

**TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

**A.Bäşimow**

# **RADIOGEODEZIKI WE ELEKTRO OPTIKI ÖLÇEMELER**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

**A.Bäşimow**, Radiogeodeziki we elektro optiki ölçemeler.

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby, Aşgabat – 2010 ý.

## S ö z b a ş y

Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan özüniň ösüşinde täze başgançaga Beýik Galkynyş eýýamyna gadam basdy. Ol Türkmenistanyň hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň parasatly we öňdengörüjilikli syýasatynyň netijesinde ösüşin ähli pugdakalry boýunça düýpli özgertmeleri başdan geçirýär. Bu işler ýurdumyzy dünýäniň in ösen döwletleriniň hataryna goşmak, olar bilen deň gadam urmak, olaryň öňdebaryjy tejiribesini öwrenip, aýakdaş gitmek üçin edilýär. Bu düýpli özgertmeleriň özenini ylym, bilim tutýar.

Hormatly Prezidentimiz döwlet baştutanlygyna saýlanan ilkinji günlerinden:

“Güýçli döwletde ylym esasy orny eýeleýär, diýmek, biz ylymyň in täze gazananlary bilen aýakdaş gitmelidiris” - diýen beýik şygary öňe sürmek bilen Türkmen ylymyny-bilimini özgertmekligiň dogry ýoluna düşdi.

Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedow 2007-nji ýylyň mart aýynyň 4-ne “ Bilim – terbiýeçilik edaralarynyň işini kämilleşdirmek hakynda” taryhy karara gol çekdi. Bu taryhy resminamada Milli bilim ulgamyny özgertmegiň anyk çärelerini bellemek bilen bilim reformasyny ygılan etdi.

Hormatly Prezidentimiz Bilim syýasatyny öňe sürmek bilen, şu köp ugurly Maksatnama ýaş neslimiziňiň dünýägaraýyşly, akyl we beden taýdan sagdyn adamkärçilikli bolmaklygyny ündäp hem-de Bilim ulgamynyň ugruny kesgitläp:

“Bilim syýasatymyzyň baş maksady-Türkmenistan döwletimizi dünýäniň ösen ýurtlarynyň derejesine ýetirmekdir” – diýip belledi.

Hormatly Prezidentimiz Bilim reformasyny yglan etmek bilen ýurdumyzyň bilim we ylym ulgamlaryny dünýä derejesine çykarmak, ýaşlarymyzyň sazlaşykly ösmegi, dünýägaraýyşynyň giňelmegi üçin ähli şertleri döredýär hem hemişe üns merkezinde saklaýar.

Bu bolsa ähli pugdaklarda ýokary taýýarlykly hünärmenleriň taýýarlanmagyna uly badalaga berdi.

Häzirki wagtda Milli bilim ulgamyny mundan beýläkde ösdürmek we dünýäniň ösen döwletleriniň derejesine çykarmak üçin ygtybarly binýat döredilýär. Şondan ugur alynyp ýokary mekdepleriň inžener tehnika hünärmenleri üçin “çyzmaly geometriýa” dersi bopýunça okuw maksatnamasy täzeden dowerbap işlenildi. Çünki ýokary mekdepleriň önünde ýokary düşüňjeli, hemme taraplaýyn, esasanam tehnika tarapdan başaraň hünärmen, inžener – tehnika babatda ylymly-bilimli ýaşlary ýetişdirmelidir. Olar öz bilimlerini we başarnyklaryny durmuşa geçirmek bilen Türkmenistanyň ykdysadiýetini, halkyň agzybirliğini, Watanmyzyň Garaşsyzlygyny we baky Bitaraplygyny has hem berkitmelidirler.

Hakykatdan hem biziň döwletimiz Hormatly Prezidentimiziň parasatly we öňdengörüjilikli pikirleri netijesinde ösen ýurtlaryň hataryna goşuldy. Mundan beýläkde biziň ýurdumyzyň öňegidişlikleri halkymyzyň aň-düşünjesini, ylym-bilim taýdan kämilligine, tehnika dünýägaraýyşyň düýpli emele gelmegine gös-göni baglydyr. Şoňa görä-de biziň her bir ýaş hünärmenlerimiz talyp döwründen başlap bilimleri çuňňur, tutanýerli ele almalydyr.

Biziň Garaşsyz, Bitarap Diýarymyzda, Mähriban Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň taýsyz tagallasy bilen gurulýan täze binalarda, gara ýollarda, zowod fabriklerde, Beýik asyryň uly desgalary bolan Türkmen kölünde, Türkmen Hytaý gaz geçirijisinde ýene-de asyryň dürli gurluşyklaryny amala aşyrmakda “Geodeziýa” dersiniň zerurlygy aýdyňdyr.

Okuw kitaby taýýarlanylanda ýokary okuw mekdepleriniň talaplaryna – geljekki inženerlere ýokary geodeziýa dersini doly öwrenip, olaryň hünär ugurlary boýunça ýörite dersleri özleşdirmekliklerine geodeziki taýýarlyklaryny üpjün etmek wezipelerinden ugur alyndy.

“Radiogeodeziki we elektro optiki uzaklyk ölçemeler” dersi, talyplaryň geodeziki uzaklyklary ölçemegiň häzirki zaman usullarynda nazary we amaly taýýarlyklaryny we usullaryň fiziki esaslarynyň materiallaryny öz içine alýar, olaryň teoriýasyny, degişli gurallaryň gurluşyny we olaryň geodeziki önümçiliginde ulanmagyň usullaryny öwredýär.

## **Giriş.**

### **Radiogeodeziki we elektro optiki uzaklyk ölçemeler dersiniň borjy. Radiofiziki uzaklyk ölçemeler dersiniň beýleki dersler bilen arabaglanyşygy.**

Radiogeodeziki we elektrooptiki ölçegler başgaça elektron uzaklyk ölçýjilik, geodeziýa ylymynyň täze bölümi bolup onda radio we optiki diagnozly elektromagnit tolkunlarynyň ýaýramak wagtyny kesgitlemek bilen aralyk ölçenilýär.

1849-nji ýylda ilkinji gezek Fizo tarapyndan ýagtylygyň tizligi uguryň belli uzaklygynda kesgitlenip soňky wagtlarda oňa köp tehniki täzelikler girizilipdir. Bu işler optiki diagnozly tolkunlarda uzaklyk ölçýji abzallary döretmekligiň düýbini tutdyr.

Täze görünyän diagnozly (Tolkunlaryň impulsy  $0,4 - 0,7\text{mm}$ ) ýakyn çäkli infragyzyl ( $0,8 - 11\text{mkm}$ ) radiodiagnozynda has ýokary ýylykly ( $0,8-10\text{sm}$ ) çäk we artma we uzyn radiotolkunlar ( $100-10\,000\text{m}$ ) optiki diagnozda spektriň has ýaramly çäkleri hasaplanýar. Optiki diagnozda aralyk ölçýji abzallar bolup elektrooptiki uzaklyk ölçýjiler ýagtylykly uzaklyk ölçýjiler we inferometrler, radiodiagnozly abzallary radiouzaklukölçeýjiler, radiogeodeziki ulgamlar we ýeriň emeli hemralarynyň radioulgamlary durýarlar.

Görkezilen abzallar we ulgamlar geodeziki torlaryny gurmakda, ugurly we burç - ugurly geodeziki desgalarynda topografiki kartalaşdyrmalarda ýeriň emeli hemralarynyň orta çenli we kosmiki geodeziýada ýer

üstündäki nokatlaryň koordinitalaryny kesgitlemek üçin howasuratkartalaşdyrmasynda we deňiz geodeziýasynda koordinatary kesgitlemek amaly geodeziýanyň öňdebaryjy meselelerini çözmek üçin, geodinamiki poligonlarda ölçeg geçirmek ( ýeriň gabarasynyň geoformasyny öwrenmek üçin geodeziki metrologiýada örän giňden ulanylýar.

1933-nji ýylda dünýäde ilkinji ýagtylyk uzakölçejji Grofinuk G.I. tarapyndan hödürlendi, emma önümçilige göýberilmedi. Ilkinji ýagtylyk boýunça uzaklykölçejjileri 1936-nji ýylda sowet fizikleri A.A.Lebedow, W.G.Wafiadi we W.W.Balakow tarapyndan döwlet optiki institutynda ( Leningrad şäherinde ) işlenip düzildi. Emma bu abzalyň takyklygy geodeziýanyň talabyna laýyk däldi.

1965-nji ýylda dünýä praktikasynda ilkinji ýarymgeçirijili şöhelenýän ýagtylyk uzaklyk ölçeýjisi GD – 314 Döwlet optiki instituty tarapyndan önümçilige göýberildi we giňden ulanylyp başlandy. Häzirki zaman önümçilikde “Granat”, SG-3, MSD – 1M, SM – 5, DK – 001 ýaly ýagtylyk uzaklyk ölçeýji abzallar giňden ulanylýar.

1960-nji ýylda Lazeriň ulanylyp başlanmagy bilen kosmiki ýollarda aralyklary ölçemek, geodeziki interferometriýada netijeli ulanmak mümkinçiligi döredi we takyklygyny, ölçenýän aralygyň uzak bolmagy hemişelik gazanyldy.

Aralyklary ölçemekde radiotolkunlaryň ulanylmagy Sowet fizikleri L.I.Mendelştam we

N.D.Papamks tarapyndan 1936-nji ýylda işlenip düzilen Radiointerferensioň usulyndan soňra başlandy.

1957-nji ýylda T.Uodli tarapyndan döredilen radiouzaklyk ölçýji “Tellurometr” önümçilikde giňden ornandan soňra iň ýokary ýygylýkda işleýän radiouzaklykölçeýjilerde bu ýygylýgyň ulanylyşy giň gerişe eýe boldy.

Geodeziki radiouzaklykölçeýjiler ýagtylyk uzakölçeýjilerden az takyklykda aralyklary ölçýär. Bu bolsa radiotolkunlara daşarky işleriň uly bolmagy bilen düşündirilýär. Radiouzaklykölçeýjileriň ýagtylyk uzaklyk ölçýjilerden gowy tarapy olaryň has uzak aralyklary ölçäp bilmekligi we islendik howa şertlerinde işläp bilýän abzallygyndadyr.

Radiouzaklykölçeýji abzallar bilen diňe bir ýeriň üstündäki obýektleriň uzaklygyny däl, eýsem onuň golaýyndaky ( samolet, karotel ), şeýle hem ýer giňişliginiň töweregindäkilerden uzaklygy müň – onmüňlerçe kilometr bolan ýeriň emeli hemralary, obýektlere çenli aralyklary hem ölçýärler. Şu obýektlere çenli aralyklary ölçemek bolsa adatyça olaryň koordinatalaryny bilmek maksady bilen geçirilýär.

Ugur ölçemegiň ýöriteleşdirilen görnüşiniň biri hem optiki diagnozly interferometriýadyr. Bu usul aralyklary ( 10-larça metr) mikron takyklygynda ölçäp bolýar. Interferometriýa usuly soňky wagtlarda ugru ölçýji abzallaryň ýokary takyklygy metrologiki barlagy üçin bazeleri döretmekde, şeýle hem ýertitremesini önünden duýdurmak üçin ýer gabygynyň döwürmegini ( deformasiýany ) öwrenmekde uly ähmiýete eýe boldy.



Ölçegleriň elektron usullarynyň ählisinde daşky gurşawyň ýagny älem takyklygynyň ýaýraýan atmosferasynyň täsiri birinji derejede rol oýnaýar.

1. Köpsanly yrgyldyly hereketleriň içinde döwürli (periodiki) yrgyldylar esasy orny eýeleýärler we

$$X(t) = X(t + NT)$$

deňleme bilen aňladylyar.

bu ýerde  $X(t)$  – yrgyldaýan ululyk,  $t$  – wagt,  $N$  – islendik bitin san  $T$  – käbir soňky has kiçi wagt aralygy. Bu wagt aralygynda yrgyldyly hereketleriň hemme fiziki ululyklarynyň manysy häsiýetlendirilýär. Bu wagt aralygy yrgyldylaryň döwüri diýlip atlandyrylýar. Döwürle ters

$$f = \frac{1}{T}$$

bolup, ol belli bir wagt aralygynda yrgyldylaryň sanyny aňladýar we ýygylýk diýlip atlandyrylýar.

Döwürli yrgyldylaryň ýönekeý möhim, garmonik (sinusoýdal)

$$X(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$X(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$A$  ululyk yrgyldylarynyň ampitudasy,  $\omega = 2\pi / T = 2\pi f$  – burçly ýada aýlawly ýygylýk,  $\varphi$  – ýada  $\varphi_0$  – başlangyç faza atlandyrylýar we bu üç ululyk yrgyldyny doly häsiýetlendirýär.

Sinusoýdal ýada kosinusondal funksiýalary, ýagny  $\varphi = \omega t + \varphi_0$  ululygy häzirki faza ýada yrgyldylaryň fazasy diýlip atlandyrylar.

Eýleriň

$$e^{i\varphi} = \cos\varphi + i\sin\varphi$$

formulasyna esasanyp yrgyldylar üçin deňleme toplumyny

$$X(t) = A e^{i\omega t} \quad \text{ýazyp bolar.}$$

Bu ýerde

$$A = A e^{i\varphi_0}$$

ululyk tolkunly Amplituda atlandyrylýar. Toplumly amplituda  $A$  amplituda we başlangyç faza hakynda maglumaty jemleýär.

2. Iki sanyň deň ( skalýar ) birdeň ýygylkly dürli amplituda we başlangyç fazaly garmoniki yrgyldylaryň

$$X(t) = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$Y(t) = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

goşulmagynda emele gelen yrgyldylaryň netijesi şol bir ýygylkly garmoniki yrgyldyny berer.

$$r(t) = X(t) + Y(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Şunlukda, hemişe yrgyldylaryň  $A$  ampilitudasy we başlangyç fazasy

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{A \sin \varphi + A \sin \varphi}{A \cos \varphi + A \cos \varphi}$$

aňlatma bilen kesgitlenilýär.

Dürli ýygyllykly iki sany deň ( skalýar ) garmoniki yrgyldylar iň gowylandyrmagyň netijesinde emele gelen yrgyldy garmoniki däl. Ýygyllykly özara ýakyn bolsalar onda yrgyldyly hereket ury hereketi ( prosesi ) atlandyrylýar.

Şunluk bilen netije yrgyldynyň ampitudasy we fazasy ýygyllyklaryň tapawudyna deň bolan ýygyllyk urgysy bilen üýtgeýär.

3. Islendik garmoniki däl ( çylşyrymly ), emma T- döwürme bolan döwürli yrgyldyny  $f = \frac{1}{T}$  ýygyllygyna Furiýeniň haryty deň ýygyllykly görnişinde göz önüne getirip bolar.

Garmoniki yrgyldylaryň düziminiň hemme çylşyrymly yrgyldylaryň spektrini düzişlere bolsa garmonikler diýilýär.  $f, 2f, 3f$  we ş.m. ýygyllykly garmoniklere deňişlilikde çylşyrymly yrgyldylaryň birinji ( esasy ), ikinji, üçünji we ş.m. garmonikleri diýilýär. Dürli garmonikler dürli amplitutadan adatyça kiçi bolýar.

Şeýlelikde islendik döwürli yrgyldynyň garmoniki düzilen diskret spektri bolýar. Egerde yrgyldy döwürli däl bolsa, onda ol hatar boýunça görkezilýän Furiýeniň integraly boýunça görkezilýär we tükeniksiz sanly sinusoýdal ( üzniksiz ýygyllykly ) tutuş ( üzniksiz ) spektra eýe bolýar.

4.  $f$  ýygýlykly giňişlikde  $v$  – tizlik bilen ýaýraýan ýygýlyk uzynlygy diýilýän

$$\lambda = v/f$$

ululuk bilen häsiýetlendirilýär.

Üýtgewli älem meýdanyny düzýän elektrik we magnit meýdanlarynyň napraženiýasynyň garmoniki yrgyldylary hereketleriň ýekebara ýagdaýydyr.

Giňişlikde älem meýdanyň ýaýramagyna elektromagnit tolkunlary diýilýär. Älem tolkunlary boý tolkunlarydyr, elektrik we magnit meýdanlarynyň napraženiýasynyň  $E$  we  $N$  wektorlary özara perpendikulýardyr we tolkunýň ýaýramak wektorynyň tizligine perpendikulýar bolan tekizlikde ýatandyrlar.

Älem tolkunlary tolkunlaryň uzaklygy boýunça birnäçe diagnozlara bölünýärler.

## Tolkunlaryň kwalifikasiýasy

Tolkunlaryň diagnozlarynyň Ady	Tolkunlaryň uzynlygy	Tolkunlaryň ýygylgy
Infrases we ses ýygylklarynyň tolkunlary	100 km	3 kGs
Has uzyn tolkunlar, XUT	10-100 km	30-3 kGs
Uzyn tolkunlar, UT	1-10 km	300-30kGs
Orta tolkunlar, OT	100-1000 km	3-03 mGs
Gysga tolkunlar GTU	10-100 m	30-3 mGs
Ultragysga tolkunlar, UGT	1-10 m	3000-300 mGs
Mertlik tolkunlar, MT	1-10 dm	300-30 mGs
Desimetrlik tolkunlar, DMT	1-10 sm	30-3 GGs
Santimetrlik tolkunlar CMT	1-10 mm	300-30 GGs
Millimetrlik tolkunlar	0,1-1 mm	3000-300 mGs
MMT	<b>Optiki</b>	<b>diagnozy</b>
Sublimetrlik tolkunlar S.T	0,75mkm -	4,10 <sup>14</sup> -3*10 <sup>11</sup> Gs
	0,1mm	7,5*10 <sup>14</sup> -4*10 <sup>14</sup> Gs
<b>Tolkunlaryň</b>	0,4 - 0,75 mkm	3*10 <sup>15</sup> -7,5*10 <sup>14</sup>
Infragyzyl şöhlenme IŞ	0,1- 0,4mkm	Gs
Görünýän ýagtylyk G.Ý.		
Ultramawy şöhlenme, UŞ		

5. Älem tolkunlary polýarlanma häsiýetine eýe bolýarlar . Egerde tekizlikdäki yrgyldylaryň E elektrik ( wektory) urgy tolkunlaryň ýaýramak ugruna perpendikulýar bolup dürli ugurlara tertipsiz bolsa onda tolkun polýarlanmadyk diýilýär. Egerde E wektoryň yrgyldylary tekizlikdäki diňe bir urga geçýän bolsa onda tolkuna çyzykly polýarlaşyk diýilýär. E elektrik wektoryň yrgyldylarynyň geçýän tekizligine çyzykly polýarlamak yrgyldylaryň tekizligi diýilýär.

Bu tekizligi perpendikulýar bolan, N magnit wektorynyň yrgyldysy bolup geçýän tekizligine polýarlaşma tekizligi diýilýär.

6. Fazalarynyň tapawudyny ýitgisiz saklaýan birmeňzeş ýygýlykly tolkunlar Kogerent diýlip atlandyrylýar. Iki sany Kogerent mopofromatik ( ýagny, ýeke täk ýygýlykly urgylar bilen döräp ), bir tekizlikde çyzykly polýarlamak tolkunlaryň amplitudasy goşulyşýan tolkunlaryň deňleşmegine göre, fazalarynyň tapawudyna bagly bolup durýar. Tolkunlaryň şu baglylygyna interferensiýa diýilýär.

Mapohromatik tolkunlar durli ýygýlyg bilen giňişlige ýaýraýar, ýagny dürli-dürli tolkun bilen älem tolkunlarynyň tizliginiň ýygýlyga baglylygyna dispersiýa diýilýär.

### **Elektromagnit tolkunlarynyň kömegi bilen aralygy ölçemeginiň fiziki esaslary**

Ýagtylyk uzaklyk ölçeýjileriniň hemmesiniň işiniň esasynda aralyklary ölçemeginiň elektromagnit usuly goýlan. Ýagtylygyň tümligini kesgitlemegiň ähli usullaryny ters meseleleri, ýagny ýagtylygyň ýaýramak wagty bilen tizligi boýunça aralyklary kesgitlemek üçin peýdalanmak mümkin.

Ýagtylyk tolkunlarynyň ölçeme wagtyndaky tizligi hemişelik we belli diýip çaklaýarlar. Diýmek ölçenen aralyk ýagtylygyň tizliginiň bahasyny hasaplamak üçin otnositel ýalňyslyga deň bolar ( hatda ähli abzal ýalňyslyklary nola deň bolanda-da ). Şöhlelenme häsiýetine

baglylykda ýagtylyk uzaklyk ölçējilerini impulslylara we fazalylara bölýärler.

Fazaly uzaklyk ölçējileriniň shemasy ilkinji gezek 1933-nji ýylda sowet oýlap tapyjysy G.U.Trofimuk tarapyndan hödürlendi. 1936-nji ýylda Döwlet optiki institutynda sowet fizikleri A.A.Lebedow, W.G.Wafiadi, W.W.Balakow tarapyndan uzaklyk ölçējiniň ýaramly maketi döredildi, emma ol pes takyklykda bolup giňden ornaşdyrylmady. Onuň üstesinede şunuň netijeleri 20-ýyl geçenden soňra neşir edildi.

1952-nji ýylda E.Bergstrandr ( Şwesiýa ) tarapyndan geodimetr diýlip atlandyrylan birinji fazaly ýagşylyk uzaklyk ölçējji döredilen soňra ýagtylyk uzaklyk ölçējiler giňden ulanylyp başlandy.

Öňki SSSR-de , soňra 25 ýylyň dowamynda köpçilikleýin çykarylyp başlap SWW-1 ýagtylyk uzaklyk ölçējisi 1953-nji ýylda W.A.Weličkonyň ýolbaşçylygyndaky oýlap tapyjylar tarapyndan döredilen we ony döredijileriň hormatyna Weličko Bysilýewiň ýagtylyk ölçējisi (SWW) diýlip atlandyryldy.

Impuls uzaklyk ölçējileriniň kömegi bilen adatça diffuzserpikdiriji obýetklere çenli aralyklary ölçējärler, fazalylaryň kömegi bilen bolsa serpikdirijilere çenli aralyklary ölçējärler. Soňky

wagtlarda fazaly ýagtylyk uzaklyk ölçējileri orta çykdy. Olar nokatlaryň üstünde serpikdiriji oturtmazdan nokatlara çenli aralyklary ölçējärler, ýagny ölçeg

objektinden serpidirilen signal kabul edilýär. Ölçeýän nokada çenli aralyk şu formula boýunça hasaplanýar:

$$S = v\tau/2 \quad (1)$$

bu ýerde  $v$ -ölçeme pursatynda belli we hemişelik diýip çaklanýan ýagtylygyň howadaky tizligi.  $\tau$ - ýagtylyk tolkunlarynyň ölçenýän nokada çenli we yzyna ýagtylyk tolkunlarynyň geçýän wagty. Ýagtylygyň howadaky tizligini

$$v = C/n \quad (2)$$

aňlatma arkaly tapýarlar, bu ýerde  $C=299\,792\,458$  m/s ýagtylygyň wakumdaky tizligi;  $n$  – şöhlenenmäniň tolkun uzaklygyna temperatura, basyşa we çyglylyga bagly bolan ýagtylygyň howada döwürlemek görkezijisi.  $n$  – iň ýagtylygyň tolkun yzaklygyna baglylygy Koşiniň formulasy bilen aňladylýar:

$$10^6(n-1) = N_0 = A + B/\lambda^2 + C/\lambda^4 \quad (3)$$

bu ýerde  $N_0$  – standart şertlerde döwürleme indeksi ( $T_0=15^\circ$  C,  $P=760$ mm simap sut);  $\lambda$  – ýagtylygyň wakumdaky uzaklygy;  $A, B, C$  - dispersion koeffisientler has takyk ( $5 \cdot 10^{-8}$ ) 1966-nji ýylda Elden tarapyndan alyndy :

$$N_0(15, 760) = 272.613 + 3 \cdot 1.52294 / \lambda^2 + 5 \cdot 0.01367 / \lambda^4 \quad (4)$$

Ölçeme wagtynda ýagtylyk tolkunlarynyň trassada ýaýramak meseleleri bilen ýalňyşlyklary azaltmak üçin onuň temperaturasynyň, basyşynyň we çyglylygyň funksiýasy hökmünde howanyň dykzylygyny



kesgitleýärler. Ýagtylyk uzaklyk ölçeýjiliginde adatça Berelliň we Sirsiň formulalaryny peýdalanýarlar:

$$N=N_0(T_0/P_0) \frac{P-e}{T} + [N_0 T_0 / P_0 - (17,045 - 0,5572 / \lambda^2)] e/T$$

( 5 )

bu ýerde  $N_0$  (4) formula boýunça kesgitlenýärler;  $T_0$ ,  $P_0$  – termodinamiki temperaturanyň we howanyň basyşynyň standart bahalary;  $e$  – howanyň çyglylygy simap süt. mm-de  $N$  döwürleme indeksini kesgitlemegiň takyklygy  $T$ ,  $P$  we  $e$  – ölçemegiň takyklygyna bagly

bolýar:

$$\delta_n = \sqrt{(dn/dT)^2 \delta T^2 + (dn/dP)^2 \delta P^2 + (dn/de)^2 \delta e^2} \quad (6)$$

Atmosfera birmeňzeş sreda däl, onda temperaturada, basyş we çyglylyk diňe bir trassanyň töwereginde nokatdan nokada çenli üýtgemeyär, emma wagt boýunça üýtgeýär. Şonuň üçinem aralyk ölçenende ýagtylygyň  $V >$  tizliginiň ähli trassa üçin orta bahasy belli bolmalydyr ( $< >$  alamat orta bahany aňladýar).

Eger - de temperaturanyň, basyşynyň we çyglylygyň üýtgemelerini hasaba almasaň onda temperaturada  $-40$ -dan  $+40^\circ \text{C}$ -a çenli üýtgeýän ýerüsti şertler üçin tolkunlaryň ýaýramak tizligini hasaplamagyň oňositel ýalňyşlygy  $1:5000$  bolar we diýmek, edil şunuň ýaly ýalňyşlyga ölçenýän aralyk hem eýe bolar.  $V$ -kesgitlemegiň takyklygyny ýokarlandyrmak üçin howanyň döwürleme görkezijisiniň  $< n >$  orta integral bahasyny bilmek zerur:

$$\langle n \rangle = 1/L \int_0^L n(X) dx \quad (7)$$

Döwülme görkezijisiniň orta integral bahasy takmyny kesgitlenip biliner, sebäbi ony çetki nokatlarda meteoelementleri ölçemegiň esasynda hasaplanýar. Şunuň bilen birlikde meteoelementleri kesgitlemegiň ýalňyşlygyna bagly bolan, ölçenýän çyzygyň otnositel ýalňyşlygy 1:500 000 ululyk bilen häsiýetlener.

### **Elektromagnit tolkunlarynyň kömegi bilen aralygy ölçemegiň umumy düzgünleri.**

Elektromagnit tolkunlarynyň kömegi bilen aralygy ölçemegiň mümkinçiligi tolkunýň geçýän wagtyna baglanyşkly esaslandyrylýar. Egerde älem tolkuný diňe göni çyzykly bir tekizlikde ýaýraýar diýip göz önüne getirsek, onda bu baglanyşyk göniçyzykly, bir sydyrgyn hereketiň deňlemesini aňladar

$$S = vt$$

şunlukda käbir soňky wagtyň aralygynda  $\tau = t_2 + t_1$  tolkun ahyrky aralygy

$$D = v\tau$$

geçer. Muny kesgitlemek üçin bolsa  $\tau$ - wagty aralygyny kesgitlemek we  $v$ -ýaýramak tizligini bilmek zerur bolýar.

Goý,  $D$  aralyk haýsydyr bir  $A$  we  $B$  nokatlaryň  $AB$  kesişme deň bolsun.  $\tau$ -wagty ölçemek üçin tolkunýň  $A$  nokatdan çykan  $t_1$  wagtyny we tolkunýň  $B$  nokadagelen  $t_2$  wagtyny ölçemek gerek. Ony şol bir abzal bilen ýerine ýetirmek

tehniky taýdan aňsat bolýar. Hakykatdan hem A we B nokatlarynda guraly goýmak mümkin däl we şeýle çemeleşýärler.

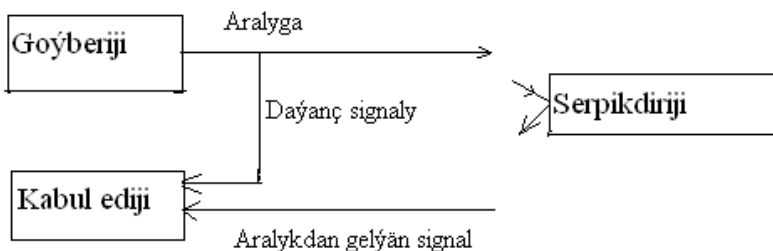
B nokatdan tolkuný basy ölçeg abzaly goýlan A nokada serpikmäge mejmur edýärler. Ölçeg abzaly bilen tolkunýň çykan we A nokada dolanyp gelen pursatlaryny belleýärler. Şeýlelikde kesgitlenýän hakyky wagty aralygy  $2\tau = \tau_2 D$ , ýagny , iki esse aralyga  $2D$  gabat gelýär, we şonuň üçin hereket aralyk

$$D = \frac{v \tau_2}{2}$$

Wagty ölçemeginiň ýalňyşy

$$m \tau_2 D = \frac{2 m d}{v} = \tau_2 D \frac{m}{D}$$

Aralygy ölçemeginiň hemme usullarynyň fiziki manysy öwrenýän aralyga älem şöhesiniň deňeşdirilmegine esaslandyrýar. Adatça ölçenýän aralygyň bu nokadynda tolkuný goýberýän we kabul edýän gurallary bilen abzal tarapyň beýleki nokadynda – serpikdiriji goýulýar we şol bir goýberilýän signal kabul edijä iki ýoldan aralyga çykmazdan we aralygy geçip ( serpikdirijä çenli we yzyna signalyň geçen ýoly ) ugrayar



Birinji ýol dolniç ( kanaly ) ýada trakt diýlip atlandyrylýar, bu kanal bilen gidýän signala daýanç signaly diýilýär. Ilkinji kanal aralyk kanaly we serpikdirijiden gelýän aralyk signala aralyk signaly diýilýär.

Kabul edijide daýanç we aralyk signalyň saýlanan parametri deňeşdirilýär, başga söz bilen bellenen parameter boýunça olaryň tapawudy ölçenýär. Bu signallaryň şol bir goýberijide we görkezilen (aýratynlyk) olaryň duruş ýollary geçilmegidir daýanç signaly d-ýoly geçýär aralyk signal 2D, ýagny ölçenýän aralyk ýoluň D ululygy önünde saklaýan  $2D - d$  funksiýadyr.

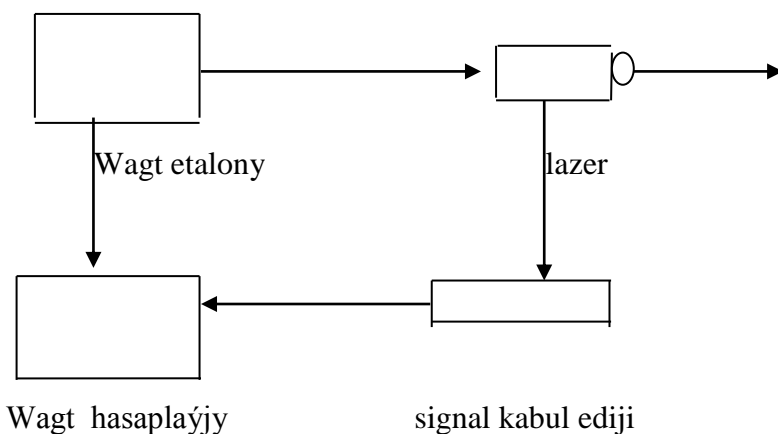
Daýanç we aralyk signallary deňeşdirmek üçin parametrleri saýlamaklyk aralygy ölçemegini usulyny kesgitleýär. Wagtlaýyn (impulsly), ýyglylykly we faza usullary bar. Fazaly usul 2 görnüşde amala aşyrylaýar: alyp baryjy ýyglykda ( modulýasiýasy ) we moduliýasiýanyň ýyglygynda, alyp baryjy ýyglygyň faza usulyna köplenç Interferension usuly diýilýär. Käwgtlar wagtlaýyn we faza usullara bilelikde implusly fazaly usul diýilýär.

### **Wagtlaýyn impulsly usul.**

Wagtlaýyn impulsly usul bilen aralyk ölçenende göniden-göni uzak arakesme bilen uguryň başynda goýulan kabul ediji – goýberijiden gelýän uguryň soňunda goýlan serpikdiriji çäkli aralygy geçip uguryň başlangyjyna gelen şöhle çesmesinden çykýan elektromagnit ( ýagtylyk ) tolkunlar modulýatoruň kömegi bilen amplitudaly ýa-da ýyglykda modulirlenen impulsa öwrülýär.

Modulirlenýän impulslar mudulorleýjä düşýärler, modulirleýjiler hemişelik ýygylkly generatotyň sinusoýdal yrgyldylary hemişelik we ýokary durnukly gaýtalamak ýygylkly  $F_p$  impluslaryna öwürýär. Şeýlelikde alynan signallar ( zerurlyk ýüze çykanda signallary güýçlendiriji bilen güýçlendirip bolýar ) antenadan optiki sistema serpikdirijä tarap şöhlelenýär. ( ýaýradylýar ). Serpikdirijiler gowşak optiki diagnozda ( aýna ýada prizma görnüşinde ) ýada aktiw ( radiodiagnozda ) şöhlelenmäni kabul edip, güýçlendirip we güýçlenen signallary ölçenýän ugruň başyna ygrukdyryjy abzallary özünde jemleýär.

Elektromagnit tolkunlar serpikdirijiden soňra kabul ediji antenanyň ( optiki ulgamyň ) kömegi bilen kabul edijä düşýär we ol ýerde elektrik impulsynyň yzygiderligine öwürülýär. Goýberijiniň modulirleýän impulsalary şeýle hem kabul edilen impulslar wagt ölçeýji gurala düşýärler. Şeýle gural bolup meselem elektron şöhle trubasy hyzmat edip biler. Bu halatda impulslar ekranda şekillenýär.



Täze çykýan abzallarda impulsyň geçýän wagtny ölçemek üçin elektron şöhle turbasyna derek adatça elektron hasaplaýjy peýdalanylýar. Impulsly lazerli abzallarda lazer impulslara şöhelelenýän wagty kwars ýada atom sagatlary bilen belleýär.

### **Impuls usulynyň gowy tarapy :**

- Impulsyň geçýän wagty ölçegiň göniden – göni netijesi bolup, ugyryň uzaklygy impulsyň ýol geçer wagtyna deň bolýar;
- Uzaklygyň doly ölçegi göni ölçenilýär we uzaklygyň ýakynlaşyk uzynlygyny bilmek zerurlygy ýok;
- Ölçeg tiz ýerine ýetirilýär we amatly formada netije berýär;
- Guralyň az energiýa sarp etmegi bilen, ýörite serpikdiriji bilen üpjün edilmedik ýagdaýynda aralygy

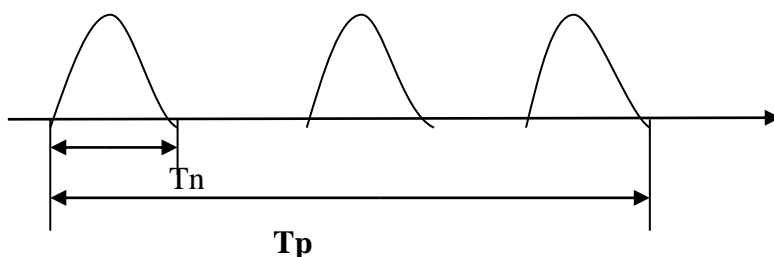
ölçemek, şeýle hem ýeriniň emeli hemralaryna we aýa çenli aralygy ölçemek mümkinçiligi;

Impuls usulynyň ýetmezçiligi fazaly usul bilen deňeşdirilende az takyklyk geodeziýada ýer üstünde aralyklar ölçenende bu takyklyk zerur talaplara gabat gelmeýär. Şonuň üçinem ýerüsti geodeziýada impuls usuly esasan radiogeodeziki ulgamlarda, kosmiki geodeziýada optiki diagnozda giňden ulanylýar. Gysga impulslaryň ( signallaryň ) ýaýramak wagty ölçeýär. Aralyk

$$D = \frac{vt \cdot 2D}{2} \quad \text{formula boýunça}$$

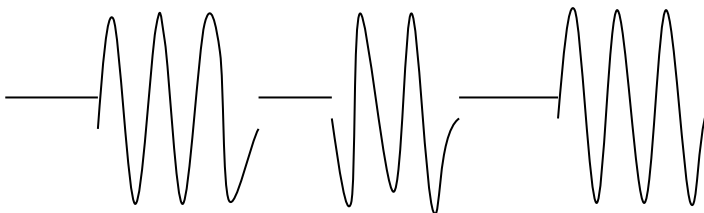
hasaplanýar.

Impulsly şöhlemenmede göýberiji impulslaryň wagty uzaklygyna deň gysga wagtyň dowamynda işleýär.



Impulslaryň gaýtalanmak döwiriniň  $T_p$  impulslaryň dowamlylygynda gatnamagyna skwažnost diýilýär. Uzaklygy ölçemekde ulanylýan impulslar az dowamlylykly we örän uly skwažnost ( 1000 gowrak ) bolmalydyr.

Hakykatda uglamerde energiýa adatça impluslar ýatan ýokary ýygyllykly alyp baryjy tolkunlar görnüşinde şöhlenenýär. Munuň üçin Amplitudaly ýada ýygyllykly modulýasiýa peýdalanylýar. Şöhlenenmäni ýerine ýetirmegiň ýönekeýligi has az orta kuwwatlygy sebäpli amplituda üýtgetmek amatly bolýar; Implusyň dowam edýän wagty aralygynda ýokary ýygyllykly üýtgeýän amplitudaly yrgyldylar şöhlenenýärler, arakesme wagty impluslara şöhlenenme bolmaýar.



Ýygyllyklaryň üýtgemeginde bolup geçýän yrgyldylarda şöhlenenýän yrgyldylaryň amplitudasy üýtgeşsiz galýar ýygyllyk implusynyň dowamynda üýtgeýär.

Ölçegleriň aralygyň usuly birmeňzeş bolmagy üçin impluslaryň hereket edýän döwri impluslar öňe we tiz geçiş wagty  $T$  uly bolmadylar. Bu ýagdaýda serpikdirilen signal kabul ediji impulsuň şöhlenenmeginden öň gelip ýetýär. Aralyklaryň gysga boldugyça impulysyň wagty ýar bilen geçip ýygyllygy ýokary bolýar.  $F_P = 1/T_P$  Ölçegleriň talap edilýän taktlygy



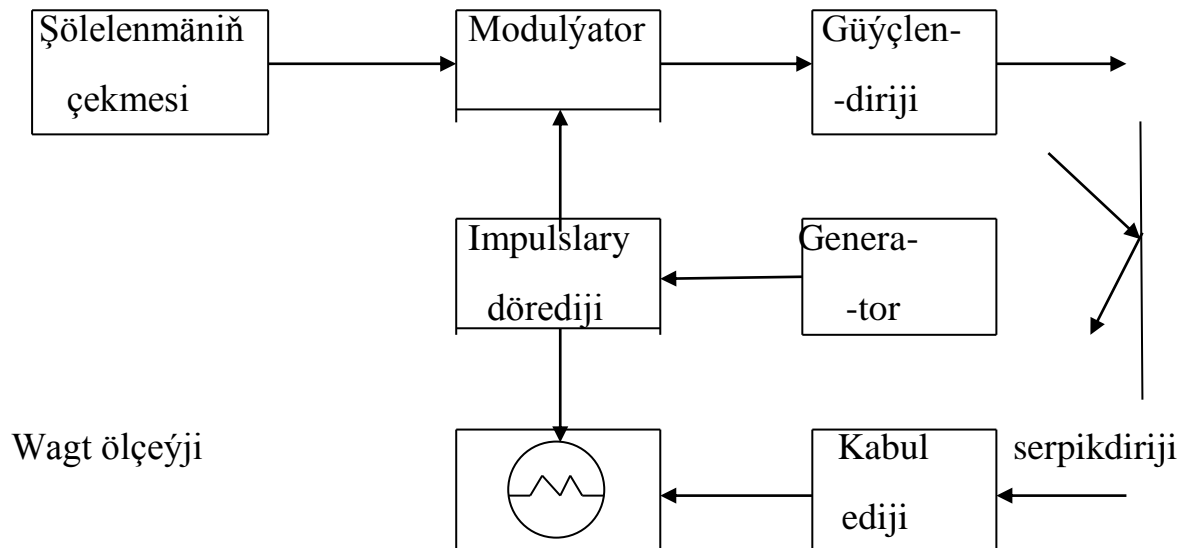
$$m_{\tau 2D} = \frac{2mD}{V} = \tau \frac{m d}{D} \text{ formula bilen kesgitleýäris.}$$

Aralygy santimetr takyklygynda kesgitlemek üçin impulsyň ýaýramak wagtyny nanosekundyň bir bölegi bilen ölçemek zerurdyr. Şol sebäpli hem takyk uzakölçeýjilik  $\phi / N$  radioýygylykly impluslara peýdalanmak bilen ýerine ýetirilýär. Impuls usuly umuman amatly däldir.

Lazer tehnikasynyň ösmegi dowamlylygy 10-dan 0,1 optiki impluslara almaga mümkinçilik dörettdi. Şonuň bilen birlikde aralyk ölçemegiň ýalňyşlygy 1mm-den santimetr birliklerine deň boldy. Şunlukda lazeriň yzy üzilmeyän lazerler bilen deňeşdirilende ýokary kuwwatlylykly şöhlelenmäni almaga getiren örän uly aralyklary ölçemeklige mümkinçilik dörettdi. Implusly lazer tehnikasy aýa çenli ýada ýeriň emeli hemrasyna çenli aralyklar absalýut takyklygy deň gelmesede gerekli ýokary otnositel takyklyk bilen ölçemeklik gazandy. Goýberilmegiň kuwwatlylygynyň uly bolmagy ýörite serpikdiriji bilen üpjün edilmedik obýektlere çenli aralyklary ölçemäge hem mümkinçilik berdi. Meselem, urujy aparatlaryň ýeriň üstünden beýikligini kesgitlemek ýada deňiziň çuňlugyny ölçemek mümkinçiligi döredir.

Soňky wagtlarda ölçegiň implus usulyny ulanýan kiçi aralyklary ölçemäge niýetlenen ýagtylyk diodly elektrooptiki uzakölçeýjiler hem döredildi.

## Implusly yzakölçeyjileriň gurluşynyň umulaşdyrylan çyzgysy.



## **Aralygy ölçemegiň Fazaly usuly. Masştab we getiriji ýygylýk**

Geodeziki ýerüsti uzakölçeýjilikde has köp ýaýran usul fazaly usuldyr we köp radiogeodeziki ulgamlarda, ýagtylyk we radiouzakölçeýjileriň hemmesinde diýen ýaly peýdalanylýar

Fazaly uzakölçeýjiligiň umumy düzgünleri.

Fazaly usul, garmoniki yrgyldynyň fazasynyň ugurly funksiýadygyna, şonuň üçin hem käbir wagtyň böleginde fazanyň üýtgemegi şol wagtyň içinde garmoniki yrgyldynyň geçen aralygynyň ugurly funksiýasy bolar diýen düşüňjä esaslanýar.

Fazaly uzakölçeýjiligiň esasy deňlemesi. Goý, aýlawly ýygylýkly we fazaly garmoniki yrgyldyny şöhlelendireliň.

$$\varphi_1 = Wt + \varphi_0$$

D aralykda serpikdiriji oturdylan, serpikdirijä çenli we yza 2D aralygy geçip, yrgyldy kabul edijä gelýär. Şunlukda olaryň fazaly şol bir wagt hasabynyň başynda

$$\varphi_2 = W(t - \tau_{2D}) + \varphi_0$$

Bu ýerde  $\tau_{2D}$  aralyk ugry boýunça öňe we yza geçen şöhlelenmäniň wagty.

Faza ölçýji bilen şöhlenen we kabul edilen yrgyldylaryň fazalarynyň tapawudy:

$$\varphi_{2D} = \varphi_1 - \varphi_2 = W\tau_{2D} = 2Ff\tau_{2D}$$

bu ýerden wagt

$$\tau_{2D} = \varphi_{2D} / 2Ff$$

Yrgyldynyň ýaýramak  $W$  tizligi formula bilen hasaplanýar  $D = W\tau_{2D} / 2 = W\varphi_{2D} / 4Ff$

Şunlukda  $D$  aralygy eger-de fazalaryň süýşmegini  $\varphi_{2D}$  f ýygylýkda ölçeseň (tizlik belli bolanda) hasaplap bolar.

Fazalaryň süýşmegi  $\varphi_{2D}$

$\varphi_{2D} = 2FN + \varphi$  ýaly göz öňüne getirip bolar.

Bu ýerde  $N$ -bitin san, a  $\varphi - 2F$  ( $0 < \varphi < 2F$ ) kiçi san.

Islendik faza ölçýji faza süýşmesini diňe o-dan  $2F$  çägä çenli ölçäp bilýär, ýagny diňe  $\varphi$  ululygy ölçýär, a şunlukda  $N$  san näbelli bolup galýar.

f-laky deňlemä goýup  $D = W/2f_1 (N + \varphi / 2F)$  fazaly uzakölçýjiniň esasy deňlemesini alarys.

Bu ýerde iki sany näbelli  $D$  we бүтін сан  $N$  bar. Bulary kesgitlemek üçin ýörite usullary ulanýarlar köplenç deňlemäni

$$D = \lambda/2 (N + \varphi/2p)$$

Ýa-da

$$D = \lambda/2 (N + \Delta N)$$

Görnüşinde ýazýarlar. Bu ýerde  $\lambda = W/f_1$  – tolkunynyň uzynlygy

$$\Delta N = \varphi / 2F - \text{birden kiçi drob (bölüji)} (0 < \Delta N <)$$

masştab ýygylýgy. Formula ölçenýän aralygyň käbir ( $N + \Delta N$ )  $\lambda/2$  ýarym tolkun sana deňdigini görkezýär. Başga söz

bilen aýdanymyzda  $\lambda/2$  kömegi bilen aralyk ölçenilýän ugur ölçegini aňladýar. Ýagny, ölçenýän kesimde özboluşly masştab birligini emele getirýär. Şonuň üçin hem ölçenýän faza süýşmesi degişli bolan tolkunynyň uzynlygyny  $\phi$  ýygylgy masştab ýygylgy atlandyrylýar. Goýberijiden şöhlelenýän yrgyldynyň ýygylgy masştab ýygylgydyr. Has kiçi hereketli ýygylklarda faza ölçegleri köp radiogeodeziki ulgamlarda amala aşyrylýar.

Häzirki zaman geodeziki fazaly uzakölçeýjilerde şöhlelenýän yrgyldylaryň modulýasiýasy ulanylýar we masştab ýygylgy bolup modulýasiýanyň ýygylgy hyzmat edýär.

### **Modulýasiýanyň Roly we fazaly uzakölçeýjiniň çyzygysy**

Ýeterlik uly şöhlelenme ýygylkda (has beýik ýygylkdan başlanýan diapozonly) fazaly ölçegleri geçirmek has kyn bolup, hasam optiki ýygylklarda  $N$  sany kesgitlemek çylşyrymlydyr. Şeýle ýygylklarda ölçegi fazometriň kömegi bilen däl-de şöhlelenen we kabul edilen yrgyldynyň kabul edilen nokadyndaky interferensiýasynyň göniden-göni netijesini ýagny interferension usul bilen bellige almak bilen geçirilýär. Bu ýagdaýda uzaklykölçeýji interferometre öwrülýär. (Has ýokary ýygylkly ýa-da optiki). Interferometrler ölçegiň has ýokary takyklygyny üpjün edýär, emma interferension usula özboluşly kynçylyklar we belli çäk mahsusdyr. Şonuň üçin hem häzirligçe bu usul ýörite meseleleri çözmek üçin käbir aýratyn ýagdaýlarda ulanylýar.

Fazaly ölçegler üçin geodeziki uzakölçeýjilerde ulanylmaga degişli ýygylklar 10-500 MGS dianokiçi

yrgyldynyň zonda ýatan ýygýlyklardyr. Ýöne göniden – göni şöhlenenmesini takyk ölçegler üçin käbir sebäplere görä (ýeriň üstünden serpikmek, defraksiý, antennanyň uly göwrümi) ulanmak mümkin däl.

Şonuň üçin hem tolkunlaryň şöhlenenmegi ýaýramagy şerti boýunça talaba laýygy has ýokary ýygýlykly we optiki diapozonly tolkunlarydyr, fazaly ölçegleriň nukdaýnazaryndan – has pes ýygýlyga gabat gelýän tolkunlardyr.

Bu gatnaşygy aradan aýyrmak üçin fazaly uzakölçeýjilerde şöhlenenýän tolkunlaryň modulýasiýasyny ulanýarlar. Goýberiji has ýokary ýygýlykly ýa-da optiki diapazony yrgyldylar şöhlelendirýär. Olar 10-500 mgs yrgyldylar bilen modulirlenýärler we bu yrgyldylar fazaly ölçeglere degişlidirler, ýagny ölçeýji, masştablydyrlar.

Şeýlelikde, goýberiji modulirlenen yrgyldylary şöhlelendirýär. Hereketli ýygýlyklaryň diňe masştablary ýygýlyklary daşajy hökmünde gerekligi üçin modulirlenen yrgyldylar kabul edilenden soňra hereketli ýygýlykdan aýyrmaly bolýar, ýagny, kabul edilen modulirlenen signaldan diňe masştably ýygýlykly yrgyldylary-modulýasiýa ýygýlygyny saýlamak zerurlygy ýüze çykýar. Onuň üçin detektirleme usulyny ulanmaly bolýar. Aýdylanlara salgylanyp fazaly uzakölçeýjini, şeýle görkezmek bolar. Hereketli ýygýlyklaryň ulanylýan diapozonyna barlykda geodeziki fazaly uzakölçeýjiler 2 sany hili boýunça dürli taraplara bölünýärler-ýagtylyk-radio uzakölçeýjiler.

Ýagtylyk uzakölçeýjiler – bu hereketli ýygýlyklaryň deregine optiki diapozonly ýygýlykly – görünüň ýagtylyk ýa-da infra gyzyl şöhlenenme ulanylýan uzakölçeýjilerdir.

Radiouzakölçeýjiler- bu hereketli ýygylklaryň deregine has ýokary ýygylkly radiodiapazonlar (santimetrlik ýa-da millimetrlik radiotolkunlar) ulanylýan uzakölçeýjilerdir.

Şeýlelikde, ýagtylyk we radiouzakölçeýjileriň aýratynlygy olaryň peýdalanylýan hereketli yrgyldylaryň diapozonlarydyr.

Fazaly uzakölçeýjileri 2 topara bölmek bolar.

Birinji tarapy fazalarynyň tapawudy  $\varphi$  öňünden kesgitlenen we berlen modulirlеме ýygylgynda  $f$  ölçenýän (uzakölçeýji taslananda göz öňünde tutulýar) uzakölçeýjiler düzýär.

Uzaklykölçeýjide bahalary belli bolan birnäçe bellige alnan ýygylklaryň bolmagy mümkin, we şeýle uzakölçeýjilere Bellenen ýygylkly uzakölçeýjiler diýilýär.

Ikinji topary modulirlеме ýygylgy  $f$  käbir diapazonda emäý bilen üýtgedip bolýan uzakölçeýjiler düzýär.

Şunuň bilen birlikde ýygylk üýtgäinde fazalaryň tapawudy  $\varphi$  hem üýtgeýär. Şunuň ýaly uzakölçeýjilerde  $\varphi$  -niň ýerine  $f$  ýygylgy ölçeýärler. Şonda  $\varphi$  kesgitlenen belli baha deň bolýar. Şeýle görnüşli uzakölçeýjilere üýtgeýän ýygylgyň modulýasiýasynyň uzakölçeýjisi diýilýär. Üýtgeýän ýygylkly uzakölçeýjiler örän seýrek duşulýar. Ýagtylyk we radiouzakölçeýjiler iki sany üýtgeşsiz nokatlaryň aralygyny ölçeýär. Üýtgeýän obýektlere çenli aralygy olaryň koordinatalaryny kesgitlemek üçin ölçemek işleri suratlaryň aýratyn radiogeodeziki ulgamlar diýilip atlandyrylýan gurallar ulanylýar.

## **Aralygy ölçemegiň ýygylkly usuly. Ýygylkly uzaklyk ölçemegiň funksional blok-shemasy. Ýygylkly usulyň takyklygy**

Aralygy ölçemegiň ýygylkly usuly ýygylkly – modulirlenen yrgyldydlary ulanmaga esaslanandyr we ýygylkly-modulirlenen signalyň serpikdirijä çenli we yzyna, ýagny aralyga çenli ýaýraýan wagtynda ýygylgyň artykmaçlygyny ölçemeklige syrykdyrylýar. Eger-de şöhlelenýän yrgyldynyň  $f$  ýygylgy göniçyzykly ugur boýunça üýtgeýän bolsa, ýagny hemişelik tizlik bilen  $\gamma = df/dt$  ulalýan ýa-da kiçelýän bolsa, oňa ýygylgyň  $\tau_{2D} = 2D / W$  wagt içinde üýtgemegi

$$\Delta f = \gamma \tau = \gamma 2D / \Delta f \text{ ululygy ölçäp, aralygy}$$

$$D = W/2\gamma \Delta f$$

formula boýunça *hasaplap bolar*.

Şöhlelenme yzygider bolsa göniçyzykly yrgyldynyň yzygider üýtgemegine derek modulirlemegiň döwürleýin nokadyny ulanmak gerek bolýar. Ýagny, başlangyç ýa-da orta ululyga görä ýygylgy döwürleýin üýtgetmeli bolýar.

Eger-de şöhlelenýän

$$E = E_m \cos (Wt + \varphi_0)$$

Garmoniki yrgyldy  $W$  ýygylk käbir  $= W(t)$  kanun boýunça üýtgeýän bolsa onda bu yrgyldy ýygylgy boýunça modulirlenen yrgyldy.

$$E_{\text{üm}} = E_m \cos [S^{-1}w(t) dt + \varphi_0]$$

Deňlemä  $W(t)$  ýygylk üýtgemäniň anyk aňlatmasyny goýsak, onda modulirlemegiň dürli ýagdaýlarynyň doly



aňlatmasyny alarys. Mysal üçin,  $\Omega$  ýygyllykly garmoniki yrgyldyda ;

$$W(t) = W_0 + \Delta W \cos \Omega t.$$

$$E_{y.m.} = E_m \cos [w_0 t + \Delta W \zeta'_0 \cos \Omega t + \varphi_0] = E_m \cos [w_0 t + \beta \sin \Omega t + \varphi_0]$$

Bu ýerde  $\beta = \Delta w / \Omega$  - modulirlenmegiň indeksi.

Uzakölçemeklik maksady üçin sinus üçburçly we byçkygörnüşli kanunlar boýunça modulirlenmegi peýdalanmak mümkin.

A duralgada hereketli yrgyldysy bolan goýberiji we modulirleýän signalyň generatory bar. Generatoryň täsiri astynda ol ýa-da başga kanun boýunça ýygyllygy boýunça yrgyldy modulirlenýär, we şeýlelikde goýberiji ýygyllygy modulirlenen yrgyldyny şöhlendirýä. A duralgadaky kabul ediji-garyjy serpikdirilen we göniden – göni göýberijiden şöhlelenen şöhleleri kabul edýär. Bu iki ýygyllygy modulirlenen signaly kabul edijide garylýar we onuň çykalgasynda garylýan yrgyldylaryň ýygyllyklarynyň tapawudyna deň bolan ýygyllykly signal bölünýär. Ony ugry signaly ýa-da üýtgäp durýan signal diýlip atlandyryrlar.

Şeýle guralyň işine seredeliň. Egerde modulirlenen ýygyllykly yrgyldy 2D aralykda ýaýraýan bolsun, onuň ýygyllygyň üýtgemek kanuna baglanyşyksyz  $W(t)$  egri kabul ediş nokadynda şöhlelenmek nokadyna görä  $\tau_{2D} = 2D / W$  ululykly aralyga wagt boýunça süýşen ýagdaýynda bolýar. Bu çyzgyda modulirlenmegiň dürli görnüşleri – üçburçly (a), byçgy görnüşli (b), we sinusoid.

Ýygýlykly modulirlemegiň dürli kanunlarynda göni we serpikdirilen signallaryň ýygýlyklarynyň we täzeden döran signallaryň ýygýlygynyň wagt boýunça üýtgemegi.

Şunlukda, kabul edijide iki sany modulirlenen ýygýlykly yrgyldy garylýar. Olaryň ýygýlyklary degişlilikde  $W(t)$  (göni signal) we  $W(t-2D/W)$  (serpikdirilen signal) funksiýalar bilen aňladylyp bilner. Garylýan yrgyldylary

$$E_{daýanç} = E_1 \cos [\xi^t_0 W(t) dt + \varphi_{01}] = E_1 \cos \Theta_1,$$

$$E_{daýanç} = E_2 \cos [\xi^t_0 W(t-2D/W) dt + \varphi_{02}] = E_2 \cos \Theta_2,$$

Şunuň bilen birlikde göni signalyň amplitudasy serpikdirilen signalyň amplitudasyndan köp ýokary ýagny,  $E_1 \gg E_2$  bolýar.

Radiotilsimatlardan belli bolşy ýaly signallary garyşdyrmak üçin olary göniçyzyksyz elemente geçirmeli bolýar. Garyjynyň Wolt-amper häsiýetiniň göniçyzyksyzlygy çykýan tokda çykýan napreženiýanyň düzüjisine deň bolan ululygyň bolmagyna getirýär.

$$i = K E_{daýanç} E_{aralyk} = K/2 E_1 E_2 \cos (\ddot{O}_1 - \ddot{O}_2) + K/2 E_1 E_2 \cos (\ddot{O}_1 + \ddot{O}_2)$$

Aňlatmanyň birinji bölegiň wagtyň islendik wagtynda göni we serpikdirilen signallaryň ýygýlyklarynyň tapawudyna deň ýygýlygy bolýar. Ýygýlygyň fazanyň wagt boýunça önümi bolanlygy, birinji bölegiň fazasy  $(\ddot{O}_1 - \ddot{O}_2)$  deň bolanlygy sebäpli, ýygýlyk üçin

$$d(\ddot{O}_1 - \ddot{O}_2) / dt = d/dt [\xi^t_0 W(t) dt + \varphi_{01} - \xi^t_0 W(t-2D/W) dt - \varphi_{02}] = W(t) -$$

$$- W(t-2D/W)$$

Ýygylyk minus belgili bolup bilmeýär we olaryň tapawut ýygylygynyň belgisiniň täsiri ýokdur. Şonuň üçin hem bizi ýygylygyň urgusynyň absolýut ululygy.

Ugry ýygylygynyň wagt aralygynda modulýasiýanyň dürli şöhlelenme ýygylygynda häsiýeti görkezilen. Sinusoýdal modulirlenen ýygylykda ugry ýygylygy çylşyrymly ugur boýunça döwürleriň üýtgeýändigini, modulirlenen ýygylygyň üçburçly we byçgygörnüşli sypatlarynda  $\tau_{2D} = 2D/W$  aralykda wagt boýunça üýtgeýändigini görýäris. hemişe üýtgemeklik uly bolmadyk, dolanma zolagy diýilýän uzaklygy  $\tau$  bolan aralykda üýtgemeyär.

Dolanma zolagynyň täsiri modulýasiýanyň döwüri bilen deňeşdirilende  $\tau$  wagt az bolýar. Hemişelik ugry ýygylygyny esasy diýip atlandyrylýars we  $\Delta f_0$  bilen belläris.

Eger-de dolanma zolagyny hasaba alsak, üçburçly we byçgygörnüşli modulirlenmekde esasy ugry ýygylygy diňe  $\tau_{2D}$  saklanma (ýagny  $D$  aralykdan) bagly bolýar diýip bolar. Garalýan ýagdaýlarda ýygylygyň üýtgemegi döwürli-göniçyzykly kanun boýunça bolup geçýändigini sebäpli formulany döwürli prosessi häsiýetlendirýän ululyklar bilen aňladyp bolar.  $\gamma$  - ýygylygyň  $df/dt$  üýtgame tizligi bolandygy üçin ol ýygylyk göniçyzygynyň wagt okuna ýapgytlyk burçunyň tangensi bilen aňladylýar. Üçburçly modulirlenmegiň ýygylygynda ;

$$\gamma = \Delta F/T/2 = 2\Delta FF,$$

a byçgy görnüşli modulirlenen ýygylykda

$$\gamma = \Delta F / T = \Delta F \times F$$

bu ýerde  $\Delta F$  – ýygylygyň yrgyldy zolagy,  $F$ -modulirllemegiň ýygylygy. Bu aňlatmany deňlemä goýup üçburçly modulýasiýa üçin

$$D = W\Delta f_{\delta} / 4F\Delta F$$

Byçgy görnüşli modulýasiýa üçin

$$D = v\Delta f_{\delta} / 2F\Delta F$$

alarys.

Sinusoidal modulirllemede ugry ýygylygy  $\Delta f_{\delta}$  diňe bir  $D$  bagly bolman, ol her bir ýarym döwüriniň içinde göniçyzykly üýtgeýär. Emma bu ýagdaýda hem diňe  $D$ -den baglanyşygy, görkezilen göniçyzyksyzlygy aradan aýryp almak bolar. Munuň üçin ýarym döwür üçin modulirllemäniň ugry ýygylygynyň bahasyny, ýagny

$$\Delta f_{\delta} = 2/T \int_{\xi}^{T/2} \Delta f_{\delta}(t) \times dt$$

ululygy orta baha hökmünde garamaly.

## Urgynyň ýygylgyny ölçemek. Diskretligiň ýalňyşlygy.

Urgy ýygylgyny ýygylk ölçeýjiniň kömegi bilen ölçenýär. Ol  $\Delta f_{\delta}$ - ýygylgynyň orta bahasyny synaýar. Adatça impulsalaryň sanyny sanaýan ýygylk ölçeýjiler ulanylýar. Üýtgeýän  $\Delta f_{\delta}$ -ýygylk signaly çäklendirmelere we differensirlemege sezewar edilýär, şondan soňra alynan impulsar bilen tasa getiriji işe girizilýär. Tasa getirijiler hemişelik amplitudaly, dowamlylykly we sypatly, impuls hasaplaýja düşýän standart impulsary öndürýär.

Urgy ýygylgyny ölçemegiň şu usuly ulanylanda hemişelik ýalňyşlyk ýa-da diskretligiň ýalňyşlygy ýüze çykýar. Sebäbi ýygylgyny modulirlemegiň döwrüni has ýokarlandyran, ýagny, ölçeý wagty modulirlemegiň döwürlilik aýdyňlaşdyrylýar. Täzeden dörän signalyň spektri biri-birinden  $F$  modulirlemäniň ýygylgyny deň aralykda duran diskret düzüjilerden durýar. Şonuň üçin hem aralyk üýtgände, onda hasaplaýjyda impulsalaryň sanynyň  $\delta f = F$  birlige üýtgeме görnüşinde bellige alynmagy mümkin. Bu bolsa abzalyň belläp bilýän aralygynyň minimum üýtgemegi

$$\delta D = W \delta f / p F \Delta F = W F / p F \Delta F = W / p \Delta F$$

deňlemä gabat gelmeden düzülýär diýmegi aňladýar.

Bu ýerde  $P = 4$  üçburçly we sinusoidal modulirleme,  $p = 2$  byçgy görnüşli modulirleme üçin.  $\delta D$  ululyk hemişelik ýalňyşlyk bolup, ol ölçenýän uzaklyga baglydyr.

Hemişelik ýalňyşlygy aradan aýyrmak üçin uzaklykölçeýjileri shemalaryny düzmekden has çylşyrymly usullaryny ulanýarlar.

## Aralyk ölçemegiň birmeňzeşlik şerti

Aralyklary birmeňzeş ölçenmegi üçin serpikdirilen signalyň eglenen wagty ýygylgyň modulirlemesiniň ýarym döwürinden  $\tau = T/2$ , ýagny  $2D/W < 1/F$  kiçi bolmalydyr. Bu ýerden berlen ýygylgy modul meselesinde

$$D_{\max} = W/4F$$

we ýene uzaklygy üpjün edýän ýygylgy

$$F_{\max} \leq W / 4D_{\max}$$

Şertinden saýlanyp alynmalydyr diýlip düşünilýär.  
Ýygylgy usulynyň takyklygy barada.

formulalary goşup we orta kwadratik ýalňyşlyga geçip

$$m_D / D = \sqrt{(m_F / F)^2 + (m_{\Delta F} / \Delta F)^2 + (m_{\Delta f_{\delta}} / \Delta f_{\delta})^2 + (m_W / W)^2}$$

alarys, ýagny aralygy ölçemegiň otnositel ýalňyşlygy –  $m_F / F$  ýygylyklaryň modulirlemesiniň durnuksyzlygyndan, yrgyldy zolagynyň ýada iki ýygylgynyň durnuksyzlygyndan, urgy ýygylgyny ölçemegiň otnositel ýalňyşlygyndan we signalyň ýaýramak tizligini kesgitlemegiň  $m_W / W$  otnositel ýalňyşlygyndan gelip çykýar. Ýygylgy usulynda işleýän abzallaryň ýalňyşlygy  $10^{-3}$  deň bolýar (bu ýalňyşlyk abzalyň belliginde kesgitlenýär).

## **Uzak aralyk ölçenende atmosferanyň täsiri. Elektromagnit tolkunlarynyň**

### **ýaýramagynyň tizligi. Fazaly we topar tizlik**

Uzakölçeýji abzallar bilen alynmagy etalon edilýän D aralyk hakyky (geometrik) aralykdyr. Göniden-göni şeýle aralygy biz uzakölçeýji ulgam wakumda islän ýagdaýynda alardy. Şunuň bilen birlikde f-lalarda bar bolan e/m tolkunlarynyň W tizligi fiziki fundamental konstanta wakumda ýagtylygyň tizligine (299792, 458 km/c) deň bolan hemişelik we belli ululyk bolardy.

Tolkunlaryň ýaýraýan ugrunda atmosferanyň bolmaklygy şu ýagdaýlara getirýär:

1. Atmosfera wakum bilen deňeşdirilende e/m tolkunlarynyň ýaýramagynyň tizligini peseldýär, deňşililikde uguryň töwereginde ýaýramak wagtyňy uzaldýar (signalyň fazasynyň süýşmegi).
2. Atmosfera e/m tolkunlarynyň geçiş ýoluny egreldeýär. (Refraksiýa hadysasy). Bu bolsa aralygyň uzalmagyna getirýär.

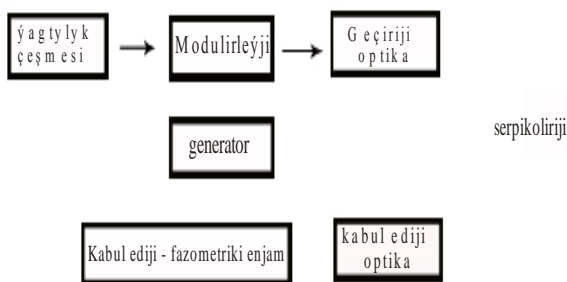
Şeýlelikde, atmosferanyň bolmagy bilen täsiri hasaba almak boýunça 2 sany mesele ýüze çykýar.

Elektromagnit tolkunlarynyň ýaýramagynyň  $v$  hakyky tizligini her bir belli ýagdaýda kesgitlemek (işçi tizlik) we refraksiýa sebäpli tolkunyny.

1. Geçiş ýolunyň uzalmagyny hasaba almak. Uzakölçeýjilikde refraksiýanyň täsirini, onuň kiçiligi üçin köplenç hasaba almazlyk mümkin, zerur halatynda işçi tizligi kesgitlemek has çaltlaşýar.

## Fazaly ýagtylyk uzaklyk ölçýjiniň umumylaşdyrylan blok – shemasy. Ýagtylyk uzaklyk ölçýjiniň gurluşynyň esaslary

Fazaly usulyndan peýdalanylýan ýagtylyk uzaklyk ölçýjileriniň işleýşi 4 – nji sapakda beýan edilen düzgünlere esaslanýar. Atmosferanyň täsirini we abzalyň görkezenlerini hasaba almak bilen şöhläniň az dargaýandygy sebäpli ölçenýän aralygyň beýleki ujunda gowşak sernikdiriji goýmak ýeterlidir.



Çeşmeden şöhlelenýän üznüksiz ýagtylyk akymy ýeterlik ýokary ýygylýk durnuklylyklyly generatoryň naprýajeniýeden dolandyrylýan modulýatordan geçýär. Bu modulýator ýagtylygy modulirleýär. Bu generatordan berilýän modulýasiýa ýygylýklary masştably ýygylýklar bolup durýarlar.

Ýagtylyk uzaklyk ölçýjilerde ýagtylyk modulýasiýasynyň iki görnüşi ulanylýar:



Polýarizasion we ampletudaly. Polýarizasion modulýasiýada aralygy çykýan ýagtylygyň polýarizasion ýagdaýy döwürleýin (modulirlenýän naprýajeniýeniň ýygylygy bilen) üýtgeýär; amplitudaly modulýasiýada bolsa ýagtylygyň intensiwligi döwürleýin gitgeýär. Optiki sistemanyň kömegi bilen moduliirlenen ýagtylyk akymy kollimirlenýär we trassanyň soňky punktyna ugraýar. Optiki sistemany, özüniň uly bolmadyk razmerleri we agramy bolan linzaly ýada aýnaly teleskopy emele getirýär. Modurlirlenen yrgyldylar ýagtylygyň tizligi bilen ölçenýän distansiýanyň töwereginde ýaýraýar. Onuň uzakdaky ujunda ýagtylyk serpikdirilýär. Serpikdiriji hökmünde aýnany ýada aýnaly linzaly sistemany peýdalanmak mümkin, emma köplenç burçly prizmalar (tripel – prizmalar) peýdalanylýar.

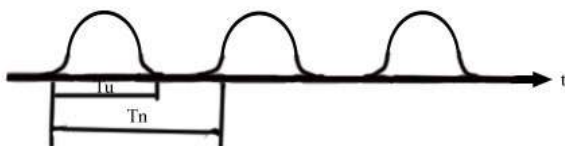
Ýagtylyk uzaklyk ölçeýjileriň shemalarynyň iki sany esasy görnüşi bar: 1) fazaly detektirleme ýagtylyk modulirlenýän takyklykda ýerine ýetirilýär. 2) ýitgedilen ýygylykly shema, ýagny geterodin shemalar. Fazaly usuly geodeziýada ýer üstüni ölçemekde giňden ýaýrandyr we praktikada ähli ýagtylyk we radio uzak aralygy ölçeýjilerde we köplenç hem radiogeodeziki sistemalarda ulanylýar.

Fazaly usul, garmoniki yrgyldynyň fazasy, wagtyň göni funksiýasydyr diýen düşüňjä esaslanan we şeýlelikde, käbir wagt aralygynda üýtgeýän fazalar, garmoniki yrgyldynyň şol wagtda geçýän aralygynyň göni funksiýasydyr.

## Uzaklyk ölçýjiniň esasy teoriýalary. Ekstremal we nulewoý fazalaryň tapawudyny ölçemegiň usullary.

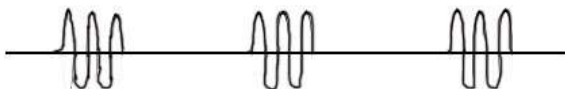
Aralygy impuls usuly bilen ölçenende gös – göni gysgajyk, impulslaryň uzak arakesmeleri ýaly biri – biriniň yzyndan gidýän, olar hem bolsa kabul ediş geçirijiniň başlangyç çyzygynda goýulan söhleleriniň gaýtaryja çenli aralygy geçip, çyzygyň soňunda onuň başlangyç ýagdaýyna gaýdyp gelýär. Impuls şöhlenenende geçiriji diňe impulslaryň uzynlygyna deň bolan wagtyň gysga aralygynda işleýär.

a)



Iň ýönekeý amala aşyrmalygyň netijesinde we ortaça az güýjinde amplituda manipulýasiýasynyň şöhlenenmegi tapawutlanýar; impulsyň uzak şöhlenenme döwründe, hemişelik amplitudanyň ýokary ýygylkly üýtgemegi şöhlenenýär; impulslaryň arasyndaky pauzada (arakesmede) şöhlenenme bolmaýar.

b)



Manipulýasyýa – bu el bilen ýerne – ýetirilýän işde ulanylýan çylşyrymly usul.

Şöhlelenýän amplitudalarynyň üýtgemegi hemişelik galar, ýygylýk bolsa impulsyň uzaklyk wagtynda üýtgär.

w) Impuls usulynyň gowy tarapy şu aşakdakylardan durýar:

1) onuň geçen ýoly ölçeginiň göniden – göni ölçeginiň netijesidir, çyzygyň uzynlygy geçilen ýoluň wagtyna deňdir;

2) doly uzynlygyň göni ölçenmesi amala aşyrylýar, onuň ýakynlaşdyrylan ululyklaryny bilmeginiň zerurlygy ýök;

3) ölçeg çalt geçirilýär we netije oňalyly formada berilýär;

4) Apparaturnyň iň pes güýjünde hem ýörite gaýtaryjylar bilen üpjün edilmedik obýektleriň aralygyny hem ölçemek mümkin, hem – de deýeriň emeli hemralaryna we Aýa çenli aralygy ölçemek mümkin. Impuls usulynyň ýetmezçilik tarapy – fazaly usul bilen deňeşdirilende az takyklygydyr. ýer üstüň geodezik işleriniň aralyklary ölçenende bu takyklyk düzgün bolşy ýaly, zerur talaplara jogp berip bilenok, ýöne käbir uly aralykly şertlerde ulanmak bolar. Şonuň üçin ýer üstüniň geodeziýasynda impuls usuly esasanam radiogeodeziki sistemalarda ulanylýar. Ol kosmiki geodeziýada giňden ulanylýar.

**Ýagtylyk uzyklyk ölçējileriň bilen deňeşdirilende  
Radiouzyklyk  
ölçeýjileriň gowy we ýaramaz taraplary. Radiouzyklyk  
ölçeýjileriň  
kogerent we kogerent däl shemasy.**

Geodeziki radiouzaklyk ölçējiler ölçemeleriň fazaly usulyny ýerine ýetirýär. Radiouzaklyk ölçējiniň işine düşünmeklik üçin şöhlemenäniň nähili ýerine ýeşýändigini, modulýasiýanyň we yrgyldylaryň radiodeopozonda amala aşyrylýandygy barada düşünje almak zerur. Bular barada radiotekhnika dersinde umumy maglumatlar berilýär. Geodeziki fazaly uzaklyk ölçējiler adaty has ýokary ýygyllykly diapozonda işleýärler we yrgyldyklary şöhlelendirmek hem – de kabul etmek üçin has ýokary ýygyllykly tehnikaýyň ýöriteleşdirilen prinsipleri ulanylýar. Bu prinsipler has pes ýygyllyklaryňkydan tapawutlanýarlar. Bu ilki bilen yrgyldylary generirlemäge degişlidir.

Aralyklary ölçemeginiň radioelektron we radiogeodeziki usullary hökmünde çyzyklaryň uzynlyklaryny radiotolkunlaryň wagty boýunça geçmegine düşünilýär.

Radiogeodeziki sistemalar ýeriň üstünde oturdylýan birnäçe gozganmaýan stansiýalardan we bir ýa – da başga hereket edýän obýektde ýerleşýän gozganýan stansiýalardan durýar.

Impulsly we fazaly radiogeodeziki sistemalary tapawutlandyryýarlar.

Impulsly radiogeodeziki sistemalar uzyn aralyklary (birnäçe ýüz kilometre) ölçemek üçin we kiçi masştably kartalary döretmek üçin ulanylýar. Olarda adaty stansiýa talap ediji kabul ediji ugradyjy we indikator enjamy bilen uçarda ýerleşýär, ölçenýän aralygyň uçlarynda bolsa kabul ediji ugradyjyly iki sany stansiýany – jogap berijini oturýarlar.

Çyzygy ölçemegi ugry kesmek usulynda ýerine ýetirýärler.

Fazaly radiogeodeziki sistemalar kogerent we kogerent däl bolup bilerler. Kogerent sistemalarda masştab ýygyllykly bir yrgyldy çeşmesini ulanýarlar

### **Radiouzyklyk ölçýjileriň esasy gurluşy. Tolkun almagyň SWÇ generatory. Tolkun almagyň SWÇ modulýasiýasy.**

Usullaryň fiziki esaslary. Elektromagnit tolkunlary bilen arlygy ölçemegiň mümkinçiligi, tolkunyň geçýän ýoluna hem – de onuň wagtyna esaslanandyr. Elektromagnit tolkunlary hemişelik  $v$  tizlik bilen, berk göni çyzykda ýaýraýar diýip güman etsek, onda göniçyzykly deň wagtyň hereketiň deňlemesi şeýleräk bolar:

$$S = VT$$

Şeýlelikde käbir wagtyň belli bir böleginde  $T = t_2 - t_1$  tolkun soňky aralygy geçer:

$$D = VT$$

Şeýle kesgitlemek üçin  $T$  wagt aralygyny ölçemek we  $V$  tizliginiň ýaýramagyny bilmek zerurdyr. Goý,  $A$  we  $B$  nokatlarynyň arasyndaky käbir  $AB$  kesiminiň aralygy  $D$  –deň bolsun.  $T$  wagty ölçemek üçin  $A$  nokatdan çykýan tolkunyň  $t_2$  pursatyny bellemeli.

Tehniki ýagdaýda muny etmek hemmesinden ýeňil, eger –de iki pursady hem şol bir apparaturada bellesin. Elbetde, şol bir apparaturany iki ýerde hem şol bir wagtda ulanyp bolanok, şonuň üçin şu aşakdaky ýaly edýärler:  $B$  nokatda tolkun yzyna  $A$  nokada gaýdyp geliş pursatyny

belleýärler. Şeýlelik bilen anyk kesgitlenilýän wagt aralygy  $2T = T_2 D$ , ýagny  $2D$  iki aralyga deň gelýär, we şonuň üçin gözlenilýän aralyk şu aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$D = \frac{VT_2 D}{2} \quad (2)$$

Uzak aralygy ölçemekde interferensiýon düzgünler. Interferensiýa we kogerentlilik. Fizika kursundan belli bolşy ýaly, birmeňzeş polýarizasiýaly iki kogerent tolkunyny goýsaň olarda interferensiýa bolup geçýär, ýagny giňlikdäki bir nokatda biri – birini güýçlendirmek we şol nokatlarda faza tapawutlyklaryna  $Y_2 - Y_1$  görä beýlekileri gowşatmak bolup geçýär.

Interferensiýanyň umumy kanuny şu aşakdaky görnüşde ýazylyp bilner:

$$I_{rez} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cdot \sigma \cos(Y_2 - Y_1) \quad (3)$$

bu ýerde  $I_{rez}$  - interferensiýa nokadynda güýçli depginiň netijesi.  $I_1$  we  $I_2$  – şu nokatda interenferensiýa tolkunlarynyň güýçli depginleri, köpeldiji  $\sigma$  - tolkunlaryň kogerent derejelerini gaýtarýar.

Kogerentiň ýerine – ýetirýän roly.

Tolkunlaryň kogerentligi olaryň interferensiýalyga ukyplylygyny kesgitleýär. Praktika nukdaý nazarynda köplenç şu aşakdaky kesgitleme ýeterlikdir: kogerent yranmasy – bu seredilýän wagtda  $Y_2 - Y_1$  faza tapawutlylygy hemişelik galýar. Şu görkezilen hemielik giňişlikde we wagt boýunça seredilip bilner. Giňişlik kogerentligi – diýilip wagtyň belli bir pursatynda her – hili çeşme nokatlaryndan goýberilen

tolkunlaryň fazalarynyň tapawudynyň hemişelik derejesine düşünilýär. Wagtlaýyn kogerentligi – bu wagtyň işlendik iki hili pursatynda belli – bir nokat çeşmesinden goýberilen tolkunlaryň fazalarynyň tapawudynyň hemişelik derejesine düşünilýär. Wagtlaýyn kogerentligiň häsiýeti üçin.  $T_k$  wagtyň wagtlaýyn kogerentligi diýen düşüňjani girizýärler.

### **Radiofiziki sistemalar. Olaryň niýetlenen ýerleri we klassifikasiýasy**

1960-nji ýyllara çenli ýokary takyklygy çyzykly ölçemeleri köplenç bazis torlarynda bazesleri ölçemek üçin ulanypdyrlar. Bazes torlaryny gurmaklyk şolwagtlar bar bolan aralyk ölçýji abzallaryň uly bolmadyk demir taýaklaryň, ölçeg zynjyrlaryň, lentalaryň we simleriň kömegi bilen uly aralyklary, mysal üçin birinji triangulýasiýa taraplaryny (onlarça km) gerekli takyklykda alyp bolmaýanlygy üçin ýüze çykyppdyr. Ölçeme geçirmek üçin uly we amatly ýer ülüşleri takyklyk gaty seýrek ýagdaýda mümkin bolupdyr. Köplenç ony ýörite taýýarlamaly bolupdyr: agaçlary çapmak, batgalyklary guratmak, birnäçe ýörite desgalary, geçelgeleri gurmak gerek bolupdyr. Şol sebäpli hem ýokary takykly ölçemeleri geçirmeklik hemişe geodeziki tory gurmak işiniň has çyrşyrymly we gymmat bahaly bölegini düzipdir. Tory gurmak hem peselipdir.

Ýagtylyk we radiouzaklyk ölçýjileriň önümçilige girizilmegi çyzykly ölçemeleri ep – esli ýönekeýleşdirdi. 20 – 30 km taraplary 1: 400 000 -1:500 000 odnositel göniden – göni ölçemeklige mümkinçilik döredi. Ýörite bazes torlaryny gurmak zerurlygy aýryldy. Olara derek häzirki

wagtda geodeziki toruň bases toryny atlandyrýan haýsydyr bir tarapy ölçenilýär.

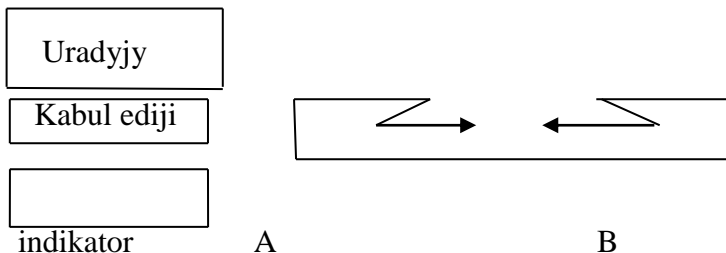
Radioelektron ýada elektrooptiki we radiogeodeziki aralyklary ölçeme usullary diýlip ýagtylyk ýada radiotolkunlaryň aralyklary geçýän wagty boýunça çyzyklaryň uzynlyklaryny kesgitlemegiň usullaryna düşünilýär.

Bu usullaryň esasynda ýagtylyk we radiolokasiýa ýatyr. Dürli obýektleriň ugruny, aralygy we ýerleşýän ýerini olardan serpikdirilen ýada olar tarapyndan goýberilýän ýagtylyk we radiotolkunlaryň boýuny kesgitlemekden ybarat. Elektromagnit yrgyldylarynyň diagnozy 6 sany esasy bölekden ybarat: radiotolkunlar, infragyzyň şöhleler, görünýän şöhleler, ultramelewşe şöhleler, rentgen we gamma şöhleleri.

Elektromagnit yrgyldylaryň tolkunlarynyň uzaklyklardan, olaryň ýer atmosferada ýaýramak häsiýetine baglydyr. Mysal üçin ýokary uzynlykly we uzyn tolkunlar bütin ýer şarynyň daşynda aýlanýan bolsa, metrlik we has gysga tolkunlar göniçyzykly we görüş çäklerinde ýaýraýarlar. Olara dürli atmosferada we senagat päsgelçiligi az täsir edýär. Şonuň üçin uzak tolkunly sistemalar işiň has uly aralyklarda geçirilmegini üpjün edýär, ulrtagysgatolkunly sistemalar ýokary takyklygy üpjün edýär.

Aralyklary lokasion ölçemegiň umumylygy şulardan ybarat. Goý A punktda elektromagnit tolkunlaryny yrgyldyny we kabul ediji, şeýle hem, tolkunyny geçýän wagtyň ölçemek üçin abzal ( induktor ) bolsun.





B nokatdan ýörite serpikdiriji oturdylan. Ugradyjy tarapyndan goýberilen tolkunlar B nokatdaky serpikdirijide bolar we ondan serpikdirilen A nokatdaky kabul ediji tarapyndan kabul edilýär. Olar tarapyndan gerek aralyk

$$2D=v\tau, \text{ bu ýerde } D=v\tau/2 \quad (1)$$

deň bolar. Bu ýerde D- nokatlaryň arasynda aralyk,  $v$  – elektromagnit tolkunlarynyň atmosferada ýaýramak tizligi,  $\tau$  – elektromagnit tolkunlarynyň A – punktdan B – punkta çenli we yzyna ýaýramak wagty .

Şeýlelikde, elektromagnit tolkunlarynyň ýaýramak tizligini bilip we olaryň A we B punktlar aralygynda geçen wagtyňy ölçäp, olaryň arasyndaky aralygy kesgitlemek mümkin. Geodeziýada radiouzaklykölçeýjiler birnäçe ýüzmertden , onlarça km aralyklary ölçemäge neýetlenen ölçeg takyklygy 1/200 000 – 1/300 000 deň we nokatlaryň arasyndaky aralyga hem radiouzel görnüşine bagly bolýar.

Ýagtylyk uzaklyk ölçýjileri aralyklary ýokary takyklykda ölçemeklige niýetlenen. Olar şu görnüşlere bölünýärler .Geodeziki ýagtylyk uzaklyk çyzykly ölçmeleriň reduksiýasy çyzykly ölçmeleriň esasy üç görnüşini alalyň :

- Ýeriň üstündäki nokadyň we ýerden ýokardaky nokadyň arasyndaky aralygy uçar radiouzakölçeýjisiniň kömegi bilen ölçemek;
- Triangulýasiýa punktlarynyň arasyndaky aralygy ýagtylyk ýada radiuzeliň ölçýjisi bilen ölçemek;
- Şwarsimleriniň kömegi bilen bazisi ölçemek;

Birinji 2 ýagdaýda ölçenen S çyzygy referens – ellipsoýdiň üstine redusirlemegi 2 etapda ýerleşýärler: Ilki bilen Referens ellipsoidiň üstündäki 1 we 2 nokatlaryň proyeksiýalaryny birleşdirýän  $S_1$  hordaşy hasaplaýarlar. soňra  $S_1$  ýaýyň uzaklygyna geçýärler.

## **Elektromagnit tolkunlarynyň refraksiýa we uzaklygy ölçemegiň**

### **hasaplamak. Şöhleleriň radiusyny kesgitlemek. Döwürmegiň gradiýent**

#### **indeksi. Aralyk ölçenende goşulmagy hasaplamak**

Atmosferanyň dykzlygynyň deň däldegi sebäpli onda e/m tolkunlar göniçyzykda däl-de, käbir egri boýunça ýaýraýar. Tolkunyň geçen ýolunyň bu egrelmesine refraksiýa diýlär.

Uzakölçeýjilik üçin refraksiýa sebäpli geçiş ýoluň uzalmak ululygy gyzyklydyr. Bu uzalmany  $\Delta D_r$  bilen bellesek, onda geometriki aralyk

$$D = D_{\text{ölç.}} - \Delta D_r \quad (1) \text{ bolar.}$$

Şeýlelikde, refraksiýanyň täsirini hasaba almaklyk  $\Delta D_r$  uzalmagy tapmaklyga syrykdyrylýar. Bu uzalma tolkunýň geçen ýolunyň (yzynyň) radiusyna bagly bolup durýar.

Sferiki ýer üçin egriniň radiusyny birinji ýakynlaşmaga ýeterlik takyklykda

$$P = n / \sin \alpha \quad (dn/dh) \text{ aňlatma bilen kesgitläp bolar,}$$

bu ýerde  $\alpha$  Tolkunyň atmosfera girýän burçy (düşme burç)  $n-1$ -e deň hasap dilýän döwürmäniň görkezijisi. Trassanyň gorizonta bolan uly bolmadyk, ýapgytlyk burçy, haçanda  $\sin \alpha = 1$  diýip alsak.

$$P = 1 / (dn/dH) = 10^6 / (Dn / dH) \quad (2) \text{ bolar.} \quad (2) \text{ deňlemeden egriniň radiuon döwürme görkezijisine baglydäldir.}$$

Fizika kursundan belli bolşy ýaly birmeňzeş ponýarizosiýany 2 sany kogerent tolkunlaryň goşulmagy bilen olaryň interferensiýasy bolup geçýär, ýagny giňişligiň bir nokatlarynda özara güýçlenmegi, başga nokatlarynda bolsa gowşamagy, olaryň fazalarynyň aratapawudyna görä  $\varphi_1$ -  $\varphi_2$  bu nokatlarda bolup geçýär.

Interferensiýanyň umumy kanuny şu görnüşde ýazylýar:

$$L_{\text{net}} = l_1 + l_2 + 2 \sqrt{l_1 l_2} \times \gamma (\varphi_2 - \varphi_1), \text{ bu ýerde}$$

$L_{\text{net}}$  – interferensiýa nokadynda netijeli hereketlilik;

Aralyklary birmeňzeş ölçenmegi üçin serpikdirilen signalyň eglenen wagty ýygylgyň modulirlemesiniň ýarym döwürinden  $\tau = T/2$ , ýagny  $2D/W < 1/F$  kiçi bolmalydyr. Bu ýerden berlen ýygylgy modul meselesinde

$$D_{\text{max}} = W/4F$$

we ýeşle uzaklygy üpjün edýän ýygylgy

$$F_{\text{max}} \leq W / 4D_{\text{max}}$$

Şertinden saýlanyp alynmalydyr diýlip düşünilýär.  
Ýygylgy usulynyň takyklygy barada.

formulalary goşup we orta kwadratik ýalňyşlyga geçip

$$m_D / D = \sqrt{(m_F / F)^2 + (m_{\Delta F} / \Delta F)^2 + (m_{\Delta f_{\delta}} / \Delta f_{\delta})^2 + (m_W / W)^2}$$

alarys, ýagny aralygy ölçemegiň otnositel ýalňyşlygy –  $m_F / F$  ýygylaryň modulirlemesiniň durnuksyzlygyndan, yrgyldy zolagyň ýada iki ýygylaryň durnuksyzlygyndan, ury ýygylaryň ölçemegiň otnositel ýalňyşlygyndan we signalyň ýaýramak tizligini kesgitlemegiň  $m_W / W$  otnositel ýalňyşlygyndan gelip çykýar. Ýygylýk usulynda işleýän abzallaryň ýalňyşlygy  $10^{-3}$  deň bolýar (bu ýalňyşlyk abzalyň belliginde kesgitlenýär).

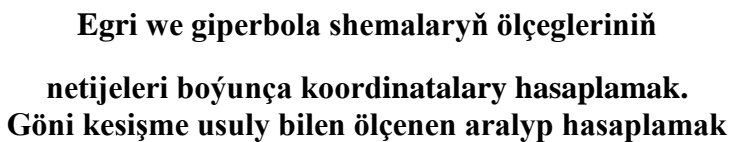
$$S_1 = \sqrt{\frac{(S + \Delta H) * (S - \Delta H)}{\left(1 + \frac{H_1}{R}\right) * \left(1 + \frac{H_2}{R}\right)}} \quad (2, a)$$

$$S_0 = S_1 + \frac{S}{2\varphi R^2} + \left(1 + \frac{9S}{80R}\right) \quad (2, b)$$

( 2 ) formulada  $H_1$  we  $H_2$  ýer üsti nokadyň we uçaryň nokatlarynyň geodeziki bolentlikleri.  $\Delta H = H_2 + H_1$ ,  $R$  – ölçenýän çyzygyň töwereginde ellipsoidiň egriniň radiusy. Ol şu formula bilen hasaplanýar.

$$R = a \left( 1 + \frac{1}{2} l^2 \sin^2 B_m - l^2 \cos^2 B_m \cos^2 A_{12} \right) \quad (3)$$

bu ýerde  $l$  – eksentrisent,  $B_m$  – çyzygyň ortaça giňligi,  $A_{12}$  – onuň azimuty, ( 2 ) we ( 3 ) formulalary ýüzlerçe km çenli aralyklary redusirlemek üçin ulanmak mümkin.



## Giperbola shemanyň geometriýasy suratda gorkezilen



A, B, C punktlarda (koordinatalary belli) gozganmaýan bazis stansiýalary ýerleşen – merkezi A stansiýa we gyraky B we C stansiýa bolsa başlangyç D nokatdan käbir marşrut boýunça süşýär. AB bazisinde A we B nokatlardaky fokuslary bilen giperbolalar maşgalasy gurulýar, AC bazisinde bolsa A we C nokatlardaky fokuslary bilen ginebollar ikinji maşgalasy ýerleşýär. A we B stansiýalaryň jübüti gozganýan stansiýa bilen sistemanyň bir kanalyňy emele getirýär, A we C stansiýalar jübüti bolsa gozganýan stansiýa bilen bilelikde başga kanaly emele getirýär. Goý, käbir pursatda gozganýan stansiýa P nokatda ýerleşsin, onuň ornuny kesgitlemek gerek. Egerde aralyklaryň tapawudynyň özünü kesgetlemäge mümkinçilik berýän bolsa (mysal üçin birmeňzeş dälligini ygtyýarnamasy üçin işçi ýygylklaryň zerur tory bar bolsa), onda  $r_a^p - r_b^p$  we  $r_a^p - r_c^p$  – iki kanal boýunça aralyklaryň tapawudynyň ululyklary göniden – göni kesgitleýär. Aralyklaryň bu tapawutlaryna giperboliki koordinatlar diýilýär. Eger – de faza zondynyň birýygylkly rejiminde işleýän bolsa, onda aralyklaryň  $r_a^o - r_b^o$  we  $r_a^o - r_c^o$  başlangyç tapawutlary bilen bolmaly (başlangyç O nokadyň giperboliki koordinatalary). Ondy gozganýan stansiýanyň O nokatdan P nokada süýşmelerinde bu aralyklaryň tapawutlarynyň artykmaçlyklary ölçenmeli bolar:

AB Bazisiň kanaly boýunça

AC Bazisiň kanaly boýunça

diýmek, P nokatda aralyklaryň tapawudyny, ýagny, onuň giperboliki koordinatlary şu gatnaşykdan tapylýar:

Soňra, P nokadaň koordinatalaryny üç sany bazis stansiýalarynyň belli koordinatlary boýunça we iki sany aralyklar, tapawutlary boýunça tapmak (haýsydyr bir umumy kabul edilen koordinatlar sistemasynda) meselesi çözülýär. Bu meseläm köplenç faza fondynyň meselesi diýilýär.

## Uzaklyk ölçegleriniň takyklyk bahasy

Fazaly uzaklyk ölçeýjileriniň takyklygy üçin

$$M_d = \sqrt{\left(\frac{v}{4\pi f}\right)^2 m + m + D \left[\left(\frac{mf}{f}\right) + \left(\frac{mv}{v}\right)\right]}$$

Şu ýagtylyk uzaklyk ölçeýjilerine ulanyp boljak aşakdaky netijeleri çykarmak bolar.

Fazalaryň tapawudyny ölçemegiň M ýalňyşlygy fazaly usullarda takyk peýdalanmak bilen kân faktorlara bagly bolýar. Häzirki zaman ýagtylyk uzaklyk ölçeýjileri  $0,1 \div 1^0$  çäklerde bolýar we esasanam tötenleýin häsiýete eýe bolýar. Onuň çyzykly ekwiwalenti, ýagny, m ýalňyşlykdan gelip çykýan aralyklara ýalňyşlyk ölçemeleriň analog usulynda - / 3 000 deň köp bolup biler, sanly usullarda bolsa / 5 000 ýa – da hatda /10 000 köp bolup biler. 15 МГц ( =20m) ýygylýkda bu takmynan 2 – 3 mm ýalňyşlyk berýär.

M hemişelik düzedişiň ýalňyşlygy abzalyň gurluşyna, onuň takyklygyna we düzedişi kesgitlemegiň usulyna bagly bolýar we üznüksiz häsiýete eýe bolýar. Bu ýalňyşlyk häzirki zaman abzallarynda 5 mm – deň kiçi bolýar, käbir ýagdaýlarda bolsa (sinhron demodulýasiýaly ýokary takykly abzallar, düzedişler kesgitlelende mejbury merkezleşdirmek) OA millimetrik böleklerini düzüp bilýär.

Aralyklaryň ululyklaryna bagly bolmadyk ähli ýalňyşlyklaryň bilelikdäki täsiri, agatça, şeýlelikde 3 – 5 mm netije ýalňyşlygyny birýär.

Ýagtylygyň wakuumdaky tizliginiň bahasy  $C = 299\,792\,458$  m/c häzirki wagtda 1,2 m/c orta kwadratiki ýalňyşlyk, ýagny,  $4 \cdot 10^{-9}$  otnositel ýalňyşlyk bilen belli edilen,



bu düzüjini hasaba almazlyk mümkin. Umumy ýalňyşlyklardan ýygylýk modulýasiýasynyň ýalňyşlygy we howanyň döwürmeginiň görköljileniň hakyky ýalňyşlygy has uly bolýar.

Uly aralyklary ölçeýän abzallar üçin  $(1-2) \cdot 10^{-7}$  – deň  $10^{-6}$  ýygylýk durnuklylygy zerur bolýar. Şeýle durnuklylyk termostatyrlenen kwars rezonatorlary peýdalananda eterlik bolýar.

Howanyň döwürmek görkezijisini bilmekligiň ýalňyşlygynyň meteorologiki elementleri – howanyň temperaturasyny, basyşyny we çyglylygyny kesgitlemeriň ýalňyşlygyna bagly bolýar. Meteo-elementleriň, şeýle hem şöhlelenme tolkunynyň uzynlygyny bilmegiň ýalňyşlygy şeýle ýazylýar.

$$(m_d)_{p,e} = D \cdot 10^{-6} \sqrt{(0,04)m + (1,0)m + (0,4)m + (0,05)m} \frac{(m)_{t,p,e}}{D}$$

Otnositel ýalňyşlyk  $M_n/n \approx m_n$  döwürme görkezijisiniň ýalňyşlygyna deň.

Häzirki zaman (lazer) uzaklyk ölçeýjileri üçin  $M$  dispersion ýalňyşlygy nola deň diýip kabul etmek mümkin.

$M_t$ ,  $M_p$  we  $M_e$  ýalňyşlyklary bahalandyrylma hasaplamalary üçin şu görnüşde ýazyp bolýar

$$M_{\text{meteo}}^2 = M_{\text{wek}}^2 + M_{\text{ölç.}}^2$$

bu ýerde  $M_{\text{wek}}$  – wekilhana ýalňyşlygy;  $M_{\text{ölç.}}$  – meteo-elementi ölçemegiň ýalňyşlygy.  $M_n$  ýalňyşlygyň ululygy  $0,9 \cdot 10^{-6}$  bolýar. Amatsyz şertler üçin  $M_{<n>}$   $(2 - 3) \cdot 10^{-6}$  ululyga. Çenli ýokarlanýar.

Eger – de ähli ýalňyşlyklaryň çeşmelerini hasaba alsak we köpgezeklik ölçemeleriň hasabyna abzal ýalňyşlyklaryny

göz önünde tutsak, onda ýagtylyk uzaklyk ölçeýjilerinde ölçenen aralyklaryň netije alnyslygy, kon abzallar üçin

$$M_d = \pm(3 \div 10) \text{ mm} + (1 \div 10) \text{ mm/km}$$

bolýar.

### **Ýygylykly – uzaklyk ölçeýji gurluş.**

Bu gurluşlar şu aşakdaky görnüşler boýunça biri-birinden tapawutlandyrylýar, ýagny ýygylyk taýdan modulirlenen yrgyldylar arkaly we Dopleriň effekitiniň işleýşi boýunça.

#### **Ýygylyk taýdan modulirlenen yrgyldylar boýunça işleýän gurluşlar.**

Bu gurluşlara gelýän yrgyldynyň ýygylygy sinusodal üçburçluklar we kanunlarynyň esasynda modulirlenýär. Biz bu ýerde diňe usuly barada düşünje berýänligimiz sebäpli, analiz üçin iň bir aňsat usullaryň biri bolan yrgyldylaryň modulirlenmeginiň üçburçluklar usulyna seredip geçeliň. Goý, käbir  $t$  wagt momentinde goýberilen we serpikdirilen şöhläniň ýygylyklarynyň üýtgame grafigi ýaly görkezilen bolsun. Bu ýerde  $\tau$  şöhläniň punktynda onuň serpikdirilen punktyna çenli we ters aralykda yrgyldynyň geçýän wagty;  $\Delta f_m$  - barýan ýygylygyň amplituda bahasy;  $\Delta f$  - goýberilýän we kabul edilýän (serpikdirilen) yrgyldylaryň tapawudy;  $T$  – modulirleýji yrgyldynyň periody.

Görnüşi ýaly, bu:

$$\frac{\tau}{\Delta f} = \frac{\frac{1}{4}T}{\Delta f_m}$$

Bu ýerden:

$$\tau = \frac{T * \Delta f}{4 * \Delta f_m} = \frac{\Delta f}{4F * \Delta f_m}$$

Ondan:

$$F = \frac{1}{T}$$

Ölçenilýän aralyk şuna deň bolýar:

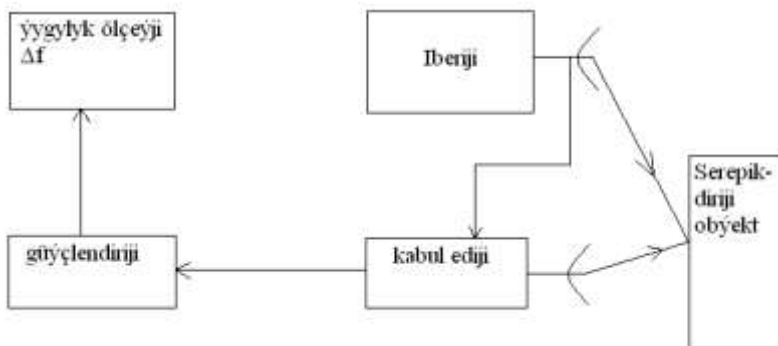
$$D = \frac{1}{2} \vartheta \tau = \frac{\vartheta \Delta f}{8F * \Delta f_m}$$

Ýygylyk usuly boýunça aralygy ölçemän ýalňyşlygy:

$$\frac{MD^2}{D^2} = \frac{M_V^2}{V^2} + \frac{MF^2}{F^2} + \frac{M_{\Delta f_m}^2}{\Delta f_m^2} + \frac{M_{\Delta f}^2}{\Delta f^2}$$

Şu esasyda, ýygylyk uzaklyk ölçeýji gurluşlarda hökmany goýberilýän yrgyldynyň generatory, modulirleýji ýygylygyň ýokary sazlaýjy generatory, ýygylyklaryň  $\Delta f$  tapawudyny ölçeýän ýygylyk ölçeýji bolmalydyr.  $\Delta f_m$  ýygylygyň üýtgemegini sazlaýjy çäreleri hökmany suratda geçirmeli.

Ýygylyk uzaklyk ölçeýjisiniň umumy shemasy surat 90-da görkezilen:



Käbir uly bolmadyk aralyklar ölçenende doly  $T$  wagt ýene bir ululygy  $\frac{T}{4}$  peridyň dörtde bir bölegini goýar, ýagny dürliligi aýyrmak görülyän hökmäny çäre. Ýygýlyk uzaklyk ölçeýji gurluşlary kiçi beýiklikleri ölçemek üçin ulanylyan radio beýiklik, beýiklik ölçeýjisi hökmünde ulanmak mümkin. Aýratynlykda, ony “aý” kosmiki stansiýasynda ýumşak gonmak üçin ulanydyrlar.

Ölçenilýän aralyk bolan  $D = \text{const}$  diýip kabul edip (V.1) baglylyk alyndy.

Eger  $D$  ululyk haýal üýtgeýän ýagdaýynda görkezilen formula dogrudyr. Şeýle bolmadyk ýagdaýynda serpikdirilen signalyň ýygýlygy Dopleriň effekti esasynda üýtgeýär. Ýöne bu effekt düýpgöter başga gurluşlary döretmekde ulanylyar.

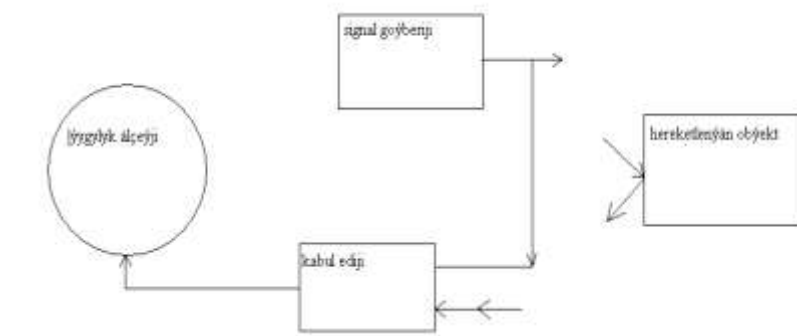
### A. Dopleriň gurluşy

Bu Dopleriň effekti esasynda işleýän gurluş bolup, hereketlenýän obyektin radial tizligini kesgitlemekde kosmiki geodeziýada ulanmak üçin tapyldy.

Dopleriň effektiniň esasynda tizligiň kesgitlenilşi aşakdakylardan durýar:

Iberiji özünden üznüksiz  $f_n$  ýygýlykly yrgyldylar goýberýär. Kabul ediji iki signal gelýär: biri saklaýjy –

höhmany suratda goýberijiden, ikinji – obýektdenm  
serpikdirilen (sputnigiň ýüzünden)



Fiziki kursundan belli bolşy ýaly, hereketlenýän obýektde  
serpigip, kabul edijä gelip düşýän ýygalyk, şu deňlik esasynda  
kesgitlenýär:

$$f_{pr} = f_p \frac{1 + \frac{2V_{ob}}{V} \cos \theta}{\sqrt{1 - \frac{4V_{ob}^2}{V^2}}} \quad (V.3)$$

Bu ýerde  $V_{ob}$  - hereketlenýän obýektin orbitasy boýunça  
heretketleniş tizligi;  $V$  - berlen gurşawda elektromagnit  
yrgyldylarynyň ýaýrama tizligi;  $\theta$  – hereketlenýän obýektin  
traýektroýasynyň ugry bilen hereketsiz obýektin ugrunyň  
arasyndaky burç.

Eger  $V \gg V_{ob}$  bolsa ýagny, doplerli gurluşlarda  
ulanmaga mahsus bolan ýagdaýynda (V.3) deňlik gönimel  
ýönekeýleşdirilýär:

$$f_{nr} = f_n \left( 1 + \frac{2V_{ob}}{V} \cos\theta \right) = f_n \left( 1 + \frac{2V_D}{V} \right)$$

Bu ýerde  $V_D = V_{ob} \cos\theta$  – hereketlenýän obýektiň hereketsiz obýektiň ugruna ýerleşiş tizligi;

$\frac{2V_D}{V} f_p = f_d$  - ny düzýän ýyglyga Dopleriň ýyglygy diýilýär.

Bu ýerde düzüji  $V_D$  tizlik şu aşakdaka deň bolýar:

$$V_D = \frac{V}{2f_p} f_d = k_d f_d \quad (V.4)$$

Häzirki zaman dopleriň gurluşy bolan sputniklarda birtaraplaýyn signal goýberiş ulanylýar: üznüksiz gormoniki yrgyldylary signal goýberiji arkaly belli bir ýyglykda iberilýär. Bu signallar we ýerde işleýän  $f_n$  ýyglykly generatorlaryň goýberýän signallary ýerde gurnalan dopleriň kabul edijisi arkaly tutulýar. Sputnikdaky generatoryň we dopleriň kabul edjisindäki generatoryň ýyglyklary sazlaşdyrylandyr. Çünki bu ýagdaýda elektromagnit signaly sputnigiň iberijisi bilen ýerde gurnalan dopleriň kabul edijisiniň arasyndaky aralygy bir gezek geçýär, şol ýagdaýda (V.4) formula şeýle görnüşe geçýär:

$$f_{pr} = f_p \left( 1 + \frac{V_d}{V} \right)$$

## Impulsly uzaklyk ölçeýji gurluş

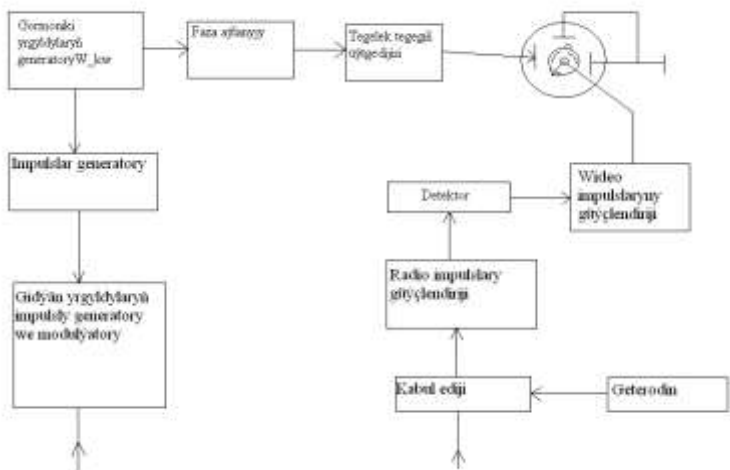
Impulsly uzaklyk ölçeýji gurluşlar fazaly we ýygyllykly gurluşlar bilen deňeşdirilende gaty pes takyklykly ölçemäni häsiýetlendirýär, esasanam kiçi aralyklarda. Ýokary kuwwatly Impulsly uzaklyk ölçeýjileri pes kuwwatlygy talap edilýän ýerlerde serpikdirijisiz ulanylýar, ýa-da ölçeme üçin oňaýsyz bolan şertlerde uzak aralyklar ölçenende ulanylýar.

Impulsly uzaklyk ölçeýjisini radio beýiklik ölçeýjide ulanyp, işleýiş prinsipine seredip geçeliň. Gormoniki yrgyldylaryň generatory üznüksiz  $W_{kw}$  yrgyldyly ýygyllygy işläp çykarýar we impulsar generatorynda şol ýygyllykly impulsa öwrülýär hem-de gidýän yrgyldylaryň impulsly generatorynda gaýtadan güýçli radio impulsaryna öwrülýär. Öwrülen radio impulsary berlen aralyklary ölçemek üçin obýekte gönükdirlen hereket edýär. Obýektiň daşky üstünden serpikdirilen elektromagnit yrgyldylary kabul ediji antenna düzýärler. Netijede alnan radio impuls goýberijiden çykandakydan has pes ýygyllykly bolýar. Radio impulsar güýçlendirilenden soň olaryň detektirlenmegi bolup geçýär. (Wideo impulsa öwrülmeği). Güýçlendirilen wideo impulsar elektron – şöhle turbajygynyň EŞT merkezi elektordyna barýar. Şol elektroda naprýaženiýanyň impulsaryny formirleýji, başgaça aýdylanda hasap beriji impulsar barýar.

Elektromagnit yrgyldylarynyň iberijiden ýaýrama wagty – sepikdiriji obýekte - kabul edijiniň aýlawynyň bütin sany  $N$ , aýlawynyň bölegi  $\Delta N$ , EŞT-ň ekranynda töwerek orbitada berlen wagt böleginde.

Elektromagnit yrgyldynyň iberijiden ýaýrama wagty - serpikdiriji obýekte – kabul edijiniň aýlawynyň bütin sany  $N$ ,

aýlawynyň bölegi  $\Delta N$ , EŞT – ñ ekranynda töwerek orbita berlen wagt böleginde.



elektron şöhlesiniň işi,  $T_r$  perioda köpeltmek hasylyna deňdir.

$$\tau = (N + \Delta N)T_p = \frac{N + \Delta N}{F_{kw}} \quad (V.7)$$

Bu ýerden impulsly uzaklyk ölçeýjisi bilen ölçenen aralyk şu aşakdaka deňdir:

$$D = \frac{1}{2}v\tau = \frac{v(N + \Delta N)}{2F_{kw}} \quad (V.8)$$



## **Radiogeodeziki ölçmeleriniň netijeleriniň üstünde işlemek**

### **Ölçmeleriň üstünde işlemegiň yzydiderliligi.**

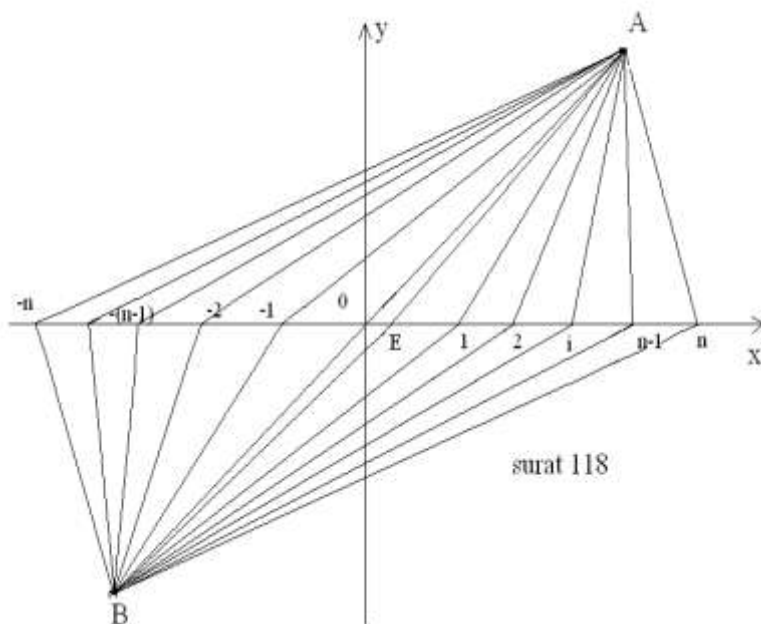
Radiogeodeziki ölçmeler esasan radiogeodeziki torlaryň taraplarynyň uzunlygyny ýa-da berlen punktlaryň koordinatalaryny, şol sanda surata alyş nokatlaryny kesgitlemek üçin geçirilýär. Netijede olar üstünde işlenende käbir tapawutlar ýüze çykýar.

Radiogeodeziki toruň taraplarynyň ölçemleriniň netijeleri boýunça aşakdaky kameral işler ýerine ýetirilýäri:

- 1) Emele gelýän toruň punktlary boýunça ýerdäki stansiýalardan alanan geodeziki mteriallaryň baglylygyny geçirmek.
- 2) Aralygyň ölçenmegi radiobéýiklik ölçeýjiniň we statoskobyň görkezmesiniň netijesini işläp düzmek;
- 3) Enjam düzedişleriniň hasaplanylmagy;
- 4) Ýapgyt uzaklyklaryň in kiçi jeminiň hasaplanylmagy;
- 5) Meteorologiki şertler netijesinde girizilen düzedişleriň hasaplanylmagy (her bir in kiçi jemi düzýän ýapgyt uzunlyklar üçin aýratyn geçirmeli);
- 6) Elektromagnit şöhläniň troýektorýasynyň egriligi netijesinde girizilen düzedişi hasaplamak;
- 7) Referens – ellipsoidyň üst ýüzüne we Gausyň proyeksiýa tekizligine ýapgyt aralyklaryň aýratynlykda redussirlenmegi;
- 8) Çzyykly ölçmeleriň hilini barlamak;
- 9) Radiogeodeziki toruň koordinintalaryny täzedan hasaplamak;
- 10) Toruň taraplarynyň azimutynyň kesgitlenen netijilerini işläp düzmek.

## Ýapgyt uzunlyklaryň iň kiçi jemleriniň hasaplanylşy.

Ýerrdäki antennadan geçýän radiogeodeziki toruň taraplarynyň ölçegleriniň netijelerini redussirläliň. Göni burçly koordinata ulgamyndaky absissa okuny uçaryň uçuş ugrynyň proyeksiýasy bilen birlikde ýerleşdireliň koordinata okunyň başlanyjyny ( $D_A + D_B$ ) aralyklarynyň jemleriniň ölçenen wagtynda, uçaryň ýerleşen ýeriniň proyeksiýasy bilen belläliň.



Görnişi ýaly  $AB=AE +BE$  deň we iň kiçi  $(D_A + D_B)$  jeme deň. Eger  $AE=d_A$ ;  $BE=d_B$  diýip bellesek, onda  $(DA + DB)_{min}=d_A + d_B$ .

i beldidäki ölçemäni geçirmek üçin  $D_{Ai}$  we  $D_{Bi}$  ululygy alalyň.  $\Delta AEi$  –den aşakdaky formulany alýarys.

$$D_{Ai}^2 = d_A^2 + k^2 - 2d_A k \cos \alpha$$

Bu ýerde  $X=X_i - X_o$ ;  $X_i = O_i$ ;  $X_o = OE$ ;

$\alpha$ -uçaryň ugry bilen onuň arasyndaky burç;

*Görnüşü ýaly:*

$$D_{Ai} = d_A \left( 1 + \frac{k^2}{d_A^2} - \frac{2k}{d_A} \cos \alpha \right)^{\frac{1}{2}} \quad (VI. 1)$$

Öňden belli bolşy ýaly

$$(1 + V)^{\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2}V - \frac{1}{8}V^2 + \frac{1}{16}V^3 - \frac{5}{128}V^4 + \dots$$

Jemler hökmany suratda golaý ölçenýänligi sebäpli,  $\frac{k}{d_A}$  ululyk (VI.1) deňlik üçin örän kiçi birlikdir. Tejiribelerden belli bolşy ýaly  $d_A$  ölçemäniň netijesini takyk almak üçin 4-nji derejeden geçmek bolanok.

Bu ýerden:

$$D_{Ai} = d_A - k \cos \alpha + \frac{k^2}{2d_A} \sin^2 \alpha + \frac{k^3}{2d_A^2} - \frac{k^4}{8d_A^3} (1-6) \cos^2 \alpha + 5 \cos^4 \alpha$$

$\Delta BEi$  – den çykyşy ýaly

$$D_{Bi}^2 = d_B^2 + k^2 + 2d_B k \cos \alpha$$

Şol sanda hem  $D_{Ai}$  üçin üýýgedenimizden soňra deňligi alarys:

$$D_{Bi} = d_B + k \cos \alpha + \frac{k^2}{2d_B} \sin^2 \alpha - \frac{k^3}{2d_B^2} \cos \alpha \sin^2 \alpha - \frac{k^4}{8d_B^3} (1-6) \cos^2 \alpha + 5 \cos^4 \alpha$$

i nokatdan ölçenen aralyklaryň jemi şuna deňdir:

$$(D_A + D_B)_i = d_A + d_B + \frac{1}{2} k^2 \sin^2 \alpha \left( \frac{1}{d_A} + \frac{1}{d_B} \right) + \frac{1}{2} k^3 \cos \alpha \sin^2 \alpha \left( \frac{1}{d_A^2} - \frac{1}{d_B^2} \right) - \frac{k^4}{8} (1-6) \cos^2 \alpha + 5 \cos^4 \alpha \left( \frac{1}{d_A^3} + \frac{1}{d_B^3} \right)$$

Uçaryň gorizonta (kese ugra) we göniçyzykly şol bir tekizlikli heret edende, ölçemäniň deň 0-1, 1-2,...,(i-1)-i,...,(n-1)-n wagat aralygynda geçirilmegi özara deň hemişelik bolan  $\Delta X$  ululygy berýär. Onda  $X_i = \Delta X \cdot i$  deň bolýanlygy üçin:

$$(D_A + D_B)_i = d_A + d_B + \frac{1}{2} X_o^2 \sin^2_{\alpha} \left( \frac{1}{d_A} + \frac{1}{d_B} \right) - \Delta X * X_o \sin^2_{\alpha} \left( \frac{1}{d_A} + \frac{1}{d_B} \right) i + \frac{1}{2} (\Delta X)^2 \sin^2_{\alpha} \left( \frac{1}{d_A} + \frac{1}{d_B} \right) i^2$$

Belgileme  $(D_A + D_B)_i$ - y;

$d_A + d_B + \frac{1}{2} X_o^2 \sin^2_{\alpha} \left( \frac{1}{d_A} + \frac{1}{d_B} \right) -$  p;

$-\Delta X * X_o \sin^2_{\alpha} \left( \frac{1}{d_A} + \frac{1}{d_B} \right) -$  q;

$\frac{1}{2} (\Delta X)^2 \sin^2_{\alpha} \left( \frac{1}{d_A} + \frac{1}{d_B} \right) -$  r.

Görnüşü ýaly p,q,r ululyklar berlen ölçeme hatarynda hemişelikdir. Belgilemä esaslanyp, şu aşakdaky deňligi alarys:

$$y_i^2 = ri^2 + qi + p$$

Bilşimiz ýaly, bu parabolanyň deňlemesi. Şonuň üçin hem ölçenen aralyklaryň jemleri paraboloidik kanun esasynda üýtgeýär we bu funksiýanyň minimumy iň kiçi jeme  $(D_A + D_B)_{min} = d_A + d_B$  deň bolýar.

(VI.3) funksiýanyň önümini  $y_i' = 2ri + q$  tapyp we ony nula deňläp,  $i = \frac{q}{2r}$  bolan ýagdaýy üçin:

$$(y)_{min} = d_A + d_B = p - \frac{q^2}{4r} \quad (VI.4)$$

Deňligi alarys:

P,q,r koeffisiýentlerini kesgitlemek üçin (VI.3) görnüşdäki üç deňligi düzmek ýeterlikdir. Ýagny, suratdaky islendik üç nokadyň ölçemeleriniň netijesi boýunça. Ýöne barlag maksatlary we alnan netijäniň takyklygyny ýokarlandyrmak üçin artykmaç ölçenen jemleri hem alýarlar. Ýalňyşlyklaryň netijesinde iň kiçi kwadratalar usuly bilen çözüýärler. Çünki uçaryň uçuş belentligi ölçenilýän ýapgyt uzaklyklardan onlarça esse kiçi bolanlygy sbäpli,  $S_{Ai} \cdot S_{Bi}$  ölçenen ululyklaryň tekizlige redusirlemezinden ynamly netijäni alyp bolýar.

Hasaplama işini ýerleşdirmek üçin  $(S_A + S_B)$  ölçemä simmetrik otnositel ululygy kabul edýärler.

Her bir ölçenen aralyk üçin her bir jeme girizilen düzediş şu aşakdaka deňdir:

$$V_i = (S_A + S_B)_i - (S_A + S_B)_i' = p + qi + ri^2 - (S_A + S_B)_i'$$

Bu ýerde  $(S_A + S_B)_i$  - i jemiň deňlemesi. Işi hasaplamaga  $2n+1$  ölçenen jemleri kabul edip (n jem  $(S_A + S_B)_0 - a$  çenli we  $n - den soň$ ) şol möçberdäki düzedişleriň deňlemesini alýarys:

$$p-nq+n^2r - (S_A + S_B)_{-n}' = V_{-n}$$

.....

$$p-q+r-(S_A + S_B)_{-1}' = V_{-1}$$

$$p \quad -(S_A + S_B)_0' = V_0$$

.....

$$P+nq+n^2r - (S_A + S_B)_n' = V_n$$

Erkin agzanyň we  $p$  koeffisientiň ululygyny kemeltmek üçin her bir deňlemäniň sag we çep böleklerinden  $(S_A + S_B)_0$  jemi aýralyň.

$(S_A + S_B)_0 - (S_A + S_B)_i' = l_i$  we  $p - (S_A + S_B)_0 = p_0$  bilen belgiläp, düzedişler deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$p_0 + iq + l_i = V_i$$

Şeýle düzedişler deňlemeler sistemasyna aşakdaky görnüşde berlen üç normal deňlemä laýyk gelýär:

$$[aa] p_0 + [ab]q + [ac]r + [al] = 0$$

$$[ab] p_0 + [bb]q + [bc]r + [bl] = 0$$

$$[ac] p_0 + [bc]q + [cc]r + [cl] = 0$$

düzedişler deňlemesiniň koeffisiýentleri berlen tablissadan

$$[ab] = [bc] = 0,$$

$$[bb] = [bc] \text{ bolýanlygyny görmek kyn däl.}$$

Onda

$a_i$	$b_i$	$c_i$	$d_i$
1	-n	$n^2$	$l_{-n}$
...	...	...	...
1	-1	1	$l_{-1}$
1	0	0	0
1	1	1	$l_1$
...	...	...	...
1	n	$n^2$	$l_n$

normal deñlemeler şeýle görnüşe eýe bolýarlar:

$$[aa] p_0 + [ac]r + [al] = 0$$

$$[ac] p_0 + [cc]r + [cl] = 0$$

$$[bb]q + [bl] = 0$$

Bu deñlemeleri çözüp,

$$p_0 = \frac{[cc][al] - [bb][cl]}{[bb]^2 - [aa][cc]} ;$$

(VI.5)



$$r = \frac{[aa][cl] - [bb][al]}{[bb]^2 - [aa][cc]},$$

$$q = \frac{[bl]}{[bb]}$$

deňligi alarys.

Görnüşi ýaly normal deňlemeleriň koeffiýentleriniň hatary  $n$  ululygyň funksiýasy bolup durýar.

$$[aa] = 2n + 1$$

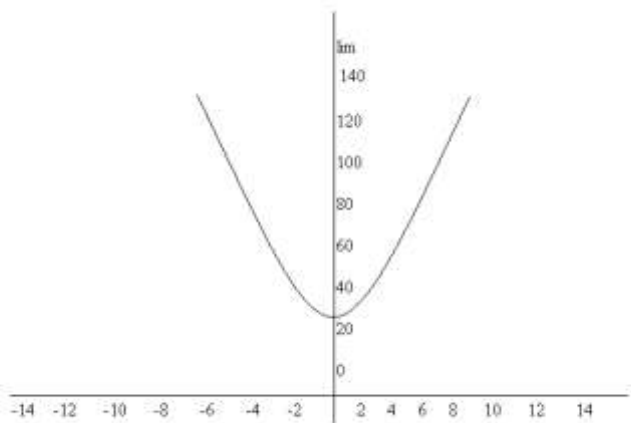
$$[bb] = 2(1^2 + 2^2 + \dots + n^2) = \frac{1}{3} n(n + 1)(2n + 1);$$

$$[cc] = 2(1^4 + 2^4 + \dots + n^4) = \frac{1}{5} [bb](3n^2 + 3n - 1);$$

$[bb]^2 = [aa][ac]$  tapmak üçin hem ýörite tablissa düzüler.

$$\text{Hasaplanylýan } p = p_0 + (S_A + S_B)_0; q; r$$

Aňlatmalar boýunça  $(S_A + S_B)_{min}$  iň kiçi jemi (VI.4) formula arkaly kesgitleýärler. Şu jemi düşýän herbir ýapgyt uzaklygyna meteorologiki şertler, elektromagnit şöhlesiniň egriligi üçin düzedişler girizýärler we toruň üst ýüzünde redusirleýärler.



Berlen grafigi ölçenen jemleriň bahasynyň absissa okuna laýyk getirip, ordinatalry – erkin  $l_i$  agza deňäp gurýarys. Grafik boýunça parabolanyň  $l_o$  depesini kesgitläp, iň kiçi jemi  $(S_A + S_B)_{min} = (S_A + S_B)_0 + l_o$  formula boýunça tapylýar.

## **Edebiýatlar:**

1. Türkmenistanyň konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetiniň, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. В.М.Лобачев                      Радиоэлектронная    Геодезия.  
М.Недра , 1980

## MAZMUNY

<b>Tertip sany</b>	<b>Temalaryň atlary</b>	<b>Sahypa</b>
	<b>Sözbaşy</b>	7
	<b>Giriş</b>	10
1	Radiofiziki uzaklyk ölçemeler dersiniň borjy. Radiofiziki uzaklyk ölçemeler dersiniň beýleki dersler bilen arabaglanyşygy.	10
2	Elektromagnit tolkunlarynyň kömegi bilen aralygy ölçemegiň fiziki esaslary. Elektromagnit tolkunlarynyň kömegi bilen aralygy ölçemegiň umumy düzgünleri.	18
3	Elektromagnit tolkunlarynyň kömegi bilen aralygy ölçemegiň umumy düzgünleri.	22
4	Wagtlaýyn impulsly usul.	24
5	Aralygy ölçemegiň Fazaly usuly. Masştab we getiriji ýygýlyk.	31

6	Aralygy ölçemeginiň ýygyllykly usuly. Ýygyllykly uzaklyk ölçemeginiň funktional blok-shemasy. Ýygyllykly usulyň takyklygy.	36
7	Uzak aralyk ölçenende atmosferanyň täsiri. Elektromagnit tolkunlarynyň ýaýramagynyň tizligi. Fazaly we topar tizlik. Radiotolkun we ýagtylyk üçin howanyň döwürmeginiň görkezijisi we ony metrologiki esasynda kesgitlemek. Atmosferalaryň nusgalary. B eksponensial nusga we ony ulanmak.	43
8	Fazaly ýagtylyk uzaklyk ölçejiniň umumylaşdyrylan blok – shemasy. Ýagtylyk uzaklyk ölçejiniň gurluşynyň esaslary	44
9	Uzaklyk ölçejiniň esasy teoriýalary. Ekstremal we nulewoý fazalaryň tapawudyny ölçemeginiň usullary.	46
12	Ýagtylyk uzyklyk ölçejileriň bilen deňeşdirilende Radiouzyklyk ölçejileriň gowy we ýaramaz taraplary. Radiouzyklyk ölçejileriň kogerent we kogerent däl shemasy.	48
13	Radiouzyklyk ölçejileriň esasy gurluşy. Tolkun almagyň SWÇ generatory. Tolkun almagyň SWÇ modulýasiýasy.	49

14	Radiofiziki sistemalar. Olaryň niýetlenen ýerleri we klassifikasiýasy .	51
15	Uzaklyk ölçegleriniň takyklyk bahasy	60
16	Ýygýlykly – uzaklyk ölçeyiji gurluş.	62
17	Impulsly uzaklyk ölçeyji gurluş	67
18	Radiogeodeziki ölçemeleriniň netijeleriniň üstünde işlemek	69
19	Edebiýatlar	79