

UOT 621. 391.272

**AKUSTOOPTİK MARKER, ONUN İŞLƏNMƏSİ VƏ TƏDQIQI****A.R. Həsənov, E.A. Ağayev**

Milli Aviasiya Akademiyası

*Bu məqalədə yüksək dəqiqliyə malik distant ölçmələr üçün markerin xüsusiyyətləri, onun formalaşdırılmasının akustooptik üsulu və həmin üsulun reallaşdırılması üçün vasitələr müzakirə olunur. Üsul Breq difraksiyası rejimində işləyən akustooptik modulyator əsasında sintez olunur. Dayaq parametri kimi lazer uzaqlıqölçəni vasitəsi ilə təyin edilmiş məsafə istifadə edilir. Dayaq parametri əsasında ona perpendikulyar olan və yüksək dəqiqliyə malik ölçü markeri formalaşdırılır. Təqdim olunan üsul nəzəri tədqiqatlar, ədədi analizlər və zəruri interpretasiyalar ilə təsdiqlənir. Nəzəri tədqiqatların nəticələri eksperimental aprobeasiya olunur. Nəzəri və eksperimental tədqiqatların nəticələri uyğun cədvəl və qrafiklər ilə təqdim olunur.*

*Açar sözlər: akustooptik, marker, modulyator, lazer, məsafədən ölçmə, elektroakustik çevirici, fotoelastik mühit, akustooptik prosessor.*

**Giriş**

Bir çox praktiki məsələlərin həlli prosesində obyektin ölçülərinin və ya hər hansı bir ölçüsünün məsafədən (distant) təyini problemi yaranır. Bu problemin həlli üçün müxtəlif üsullardan istifadə olunur. Geniş yayılmış yanaşmalardan biri obyektin fəza modelinin qurulması və sonra onun həndəsi ölçülərinin təyininə əsaslanır. Obyektin fəza modelinin qurulması üçün skanerləyici lazer uzaqlıq ölçənlərindən [1], passiv və aktiv videomüşahidələrin müxtəlif alqorimlərindən [2,3,4] və s. istifadə olunur. Böyük ölçülü obyektlərin həndəsi parametrlərinin lazer treanqulyasiyası prinsipinə əsaslanan təyini üsulu da məlumdur [5].

Obyektin ölçülərinin və ya hər hansı bir ölçüsünün distant təyini probleminin həllinin yuxarıda təsvir olunan üsul və vasitələrinin heç biri yüksək dəqiqlik təmin etmir və kiçik (məsələn, santimetr və daha kiçik tərtibli) ölçülərin təyini üçün istifadə oluna bilməz.

Kiçik ölçü və sürüşmələrin təyini üçün üsul [6] sayılı məqalədə müzakirə olunur. Burada ölçülməsi tələb olunan obyektin videogörüntüsü, üfüqi və şaquli xətlərin sintezindən ibarət olan ölçü toru ilə müqayisə olunur. Ölçü toru və obyektin videogörüntüsü monitora müxtəlif kanallar vasitəsi ilə birlikdə canlandırılır. Ona görə də, miqyasların ayrılıqda dəyişdirilməsi mümkün olur.

Ölçmə prosesi seçilmiş markerə əsasən həyata keçirilir. Ölçü torunun parametrləri markerə uyğunlaşdırılır. Aydın ki, ölçmənin dəqiqliyi seçilmiş markerin dəqiqliyi ilə müəyyən olunur. Göstərilən işdə marker kimi tədqiqat obyektinin əvvəlcədən məlum olan xarakterik ölçüsündən istifadə etmək tövsiyə olunur. Tədqiqat obyektinin xarakteristikaları məlum olmadığı halda ölçmənin aparılmağı qeyri-mümkün olur. Bu şəraitdə digər markerin olması zəruridir. Markerin düzgün seçimi, kiçik ölçülərin təyini üçün təklif olunan üsulun əsas çətinliyidir.

Yuxarıda qeyd olunanlardan aydın görünür ki, yüksək dəqiqliyə malik markerin formalaşdırılması üsulunun və onu reallaşdıran qurğunun yaradılması yüksək aktuallığa malikdir. Belə marker sadəlik və dəqiqlik tələblərinə cavab verməklə bərabər istifadə də sadə olmalıdır.

**İşin məqsədi** distant ölçmələr üçün tələb olunan dəqiqliyə malik akustooptik markerin yaradılması, onun nəzəri əsaslarının işlənməsi və eksperimental aprobeasiyasıdır.

Distant ölçmələr üçün zəruri olan markerin reallaşdırılması kontekstində fotoelastik effekt yüksək potensiala malikdir [7]. Bu effektin reallaşdırılması üçün akustooptik modulyator (AOM) adlandırılan qurğudan istifadə olunur. AOM, bir ucuna elektroakustik çevirici (EAÇ) digərinə isə akustik uducu (AU) bərkidilmiş fotoelastik mühitdən (FEM) ibarətdir. FEM kimi şüşəvari və ya kristallik materiallardan istifadə olunur. EAÇ girişə verilən elektrik siqnalını elastik dalğaya

çevirir. Bu dalğa FEM-də AU tərəfə qaçan difraksiya qəfəsi formalaşdırır. Həmin difraksiya qəfəsi mühitin sıxlığının periodik dəyişməsi kimi özünü büruzə verir. FEM-in səthinə müəyyən bucaq altında istiqamətlənmiş lazer şüası qaçan difraksiya qəfəsindən səpələnir – difraksiya olunur.

Akustooptik markerin praktiki reallaşdırılmasının mükəmməlliyini və sonrakı fiziki-riyazi interpretasiyaların aydınlığını təmin etmək məqsədi ilə AOM-un əsas tərkib hissələrinin mühüm xarakteristikalarının qısa analizinin aparılmağı məqsəduyğundur.

Fotoelastik effekti xarakterizə edən əsas kəmiyyətlər FEM-in keyfiyyət əmsalı  $M$ , difraksiya effektivliyi  $\eta$  və qarşılıqlı təsir parametridir  $Q$ . Bu kəmiyyətlər aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$M=n^6 p^2 / (\rho v^3); \eta = (\pi^2 M P_a L) / (2 \lambda^2 H); Q = K^2 L / (k \cos \theta_0),$$

burada  $n$  - sınma əmsalı;  $p$  - fotoelastik sabit;  $\rho$  - FEM-in sıxlığı;  $v$  - elastik dalğanın FEM-də yayılma sürəti;  $P_a$  - akustik güc;  $L$  - EAÇ-ın (akustooptik qarşılıqlı təsirin) uzunluğu;  $H$  - EAÇ-ın eni;  $\lambda$  - işığın dalğa uzunluğu;  $\theta_0$  - işığın FEM-in səthinə düşmə bucağı;  $K=2\pi/\Lambda$  - elastik dalğanın faza əmsalı (dalğa ədədi);  $k=2\pi/\lambda$  - işıq dalğasının faza əmsalı (dalğa ədədi);  $\Lambda$  - FEM-də akustik dalğanın uzunluğudur.

Materialın keyfiyyət əmsalı  $M$  qarşılıqlı təsirin həndəsi quruluşundan asılı olmur və difraksiyanın daxili effektivliyini xarakterizə edir. Ona görə də FEM seçilən zaman bu parametrlər əsas hesab edilir.

Akustooptik markerin reallaşdırılması prosesində tətbiqi tövsiyə olunan bir sıra fotoelastik materialların parametrləri cədvəl 1-də verilir.

Cədvəl 1

Bir sıra fotoelastik materialların parametrləri

Sıra №-si	Material	Şifflilik oblastı, mkm.	$\lambda$ , mkm.	Sıxlıq, $\rho$ , q/sm <sup>3</sup>	Akustik dalğa		Optik dalğa		Keyfiyyət $M \cdot 10^{-15}$ , s <sup>3</sup> /kq	$p$	Mənbə
					Növü <sup>1</sup> və yayılma istiqaməti	$v$ , km/s	Polyarizasiya istiqaməti <sup>2</sup>	$N$			
					1	$LiNbO_3$	0,4÷4,5	0,633	4,64	L[100]	6,57
					S[001]	3,59	⊥	2,29	2,92		[8]
			0,633		S[110]	1,77	[100]	2,55	5,17		[8]
2	$SiO_2$	0,12÷4,5	0,589	2,648	L[001]	3,63	⊥	1,544	1,48	0,27	[8]
			0,589		L[100]	5,72	[001]	1,553	2,38		[8]
			0,633		L[100]	3,56		1,986	50		[8]
3	$PbMoO_4$	0,42÷5,5	0,633	6,95	L[001]	3,63		2,262	36,3	0,3	[8]
4	$TeO_2$	0,35÷5	0,633	6	L[001]	4,2	⊥	2,26	34,5	0,339	[8]
<b>Şüşəvari material</b>											
5	TФ-7		0,633	4,52	L	3,63	⊥	1,728	5,12	0,204	[8]

<sup>1</sup> L - uzununa dalğa, S - yerdəyişmə dalğası;

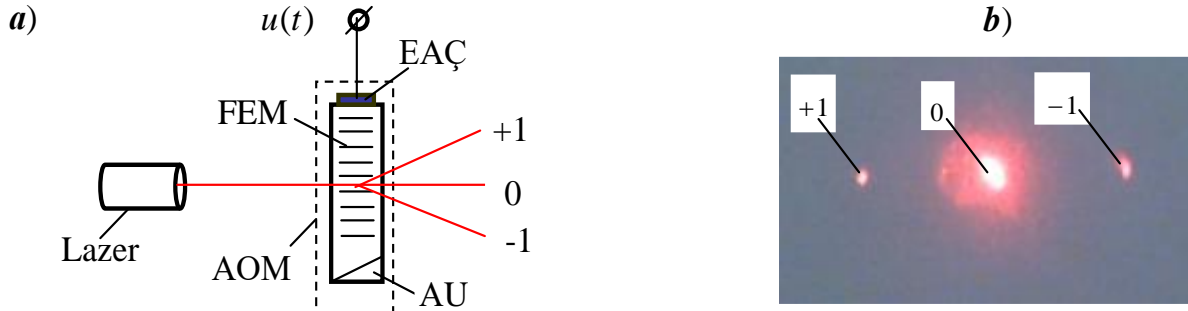
<sup>2</sup> ||, ⊥ - optik dalğanın polyarizasiya istiqamətinin akustik dalğa vektoruna uyğun olaraq paralel və ya perpendikulyar olduğunu göstərir.

Cədvəl 1 – də verilən fotoelastik materialların parametrlərinin müqayisəli analizindən aydın görünür ki, akustooptik marker qurulan zaman kristallik materialların tətbiqi daha yaxşı nəticələr təmin edə bilər.

AOM-un digər əsas tərkib hissəsi EAÇ-dır. Müasir akustooptik prosessorlarda 150-200 MHz tezliklərə qədər EAÇ kimi  $LiNbO_3$ , daha yüksək tezliklərdə isə -  $ZnO$  geniş tətbiq olunur. Qeyd edək ki,  $LiNbO_3$  əsasında hazırlanmış EAÇ-ın qalınlığı bir neçə millimetr təşkil etsə də,  $ZnO$  halında bu ölçü bir neçə mikrondan böyük olmur.

Raman-Nat və Breq difraksiyalarını fərqləndirirlər. Raman-Nat difraksiyası lazer şüasının FEM-in səthinə perpendikulyar düşdüyü halda müşahidə olunur (şəkil 1). Fotoelastik qarşılıqlı təsirdən sonra AOM-un arxa fokal müstəvisində simmetrik difraksiya tərtibləri formalaşır. Qeyd edək ki, şəkil 1 – də zəif fotoelastik qarşılıqlı təsire xas olan iki difraksiya tərtibi göstərilmişdir. Şəkil 1,a Raman-Nat difraksiyasının sxematik təsvirini, şəkil 1,b isə onun real görünüşünü əks

etdirir. Burada zəif qarşılıqlı təsir halına baxılır və ona görə də, yalnız  $\pm 1$  difraksiya tərtibləri əks etdirilir. Bu difraksiya tərtibləri, lazer şüalanmasının meyl etməyən və sıfır tərtibdə cəmləşən hissəsindəki işıq dəstinə nəzərən simmetrik yerləşirlər.



Şəkil 1. Raman-Nat difraksiyası: a) – sxematik təsviri, b) – real görünüşü

Raman-Nat difraksiya oblastı qarşılıqlı təsir parametrinin  $Q \leq 0,3$  qiymətlərinə cavab verir.

Raman-Nat difraksiyası əsasında reallaşdırılmış qurğular təqribən 100MHs tezliyə qədər geniş tətbiq olunurlar.

Breq difraksiyası halında (şəkil 2) lazer şüası FEM səthinə

$$\theta_B \approx 0,5 \lambda / \Lambda \quad (1)$$

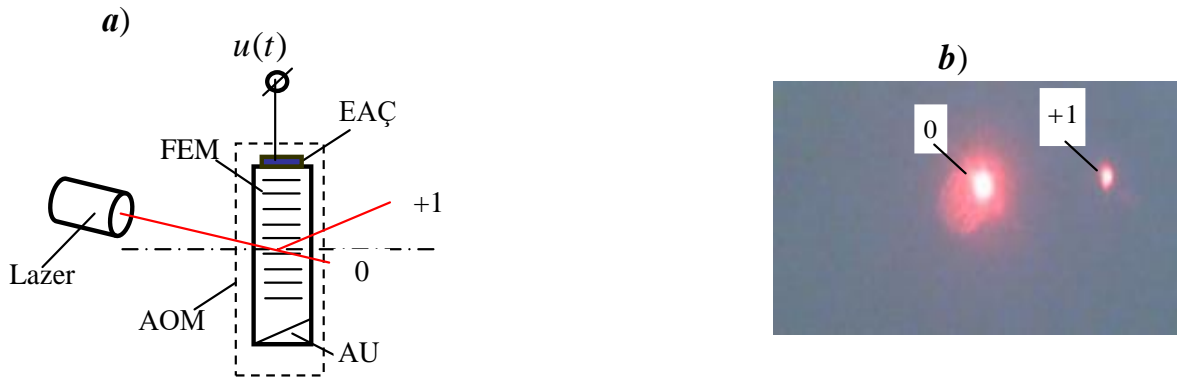
bucağı altında düşür, burada  $\theta_B$  - Breq bucağı,  $\lambda$  və  $\Lambda$  – uyğun olaraq optik və elastik dalğaların uzunluqlarıdır.

Şəkil 2,a Breq difraksiyasının sxematik təsvirini, şəkil 2,b isə onun real vəziyyətini əks etdirir.

Breq difraksiya oblastı qarşılıqlı təsir parametrinin  $Q \geq 4\pi$  qiymətlərinə cavab verir.

Müxtəlif difraksiya rejimlərinin izahı üçün şəkil 1 və şəkil 2-də verilən təsvirlərdən görünür ki, Breq difraksiyasının xarici görünüşünün əsas fərqi ondan ibarətdir ki, meyl edən işıq bir difraksiya tərtibində cəmləşir. *Məhz bu xüsusiyyətin yüksək dəqiqliyə malik ölçü markerinin sintezində istifadəsinin nəzəri və praktiki əsaslarının işlənməsi bu işin əsas məqsədidir.*

Qeyd edək ki, Breq difraksiyası əsasında reallaşdırılmış qurğular 10MHs tezlikdən onlarla QHS tezliyə qədər geniş tətbiq olunur [9].

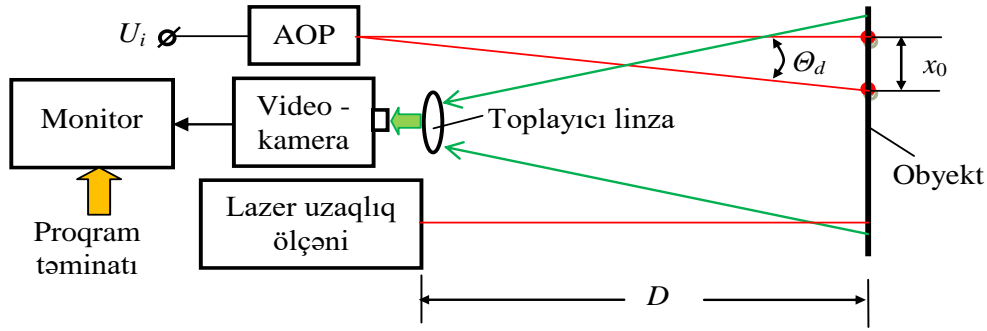


Şəkil 2. Breq difraksiyası: a) – sxematik təsviri, b) – real görünüşü

### Təsvir

Akustooptik markerin formalaşdırılma və istifadə mexanizminin mahiyyətini yüksək dəqiqliyə malik ölçmə sistemi əsasında izah etmək daha əlverişlidir (şəkil 3). Bu sistemin tərkibinə akustooptik prosessor (AOP), videokamera, toplayıcı linza, lazer uzaqlıqölçəni və monitor daxildir.

Elastik dalğanın tezliyi  $U_i$  idarəedici gərginliklə tənzimlənən AOP, ölçmələrin aparılması nəzərdə tutulan obyekt üzərində Breq difraksiyasına uyğun nöqtələr yaradır. Obyektin həmin nöqtələr ilə birlikdə təsviri videokamera ilə formalaşdırılaraq monitora ötürülür. Eyni zamanda monitorda uyğun proqram təminatı vasitəsi ilə hesabat toru sintez olunur.

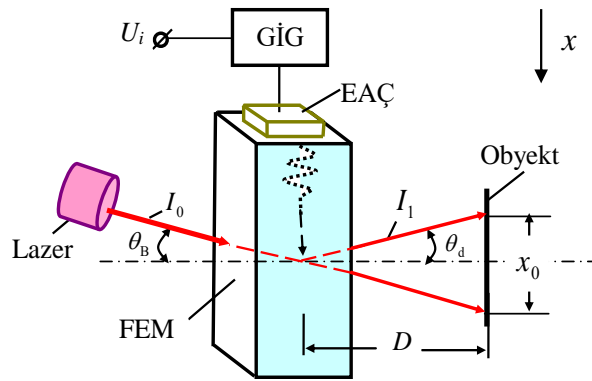


Şəkil.3. Akustooptik markerin formalaşdırılma və istifadə mexanizmi

Lazer uzaqlıq ölçəni vasitəsi ilə obyektə qədər olan məsafənin  $D$  təyin edilmiş qiymətinə əsasən nöqtələr arasındakı məsafə  $x_0$  hesablanır. Alınan qiymət hesabat torunun miqyasının seçilməsi üçün istifadə olunur.

**Nəzəriyyə**

Akustooptik markerin nəzəri əsaslarını şəkil 4 – də verilən sxem əsasında formalaşdıraraq. Burada idarəedici gərginlik  $U_i$  gərginliklə idarə olunan generatorun (GİG) tezliyinin lazım olan qiymətini seçməyə imkan verir. EAÇ dalğa uzunluğu  $c/f$  olan radiotezlikli rəqsi  $u(t)$  eyni tezliyə  $\omega=2\pi f$  malik lakin uzunluğu  $\Lambda=v/f$  olan elastik dalğaya çevirir, burada  $v$  elastik dalğanın FEM-də yayılma sürətidir. Yuxarıda qeyd olunan qaçan difraksiya qəfəsinin addımı  $\Lambda$  olur.



Şəkil. 4. Distant markerin formalaşdırılmağı üçün istifadə olunan AOP-un sxematik təsviri

Ümumi halda difraksiya  $\theta_d$  və (1) ifadəsindən təyin olunan Breq  $\theta_B$  bucaqları aşağıdakı münasibətlə bağlıdır:

$$\sin\theta_B + \sin\theta_d = \lambda/\Lambda. \tag{2}$$

Difraksiya bucağının EAÇ-ın düyünlərinə qoşulmuş gərginlikdən asılılığının xarakterini müəyyənləşdirmək üçün (2) ifadəsini düşmə və difraksiya bucaqları üçün ayrılıqda öyrənək. Adətən GİG-in tezliyi AOM-un mərkəzi tezliyinə  $f_0$  bərabər seçilir. Bu tezlikdə FEM-də oyadılan elastik dalğanın uzunluğu (qaçan difraksiya qəfəsinin addımı)  $\Lambda_0=v/f_0$  kimi tapılır. Uyğun olaraq lazer şüasının AOM səthinə düşmə bucağı

$$\theta_B = \arcsin(0,5 \lambda/\Lambda_0)$$

kimi təyin olunur. Bu halda difraksiya bucağı

$$\theta_{d0} = \arcsin(0,5 \lambda/\Lambda_0) \tag{3}$$

olur, yəni eyniliklə düşmə bucağına bərabər olur.

Düşmə və difraksiya bucaqlarının işıq və elastik dalğaların parametrlərindən asılılığının xarakterini konkret misal ilə dəqiqləşdirmək məqsəduyğundur.

Ədədi analiz 1. Qəbul edək ki, koherent işıq mənbəyi kimi yarımkəçirici lazerdən istifadə olunur və onun dalğa uzunluğu  $\lambda=0,64mkm$  təşkil edir. Şüşəvari FEM (TF-7) üzərində reallaşdırılmış AOM-un mərkəzi tezliyi  $80MHs$  təşkil edir. İstifadə olunan FEM üçün  $v=3630m/s$  təşkil edir (bax: cədvəl 1).

Düşmə və difraksiya bucaqlarını hesablayırıq:  $\theta_B=\theta_{d0}=7,052\cdot 10^{-3}$ .

Ədədi analizin nəticəsi göstərir ki, düşmə və difraksiya bucaqları çox kiçik kəmiyyətlərdir və ona görə də (3) ifadəsini aşağıdakı kimi daha sadə formada yazmaq olar:

$$\theta_{d0}\approx 0,5 \lambda/\Lambda_0. \quad (4)$$

Sonuncu düsturdan istifadə edərək difraksiya tərtiblərindəki işıq dəstələrinin obyekt üzərində yaratdıqları ləkələr arasındakı məsafəni  $x_0$  (bax: şəkl.4) aşağıdakı kimi tapırıq:

$$x_0=D\cdot \sin(\theta_0)\approx 0,5 D\lambda f_0/v, \quad (5)$$

burada  $D$  – AOM-dan obyektə qədər olan məsafədir.

İş prosesində düşmə bucağı dəyişməz qalır, yəni  $\theta_B=\text{const}$ . Ona görə də (4) ifadəsini daha ümumi formada yazırıq:

$$\theta_d=0,5 \lambda/\Lambda,$$

burada  $\Lambda=v/f$ ;  $f$  – GİG-in cari tezliyidir. Beləliklə difraksiya bucağı üçün düstur aşağıdakı görünüşü alır:

$$\theta_d=0,5 \lambda f/v. \quad (6)$$

Seçilmiş FEM üçün  $v=\text{const}$ . Ona görə də (6) ifadəsinə əsasən difraksiya bucağının GİG tezliyindən düz mütənasib asılı olduğu təsdiqlənir. Breq difraksiyasının bu xassəsindən markerin ölçüsünün tənzimlənməsi üçün istifadə oluna bilər.

Difraksiya bucağının, GİG rəqsinin tezliyinin  $\Delta f$  qədər dəyişməsinə uyğun olan meyli  $\Delta\theta_d$  (6) ifadəsindən aşağıdakı kimi tapılır:

$$\Delta\theta_d=0,5 \lambda \Delta f/v. \quad (7)$$

Difraksiya tərtibindəki işıq dəstəsinin bucaq vəziyyəti yalnız  $x$  oxu boyunca dəyişir.

Beləliklə, GİG-in tezliyinin  $\Delta f$  qədər dəyişməsi difraksiya olunmuş işıq dəstəsinin obyekt üzərində yaratdığı ləkənin  $\Delta x$  qədər sürüşməsi ilə müşayiət olunur.

Qəbul edilmiş işarələrə və (7) düsturuna əsasən  $\Delta x$  sürüşməsi üçün aşağıdakı düsturu tapırıq:

$$\Delta x=D\cdot \sin(\Delta\theta_d)\approx 0,5 D\lambda \Delta f/v. \quad (8)$$

Verilən riyazi interpretasiyada difraksiya tərtiblərindəki işıq dəstələrinin yaratdıqları ləkələrin ölçüləri nəzərə alınmamışdır. Dalğa uzunluğu  $\lambda$  olan lazer şüasının dairəvi en kəsiyinə malik olduğunu və onun ilkin diametrinin  $d_0$  olduğunu qəbul edək. Bu halda lazer şüalanmasının uyğun bucaq üzrə genişlənməsi aşağıdakı kimi tapılır [10]:

$$\beta=2,44\lambda/d_0. \quad (9)$$

Distant ölçmə prosesinə lazer şüasının təsirini konkret misal ilə qiymətləndirək.

Ədədi analiz 2. Yarımkəçirici lazerin parametrləri:  $\lambda =0,64mkm$ ;  $d_0=4mm$ . Bu lazerin  $D=50m$  məsafədə yaratdığı işıq ləkəsinin diametrini təyin edək.

Verilənlərə əsasən (9) düsturu əsasında bucaq üzrə genişlənməni hesablayırıq:  $\beta=3,904\cdot 10^{-4}$ .

Lazerin  $D=50m$  məsafədə yaratdığı işıq ləkəsinin diametri  $d$  hesablanır:

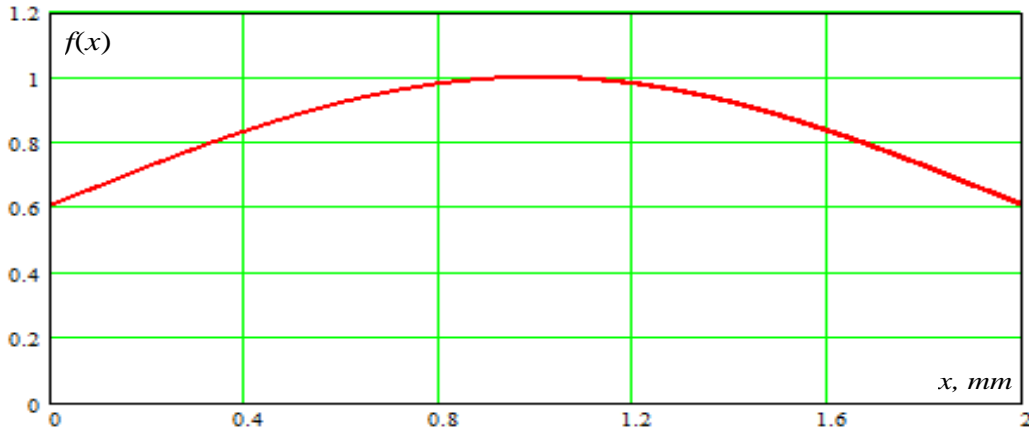
$$d=d_0+D\cdot \sin(\beta)=24mm.$$

Beləliklə,  $50m$  məsafədə lazer şüalanmasının diametri 6 dəfə artır.

Ədədi analizin nəticələri ölçü xətlərinin yerləşdirilməsi məsələsini aktuallaşdırır. Bu məsələnin həlli prosesində lazer şüalanmasının en kəsiyində enerjinin qeyri-bərabər paylanması da nəzərə alınmalıdır. Ən sadə halda normal paylanma (Qauss paylanması) əsas götürülə bilər. Müzakirə olunan vəziyyətə uyğun Gauss paylanması üçün aşağıdakı ifadəni tərtib edirik:

$$f(x)=\exp\{-(x-0,5d)^2/[2(0,5d)^2]\}, \quad 0\leq x\leq d. \quad (10)$$

Lazer şüalanmasının en kəsiyində güc seli sıxlığının,  $d=2mm$  halı üçün paylanma funksiyasının (10) düsturu əsasında qurulmuş qrafiki şəkil 5 – də verilir.



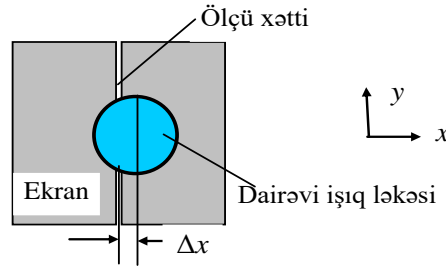
Şək. 5. Lazer şüalanmasının en kəsiyində güc seli sıxlığının,  $d=2mm$  halı üçün paylanma funksiyasının qrafiki

Şəkil 5 – də verilən qrafikdən aydın görünür ki, lazer şüalanmasının en kəsiyinin, uyğun olaraq dairəvi işıq ləkəsinin mərkəzində güc seli sıxlığı maksimal qiymətə mlikdir.

Şaquli ölçü xətti ilə dairəvi işıq ləkəsinin qarşılıqlı vəziyyətini tədqiq edək (şəkil 6). Şaquli ölçü xətti ilə dairəvi işıq ləkəsinin kəsişmə xəttinin uzunluğu aşağıdakı təqribi bərabərliklə hesablanır:

$$Y(x) \approx d - 2|\Delta x|, \text{ o halda ki, } -0,5d \leq \Delta x \leq 0,5d, \quad (11)$$

burada  $\Delta x$ - ölçü xəttinin, dairəvi işıq ləkəsinin mərkəzindən bu və ya digər tərəfə sürüşməsidir.



Şək. 6. Ölçü xətti ilə işıq ləkəsinin qarşılıqlı vəziyyəti

Beləliklə, ölçmə prosesində həm şaquli, həm də üfüqi ölçmə xətləri ilə dairəvi işıq ləkəsinin kəsişməsinin ən böyük qiyməti qərarlaşdırılmalıdır.

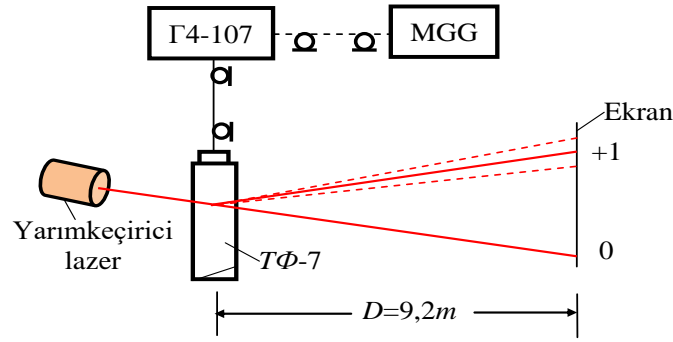
### Təcrübə

Akustooptik markerin yuxarıda təqdim olunan reallaşdırılma ideyasının eksperimental aprobeiyası, mərkəzi tezliyi  $f_0=80MHz$  olan AOM üzərində həyata keçirilmişdir. Eksperimental avadanlıq şəkil 7 – də təsvir olunmuşdur.

Qurğunun elementlərinin və ölçü avadanlıqlarının qısa xarakteristikası aşağıda verilir:

1. Yarımkəçirici lazer (ışıq dəstəsinin diametri  $3mm$  təşkil edir);
2. Yüksək tezlikli siqnal generatoru –  $\Gamma 4-107$ ;
3. Mişarvari gərginlik generatoru (MGG) – laboratoriya variantı, [11] sayılı məqalədə verilən sxem üzrə yığılmışdır;
4. Akustooptik modulyator  $T\Phi-7$  şüşəvari material əsasında hazırlanmışdır,  $f_0=80MHz$ ;
5. Ekran.

Yüksək tezlikli siqnal generator, AOM və MGG ilə yüksək tezlikli razyom və uyğun kabellər vasitəsi ilə birləşdirilir. Qarşılıqlı təsir oblastından ekrana qədər olan məsafə  $9,2m$  təşkil edir.



Şək. 7. Eksperimental tədqiqatlar üçün qurğunun sxemi

Akustooptik markerin statik tənzimləmə xarakteristikası tədqiq olunan zaman yuxarıda qeyd olunduğu kimi, daşıyıcı rəqs rejimində (modulyasiyasız) işləyən yüksək tezlikli siqnal generatoru AOM-un mərkəzi tezliyinə - yəni 80MHs tezliyə köklənir. Sonra generatorun tezliyi yuxarı və aşağı tərəfə dəyişdirilərək birinci difaksiya tərtibindəki işığın ekranda yaratdığı ləkənin sürüşməsi ölçülür. Ölçmələrin nəticələri cədvəl 2-də verilir. Müqayisəli analizi sadələşdirmək məqsədi ilə bu cədvələ (5) və (8) düsturlarına uyğun təyin edilmiş hesabat qiymətləri də daxil edilmişdir.

Cədvəl 2

## Markerin statik tənzimləmə xarakteristikası

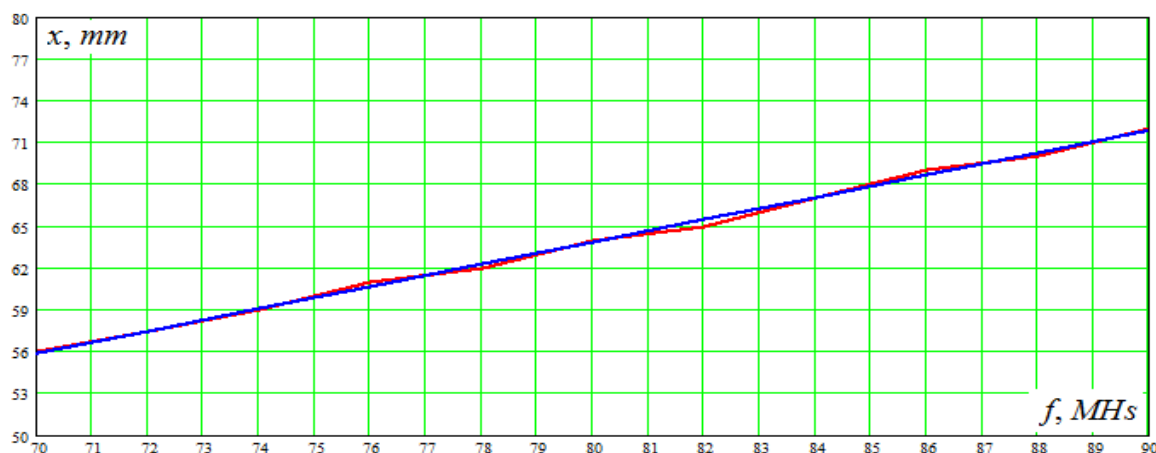
S/s	Tezlik, MHs	İşıq selinin yaratdığı ləkənin sürüşməsi, mm	
		Hesabat qiyməti	Eksperimental qiymət
1	70	55,88	56
2	72	57,48	57,5
3	74	59,08	59
4	76	60,67	61
5	78	62,27	62
6	80	63,87	64
7	82	65,46	65
8	84	67,06	67
9	86	68,66	69
10	88	70,25	70
11	90	71,85	72

Markerin statik tənzimləmə xarakteristikasının cədvəl 2-də verilən qiymətlər əsasında qurulmuş hesabat və eksperimental qrafikləri şəkil 8-də təsvir olunmuşdur.

Təcrübi və nəzəri qrafiklərin buraxıla biləcək dərəcədə kiçik olan fərqi eksperimental ölçmələrin nəticələrinin yuvarlaqlaşdırılmağı ilə əlaqədardır. Aydın ki, monitorun ekranında formalaşdırılan ölçü toru vasitəsi ilə aparılan ölçmələr prosesində qiymətləndirmə piksel dəqiqliyi ilə aparılır və göstərilən xətlər yaranmır.

Akustooptik markerin dinamik tənzimləmə xarakteristikasını müşahidə etmək üçün yüksək tezlikli siqnal generatoru (Γ4-107) xarici tezlik modulyasiyası rejiminə keçirilir və onun modulyasiyaedici girişinə MGG qoşulur.

Mişarvari gərginlik, generatorun tezliyinin 70-90 MHs intervalda dəyişməsinə təmin edir. Sıfır və bir tərtibli işığın dinamik rejimdə ekrandakı vəziyyəti şəkil 9-da təsvir olunmuşdur. Göründüyü kimi sıfır tərtibli işığın vəziyyəti dəyişməz qalır. Lakin bir tərtibli işığın vəziyyəti modulyasiyaedici prosesə (mişarvari gərginliyə) uyğun olaraq müəyyən bucaq intervalı həddində skanerlənir.



Şək. 8. Markerin statik tənzimləmə xarakteristikasının hesabat (göy) və eksperimental (qırmızı) qrafikləri

Şəkil 9-da verilən tezlik şkalası akustooptik markerin statik iş rejimində təyin olunmuşdur.



Şək. 9. Sıfır və bir tərtibli işığın dinamik rejimdə ekranda yerləşməsi

### Nəticə

Distant ölçmənin dəqiqlik səviyyəsi seçilmiş ölçü markerinin xarakteristikaları ilə müəyyən olunur. Ona görə də ölçmələrin nəticələrinə qoyulan tələblər yüksək olduqda yüksək dəqiqliyə malik markerdən istifadə olunmağı zəruriyyəti yaranır. Akustooptik marker bu kontekstdə yüksək potensiala malikdir. Bu markerin təmin etdiyi dəqiqlik yalnız yüksək tezlikli siqnal generatorunun nisbi qeyri-stabilliyi ilə məhdudlana bilər. Kvars stabilizasiyalı generatorlardan istifadə etməklə bu qüsuru aradan qaldırmaq mümkündür.

## ***ACOUSTOPTIC MARKER, ITS DEVELOPMENT AND RESEARCH***

***A.R. Hasanov, E.A. Agayev***

*In this article the features of the marker for high-precision remote measurements, the acousto-optic method of its formation and the means of its implementation are discussed. The method on the base on an acousto-optical modulator, which operates in the Bragg diffraction mode, is synthesized. The distance determined by the laser rangefinder as a reference parameter is used. Based on the reference parameter, perpendicular to it a marker with high accuracy is formed. The presented method is confirmed by theoretical studies, numerical analysis and necessary interpretations. The results of theoretical studies have been tested experimentally. The results of theoretical and experimental studies are presented in the corresponding tables and graphs.*

**Key words:** *acousto-optic, marker, modulator, laser, remote measurement, electroacoustic transformer, photoelastic medium, acousto-optic processor.*



**АКУСТООПТИЧЕСКИЙ МАРКЕР, ЕГО РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ****А.Р. Гасанов, Э.А. Агаев**

*В данной статье обсуждаются особенности маркера для высокоточных дистанционных измерений, акустооптический метод его формирования и средства его реализации. Метод синтезирован на основе акустооптического модулятора, который работает в режиме дифракции Брэгга. Определенное лазерным дальномером расстояние используется в качестве опорного параметра. На основе опорного параметра формируется перпендикулярный к нему маркер с высокой точностью. Представленный метод подтверждается теоретическими исследованиями, численным анализом и необходимыми интерпретациями. Результаты теоретических исследований апробированы экспериментально. Результаты теоретических и экспериментальных исследований представлены соответствующими таблицами и графиками.*

**Ключевые слова:** акустооптика, маркер, модулятор, лазер, дистанционное измерение, электроакустический преобразователь, фотоупругая среда, акустооптический процессор.

**ƏDƏBİYYAT**

1. Christie D., Jiang C., Paudel D., Demonceaux C. 3D Reconstruction of Dynamic Vehicles using Sparse 3D-Laser-Scanner and 2D Image // International Conference on Informatics and Computing, 2016, pp. 61–65. DOI:10.1109/IAC.2016.7905690.
2. Hirschmuller H. Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE transactions on, 30(2), 2007. DOI: 10.1109/TPAMI.2007.1166.
3. Hu F.J., Zhao Y. Comparative research of matching algorithms for stereo vision // Journal of Computational Information Systems, vol. 9, no. 13, pp. 5457–5465.
4. Elena Bebeselea-Sterp, Raluca Brad and Remus Brad, “A Comparative Study of Stereovision Algorithms” International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 8(11), 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2017.081144>.
5. Михайличенко А.А, Клещенко А.Б. Способ бесконтактного измерения размеров крупногабаритных объектов // Компьютерное зрение, 24–28 сентября 2017, Пермь, Россия.
6. Pashayev A.M., Hasanov A.R., Iskenderov I.A., Agayev E.A., Kerimov S.M. Imaging method application peculiarities in contactless determination of aircraft loading limitations // Asian Journal of computer and information systems (ISSN:2321-5658), Vol 2, No 1 (2014): February 2014.p.9-13.
7. Christopher C. Davis. Lasers and Electro-optics. Cambridge University Press, 2014. DOI:<https://doi.org/10.1017/CBO9781139016629>.
8. Гасанов А.Р. Основы теории и техники формирования и обработки сигналов акустооптическими методами. - Б.: ЭЛМ, 1999, -55 с.
9. Huan Li , Qiyu Liu , Mo Li. GHz integrated acousto-optics // 2016 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (OMN), 2016. DOI: 10.1109/OMN.2016.7565815.
10. Пашаев А.М., Гасанов А.Р., Абдурагимов К.Ф. Источники света для акустооптических процессоров // Национальная Академия Авиации Азербайджана, Ученые записки, 2007, том.9. №1. с.35÷40.
11. Гасанов Р.А. Цифровой формирователь пилообразного напряжения // Альтернативная энергетика и экология, 2009 , №7, с.113÷116.

**REFERENCES**

1. Christie D., Jiang C., Paudel D., Demonceaux C. 3D Reconstruction of Dynamic Vehicles using Sparse 3D-Laser-Scanner and 2D Image // International Conference on Informatics and Computing, 2016, pp. 61–65. DOI:10.1109/IAC.2016.7905690.

2. Hirschmuller H. Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE transactions on, 30(2), 2007. **DOI:** 10.1109/TPAMI.2007.1166.
3. Hu F.J., Zhao Y. Comparative research of matching algorithms for stereo vision // Journal of Computational Information Systems, vol. 9, no. 13, pp. 5457–5465.
4. Elena Bebeselea-Sterp, Raluca Brad and Remus Brad, “A Comparative Study of Stereovision Algorithms” International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 8(11), 2017. **DOI:** <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2017.081144>.
5. Mikhaylichenko A.A., Kleshchenkov A.B. Spособ beskontaktnogo izmereniya razmerov krupnogabaritnykh ob’yektov // Komp’yuternoye zreniye, 24–28 sentyabrya 2017, Perm’, Rossiya.
6. Pashayev A.M., Hasanov A.R., Iskenderov I.A., Agayev E.A., Kerimov S.M. Imaging method application peculiarities in contactless determination of aircraft loading limitations // Asian Journal of computer and information systems (İSSN:2321-5658), Vol 2, No 1 (2014): February 2014.p.9-13.
7. Christopher C. Davis. Lasers and Electro-optics. Cambridge University Press, 2014. **DOI:**<https://doi.org/10.1017/CBO9781139016629>.
8. Gasanov A.P. Osnovy teorii i tekhniki formirovaniya i obrabotki signalov akusto-opticheskimi metodami.-B.: ELM, 1999, -55 s.
9. Huan Li , Qiyu Liu , Mo Li. GHz integrated acousto-optics // 2016 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (OMN), 2016. **DOI:** 10.1109/OMN.2016.7565815.
10. Pashayev A.M., Gasanov A.P., Abduragimov K.F. Istochniki sveta dlya akustoopticheskikh prosessorov // Natsionalnaya Akademiya Aviatsii Azerbaydzhana, Uchenyye zapiski, 2007, tom.9. №1. s.35\*40.
11. Gasanov R.A. T. Sifrovoy formirovatel piloobraznogo napryazheniya // Alternativnaya energetika i ekologiya, 2009, №7, s.113\*116.

### Müəlliflər haqqında məlumat

**Soyadı, adı, atasının adı:** Həsənov Afiq Rəşid oğlu

**İş yeri:** Milli Aviasiya Akademiyası

**Vəzifəsi:** Elmi işlər üzrə prorektor, AMEA-nın müxbir üzvü, t.e.d., professor

**Maraq sahəsi:** Radiotexnika və radioelektronika

**E-mail:** [afiq.gasanov.51@mail.ru](mailto:afiq.gasanov.51@mail.ru)

**Əlaqə telefonu:** +994 50 512 47 64

**Soyadı, adı, atasının adı:** Ağayev Elgün Ağamehti oğlu

**İş yeri:** Milli Aviasiya Akademiyası, ETİ-üzrə analitik şöbə

**Vəzifəsi:** elmi işçi, Radioelektronika kafedrasının dissertantı

**Maraq sahəsi:** Radiotexnika və radioelektronika

**E-mail:** [elgun84@yahoo.com](mailto:elgun84@yahoo.com)

**Əlaqə telefonu:** +994 55 491 16 64

**Rəyçi:** f.-r.f.d., dos. İ.Ə. İsgəndərov