fotodioidun elektrik sıxaclarından-14, addım mühərrikinin pyzoelementinin-15 elektrodlarından, pyzoelektrik əyləc elementindən-16, birinci faza sürüşmə dövrəsindən-17, ikinci triqerdən-18, ikinci elektron açardan-19, sabit cərəyan generatorundan-20, pyzosaqsı əyləc elementinin elektrodlarından-21, optik şüa ötürücü kabellərin-22 optik liflərindən-23, qurğunun gövdəsində-24 seksiyalardan-25, pyzosaqsı əyləc elementinin silindrik vala mexaniki təsiri sirtünməyə davamlı materialdan hazırlanmış ucluq-

dan-26 və optik şüanın ötürülməsi optik lifli kabelən-27 və optik şüa mənbəyindən-28, ikinci faza sürüşməsi dövrəsindən-29, impuls formalayıcısından-30, müqayisə blokundan-31, etalon gərginlik blokundan-32, üçüncü triqerdən-33, idarəedici girişinə, əks əlaqəli avtomatik tənzimləyici blokundan-34, sabit cərəyan generatorundan-35, üçüncü elektron açardan-36, siqnal girişinə, siqnal çıxışı isə qurğuya əlavə daxil edilmiş pyezo elementin-37 elektrodlarından-38, addım mühərrikinin pyezoelementinin silindrik val ilə mexaniki kontakt ucluğundan-39 ibarətdir. Təklif olunan qurğuya daxil edilmiş yeni elementlər şərti olaraq-40 mövqeyi ilə işarələnmiş qırıq-qırıq xətlərlə göstərilmişdir. Qurğu işəsalma açarı-41 vasitəsi ilə işə salınır.

Beləliklə, təklif olunan optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusu vasitəsi ilə optik şüanın mövqələşdirmə dəqiqliyinin artırılması təmin olunur ki, bu da ötürülən optik şüanın enerji itkisinin azaldılmasına gətirib çıxarır, optik-lifli rabitə xəttinin -2 optik lifinə -1 optik şüanın mövqələşdirilərək daxil edilməsi zamanı yaranan itkilər 0,8...3,0 dB təşkil edir ki, bu da mövcud qurğularda yaranan itkilərin qiymətlərindən 40...55%-ə qədər azdır və bu halda mövqələşdirmə xətası 0,17...0,65% təşkil edir.

Üçüncü fəsilə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələrinin verilişi zamanı istifadə olunan çoxkanallı optik kommutator (ÇOK), optik şüa mənbəyi (OŞM), optik şüa qəbuledicisi (OŞQ), ÇOK-nun işçi orqanının parametrlərinin analitik hesabat üsulu, PMQ-nun riyazi modeli və üçkoordinatlı akselerometrin piezoelementinin mexaniki rəqslərinin amplitudalarının analitik hesabat metodu işlənmişdir.

Optik sistemin (OS) ÇOK-nın çıxışında optik şüanın maksimal mümkün enerji potensialının optik lifə və optik lifin çıxışından isə OSQ-nə ötürülməsini təmin etməlidir. Ölçmə nəticələri haqqında informasiyanın verilişi zamanı ÇOK-nın konstruksiyasının mürəkkəbliyi OS-in xarakteristikaları ilə müəyyən olunur. Kommutasiya prosesi qəza və digər zəruri hallarda üfqi və şaquli istiqamətlərdə optik lifin en kəsiyinin səthinə nəzərən optik şüanın yayılma istiqamətinin avtomatik idarə olunmasını tələb edir.

Bu məqsədə nail olmaq üçün OŞM-nin çıxışını optik lifin girişi ilə və optik lifin çıxışını isə optik şüa qəbuledicisinin girişi ilə yüksək

dəqiqliklə uzlaşma prosesini təmin edən pyezoelementdən istifadə etməklə ÇOK-nin və onun idarəetmə sxemi işlənmişdir.

Optik kommutasiya prosesinin yüksək dəqiqliyinin təmin olunmasına və ÇOK vasitəsi ilə optik siqnalın istiqamətinin avtomatik idarə edilməsinə qoyulan tələblərlə əlaqədar ÇOK-nin texnoloji, mexaniki və istismar xarakteristikalarını daha dəqiq qiymətləndirmək üçün ÇOK-nun parametrlərinin analitik hesabat üsulu işlənmişdir.

Qida mənbəyindən gərginlik verdikdə OKQ-nun işçi orqanı kimi istifadə olunan pyezoelementin (PE) özəyinin əyilmə rəqsləri baş verir ki, bu da aşağıda verilmiş diferensial tənlik vasitəsi ilə ifadə olunur:

$$E \cdot I \frac{d^4 \eta}{dx^4} - \rho \cdot S \frac{d^2 \eta}{dt^2} = 0.$$

PE-nin azad (bərkidilməmiş) ucunun deformasiyasının amplitudası aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\Delta_{ey,PE} = \frac{F_{PE} l_1^3}{3E_y J} = \frac{F_{PE}}{K_{m\Sigma}},$$

burada F_{PE} – OKQ-nun PE-nə (müstəvi yaya) təsir edən qüvvə (N); l_1 – PE-nin uzunluğu; E_y – pyezosaxsının Yunq modulu (möhkəmlik modulu); J – ətalət momentidir (m^4); $K_{m\Sigma}$ – PE-nin düzbucaqlı en kəsikli özəyini təşkil edən lövhələrin cəm möhkəmliyidir.

OKQ-nun PE-nin düzbucaqlı en kəsikli özəyini təşkil edən lövhələrin cəm möhkəmliyi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$K_{m\Sigma} = \frac{E_y \cdot l_2 \cdot l_3^3}{4 \cdot l_1^3} \cdot N/m.$$

burada l_2, l_3 – içiboş pyezoelektrik silindrin uzunluğu, eni və qalınlığıdır.

Beləliklə, OKQ-nun əsas parametrlərinin hesablanması üçün yuxarıda alınmış nəzəri analitik asılılıqlar vasitəsi ilə alınmış nəticələrin, eləcə də aparılmış eksperimental ölçmələr nəticəsində alınmış nəticələrin tərkibində xətalərinin qiymətləri qənaətbəxşdir və bunlar arasında fərq 1÷3% təşkil edir.

Əgər konstruktiv itkiləri nəzərə almasaq, pyezoelementin sərbəst ucunun maksimal buraxıla bilən xətti yerdəyişmə sürətini

hesablamaq üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$V_{\max, bur} = \frac{4F_{s\ bur} \cdot V_{uz}}{\pi \cdot l_1 \cdot l_2 \cos \alpha \cdot E_y} = \frac{4F_{s\ bur}}{\pi \cos \alpha \cdot Z_0} = \frac{4F_{s\ bur} V_{uz}}{\pi \cos \alpha \cdot E_y}, \text{ m/s} \quad (9)$$

burada $Z_0 = l_1 l_2 \sqrt{\rho E_y}$ – dalğa müqaviməti; ρ – STBQ-3 (sirkonat – titanat-barium-qurğuşundan birləşmə pyezosaxsı) tipli pyezoelementin sıxlığıdır.

Pyezoelementin rezonans tezliyi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$f_r = V_{uz} / 2l, \text{ kHs} \quad (10)$$

burada $V_{uz} = 3,5 \cdot 10^3$ m/s - uzununa dalğanın yayılma sürətidir.

Yuklu pyezoelementin işçi sonluğunun sürəti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$V_{vis} = \frac{U_h \cdot l_2 \cdot d_{31} \cdot E_y}{R_m \cdot \cos \alpha}, \text{ m/s}, \quad (11)$$

burada $\alpha = 45^\circ (\approx 0,73\text{rad})$ – işçi orqana nəzərən pyezoelementin maillik bucağı; R_m – mexaniki itki müqavimətidir.

İşçi orqanın optik kommutasiya prosesinin dəqiqliyini təyin etmək üçün eksperimentlər aparılmışdır. Təcrübi eksperimentlərin aparılması zamanı nəzarət-ölçü başlığı işçi orqanın sərbəst ucuna bərkidilir və pyezoelementə qida gərginliyi verdikdə işçi orqan xətti yerdəyişmə hərəkətini həyata keçirir. İşıq diodu ilə fotoqəbuledicinin perforasiya dəşikləri qarşı-qarşıya uyğun gəldikdə pyezoelementə verilən qida gərginliyi kəsilməsi ilə işçi orqanın hərəkəti dayandırılır və bu halda optik kommutasiya prosesinin dəqiqliyi nəzarət-ölçü başlığı ilə qeyd edilir. Aparılmış eksperimentlərin nəticələri cədvəl 1 və 2-də verilmişdir.

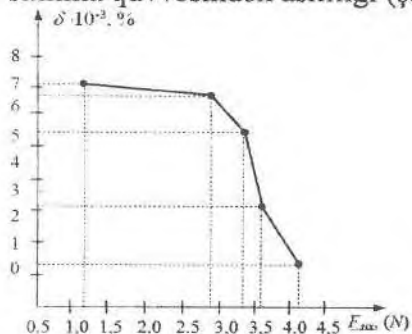
Cədvəl 1. Pyezoelementin işçi orqana sıxılma qıvvəsindən asılı olaraq optik kommutasiya prosesində yaranan xətlərin qiymətləri

No	Eksperiment 100 mm uzunluqlu sahədə aparılmışdır					
1	Pyezoelementin işçi orqana sıxılma qıvvəsi, F_s (N)	4,1	3,6	3,3	2,9	1,2
2	Optik kommutasiya prosesində yaranan xəta, δ , %	0,13	0,31	0,54	0,67	0,71

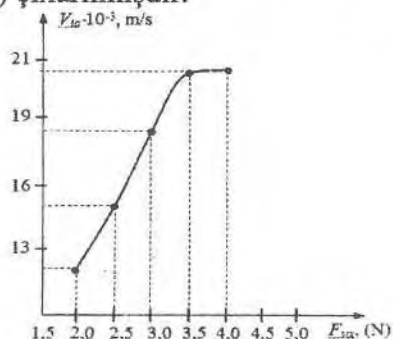
Cədvəl 2. Pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsindən asılı olaraq işçi orqanın xətti yerdəyişmə sürətinin ədədi qiymətləri

№	Eksperiment 100 mm uzunluqlu sahədə aparılmışdır					
1	Pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsi, F_s (N)	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
2	İşçi orqanın xətti yerdəyişmə sürəti, $V_{io} \cdot 10^{-3}$, m/s	10	15	18,5	20,7	20,7

Alınmış eksperimental nəticələr əsasında işçi orqanın optik kommutasiya prosesinin dəqiqliyini təyin etmək üçün optik kommutasiya prosesinin nisbi xətasının pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsindən asılılığı (şəkil 5), eləcə də x, y oxları üzrə işçi orqanın xətti yerdəyişmə sürətinin pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsindən asılılığı (şəkil 6) çıxarılmışdır.



Şəkil 5. Optik kommutasiya prosesində yaranan xətanın pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsindən asılılığı



Şəkil 6. İşçi orqanın xətti yerdəyişmə sürətinin pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsindən asılılığı

Prezision mövqeləşdirici qurğunun içiboş pyezoelektrik silindri şəklində işçi orqanınin əyilmə deformasiyasının amplitudası aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\Delta = \frac{F_{sg}}{E_y \cdot J} \left(\frac{R^3 a}{2} - \frac{R^3}{4} \sin 2\alpha \right), \quad (m) \quad (12)$$

burada F_{sg} – içiboş pyezoelektrik silindrin əyilməsinin statistik gücü (N); E_y – Yunq modulu (uzununa elastiklik modulu-elastiki deforma-

siya zamanı dartılma və sıxılmaya qarşı materialın müqavimət göstərmə qabiliyyətini xarakterizə edən fiziki kəmiyyət); J – içiboş pyezoelektrik silindrin ətalət momenti (m^4); R – içiboş pyezoelektrik silindrin radiusudur.

Bu zaman içiboş pyezoelektrik silindrin əyilməsi zamanı yaranan statistik gücü aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$F_{sg} = K_{\Sigma m} \cdot \Delta, \quad (N) \quad (13)$$

burada $K_{\Sigma m}$ – içiboş pyezoelektrik silindrin cəm möhkəmliyi (N/m).

İçiboş pyezoelektrik silindrin cəm möhkəmliyi pyezoelementin və metal lövhənin möhkəmliyi ilə əlaqədar olub, aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$K_{\Sigma m} = K_{pem} + K_{mlm}, \quad (N/m) \quad (14)$$

burada K_{pem} – içiboş pyezoelektrik silindrin möhkəmliyi (N/m);

K_{mlm} – metal lövhənin möhkəmliyi (N/m).

İçiboş pyezoelektrik silindrin ətalət momenti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$J = \frac{l_2 \cdot l_3^3}{12}, \quad (m^4) \quad (15)$$

burada l_3 – içiboş pyezoelektrik silindrin qalınlığıdır (m).

Üçkoordinatlı akselerometrin işçi orqanının mexaniki rəqs-lərinin qiymətinin analitik hesabat metodu işlənmişdir.

Bir tərəfi bərkidilmiş düzbucaqlı lövhənin yayının əyilmə elastik deformatsiyası nəzəriyyəsiəndən məlum olduğu kimi lövhənin en kəsiyində maksimum gərginlik

$$\sigma_{bb} = \frac{3Fl_1}{2l_2 \cdot l_3^2}, \quad (16)$$

və əyilmə deformatsiyasının amplitud qiyməti

$$\Delta = \frac{A \cdot l_1^3}{3 \cdot I} = \frac{F}{K_m E}, \quad (17)$$

mexaniki keyfiyyət göstəricisi

$$Q_{mex} = \frac{f_r}{\Delta f} \quad (18)$$

kimi təyin olunur ki, burada da f_r – rezonans tezliyi; Δf – tezliyin dəyişməsi; A – nümunənin en kəsiyinin sahəsi; F – lövhənin yayına təsir edən qüvvə (N); l_1, l_2, l_3 – müvafiq olaraq PE lövhənin yayının uzunluğu, eni və qalınlığı (m); I – ətalət momentidir (m^4).

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, içiboş pyezoelektrik silindrin əyilmə deformasiyasının amplitudasının yuxarıda alınmış qiymətində optik şüa mənbəyinin şüalanmasının optik lifə daxil edilməsi zamanı qurğu 0,8...3,0 dB sönmə daxil edir ki, bu da məlum qurğuların yaratdığı sönmədən 45...50% azdır və bu halda daxiləldilmə xətası 0,17...0,65% təşkil edir.

Ümumi halda piyezoelektrik çeviricilər (PÇ) kiçik mexaniki rəqslərə malik piyezoçeviricilər sinfinə aiddir. Baxılan piyezoelementdə (PE) enerji bir sistemdən digərinə elektrik sahə əlaqəsi vasitəsi ilə ötürülür, bu halda giriş sıxaclarında gərginlik elektrik formasında, çıxış sıxaclarında isə mexaniki formada olur. Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq, PE-li PÇ ümumiləşdirilmiş sxemi şəkil 3.9.1-də verilmişdir [10, s.49,50]. Üçkoordinatlı pyezoelektrik akselemetrin piezoelementinin mexaniki rəqslərinin amplitudalarının qiymətinin analitik hesabat üsulu ilə PE-nin əsas rezonans tezliyini təyin etmək üçün mahiyyətə üç tezliyin, yəni ardıcıl rezonans tezliyinin, paralel rezonans tezliyinin və paralel olaraq PE və məlum qiymətə malik tutumu birləşdirməklə alınan rezonans tezliyinin yeni qiymətinin hesablanması ibarətdir və ölçülmüş üç rezonans tezliyinə əsasən üçkoordinatlı pyezoelektrik akselemetrin (ÜPA) ekvivalent parametrləri təyin olunur [10, s. 49,50].

Dördüncü fəsildə ölçmə nəticələrinin İÖS-ə ötürülməsi zamanı optik şüanın bir- və çoxmodlu veriliş üsulunda prezision mövqələşdirici qurğunun işçi orqanının riyazi modeli, akselerometrin və prezision mövqələşdirici qurğunun işçi orqanının eksperimental tədqiqi və metroloji xarakteristikalarının qiymətləndirilməsi məsələləri həll edilmiş və eksperimental tədqiqatın nəticələri verilmişdir.

Çoxkanallı İÖS-lər üçün hazırlanmış texnologiyaların və avadanlıqların yüksək sürətlə işlənməsinə və təkmilləşdirilməsinə baxmayaraq, bu cür qurğuların işləmə prosesini modelləşdirmək

üçün elmi cəhətdən əsaslandırılmış və qəbul edilmiş vahid metodika yoxdur. Ona görə də, ən aktual məsələlərdən biri optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işləmə prosesinin riyazi modelinin işlənməsidir.

Verilmiş qurğularda xarici mənbədən qida gərginliyi alan düzbucaqlı en kəsiyinə malik piezoelement, uyğun olaraq müəyyənləşdirilmiş uzununa dartılma deformasiyasına məruz qalır:

$$\Delta_{sxx} = \frac{2T_m \cdot l_1}{\pi E_y}, \quad (19)$$

burada T_m – lövhənin mərkəzində mexaniki gərginlik olub, $19,6 \cdot 10^6 (N / m^2)$ – ə bərabərdir; l_1 – pyezoelementin uzunluğu olub, $5 \cdot 10^{-2} (m)$ – ə bərabərdir; E_y – Yunq modulu (kövrəklik modulu) olub, STBQ-3 (sirkonat-titanat barium qurğusundan ibarət piezosaxsı) piezosaxsı üçün $0,8 \cdot 10^{11} (N / m^2)$ – ə bərabərdir.

Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işini xarakterizə edən göstəricilərin təyin edilməsi məqsədi ilə riyazi model işlənmişdir. İşlənmiş analitik model aşağıdakı ardıcılıqla realizə olunur.

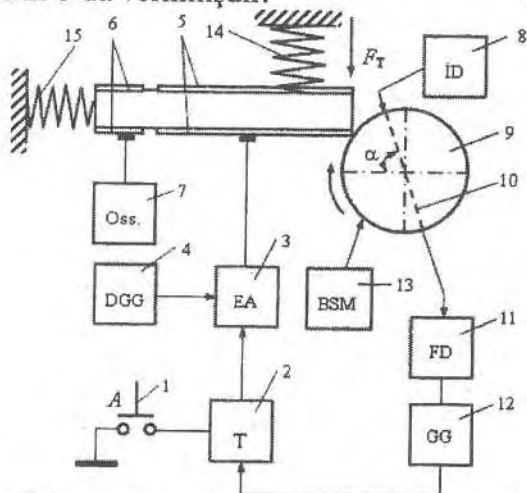
Çoxmodlu optik lifə daxil edilən optik şüanın gücü NA – apertura ədədindən, eləcə də optik şüa mənbəyinin bucaq istiqamətləndirmə diaqramından asılıdır. Çoxmodlu optik lif onun en kəsiyinə $\Theta_{0 \max}$ bucağından kiçik olan bucaq altında düşən n_0 – sındırma əmsallı optik şüaları qəbul edir. Bu halda

$$NA = \sin \Theta_{0 \max} = \begin{cases} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / n_0, & \text{pilləvəvari profilli sındırma} \\ & \text{əmsalına malik optik liflər} \\ & \text{üçün;} \\ \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / n_0 \sqrt{2}, & \text{gradient profilli sındırma əmsalına malik optik liflər üçün.} \end{cases}$$

Ona görə də, daxil edilən sönmənin hiss ediləcək dərəcədə qiyməti o vaxt əmələ gəlir ki, optik şüanın gücünün bucaq üzrə paylanması $2 \cdot \Theta_{0 \max}$ bucağının qiymətini aşır.

Dsertasiya işində işlənmiş riyazi modellər əsasında optik

şüanın prezison mövqələşdirici qurğusunun parametrlərinin və xarakteristikalarının hesabət nəticəsində alınmış qiymətlərinin eksperimental qiymətlərlə müqayisəsi aparılmış və nəzəri və eksperimental nəticələrin fərqlənmə dərəcəsinə qiymətləndirmək üçün eksperimental tədqiqat qurğusundan istifadə olunmuşdur ki, bu da şəkil 6-da verilmişdir.



Şəkil 6. Akselerometrin və prezison mövqələşdirici qurğusunun işçi orqanının eksperimental tədqiqat sxemi

PMQ-nin işçi orqanı "İşəsalma" (A)-1 düyməsi vasitəsi ilə işə salınır ki, bunun da nəticəsində trigger (T)-2 digər dayanıqlı vəziyyətə keçir və elektron açarı (EA)-3 açılır. Bu halda dəyişən gərginlik generatorunun (DGG)-4 çıxışından f_r rezonans tezlikli dəyişən gərginlik həyəcanlandırma elektrodlarının birinci seksiyasına -5 verilir. İşçi orqanı $t_{i_1}, i = \overline{1,5}$ müddətinə işə salındıqdan sonra birinci seksiyanın-5 mexaniki rəqsləri elektrodların ikinci seksiyasına -6 ötürülür. Həmin mexaniki rəqslərin təsiri nəticəsində elektrodların ikinci seksiyası-6 verici mənbə rejiminə keçir və siqnallar formalaşdırır ki, bunlar da ossilloqrafın (Oss)-7 girişinə ötürülür və qeyd olunur.

İşıq diodunun (İD) -8 çıxışından optik şüa val - 9 üzərindəki radial dəyişikliklər -10 vasitəsi ilə fotodioda (FD) -11 düşənə qədər

pyezoelektrik mühərrikinin valı -9 fırlanır. Bu vəziyyət alınan kimi fotodiodun (FD) -11 çıxışından elektrik siqnalı gərginlik gücləndiricisi (GG) -12 vasitəsi ilə triggerin -2 idarəedici girişinə daxil olur və onu başlanğıc vəziyyətə qaytarır və elektron açar -3 açılaraq dəyişən gərginlik generatorunun (DGG) -4 çıxışından qida gərginliyinin verilməsini dayandırır və həyəcanlandırma elektrodlarının birinci seksiyası -5 cərəyansızlaşdırılır. Bu halda valın dəqiq dayandırılması binokulyar stereoskopik mikroskop -13 (BSM-2) vasitəsi ilə qeyd olunur.

Eksperimental tədqiqatlar aparılan zaman pyezoelektrik addım mühərrikinin valının qida gərginliyinin işəsalma və əyləcləmə müddətindən asılılığının qurulması üçün valın fırlanma sürətinin $5 \cdot 10^{-3} \dots 88 \cdot 10^{-3} m/s$ diapazonunda və işçi orqana sıxma qüvvəsinin $1,3 \dots 4,1 N$ həddində (uyğun olaraq sıxma momentinin $0,248 \dots 0,288 N/m$ həddində) dəyişməsindən istifadə olunmuşdur. Bu halda valın dəqiq dayandırılması binokulyar stereoskopik mikroskop (MBS-2) vasitəsi ilə qeyd olunmuşdur. Aparılmış eksperimentin nəticələrinə görə pyezoelektrik addım mühərrikinin dayandırılmasından sonra dəyişmə $1 \dots 3$ mkm, yaranan xəta isə $0,13 \dots 0,71\%$ təşkil etmişdir. Birmodlu optik lifin diametri $8 \dots 10$ mkm təşkil etdiyi üçün güzgüdən əks olunaraq skan olunan siqnalın $70 \dots 80\%$ -ni əhatə edir ki, bu da pyezoelektrik addım mühərrikinin valının lazımı dayandırılma dəqiqliyini təmin edir və bu aralığın olmaması, eləcə də yayın sıxma qüvvəsinin və pyezoelektrik elementinin gərginliyinin tənzimlənməsi ilə əldə olunur.

Pyezoelementin histerezisi ilə bağlı itkilər hiss olunmayacaq dərəcədə kiçikdir və pyezoelektrik addım mühərrikinin işi minimal yerdəyişmə sürətində dayandırılmaqla addım rejimində həyata keçirilir. Aparılmış eksperimentlərin nəticələrinə görə pyezoelektrik addım mühərrikinin tədqiq olunan parametrlərinin ədədi qiymətləri alınmış və cədvəl 3-də verilmişdir.

Aparılmış eksperimental tədqiqatların nəticələrinə görə pyezoelektrik addım mühərrikinin valının vala təsir edən, pyezoelementin işçi orqana sıxılma momentinin müxtəlif qiymətlərində qida gərginliyinin dəyişməsinin valın işəsalma və əyləcləmə müddətindən asılılığı qurulmuşdur.

Cədvəl 3. Pyezoelektrik addım mühərrikinin parametrləri və ədədi qiymətləri

№	Parametrlər	Ədədi qiymətlər				
1.	Pyezoelementin işçi orqana sıxılma qüvvəsi, $F_{sq} (N)$	1,3	2,7	3,3	3,7	4,1
2.	Tangensial qüvvə vasitəsi ilə yaradılan moment, $M_1 (N \cdot m)$	0,23				
3.	Yayın sıxılma qüvvəsi ilə yaradılan moment, $M_2 (N \cdot m)$	0,018	0,038	0,046	0,052	0,058
4.	Pyezoelektrik addım mühərrikinin valına təsir edən tangensial qüvvə və yayın sıxılma qüvvəsi ilə yaradılan ümumi moment, $M_{\text{um}} (N \cdot m)$	0,248	0,268	0,276	0,282	0,288
5.	Pyezoelektrik addım mühərrikinin işə-salınma müddəti, $t_{i\dot{s}} \cdot 10^{-3} (s)$	1,4				
6.	Pyezoelektrik addım mühərrikinin əyləcləmə müddəti, $t_{\text{əyləcl}} \cdot 10^{-3} (s)$	18	8	1,2	0,5	0,07

Nəticə

Dissertasiya işində aparılmış nəzəri analizlərin, eksperimental tədqiqatların və verilmiş təkliflərin nəticələri real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçmək üçün istifadə olunan İÖS-nin, akselerometrlərin və optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işlənməsi ilə əlaqədar müstəqil elmi-texniki problemin həllinə həsr olunmuş və özündə aşağıdakıları birləşdirir:

1. Problemin mövcud vəziyyətinin analizi əsasında real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üçkoordinatlı akselerometrin riyazi modeli işlənmişdir;

2. Formalaşdırılmış riyazi model əsasında avtomatik rejimdə dinamik parametrləri ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üçkoordinatlı akselerometrler işlənmişdir;

3. Təklif olunan akselerometrler və onların işçi orqanının parametrlərinin hesabat üsulu işlənmişdir;

4. Optik şüanın enerji effektivliyinin artırılmasına və itkinin azaldılmasına imkan verən prezision mövqeləşdirici qurğu işlənmişdir;

5. Dinamik parametrləri ölçən akselerometrlərin işçi orqanı eksperimental tədqiqi aparılmış və alınan nəticələrin analizi verilmişdir.

Dissertasiya işində alınmış nəticələr aşağıdakı elmi işlərdə öz əksini tapmışdır:

1. Мансуров Т.М., Гусейнов Б.И., Алиев Ч.П. Анализ параметров оптоэлектронных переключателей оптических систем телекоммуникации // Материалы XX-ой Международной НТК «Современные средства связи». -Минск: УО БГКС, 2015. -с.28-31.
2. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П., Джебраилова С.А. Задачи разработки и моделирование устройства позиционирования многомодовых оптических волокон кабеля связи // Материалы X Международной отраслевой НТК «Технологии информационного общества», посвященная 95-летию Московского технического университета связи и информатики (МЭИС-МТУСИ). -М., МТУСИ, 2016. с.45,46.
3. Mansurov T.M., Алиев Ч.П., Акселерометр для измерения ускорения и скорости движущихся объектов // Материалы XXI Международной НТК «Современные средства связи». - Минск: УО БГАС, 2016. с.22-25.
4. Mansurov T.M., Алиев Ч.П., Джебраилова С.А. Устройство прецизионного позиционирования направления оптического излучения // Материалы XXI Международной НТК «Современные средства связи». -Минск: УО БГАС, 2016. с.27-30.
5. Mansurov T.M., Алиев Ч.П. Классификация акселерометров для измерения скорости и ускорения движущихся объектов в автоматическом режиме // “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri” adlı Beynəlxalq ETK-nın materialları. -Bakı, AzTU, 2016. s.38-41.
6. Mansurov T.M., Алиев Ч.П., Джебраилова С.А. Задачи разработки и моделирование оптоэлектронных компонентов оптической связи / Сборник научных трудов Одесской На-

- циональной Академии Связи им. А.С.Попова. -Одесса, 2016, № 2. с.88-98.
7. Mansurov T.M., Aliev Ch.P., Dzhebrailova S.A. Design and modeling of passive components of linear path of optical communication / Thomson Reuters ENDNOTE. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, Vol. 5, Iss. 11, 6th November 2016. ISSN 2277-9655. p.226-233.
 8. Mansurov T.M., Mamedov I.A., Zenevich A.O., Aliev Ch.P. Mathematic model of direction control system of optical radiation /Thomson Reuters ENDNOTE. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM), Volume 6, Issue 2, February 2017. pp.20-25.
 9. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Пьезоэлектрический вибрационный акселерометр измерения линейных ускорений и скоростей движущихся объектов // Материалы XXII-ой Международной НТК «Современные средства связи». - Минск: УО БГАС, 2017. -с.61-63.
 10. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Акселерометр для измерения параметров движущихся объектов / Научный журнал «Проблемы инфокоммуникаций» Белорусской Государственной Академии Связи. -Минск, 2017, № 2 (6). с.37-46.
 11. Mansurov T.M., Aliev Ch.P., Quliyeva G.İ. Elektrik ölçmələri və vasitələri. Ali məktəblər üçün dərslik. -Bakı, Xəzər Universitetinin nəşriyyatı, 2018. -332s.
 12. Mansurov T.M., Hüseynov B.İ., Əliyev Ç.P., Cəbrayıllova S.Ə. Optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusu (azərb. dilində) // Azərbaycan Respublikasının Standartlaşdırma, Metrologiya və Patent üzrə Dövlət Komitəsinin Patent və Əmtəə Nişanları Mərkəzinin Rəsmi bülleteni. -Bakı, 2018, № 3, 30.03.2018. - s.9.
 13. Mansurov T.M., Hüseynov B.İ., Əliyev Ç.P., Cəbrayıllova S.Ə. Optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusu (rus dilində) // Azərbaycan Respublikasının Standartlaşdırma, Metrologiya və Patent üzrə Dövlət Komitəsinin Patent və Əmtəə Nişanları Mərkəzinin Rəsmi bülleteni. Fizika bölməsi. -Bakı, 2018, № 3, 30.03.2018. -s. 16,17.

14. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Акселерометр для измерения ускорений и скоростей движущихся объектов в автоматическом режиме / Научный журнал «Вестник Хмельницкого Национального Университета». -Харьков, ХНУ, №5, 2018. с.78-83.
15. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Фотонный коммутатор передачи информации и оптического шума по квантовому каналу связи / Научный журнал «Вестник Хмельницкого Национального Университета». -Харьков, ХНУ, №6, 2018. с.157-165.
16. Mansurov T.M., Aliev Ch.P., Mansurov E.T. Criteria for evaluation of characteristics of photon switchboards of optical signals and optical fibers for the quantum systems of transfer of confidential information // IEEE International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PIC S&T-2018). -Kharkov (Ukraine), 9 - 12 October 2018. p.378-392 (Skopus).
17. Mansurov T.M., Əliyev Ç.P. Pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometr (azərbayc. dilində) / Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyi. Patent və Əmtəə Nişanlarının Ekspertizası Mərkəzinin Rəsmi bülleteni № 8. -Bakı, 2019, 31.10.2019. - s.11.
18. Mansurov T.M., Əliyev Ç.P. Pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometr (rus dilində) / Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyi. Patent və Əmtəə Nişanlarının Ekspertizası Mərkəzinin Rəsmi bülleteni № 8. -Bakı, 2019, 31.10.2019. s.44,45.
19. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Трёхкоординатный акселерометр для измерения ускорения и скорости объекта измерений в автоматическом режиме // Бюллетень Евразийского Патентного Ведомства Евразийской Патентной Организации. -М, 2018, № 9. с.125.
20. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Акселерометр для измерения ускорения и скорости движущихся объектов в автоматическом режиме // 1-я Международной НПК «Современные информационные, измерительные и управляющие системы: проблемы и перспективы (СИИУС'2020)». -Баку, АГУНП, 2019. с.159.

21. Əliyev Ç.P. Hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali akselerometrin riyazi modeli // "Telekommunikasiyada, innovativ texnologiyalar" mövzusunda Beynəlxalq ETK-in materialları. -Bakı, AzTU, 2019. s.163, 164.
22. Mansurov T.M., Hüseynov B.İ., Əliyev Ç.P., Cəbrayıllova S.Ə. Optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusu // Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyi. İxtira üzrə Patent № İ 2019 0100. -Bakı, 2019, 29.12.2019. -13s.
23. Mansurov T.M., Əliyev Ç.P. Pyezoelektrik vibrasiyali akselerometr // Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyi. İxtira üzrə Patent № İ 2020 0027. -Bakı, 2020, 15.07.2020. -13s.
24. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Трёхмерный пьезоэлектрический акселерометр измерения динамических параметров движущихся объектов / Научный журнал "Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт". -М.: ИД «Медиа Паблишер», 2020, Том 14, №7. с.29-35.
25. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Трёхкоординатный акселерометр для измерения ускорения и скорости объекта измерений в автоматическом режиме // Евразийское Патентное Ведомство Евразийской Патентной Организации. Евразийский Патент № 036355. -М, 2020 от 29.10.2020. 8с.
26. Алиев Ч.П. Оценка эффективности функционирования акселерометров измерения динамических параметров движущихся объектов // Материалы 2-ой Международной НПК «Современные информационные, измерительные и управляющие системы: проблемы и перспективы (СИИУС'2020)», посвященной 100-летию АГУНП. -Баку, АГУНП, 2020. с.268-270.
27. Mansurov T.M., Aliev Ch.P. Development of an information-measuring system for measuring the dynamic parameters of moving objects // Proceedings of the IEEE 2020 International Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology" (PIC S&T'2021). -Kharkov, Ukraine, 2021. pp.23-27 (Skopus).

28. Aliev Ch.P. Method for determining the magnitude of mechanical oscillations of piezoelectric bimorph elements of a three-dimensional piezoelectric accelerometer // IEEE International Scientific-Practical Conference "Problems of Informatics. Science and Technology" (PIC S & T ' 2022). -Kharkov, Ukraine, 2022. p.117-122 (Skopus).
29. Алиев Ч.П. Метод расчета величины механических колебаний пьезоэлемента трехкомпонентного акселерометра // Материалы XXII Международной НТК студентов, магистрантов и аспирантов «Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи». -Минск, БГАС, 2022. с.49,50.
30. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П. Устройство для измерения линейного ускорения и скорости движущихся объектов / Научный журнал «Проблемы инфокоммуникаций» Белорусской Государственной Академии Связи. -Минск, 2024, № 2 (20). с.5-9.



Dissertasiyanın müdafiəsi 31 oktyabr 2025-ci il tarixində saat 15⁰⁰-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1073, Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti, 25.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 30 sentyabr 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 26.09.2025

Kağız formatı: A5

Həcmi: 43590

Tiraj: 100