

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin
ölçmə üsulu və vasitələri

İxtisas: 3337.01-İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: Çingiz Paşa oğlu Əliyev

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKİ - 2024

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyində yerinə yetirilmişdir.

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

Rəsmi opponentlər: Texnika elmləri doktoru, professor

Texnika elmləri doktoru, professor

Texnika elmləri namizədi, dosent

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

Dissertasiya şurasının sədri: Texnika elmləri doktoru, professor

Dissertasiya şurasının elmi
katibi Texnika üzrə fəlsəfə doktoru,
dosent

Elmi seminarın sədri: Texnika elmləri doktoru, professor

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Hərəkətdə olan obyektlərin sayının durmadan artması və müxtəlifliyi informasiya-ölçmə sistemlərinin (İÖS) işlənməsinin zəruri olduğunu ön plana çəkir. İÖS-ləri 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 işləmə proseslərinin idarə edilməsi məqsədi ilə müasir kompüter texnologiyalarından geniş istifadə olunur.

Hərəkətdə olan obyektlərdə yaranan rəqsi proseslərin tədqiq edilməsinin aktuallığı texniki və texnoloji ölçmə qurğularının işlənməsi, sınaqdan keçirilməsi və istismarı ilə əlaqəli olub, bu tədqiqatların aparılması zamanı əsasən vibrometriyadan geniş istifadə olunur. Vibrometriya hərəkətdə olan obyektlərin qovşaq və mexanizmlərindən ötürülən rəqsi proseslərin səviyyəsinin ölçülməsi prosesi ilə məşğul olan elm sahəsidir. Bununla yanaşı, yüksək texniki-iqtisadi səmərə əldə etməyə, baş verə biləcək nadir hadisələrin qarşısını almağa imkan verən, son dövrdə mürəkkəb texniki sistemlərin və texnoloji proseslərin avtomatik idarə edilməsini, vibronəzarət, monitoring və diaqnostika proseslərini yerinə yetirən İÖS-lərdən də geniş istifadə olunur. Bu cür sistemlərin əsas qovşağı vibrasiya (titrəmə) və zərbədən yaranan rəqslərin parametrlərinin 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 piezoelektrik vibrasiya (titrəmə) ölçən çeviricilər və ya akselerometrlərdir ki, bunlar da generator tipli vericilərə aid olmaqla, vibrasiya və ya zərbənin sürətlərini bilavasitə onlara mütənəib elektrik siqnallarına çevirirlər.

Akselerometr elastik asqıya bərkidilmiş həssas kütləni təmsil

edir və həssas kütlənin ilkin vəziyyətindən yerdəyişməsi təcilin olduğu halda onun qiyməti haqqında informasiya daşıyır. Akselerometrlər bir tərəfindən sərbəst qurğudur və onun tərkibinə hərəkəti gövdənin hərəkətindən geri qalan, ətalət kütləsi adlanan xüsusi bir element, elastik dəstək (yay) sistemi və dempferləyici (alm. Dämpfer «səsboğucu, amortizator» - qurğularda, sistemlərdə və ya konstruksiyalarda onların istismarı zamanı yaranan vibrasiyaları söndürmək və ya qarşısını almaq üçün qurğu) söndürmə qurğusu daxildir. Hərəkətdə olan obyektlərin təcil vericisinin quruluşundan asılı olmayaraq, onun əsas məqsədi bu qurğunun gövdəsinə nisbətən həmin kütlənin yerdəyişməsini detektə etmək və onunla mütənasib elektrik signalına çevirməkdir. Buna görə də, akselerometrlərin başqa bir tərkib hissəsi vibrasiya nəticəsində yaranan rəqsi proseslərin çox kiçik amplitudlarını ölçməyə imkan verən yerdəyişmə detektorudur. Akselerometrin mexaniki rəqslərin təcillərinin qiymətlərinə uyğun çıxış signalı vibrasiya zamanı sürətinə və ya yerdəyişməsinə mütənasib olan elektrik signalına çevrilir.

Bununla əlaqədar hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələri haqqında informasiyanın qəbul edilməsini, çevrilməsini, emalını, yadda saxlanılmasını, ötürülməsini, operator tərəfindən qəbul edilməsini və (və ya) idarəetmə sistemində daxil edilməsini təmin edən İÖS-nin, avtomatik rejimdə akselerometrin həssaslığının, ölçmə dəqiqliyinin və doğruluğunun artırılmasına və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən, hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən akselerometrlərin və onların parametrlərinin analitik hesabat metodunun və işçi orqanının riyazi modelinin işlənməsi nəzəri və praktik aktuallığa malikdir.

Mövzunun işlənmə dərəcəsi. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsinə dair yerli və xarici alimlərin bir sıra elmi işləri və normativ-texniki sənədlər həsr olunmuşdur, lakin bunlar əsasən həmin obyektlərin sürətlərinin ölçülməsinə həsr olunmuşdur.

Hal-hazırda hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan İÖS-in, akselerometrlərin işlənməsi və tədqiqi ilə bağlı məsələlərə, yerli və

xaricdə kifayət qədər çox elmi əsərlər həsr olunmuşdur. Burada Q.Çilikin, Y.İorişin, A.Dmitriyevin, A.Yurinin, Q.Zlodeyevin, Y.Koptevin, S.Bazıkinin, V.Klyuyevin, N.Novukovun, V.Yançıqin, M.Narayananın, U.Lindemannın, A.Hockin, M.Stuberin, W.Keckin, C.Beckerin, S.Lakshminaryanın, T.Mansurovun və başqalarının işlərini qeyd etmək lazımdır.

Bu işlərin əksəriyyətində həssaslıq vektorlarının istiqamətləri ölçülən ətalət qüvvələrinin istiqaməti ilə müxtəlif tərəflərə istiqamətləndiyi üçün kiçik həddə dəyişən xətti ətalətlərin və yalnız təcilin ölçülməsini həyata keçirir, lakin sürətin ölçülməsini isə təmin etmir.

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 parametrlərini ölçmə üsulları və qurğularının riyazi modelləridir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İşin məqsədi real zaman miqyasında hərəkətdə olan obyektlərin yüksək dəqiqliklə dinamiki parametrlərinin ölçülməsini təmin edən xətti təcil və sürətlərinin ölçmə metodunun və vasitələrinin, yəni akselerometrlərin, onların işçi orqanlarının parametrlərinin analitik hesabat metodunun və riyazi modelinin işlənməsidir.

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

Formalaşdırılan bu məsələləri iki qrupa bölmək olar:

1. Problemin mövcud vəziyyətinin analizi əsasında real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan İÖS-nin funksional modelinin və akselerometrlərin işlənməsi:

1.1. Problemin mövcud vəziyyətinin analizi əsasında real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən akselerometrlərin işlənməsi ilə əlaqədar meyarların seçilməsi və məqsəd funksiyasının formalaşdırılması;

1.2. Real zaman miqyasında hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan İÖS-nin struktur sxeminin işlənməsi;

1.3. Real zaman miqyasında avtomaik rejimdə akselerometrin həssaslığının artırılması və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üçkoordinatlı akselerometrlərin işlənməsi;

2. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən vasitələrin, analitik hesabat metodu və riyazi modelinin işlənməsi:

2.1. Veriliş zamanı ötürülən optik şüanın enerji itkisinin azaldılmasına imkan verən prezision mövqeləşdirici qurğunun işlənməsi;

2.2. Real zaman miqyasında hərəkətdə olan obyektlərin parametrlərini təyin edən akselerometrlərin və işçi orqanlarının riyazi model və parametrlərinin analitik hesabat metodunun işlənməsi;

2.3. Real zaman miqyasında avtomaik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamiki parametrlərini ölçən akselerometrlərin işçi orqanının eksperimental tədqiqi.

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

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

- mövcud akselerometrlərdən akselerometrin işçi orqanı kimi istifadə olunan pyezoelektrik bimorf elementin həssaslıq oxunun ölçülən xətti hərəkətin ətalət qüvvəsinin istiqaməti ilə üst-üstə düşməsi ilə fərqlənən, akselerometrin həssaslığının artırılmasına və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən hərəkətdə olan obyektlərin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı avtomaik rejimdə xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlər;

- mövcud mövqeləşdirici qurğulardan fərqli olaraq işçi orqan kimi pyezoelektrik bimorf elementdən istifadə olunması və optik şüanın mövqeləşdirmə dəqiqliyinin artırılması hesabına enerji itkisinin azaldılmasına imkan verən prezision mövqeləşdirici qurğu;

- hərəkətdə olan obyektlərin dinamiki parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlərin parametrlərinin analitik hesabat metodu;

- hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyalı və üç koordinatlı akselerometrərin parametrlərinin riyazi modeli;

- real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyalı və üç koordinatlı akselerometrərin işçi orqanlarının eksperimental tədqiqinin nəticələri.

Tədqiqatın elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Problemin mövcud vəziyyətinin analizi əsasında real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyalı və üç koordinatlı akselerometrərin işlənməsi ilə əlaqədar yeni meyarlar seçilmiş və məqsəd funksiyası formaləşdirilmişdir.

2. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan informasiya-ölçmə sisteminin yeni struktur sxemi işlənmişdir;

3. Akselerometrərin işçi orqanları kimi pyezoelektrik bimorf elementdən istifadə olunmasının təklif olunması və akselerometrlərn həssaslıq oxunun ölçülən xətti hərəkətin ətalət qüvvəsinin istiqaməti ilə üst-üstə düşməsi hesabına akselerometrərin həssaslığının artırılmasına və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən hərəkətdə olan obyektlərin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı avtomatik rejimdə xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyalı və üç koordinatlı akselerometrlər işlənmişdir;

4. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini təyin edən akselerometrlər və onların işçi orqanlarının parametrlərinin analitik hesabat metodları və riyazi modelləri işlənmişdir;

5. Optik şüanın mövqələşdirmə dəqiqliyinin artırılması hesabına ötürülən optik şüanın enerji itkisinin azaldılmasına imkan verən optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğu işlənmişdir;

6. Hərəkətdə olan obyektlərin parametrlərini ölçən akselerometrərin işçi orqanının eksperimental tədqiqi aparılmış və alınan nəticələrin analizi verilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

Dissertasiya işində alınmış analitik asılılıqlar, riyazi modellər və hesabat metodları hərəkətdə olan obyektlərin dinamik

parametrlərinin ölçülməsi zamanı ölçmə dəqiqliyini, doğruluğunu və İÖS-lərinin funksional imkanlarını artırmağa imkan verir ki, bu da tədqiqatın nəzəri əhəmiyyətini müəyyənləşdirir.

Dissertasiya işində aparılmış eksperimental tədqiqatların nəticələri tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti kimi hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı yeni akselerometrlərin və İÖS-lərin işlənməsi zamanı əsas kimi qəbul edilə bilər.

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

Aprobasiya və tətbiqi.

Dissertasiya işinin əsas müddəaları və nəticələri məruzə və müzakirə olunub:

- Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” mövzusunda Respublika ETK-da (Bakı, 2016);

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

- “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri” adlı Beynəlxalq ETK-da (Bakı, 2016);

- “Müasir rabitə sistemləri” mövzusunda XX, XXI və XXII Beynəlxalq ETK-da (Минск, 2015, 2016-2 tezis, 2017);

- IEEE Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfransı «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 (MİÖİS’2019)” mövzusunda I və II Beynəlxalq EPK-da (Bakı, 2019, 2020) – 2 ədəd.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Müdafiə Sənayesi Nazirliyinin Milli Aerokosmik Agentliyində yerinə yetirilmişdir.

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

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda işarə ilə həcmi aşağıdakı kimidir:

Dissertasiyanın I bölməsinin həcmi _____ işarədən, II bölməsi _____ işarədən, III bölməsi _____ işarədən, IV bölməsi _____ işarədən, nəticə _____ işarədən, dissertasiyanın ümumi həcmi isə _____ işarədən ibarətdir.

Dissertasiya işinin **nəticələrinin əsaslandırılması** qəbul edilmiş elmi müddəalardan və aprobasiya olunmuş tədqiqat metodlarından istifadə etməklə dissertasiya işində alınmış nəticələrinin riyazi aparatının düzgün tərtibi, tətbiqi və nəticələrin məlum nəzəri nəticələrlə uyğunluğu ilə təsdiqlənir. Nəticələrin doğruluğu riyazi modelləşdirmənin köməyi ilə əldə edilmiş nəzəri nəticələrlə elmi və praktiki nəticələr arasında tam uyğunluğun olması ilə təsdiqlənir.

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

Dərclər. Dissertasiya işində alınmış nəticələr üzrə 30 iş dərc olunmuşdur ki, onlardan da 10 məqalə, 8 Beynəlxalq və Respublika ETK materialları, 1 ədəd Avrasiya və 2 ədəd Azərbaycan Respublikasının patenti alınmışdır.

Dissertasiya işi əsas hissədən və əlavədən ibarət olub, 168 səhifə əsas mətn, 38 şəkil, 89 adda ədəbiyyatın siyahısını birləşdirir. Əsas hissə giriş, dörd bölmədən, nəticə, istifadə olunan ədəbiyyatın siyahısı ibarətdir.

İşin qısa məzmunu

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

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

Qeyd etmək lazımdır ki, İÖS-lərin xüsusiyyətlərinin və inkişaf mərhələlərinin analizi göstərir ki, İÖS-lərinə çoxprosessorlu sistemlərdən istifadə olunması bir tərəfdən emal və idarəetmə funksiyalarını ayırmağa, bu proseslərin paralelləşdirilməsi hesabına onun cəldişləməsinə kifayət qədər artırmağa, digər tərəfdən İÖS-lərin inkişafı onların real zaman miqyasında böyük həcmli və yüksək etibarlıqlı ölçmələrin aparılmasına, ölçmə prosesində subyektiv amilin təsirinin azaldılmasına, istifadə olunan texniki ölçmə vasitələrinin xüsusiyyətlərinin nəzərə alınmasına və sistemin işlənməsi və layihələndirilməsinə qoyulan xüsusi tələblərin ödənilməsinə imkan verir. Bununla yanaşı hərəkətdə olan müasir tədqiqat obyektləri yüksək sürətlə dəyişən çox saylı parametrlərlə xarakterizə olunması süni intellekt əsasında müasir informasiya-ölçmə texnologiyalarından istifadə olunması aparat və proqram təminatının ölçülən fiziki kəmiyyətlərin siyahısını genişləndirməyə və həmin fiziki kəmiyyətlərin ölçmə proseslərini təmin etməyə imkan verir. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı akselerometrlərin piezoelektrik, piezoresistiv, tutuma malik, Xoll effektiv, maqnitorezistiv, istilik ötürmə və MEMS (Mikro Elektromexaniki Sistemlər) texnologiyalarından istifadə olunur. Akselerometrlərin baxılan texnologiyaları içərisində pyezoelektrik akselerometrlər yüksək dəqiqliyə malik olduqları üçün hərəkətdə

olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərinin ölçülməsi zamanı bu növ akselerometrlər geniş tətbiq olunurlar.

Yuxarıda göstərilən prinsipləri əsas götürərək, akselerometrlərin optimal iş rejimini qiymətləndirmək üçün məqsəd funksiyasını aşağıdakı asılılıqla ifadə etmək olar:

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

burada $\delta_{ölç}$ – ölçmə prosesində yaranan nisbi xətalər; P_m – koordinat sisteminin ölçmə aparılmayan koordinat oxu üzrə yaranan maneə səviyyəsi; τ_{ti} – 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.

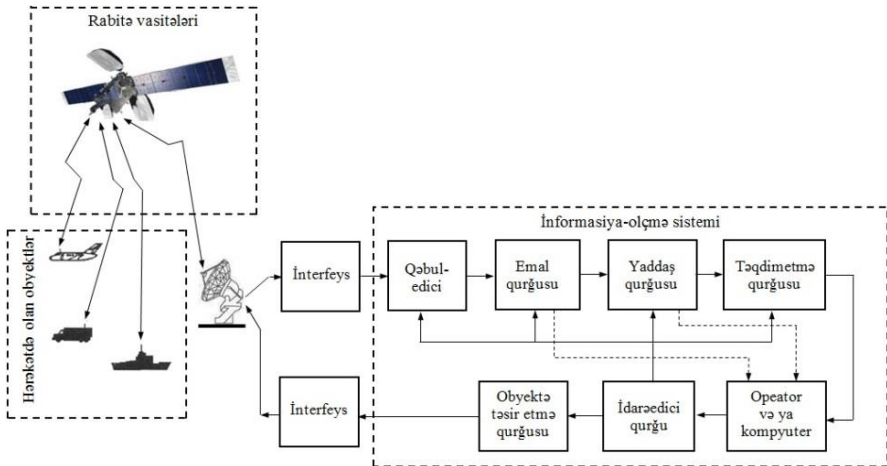
Bununla əlaqədar olaraq, real zaman miqyasında hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsinə, piezoelementin qütbləşmə vektorunu akselerometrin həssaslıq oxu istiqamətinə, yəni hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil vektorunun istiqamətinə yönəltməyə imkan verən piezoelektrik akselerometrlərin, onların riyazi əsaslarının, parametrlərinin analitik hesabat üsulunun və işləmə prosesinin riyazi modelinin işlənilib hazırlanması vacib məsələlərdən biridir.

İkinci fəsildə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan informasiya-ölçmə kompleksinin (İÖK), dinamik parametrləri ölçən vibrasiyalı piezoelektrik və üç koordinatlı akselerometrin və İÖK-nin modullararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işlənməsi məsələləri həll olunmuşdur.

Qeyd etmək lazımdır ki, piezoelektrik akselerometrlər müxtəlif növ qısamüddətli mexaniki rəqslər və zərbələrin təhrif olunmadan işlənməsini asanlaşdıran yüksək xətti vibrasiya vericilərdir.

İÖS-lərin vasitəsi ilə hərəkətdə olan obyektlərdən ölçülən

dinamik parametrlər haqqında informasiyanın qəbul edilməsi, emal olunması, yadda saxlanılması, informasiyanın operatora və ya kompüterə ötürülməsi, ölçmə aparılan obyektlərə idarəedici təsirlərin formalaşdırılması və s. əsasında işlənmiş İÖS-nin struktur sxemi şəkil 1-də verilmişdir.



Şəkil 1. İÖS-nin struktur sxemi

Aparılmış analizlər göstərir ki, mövcud təcil ölçən akselerometrlərdə elektromaqnit sahəsi yaradan elementlərin sayının çox olması ilə əlaqədar onların konstruksiyaları müəyyən dərəcədə mürəkkəbləşdirir və yaranan elektromaqnit sahələrinin ölçmə prosesinin dəqiqliyinə təsirini aradan qaldırmaq üçün əlavə tədbirlərin görülməsi zəruriyyəti meydana çıxır. Bundan başqa mövcud akselerometrlər əsasən vibrasiya və zərbə nəticəsində yaranan təcillərin ölçülməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur, bu cür akselerometrlər hərəkətdə olan obyektlərin hərəkət sürətlərini ölçməyə imkan vermir. Digər tərəfdən akselerometrin həssaslıq oxunun istiqaməti pyzoelektrik elementin polyarizasiya vektorlarının istiqaməti ilə eyni şaquli istiqamətə yönəlmiş və ölçmə obyektində vibrasiya və zərbələrin də şaquli istiqamətdə baş verməsi ilə, yəni həssaslıq vektorlarının istiqamətləri ölçülən ətalət qüvvələrinin istiqaməti ilə müxtəlif tərəflərə istiqamətləndiyi üçün

kiçik həddə dəyişən xətti ətalətlərin və yalnız təcilin ölçülməsini həyata keçirir, lakin sürətin ölçülməsini isə təmin etmir.

Zamanın istənilən anında pyezoelementin sərbəst ucunun təcilinin vektorunu zaman vektoru üzrə diferensiallamaqla aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

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

burada $\vec{i}$ – pyezoelektrik bimorf elementin sərbəst ucunun təcili (m/s^2), $\vec{v}$ – sürət (m/s), t – zaman (s), r – hərəkət trayektoriyasıdır.

Əgər pyezoelektrik bimorf elementin sərbəst ucunun hərəkət trayektoriyasını $\vec{r}(t) = \vec{r}_0$ və t_0 – zaman anında $\vec{i} = (t) -$ təcilinin zamandan asılılığını nəzərə alsaq, onda (4) tənliyini integrallamaqla sərbəst ucun hər bir t – zaman koordinatını və $\vec{v}$ – sürətini aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \int_{t_0}^t (t) dt, \quad (3)$$

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

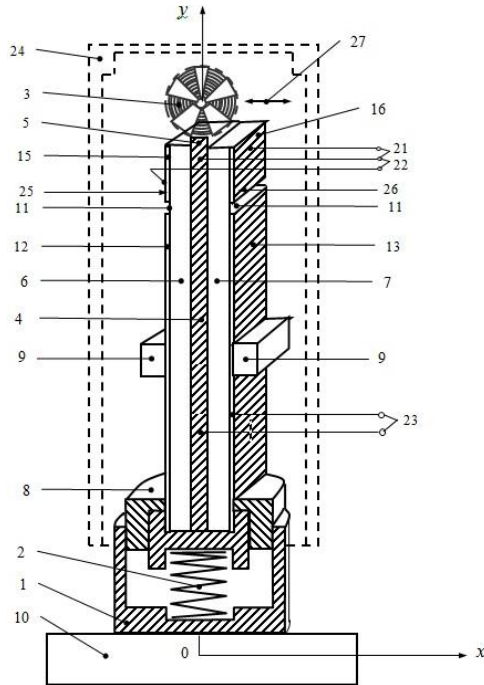
Ümumi halda, əgər $\vec{i}$ vektoru zamana görə sabitdirsə, onda bu hərəkət bərabərtəcilli hərəkət sayılır və bunu nəzərə alaraq (3) və (4) ifadələrini sadələşdirərək aşağıdakı riyazi asılılıqları alırıq:

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

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

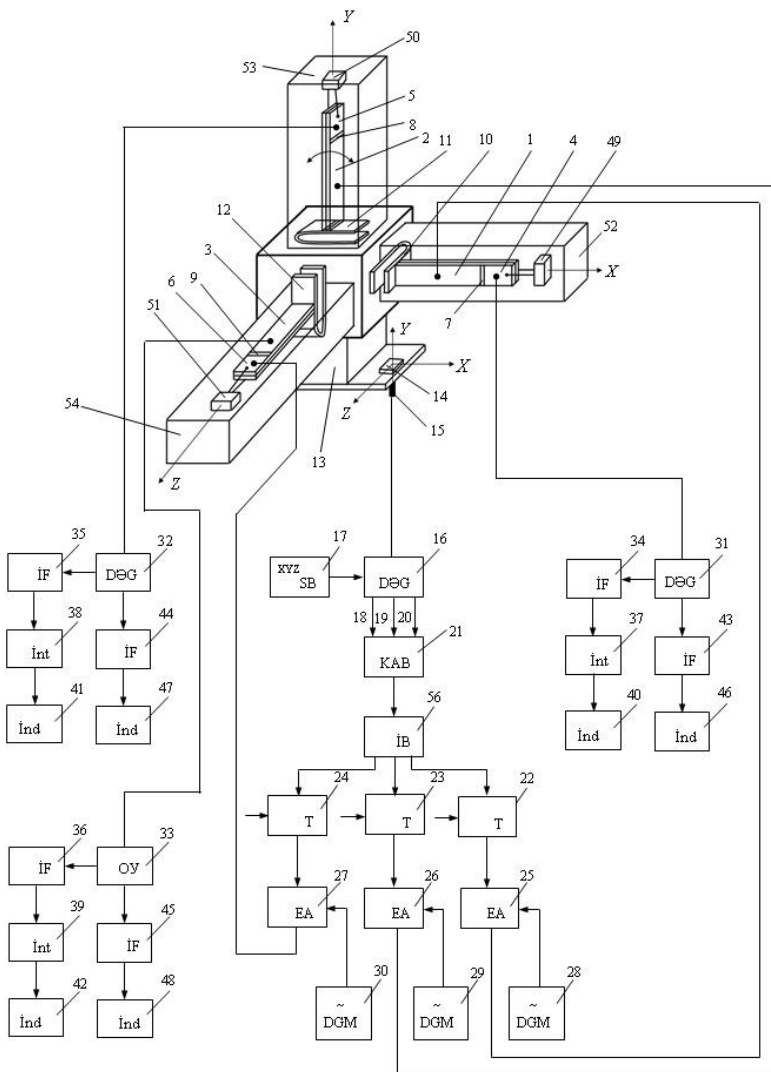
Bu riyazi modelə əsaslanaraq pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometr işlənmişdir ki, şəkil 2-də ölçmə obyektinin hərəkət oxuna nəzərən akselerometrin konstruktiv sxemi verilmişdir.

Hərəkət vaxtı yaranan ətalətin təsirinin artması və pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometrin iki iş rejimində işləmə imkanının olması akselerometrin funksional imkanlarının genişləndirilməsini təmin edir, akselerometr həm hərəkət vaxtı yaranan təcilin və həm də integrator vasitəsi ilə siqnalı integrallamaqla sürətin ölçülməsini təmin edir.



Şəkil 2. Ölçmə obyektinin hərəkət oxuna nəzərən
akselerometrin konstruktiv sxemi

Pyzeoelektrik vibrasiyalı akselerometrlə yanaşı avtomatik rejimdə ölçmə obyektinin xətti təcil və sürətini ölçən üçkoordinatlı akselerometrin struktur sxemi şəkil 3-də verilmişdir.



Şəkil 3. Avtomatik rejimdə ölçmə obyektinin xətti təcil və sürətini ölçən üçkoordinatlı akselerometrin struktur sxemi

Təklif olunan pyezoelektrik vibrasiyalı və üçkoordinatlı akselerometr uçuş aparatlarının xətti təcil və sürətlərinin ölçülməsi, obyektin düzbucaqlı koordinat sistemində üç koordinat 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.

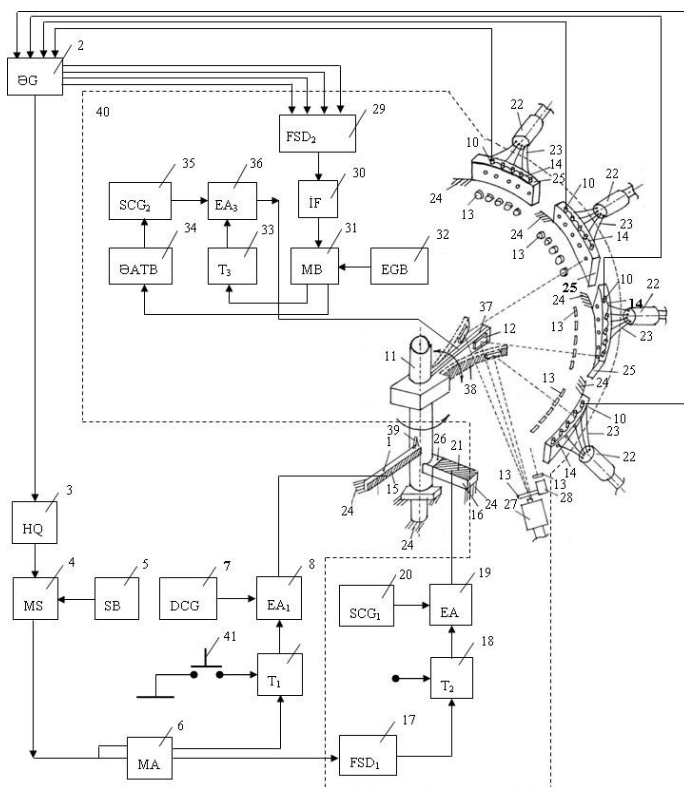
Optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusunun (PMQ) işləmə effektivliyi bir çox kriteriyalarla təyin olunur ki, bunlara da optik lifə daxil edilən optik şüanın enerji potensialının artırılması, mövcud OLRX-nin istifadə effektivliyinin artırılmasını, dispersiyanın azaldılmasını, aralıq regenerasiya məntəqələrinin sayının azaldılmasını, optik şüanın və optik liflərin mövqələşdirmə prosesinin istifadə olunmasının əsas qanunauyğunluqlarının tədqiqini və optik şüanın maksimum enerji potensialının optik liflərə daxil edilməsini aid etmək olar.

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq məqsəd funksiyası kimi təklif olunan prezision mövqələşdirici qurğusunun effektivliyini aşağıdakı asılılıqla ifadə etmək olar:

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

burada $t_{möv}$ – mövqələşdirmə prosesinə sərf olunan müddət; a_{ds} – mövqələşdirmə prosesində kvant selinin OPMQ tərəfindən daxil edilən sönmə; A_0 – optik siqnalın əksolunma itkisi; $A_{\gamma i}$ – şüalanma itkiləri; $\Delta_{möv}$ – mövqələşdirmə prosesində yaranan xəta; $\nu_{möv}$ – mövqələşdirmə sürəti; $\eta = P_{dg} / P_{\epsilon}$ – optik şüanın gücünün optik lifə daxiləlmə əmsalı, burada P_{dg} – optik şüanın optik lifə daxil edilən gücü; $P_{\epsilon g}$ – optik şüa mənbəyinin çıxış gücüdür.

Məqsəd funksiyası əsasında optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusu işlənmiş və onun vasitəsi ilə optik şüanın mövqələşdirmə dəqiqliyinin artırılması təmin olunur ki, bu da ötürülən optik şüa siqnallarının enerji itkisinin azaldılmasına gətirib çıxarır, optik lifli rabitə xəttinin optik lifinə optik şüanın mövqələşdirilərək daxil edilməsi zamanı yaranan itkilər 0,8...3,0 dB təşkil edir. İdarəetmə blokuna malik optik şüanın prezision mövqələşdirici qurğusunun struktur sxemi şəkil 4-də verilmişdir.



Şəkil 4. Prezision mövqeləşdirici qurğusunun struktur sxemi

Təklif olunan prezision mövqeləşdirici qurğu şaxələndirilmiş OTŞ-ləri qurularkən istifadə olunan OTS-lərinin komponenti kimi optik şüanın ötürülməsini həyata keçirən sistemlərə aid olub, bu qurğu OTS-lərində optik şüanın optik lifə daxil edildiyi zaman optik şüa mənbəyinin çıxışının optik lifin girişi ilə, optik lifin çıxışının optik şüa qəbuledicisinin girişi ilə dəqiq mövqeləşdirici qurğularının işlənməsi zamanı istifadə edilə bilər.

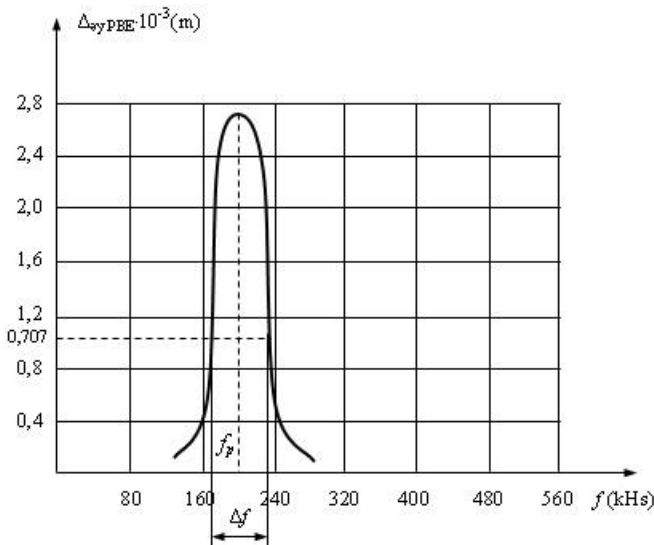
Üçüncü fəsilə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələrinin verilişi zamanı istifadə olunan optik kommutatorların parametrlərinin tədqiqi, İÖS-lərinin qurğulararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun riyazi modeli işlənmişdir.

Optik rabitə kanalının optik kommutatorunun (OK) çıxış signalının maksimal mümkün enerji potensialının optik lifə və optik lifin çıxışından isə optik signal qəbuledicisinin girişinə ötürülməsini təmin etməlidir. Optik rabitə kanalı üzrə informasiyanın və optik maneənin verilişinin OK-nın konstruksiyasının mürəkkəbliyi optik veriliş sisteminin xarakteristikaları ilə müəyyən olunur.

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

$$\sigma_{ey.bur} \leq 0,75 \cdot \sigma_{m.ey}, \quad (8)$$

burada Q_m – mexaniki möhkəmlik olub, PE-nin amplitud-tezlik xarakteristikasından (ATX) $\Delta_{ey.PE} = \varphi(f)$ təyin olunur (şəkil 5).



Şəkil 5. Optik kommutatorun PBE-nin ATX

Xarakteristikanın bütün nöqtələri ölçmələrin başlanğıc və sonundakı rəqslərin amplitudasına uyğun gəlir. Qida gərginliyinin tezliyi stroskopun işıq parıltılarının tezliyinə tam dəfəli nisbətdə

olduqda xəyali hərəkətsiz kimi görünən parıltılar, tezliklər arasında fərq kiçik olduqda güzgülü təbəqənin sonunun asta yerdəyişməsi qeyd olunur.

Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçmə nəticələrinin verilişi zamanı istifadə olunan çoxkanallı optik kommutatorun parametrlərinin tədqiqi

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 tipli pyezoelementin sıxlığıdır.

Pyezoelementin rezonans tezliyi aşağıdakı kimi təyin olunur:

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

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

Yuklu pyezoelementin işçi sonluğunun sürəti

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

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

İşçi orqanın optik kommutasiya prosesinin dəqiqliyini təyin etmək üçün eksperimentlər aparılmışdır. Təcrübi eksperimentlərin aparılması zamanı nəzarət-ölçü başlığı işçi orqanın sərbəst sonluğuna 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 kəsilir və işçi orqanın dayandırılması prosesi baş verir və o dayanır, bu halda foton kommutasiya prosesinin dəqiqliyi nəzarət-ölçü başlığı ilə qeyd edilir. Aparılmış eksperimentlərin nəticələri cədvəl 1 və 2-də verilmişdir.

Cədvəl 1

Nö	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 , %	0,0013	0,0031	0,0054	0,0067	0,0071

Cədvəl 2

Nö	Eksperiment 100 mm uzunluqlu sahədə aparılmışdır					
1	Pyezoelementin işçi orqana sıxılma qıvvəsi, 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

Prezision mövqələşdirici qurğunun içiboş pyezoelektrik silindri şəklində işçi orqanının 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 deformasiya 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 piezoelementinin mexaniki rəqslərinin qiymətinin analitik hesabat metodu

Bir tərəfi bərkidilmiş düzbucaqlı lövhənin yayının əyilmə elastik deformasiyası nəzəriyyəindən məlum olduğu kimi lövhənin en kəsiyində maksimum gərginlik

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

və əyilmə deformasiyasının 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 daxilədlmə xətası 0,17...0,65% təşkil edir.

Dördüncü fəsilə ölçmə nəticələrinin İÖK-nə bir- və çoxmodlu veriliş üsulunda optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işçi orqanının riyazi modelinin işlənməsi və İÖK-nin modullararası ötürülən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun eksperimental tədqiqi məsələləri həll olunmuşdur.

Optik nəqliyyat şəbəkələri 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 bir 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:

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

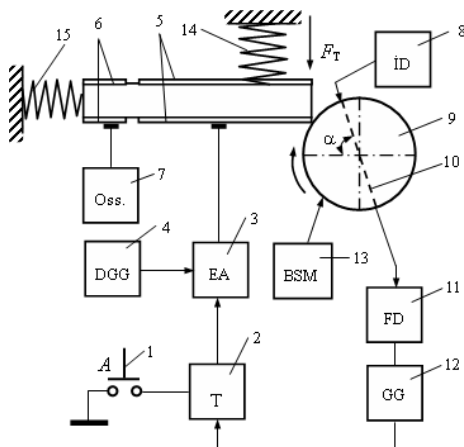
burada T_m – lövhənin mərkəzində mexaniki gərginlik olub, $19,6 \cdot 10^6 \text{ (N / m}^2\text{)}$ – ə bərabərdir; l_1 – pyezoelementin uzunluğu olub, $5 \cdot 10^{-2} \text{ (m)}$ – ə bərabərdir; E_y – Yunq modulu (kövrəklik modulu) olub, STBQ-3 (sirkonat-titanat barium qurğuşundan ibarət pyezosaxsı)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

Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusunun işini xarakterizə edən göstəricilərin təyin edilməsi məqsədi ilə riyazi model işlənməlidir. İşlənməmiş 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

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

İşlənmiş riyazi modellər əsasında optik şüanın prezison mövqeləşdirici qurğusunun parametrlərinin və xarakteristikalarının hesabat nəticəsində alınmış qiymətlərinin eksperimental qiymətlərlə müqayisəsini aparmaq və nəzəri və eksperimental nəticələrin fərqlənmə dərəcəsini qiymətləndirmək üçün eksperimental tədqiqat qurğusunun struktur sxemi işlənmişdir ki, bu da şəkil 6-da verilmişdir.



Şəkil 6. Optik şüanın prezison mövqeləşdirici qurğusunun eksperimental tədqiqat sxemi

Piezoelektrik mühərrik “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. Pyezoelektrik mühərrik $t_{is_i}, i=\overline{1,5}$ 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 dəşiklər -10 vasitəsi ilə fotodioda (FD) -11 düşənə qədər pyezoelektrik mühərrikin 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 $5 \cdot 10^{-3} \dots 88 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ diapazonunda və işçi orqana sıxma qüvvəsinin $1,3 \dots 4,1 \text{ N}$ həddində (uyğun olaraq sıxma momentinin $0,248 \dots 0,288 \text{ N/m}$ 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 $1 \dots 3 \text{ mkm}$, yaranan xəta isə $0,13 \dots 0,71\%$ təşkil etmişdir. Birmodlu optik lifin diametri $8 \dots 10 \text{ mkm}$ təşkil etdiyi üçün güzgüdən əks olunaraq skan olunan siqnalın $70 \dots 80\%$ -ni əhatə edir ki, bu da pyezoelektrik addım mühərrikinin valının lazımi 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 xarakteristikalarının ədədi qiymətləri alınmış və cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 3. Pyezoelektrik addım mühərrikinin xarakteristikalarının ədədi qiymətləri

No	Xarakteristikalar	Ədədi qiymətlər				
1.	Pyezoelementin pyezoelektrik addım mühərrikinin işçi orqanına 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, $M_{üm} (N \cdot m)$	0,248	0,268	0,276	0,282	0,288
5.	Pyezoelektrik addım mühərrikinin işəsalınma müddəti, $t_{iş} \cdot 10^{-3} (s)$	1,4				
6.	Pyezoelektrik addım mühərrikinin əyləcləmə müddəti, $t_{əyləç} \cdot 10^{-3} (s)$	18	8	1,2	0,5	0,07

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.

Nəticə

Dissertasiya işində aparılmış nəzəri analizlərin, eksperimental tədqiqatların və verilmiş təkliflərin nəticələri real zaman miqyasında avtomatik rejimdə hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini, yəni xətti təcil və sürətlərini ölçmək üçün istifadə olunan 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 üç koordinatlı akselerometrlərin işlənməsi ilə əlaqədar meyarlar seçilmiş və məqsəd funksiyası formalaşdırılmışdır.

2. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərinin ölçülməsi zamanı istifadə olunan informasiya-ölçmə sisteminin yeni struktur sxemi işlənmişdir.

3. Akselerometrlərin işçi orqanları kimi pyezoelektrik bimorf elementdən istifadə olunmasının təklif olunması və akselerometrlərn həssaslıq oxunun ölçülən xətti hərəkətin ətalət qüvvəsinin istiqaməti ilə üst-üstə düşməsi hesabına akselerometrlərin həssaslığının artırılmasına və funksional imkanlarının genişləndirilməsinə imkan verən hərəkətdə olan obyektlərin hərəkət istiqamətinin tez dəyişməsi zamanı avtomatik rejimdə xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyali və üç koordinatlı akselerometrlər işlənmişdir.

4. Hərəkətdə olan obyektlərin dinamik parametrlərini təyin edən akselerometrlər və onların işçi orqanlarının parametrlərinin analitik hesabat metodları və riyazi modelləri işlənmişdir.

5. Optik şüanın mövqeləşdirmə dəqiqliyinin artırılması hesabına ötürülən optik şüanın enerji itkisinin azaldılmasına imkan verən optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusu işlənmişdir;

6. Hərəkətdə olan obyektlərin parametrlərini ölçən akselerometrlərin işçi orqanının eksperimental tədqiqi aparılmış və alınan nəticələrin analizi verilmişdir.

Dissertasiya işində alınmış nəticələr aşağıdakı elmi əsərlərdə öz əksini tapmışdır:

1. Mansurov T.M., Алиев Ч.П., Quliyeva G.İ. Elektrik ölçmələri və vasitələri. Ali məktəblər üçün dərslik. -Bakı, Xəzər universitetinin nəşriyyatı, 2018. -332s.
2. Mansurov T.M., Hüseynov B.İ., 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.
3. Mansurov T.M., 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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-nin materialları. -Bakı, AzTU, 2016. s.38-41.
7. Mansurov T.M., Алиев Ч.П., Джебраилова С.А. Задачи разработки и моделирование оптоэлектронных компонентов оптической связи / Сборник научных трудов Одесской Национальной Академии Связи им. А.С.Попова. -Одесса, 2016, № 2. с.88-98.
8. 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.

9. 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 (IIAEM), Volume 6, Issue 2, February 2017. p.20-25.
10. Мансуров Т.М., Алиев Ч.П., Халилов С.И. Методы и средства управления направлением оптического излучения в оптических системах // Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” adlı Respublika ETK-in materialları. -Bakı, AzTU, 2017. s.159-164.
11. 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.
12. 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.
13. Mansurov T.M., Hüseynov B.İ., Əliyev Ç.P., Cəbrayıllova S.Ə. Optik şüanın prezision mövqeləşdirici qurğusu (azərbaycan 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.
14. Mansurov T.M., Hüseynov B.İ., Əliyev Ç.P., Cəbrayıllova S.Ə. Optik şüanın prezision mövqeləşdirici 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.

15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Mansurov T.M., Əliyev Ç.P. Pyezoelektrik vibrasiyalı akseleometr (azərbaycan dilində) / Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyi. Patent və Əmtəə Nişanlarının Ekspertizası Mərkəzinin Rəsmi bülleteni № 8. -Bakı, 2019, 31.10.2019. s.11.
19. Mansurov T.M., Əliyev Ç.P. Pyezoelektrik vibrasiyalı akseleometr (rus dilində) / Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyi. Patent və Əmtəə Nişanlarının Ekspertizası Mərkəzinin Rəsmi bülleteni № 8. -Bakı, 2019, 31.10.2019. s.44,45.
20. 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 от 28.09.2018. с.125.
21. 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, АГУПН, 2019. с.159.

22. Əliyev Ç.P. Hərəkətdə olan obyektlərin xətti təcil və sürətlərini ölçən pyezoelektrik vibrasiyalı akselerometrin riyazi modeli // “Telekommunikasiyada innovativ texnologiyalar” mövzusunda Beynəlxalq ETK-in materialları. -Bakı, AzTU, 2019. s.163,164.
23. 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.
24. Mansurov T.M., Əliyev Ç.P. Pyezoelektrik vibrasiyalı akseleometr // Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyi. İxtira üzrə Patent № İ 2020 0027. -Bakı, 2020, 15.07.2020. 13s.
25. 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.
26. 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.
27. 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. 159.
28. 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.
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. 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 Infocommunications. science and Technology” (PIC S & T ' 2022). -Kharkov, Ukraine, 2022. p.117-122.

Dissertasiyanın müdafiəsi _____ 2024-cü il tarixdə saat 11⁰⁰-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.41 dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1073, 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 “_____” _____ 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 01.03.2024

Kağızın formatı: A5

Həcmi: 60591

Tiraj: 100