

528.23  
T-29

Tashpo'latov Sarvar Anvarovich.

# OLIY GEODEZIYA



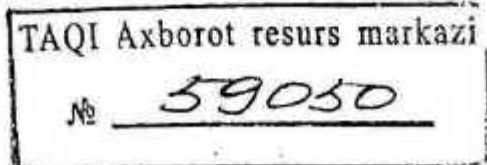
528.23  
T-29

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

S.A.TASHPO'LATOV

# OLIY GEODEZIYA

Darslik



«ZEBO PRINT»  
TOSHKENT – 2022

UDK: 528.23

KBK: 26.82ya7

T – 56

**S.A.Tashpo'latov**

**Oliy geodeziya [Matn]: darslik / S.A. Tashpo'latov. -Toshkent:**  
**«ZEBO PRINT», 2022. - 528 b.**

**Muallif**

**Tashpo'latov Sarvar Anvarovich – t.f.n., professor**

**Taqrizchilar:**

**Suyunov A.S. – t.f.d., professor**

**Musayev I. – t.f.n., dotsent**

**Oliy geodeziya: oliy o'quv yurtlari uchun darslik.**

Mazkur darslikda Yeming shakli va gravitatsiya maydoni, davlat geodezik tarmoqlari va ularni qurishni nazariy masalalari bayon etilgan. Yuqori aniqlikdagi teodolitlar, ularning tadqiqatlari, burchak o'lchashda xatolar manbalari, o'lchash nazariyasi va usullari berilgan. Kitobda davlat nivelirlash tarmoqlari, ularni qurishda zarur yuqori aniqlikdagi nivelirlar va nivelir reykalari, ular tadqiqatlari hamda yuqori aniqlikdagi nivelirlashning nazariyasi ko'rib chiqilgan. Geodezik tarmoqlarni tekislikda tenglashning usullari hamda geodezik tarmoqlarni kosmik usullarda rivojlantirish haqidagi ma'lumotlar ,sferoidik geodeziyning nazariy asoslari keltirilgan.

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2022 yil 17 martdagi 106-sonli buyrug'iga asosan darslik sifatida nashr etishga ruxsat berildi.*

ISBN 978-9943-8465-6-2

© S.A.Tashpo'latov, 2022.

© «Zebo print» nashriyoti, 2022.

## SO'Z BOSHI

Mazkur darslik respublika amaliyotida ilk bor davlat tilida yozilishi. U geodeziya, kartografiya bakalavriat yo'nalishi talabalari uchun mo'ljallangan. Darslik Toshkent arxitektura va qurilish instituti "Geodeziya va kadastr" kafedrasida ilgariidan foydalanib kelingan oliy geodeziya fanining dasturi, uni o'qitishni ko'p yillik tajribasi, hamda Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti "Geodeziya, kartografiya va kadastr" kafedrasini bu boradagi tajribasi asosida yozildi.

Darslik ilk bor yozilayotganligi sababli, ayrim kamchiliklardan holi emasligi tabiiydir, ular haqida, umuman kitob to'g'risida bildirilgan fikr va mulohazalarni mualliflar mamnuniyat bilan qabul qiladilar.

Mualliflar darslikni tayyorlashda prof. N.V.Yakovlevni oliy o'quv yurtlarining geodeziya mutahassisligi uchun chiqarilgan "Vsshaya geodeziya" darsligini asos qilib olishdi. Bundan tashqari prof. A.M. Viroves "Vsshaya geodeziya" o'quv qo'llanmasi, prof. P.S.Zakatov "Kurs vsshey geodezii" darsligidan ham foydalanildi. Kitobda asosan yuqori aniqlikdagi geodezik tayanch tarmoqlarni qurish bilan bog'liq, nazariy masalalar hamda yuqori aniqlikdagi geodezik asboblarni tuzilishi va ularni tadqiq qilishga bog'liq bo'lgan nazariy va amaliy ma'lumotlar berilgan.

Ushbu darslik oltita bo'limdan iborat.

Birinchi bo'limda Yerning shakli va uning gravitatsiya maydoni, geodezik va astronomik koordinatalar, Laplas azimuthlari, hamda reduksiya masalalari yoritilgan. Bu masalalarni o'rganish geodezik tayanch tarmoqlarni qurishni nazariy asoslash uchun zarur bo'ladi.

Ikkinchi bo'limda davlat geodezik tarmoqlarini qurish pritsiplari va ularni qurish usullari, tarmoqlarni loyihalash, ularni joyda mahkamlash va tarmoq aniqligini old baholash masalalari berilgan.

Uchinchi bo'limda yuqari aniqlikdagi burchak o'lchash asboblari, ularning tadqiq qilish, burchak o'lchashda xatolar manbaalari va ularni o'lchashlar natijasiga ta'sirini kamaytirish hamda geodezik tarmoqlarda burchaklarni o'lchash usullari ko'rib chiqilgan.

To'rtinchi bo'limda davlat nivelir tarmoqlarini qurishni nazariy masalalari, ularni loyihalash va aniqligini baholash, yuqori aniqlikdagi nivelirlar, ularning tadqiqi, nivelirlashni bajarish usullari hamda trigonometrik nivelirlash nazariyasi berilgan.

Beshinchi bo'lim geodezik tarmoqlarda dastlabki hisoblashlarga va Gauss-Kryugerni tekislikdagi proeksiyasida geodezik tarmoqlarni para-



metrik va korellata usullarida tenglashni nazariy masalalariga bag'ishlangan.

Oltinchi bo'lim sun'iy yo'ldosh geodezik tarmoqlarini rivojlantirish usullari va texnologiyalariga bag'ishlangan bo'lib, unda GPS koordinatalari sistemasi, GPS priyomniklari va joy nuqtalari koordinatalarini aniqlash masalalari ko'rilgan.

Darslikning 6÷10; 13÷17 va 20 boblari t.f.n., dos.X.Muborakov va dos B.R.Nazarov tomonidan tayyorlangan. Oliy geodeziya fanida uchraydigan murakkab texnik atamalarni o'zbek tilida qo'llash masalalari kitob qo'lyozmasini tayyorlashda ma'lum qiyinchiklarni tug'dirdi.

## KIRISH

Oliy geodeziya fani Yerning shaklini, o'lchamlarini va Yer gravitatsion maydonini aniqlash, davlat geodezik tayanch to'rlarini (tarmok) barpo etish, geodinamik hodisalarni o'rganish, hamda Yer ellipsoid yuzasida va fazoda geodezik masalarni yechish bilan shug'ullanadi.

Oliy geodeziyaning vazifasi ikkiga bo'linadi:

- ilmiy vazifaga;
- ilmiy-texnik vazifaga;

Oliy geodeziya va unga turdosh fanlar (gravitatsiya, kosmik geodeziya va astronomiya) asosiy ilmiy vazifasi Yer figurasining (shaklining) parametrlarini (uning o'lchamlarini), tashqi gravitatsiya maydonini va ularning davriy o'zgarishini aniqlashdan iborat.

Hozirgi vaqtda oliy geodeziyada Yer figurasini deganda, Yerning fizik yuzasi bilan chegaralangan figura tushuniladi, ya'ni uning quruqlikdagi qattiq qobig'ining yuzasi va o'zaro tutash dengiz va okeanlar suv sathini tinch holatdagi yuzasi bilan chegaralangan figurasini tushuniladi.

Yerning gravitatsion maydoni deganda, Yerning sutkali aylanishi tufayli hosil bo'lgan markazdan qochma va tortishish kuchlariga teng ta'sir etuvchi og'irlik kuchlarining maydoni tushuniladi.

Yerning gravitatsion maydonini va boshqa fizik maydonlarini o'rganish aslida geofizikaning muammosi hisoblanadi. Lekin Yer figurasining parametrlari va Yer gravitatsiya maydoni, Yer sun'iy yo'ldoshi orqali astronomo-geodezik, gravimetrik va boshqa o'lchashlarni kompleks qayta ishlash natijasida aniqlanadi va birgalikda oliy geodeziyaning ko'plab masalalarini yechishda foydalaniladi. Yer gravitatsiya maydonini o'rganish geodeziyaning asosiy ilmiy vazifalaridan biri hisoblanadi.

Yer ostida va uning yuzasida sodir bo'ladigan fizik jarayonlar ta'sirida, litosfera plitalari sekin siljiydi, yer qobig'ida elastik kuchlanish sodir bo'ladi, yer silkinishi yuzaga keladi, yer yuzasi sekin-asta deformatsiyalanadi, shuni e'tiborliki, bu jarayonlar turli hududlarda turlicha bo'ladi, Yer qutblarining holati, uning gravitatsiya maydoni, aylanishining burchak tezligi va h.k.lari o'zgaradi. Bularning barchasi geodezik tarmoqlar punktlarining koordinatasini va balandligini aniqlashga va ularning vaqt o'tishi davomida o'zgarishga ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun eng yuqori aniqlikda geodezik o'lchashlarni ta'minlashni talab etuvchi turli tuman masalalarini yechishda yerni planeta kabi o'rganish zarurati tug'iladi. Shu munosabat bilan oliy geodeziyaning eng muhim ilmiy vazifasiga yer yuzasining deformatsiyasining sonli

xarakteristikasini geodezik usulda aniqlash, yer qobig'i ulkan bloklarining asriy ko'tarilishini va tushishini o'rganish hamda litosfera plitalarini siljish qonuniyatlarini, Yer qutblari harakatini aniqlash va hisobga olish va uning aylanish burchak tezligini o'zgarishini aniqlash, seysmoaktiv hududlarda yer silkinishini oldindan bashorat qilish maqsadida yer yuzasi va dengiz, okeanlar sathiy yuzalari farqlarini va h.k.larni aniqlash va o'rganishdan iborat.

Oliy geodeziya va unga turdosh bo'lgan fanlarning asosiy ilmiy texnik vazifasi global (umum yer) va milliy (davlat miqyosida) yuqori aniqlikdagi tayanch geodezik tarmoqlarni barpo etishdan iborat. Milliy tayanch tarmoqlari Davlat geodezik asosiy, (ko'pchilik holda planli tarmog'i deb ataluvchi), davlat nivelirlash tarmog'i (balandlik) va davlat gravimetrik tarmoqlaridan tashkil topadi.

Bu tarmoqlar bir-biri bilan o'zaro juda yaqin bog'liqlikka ega, ular biri-birini to'ldiradi va ulardan birgalikda foydalanib bajariladigan kompleks astronomo-geodezik va gravimetrik o'lchash ishlari punktlarning aniq koordinatalarini va balandliklarini aniqlash, hamda mamlakat hududida gravitatsiya maydoni va Yerning shaklini xarakterlovchi parametrlarini aniqlash imkonini beradi. Bu tarmoq takroriy o'lchashlarni bajarib, punktlar koordinatalarini va balandliklarini aniqlash, hamda bulardan foydalanib geodinamik hodisalarni o'rganish mumkin.

Amaliyot shuni ko'rsatadi-ki, vaqt o'tgan sari geodezik tayanch tarmoqlarini barpo etish aniqligiga bo'lgan talab oshmoqda. Ular hozir yetarli darajada yuqori, yaqin kelajakda yana ham yuqori bo'lishi kerak. Shuning uchun hozirgi vaqtda noyob tayanch geodezik (global va mahalliy) tarmoqlarni barpo etish nazariyasi va usullarini yaratish zaruriyati tug'iladi, bunga barcha kompleks astronomo-geodezik, gravimetrik, graviinersial va boshqa turdagi o'lchashlardan foydalanish, hamda Yerning sun'iy yo'ldoshlarini kosmik uchish apparatlarini, gallaktikadan tashqari radionurlanish manbaalarini kvazavrlarni kuzatish orqali, erishiladi.

Fan va texnika rivojlanishi, o'lchash aniqligiga talablarni ortib borishi oliy geodeziya fani oldida quyidagi vazifalarni qo'yadi:

- geodezik tarmoqni barpo etish va uni tizimli takomillashtirib borish;
- geodeziya fani va texnikasining yangi yutuqlaridan foydalanib yuqori aniqlikdagi tayanch geodezik tarmoqni barpo etishning ilmiy jihatdan asoslangan dasturini va uslubiyatini yaratish;
- turli fizik-geografik va iqlimiy hududlarda barpo etiladigan geodezik tarmoq punktlarini joylarda mahkamlashning uzoq muddatga saqlanadigan eng ishonchli vosita va usullarini yaratish;

-yuqori aniqlikdagi tayanch geodezik tarmoq astronomo-geodezik, gravimetrik, sun'iy yo'ldosh, graviinersial radiointerferometrik va boshqa turdagi o'lchashlarni bajarish uchun eng mukammal usullarini, yuqori aniqlikdagi asboblarni, avtomatlashtirilgan kompleksini yaratish;

-geodezik punktlar koordinatasini va balandligi, hamda Yer gravitatsiya maydoni va shakli parametrlarini yuqori aniqlikda aniqlash maqsadida, barcha kompleks o'lchashlar natijalarini birgalikda qayta ishlashning matematik jihatdan mukammal nazariyasini va usulini yaratish;

-astronomo-geodezik, sun'iy yo'ldoshli va boshqa turdagi o'lchash natijalariga tashqi muxit ta'sirini hisobga oluvchi ishonchli vositalari va usullarini yaratish;

-Yerni geometrik yoki fizik modeli deb qabul qilinuvchi yer ellipsoidi yuzasida va uch o'lchamli fazoda geodezik masalalarni yangi zamonaviy hisoblash texnikasidan foydalanib yechishning eng sodda va eng aniq usullarini yaratish;

-tayanch geodezik tarmoqlarni baro etish va keyinchalik rivojlantirishning barcha bosqichlarida mehnat muhofazasini, texnik xavfsizligini va ishlarni ilmiy jihatdan asoslab tashkil etish usullarini yaratish zarur.

Oliy geodeziyaning ilmiy va ilmiy-texnik masalalari bir-biri bilan chambarchas bog'langan. Yer gravitatsion maydoni va shakli parametrlarini bilmasdan, tayanch geodezik tarmoqlarni barpo etishda bajariladigan barcha kompleks o'lchashlarni matematik jihatdan mukammal qayta ishlash, hamda punktlar koordinatalarini va balandliklarini yagona sistema yuqori aniqlikda topish imkoni bo'lmaydi va aksincha Yer gravitatsiya maydonini va shaklini o'rganish uchun yagona sistemada aniqlangan tayanch geodezik tarmoqlarining koordinatalari va balandliklari zarurdir.

Bundan kelib chiqadi-ki, oliy geodeziyaning ilmiy va ilmiy-texnik masalalarini birgalikda ketma-ket yaqinlashish usuli bilan yechilishi lozim.

Oliy geodeziya. Yer shakli nazariyasi, gravimetriya, geodeziya, astronomiya, kosmik geodeziya kabi ilmiy fanlar bilan birgalikda uzviy bog'liq holda rivojlanmoqda.

Oliy geodeziya kursi uchta asosiy bir-birini to'ldiruvchi fanlardan tashkil topgan: "Asosiy geodezik ishlar", "Sferoidik geodeziya" va "Nazariy geodeziya".

"Asosiy geodezik ishlar" bo'limida tayanch geodezik tarmoqlarni barpo etish usullarini ishlab chiqish, tarmoqlarni loyihalash va punktlarni joyda mahkamlash, yuqori aniqlikdagi geodezik o'lchash usullarini va

asboblari yaratish, o'lchash xatolari, manbalarini va ularni natijalarga ta'sir etishini hisobga olish usullarini, Yer gravitatsiya maydonning bir xil emasligini va Yer yuzasining egriligini hisobga olgan holda o'lchash natijalarini matematik qayta ishlash usullarini yaratish masalalari ko'riladi.

"Sferoidik geodeziya" Yer ellipsoidining geometriyasi, unig yuzasida va uch o'lchamli fazoda geodezik masalarni yechish usullarini hamda ellipsoid yuzasini sharda va tekislikda tasvirlash nazariyasini o'rganadi. "Nazariy geodeziya" oliy geodeziyaning asosiy ilmiy muammo va masalalarini yechish nazariyasini va usullarini ishlab chiqish bilan shug'ullanadi.

Oliy geodeziyaning ilmiy va ilmiy-texnik vazifalarini muvoffaqiyatli yechish uchun I klass davlat geodezik tarmoqlaridagi barcha o'lchashlarni, zamonaviy o'lchash asboblariidan foydalanilgan holda, yuqori aniqlik bilan bajarilishi lozim. Hozirgi vaqtda I klass geodezik tarmoqlarida gorizont burchaklar  $0,5''-0,7''$  o'rta kvadratik xatolik bilan o'lchaniladi (uchburchaklarning hisoblanilgan bog'lanmasliklari bo'yicha), tomonlar uzunligi —  $2 \cdot 10^{-5}$  nisbiy xatolik bilan, nivelirlashda nisbiy balandliklar —  $0,5\text{mm/km}$  tasodifiy xatolik bilan, astronomik kenglik, uzoqlik va azimutlar tegishli  $0,3''$ ;  $0,03''$  va  $0,5''$  tasodifiy xatolik bilan (priyomlardagi o'lchash natijalarining o'zgarishi bo'yicha hisoblanilgan), og'irlik kuchining tezlanishi —  $3 \cdot 10^{-8}$  nisbiy xatolik bilan o'lchaniladi.

Oliy geodeziya o'zining tadqiqotlarida fundamental fanlarning (fizika, matematika, astronomiya va boshqa), yuqori aniqlikdagi o'lchash asboblari ishlab chiqishda — amaliy optika, aniq asbobsozlik, radioelektronika, lazerli texnika va boshqalarning yangi yutuqlaridan foydalanadi. O'lchash natijalarini qayta ishlash ehtimollar nazariyasi, matematika, statistika, eng kichik kvadratlar usullarida zamonaviy kompyuter va ular dasturlaridan foydalanib bajariladi.

Yerni Planetadek o'rganish bilan bog'lik ilmiy masalani yechish uchun, oliy geodeziya Yer to'g'risidagi fanlar geologiya, geofizika, tektonika va boshqalar bilan o'zaro mustahkam bog'langandir.

Oliy geodeziya tadqiqotlarining natijalari ilm fanda va xalq ho'jaligida muhim ahamiyatga ega. Masalan, davlat geodezik tarmoqlari kosmik fazoni o'rganishda, mamlakat hududini turli masshtablarda kartalarini tuzishda, qo'llanadi.



# I BO'LIM

## YER SHAKLI VA KO'CHIRISH SIRTLARI

### 1-BOB YERNING SHAKLI VA GRAVITATSIYA MAYDONI HAQIDA ASOSIY MA'LUMOTLAR

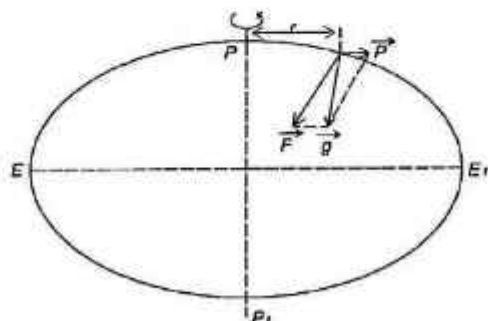
#### 1.1. Og'irlik kuchi va Yerning sathiy yuzasi

Davlat geodezik tarmoqlarini barpo etishda yuqori aniqlikda burchaklar va masofalar o'lchanadi, astronomik kengliklar, uzoqliklar va azimutlar aniqlanadi, og'irlik kuchi va punktlar orasidagi nisbiy balandlik o'lchanadi, Yerning sun'iy yo'ldoshlari kuzatiladi va h.k.

Yuqori aniqlikda astronomo – geodezik o'lchashlar bajarishda har doim asbobning vertikal o'qi, asbob o'rnatilgan nuqtada shovun chizig'i yo'nalishi bilan tutashtiriladi. Fazodagi har bir nuqtada shovun chizig'i yo'nalishi og'irlik kuchi ta'sir yo'nalishi bilan tutashadi. Og'irlik kuchi ikkita asosiy xarakatlanuvchi kuchlardan iborat: yerning tortishish kuchi  $F$  va Yerning aylanish o'qi atrofida moddiy nuqtaning sutkalik aylanishi tufayli sodir bo'luvchi markazdan qochma kuch  $P$ .

Har bir nuqtada  $\vec{g}$  og'irlik kuchi vektori (1.1-shakl)  $\vec{F}$  va  $\vec{P}$  vektorlarning yig'indisiga teng, ya'ni

$$\vec{g} = \vec{F} + \vec{P} \quad (1.1)$$



1.1 – shakl. Og'irlik kuchi va uni tashkil etuvchilar

Yer tortishish kuchi Yer shakli, o'lchamlari, massasi, anomal qatlamlarini taqsimlanishiga bog'liq. Agar birinchi yaqinlashishida shaklini zichligi bir xil bo'lgan konsentrik qatlamlardan tashkil topgan, bu qatlamlarni biridan ikkinchisiga o'tishda zichligi sakrash tariqasida o'zgarib boradigan shar deb qabul qilsak, u holda tortishish kuchi  $F$  Yer massasi markaziga yo'nalgan bo'ladi va butun olam tortishish qonuniga muvofiq quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$F = f \frac{M \cdot m}{R^2} , \quad (1.2)$$

bu yerda  $f$  – universal gravitatsion doimiy;

$M$  – Yerning massasi;  $m$  – moddiy nuqta massasi;

$R$  – Yer sharining radiusi.

Real Yer uchun (1.2) formula bilan hisoblangan tortishish kuchi  $F$  ga teng bo'lmaydi va u Yer massasi markaziga yo'nalmagan bo'ladi.

$P$  markazdan qochma kuch parallel radiusi bo'ylab yo'nalgan bo'lib, unda moddiy nuqta joylashadi va u quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$P = m r \omega^2 , \quad (1.3)$$

bu yerda  $m$  – moddiy nuqta massasi;  $r$  – parallel radiusi;  $\omega$  – Yer aylanishining burchak tezligi.

Markazdan qochma kuchning eng katta miqdori ekvatorida;  $P = m a \omega^2$ , bu yerda  $a$  – Yerning katta yarim o'qi, eng kichik miqdori – Yerning qutblarida;  $P = 0$  chunki  $r = 0$  bo'ladi. Ekvatorida  $P$  kuch  $F$  kuchga qaraganda 288 marotaba kichik, lekin u  $g$  og'irlik kuchning qiymatiga ham sezilarli darajada ta'sir etadi.

$F$  va  $P$  kuchlar qarama-qarshi ishoralarga ega.  $P$  kuch ekvatoridan qutbga o'tib borishda kamayadi. Shuning uchun  $g$  og'irlik kuchi kenglik bo'yicha o'zgaradi va qutblarda eng katta, ekvatorida esa eng kichik qiymatga ega bo'ladi.

SI xalqaro birliklar sistemasida og'irlik kuchining tezlanish birligi sifatida  $1m^2s^{-2}$  kattaligi qabul qilingan. Gravitatsiyada birlik sifatida Gal ( $1 \text{ Gal} = 1 \text{ sm} \times s^{-2} = 0,01 m^2s^{-2}$ ) qabul qilingan. Odatda "og'irlik kuchi tezlanishi" o'rninga "og'irlik kuchi" so'zi ishlatiladi.

Gravimetriyada Yerning gravitatsiya maydonini tavsiflovchi miqdorni o'lchash paytida, og'irlik kuchi maydonini ifodalash uchun –skalyar funksiya potensiali qo'llaniladi. Vektor potensiali – bu shunday koordinata

funksiyasiki, uning to'g'ri burchakli koordinatalar bo'yicha xususiy hosilasi vektorni tegishli koordinatalar o'qiga proeksiyalariga tengdir. Og'irlik kuchi potentsiali  $W$  tortishish kuchi  $F$  potentsiali  $V$  va markazdan qochma  $P$  kuch potentsiali  $Q$  yig'indisiga teng

$$W=V+Q \quad (1.4)$$

Nuqtada hoxlagan  $S$  yo'nalishi bo'yicha  $W$  og'irlik kuchining potentsialidan olingan hosila ushbu yo'nalishda bu kuchlarning proporsiyasiga teng, ya'ni

$$\frac{dW}{ds} = g \cos(g, s), \quad (1.5)$$

bu yerda  $g$  – nuqtada og'irlik kuchining qiymati;  $(g, s)$  – og'irlik kuchi ta'siri yo'nalishi va massa birligi xarakatlanadigan  $S$  yo'nalish orasidagi burchak.

(1.5) formulani ikkita holatni ko'rib chiqamiz. Oldin  $A$  moddiy nuqta  $g$  og'irlik kuchiing vektoriga to'g'ri burchak ostida xarakatlanadi deb faraz qilamiz. Bu holda burchak  $(g, s) 90^\circ$  ga teng (1.2, a-shakl),  $\cos(g, s)=0$  va shuning uchun

$$\frac{dW}{ds} = 0 \text{ yoki } dW=0. \quad (1.6)$$

(1.6) ifodani integrallab, yuzalar turkumining tenglamasini olamiz

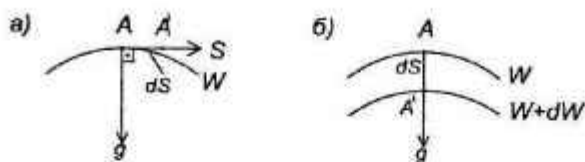
$$W=C=const. \quad (1.7)$$

Barcha nuqtalarda tortishish kuchining potensiyali bir xil qiymatga ega bo'lgan yuzaga Yerning sathiy yuzasi deyiladi.

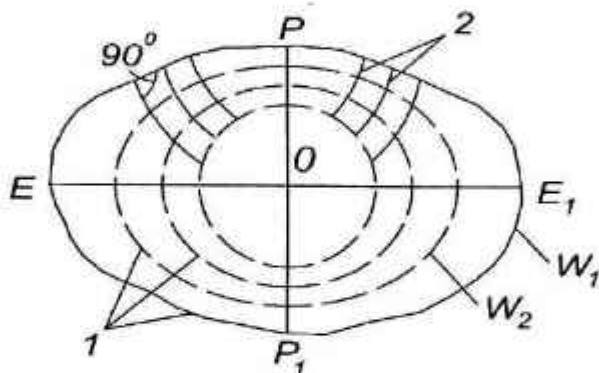
(1.7) ifodada  $C$  doimiyning turli qiymatlarini qabul qilib, tegishli sathiy yuzalarni olamiz (1.3-shakl). Fazoning har bir nuqtasi orqali faqat bitta sathiy yuza o'tadi. Sathiy yuzaning har bir nuqtasida og'irlik kuchining vektori ushbu nuqtada unga normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi.

Sathiy yuzalar muvozanat yuzalar hisoblanadi, chunki uning hoxlagan nuqtasida sathiy yuzaga urinma bo'yicha og'irlik kuchlarini tashkil etuvchisi nolga teng. Shuni ta'kidlash kerak-ki tinch holatda suv yuzasi, faqat og'irlik kuchlari ta'siri ostidagi, bitta sathiy yuza bilan ustma-ust tushadi. To'g'ri burchak ostida  $W_1, W_2, \dots$  sathiy yuzalarni kesib o'tuvchi

egri chiziqlar Yer gravitatsiya maydonining kuch chizig'i deyiladi. Kuch chizig'ining barcha nuqtalaridagi uritmalar og'irlik kuchlari yo'nalishi bilan ustma-ust tushadi va sathiy yuzaga perpendikulyar bo'ladi.



1.2-shakl. Og'irlik kuchi vektoriga moddiy nuqtani perpendikulyar (a) va bo'ylamasiga (b) xarakat sxemasi



1.3-shakl. Yerning sathiy yuzasi (1) va gravitatsiya maydonining kuch chiziqlari (2)

(1.5) formulani ikkinchi xususiy holatni ko'rib chiqamiz. Aytaylik,  $A$  moddiy nuqta bitta sathiy yuza  $W$  dan  $g$  og'irlik kuchi yo'nalishida bo'lgan boshqa cheksiz kichik  $ds=dh$  masofada  $W_1=W+dW$  yuzaga o'tsin (1.2, b-shaklga karang), Bu holda burchak bo'yicha ( $g, s$ ) nolga teng bo'ladi;  $\cos(g, s)=1$  bo'ladi va shu sababli formula (1.5) quyidagi ko'rinishga keladi.

$$\frac{dW}{ds} = \frac{dW}{dh} = g \text{ yoki } dW = g dh \quad (1.8)$$

(1.8) ifodadan ko'rinayapti-ki, ikkita cheksiz yaqin  $W$  va  $W_1 = W + dW$  sathiy yuzalar orasidagi masofa differinsiali  $dh$  quyidagiga teng

$$dh = \frac{dw}{g}, \quad (1.9)$$

(1.9) formulani tahlil qilib va 1.3-shaklga muvofiq quyidagi umumiy xulosalarni qilish mumkin:

1. Yerning sathiy yuzasi xech qacda o'zaro bir-biriga qo'shilmaydi va kesishmaydi.

2. Yerning sathiy yuzasi o'zaro parallel emas: ular qutbda yaqinlashadi, ekvatorida aksincha, bir-biridan uzoqlashadi.

3. Yerning ichkarisida zichlik bo'yicha anomal massalar borligi tufayli Yerining sathiy yuzasi to'liqinsimon ko'rinishga ega.

## 1.2. Geoid va kvazigeoid

Yer shakli tushunchasi yagona emas va u yoki bu masalalarni yechish aniqligiga qo'yilgan talabga qarab Yerning shakli va o'lchamlarini turlicha talqin qilish mumkin. Bir holatda Yerni shar deb qabul qilish mumkin bo'lsa, boshqa holatda, masalan, geodeziya va kartografiyaning ko'plab masalalarini yechishda kichik qutbiy siqiqligi bo'lgan ikki o'qli aylanma ellipsoid deb qabul qilinadi va h.k.

Yuqorida ta'kidlanganidek hozirgi vaqtda Oliy geodeziyaning masalalarini yechishda Yer shakliga Yerning fizik yuzasi bilan chegaralangan, ya'ni quruqlikdagi uning qattiq qobig'i va tinch holatdagi dengiz va okeanlar sathi bilan chegaralangan shakl tushuniladi.

Quruqlik Yer yuzasining 1/3 ga yaqin qismini tashkil etadi. Uning yuzasi dengiz yuzasidan o'rtacha 900 m baland ko'tarilib turadi, bu Yerning o'rtacha radiusi  $R=6371 \text{ km}$  ga qaraganda juda kichik miqdorni tashkil etadi. Yer yuzasining 70% dan ko'pi dengiz va okeanlar bilan qoplangan. Shu sababli Yer shakli deb birinchi yaqinlashishda, dengiz va okeanlarning tinch holatdagi yuzasi bilan chegaralangan va suv yuzasini materiklar ostidan barcha nuqtalarida shovun chizig'i yo'nalishiga perpendikulyar davom ettirish bilan hosil qilingan shakl qabul qilingan. Yerning bunday shakli nemis fizigi Listingning taklifiga ko'ra geoid deb ataladi. Geoidni o'rganish bilan geodezistlar yuz yildan ortiqroq shug'ullanishmoqda. Hozirgi vaqtda dunyo okeani yekvatoriyasida sun'iy yo'ldoshdan altimetriya usulida sun'iy yo'ldoshdan uni ostidagi dengiz va

okean yuzasidagi nuqtalargacha bo'lgan masofani o'lchab, geoid yuqori aniqlikda (balandlik bo'yicha 0,1-0,3 m gacha) o'rganilmoqda. Bu o'lchashlar shuni ko'rsatdi-ki tinch holatdagi dengiz yuzasi og'irlik kuchi potentsiali sathiy yuzasi bilan ustma-ust tushmaydi: ayrim joylarda chetlashuvlar  $\pm(1,5-2)$  metrga yetadi. Shuning uchun nazariy qat'iy yondashuvda geoid deb dunyo okeanlarini o'rtacha sathi bilan ustma-ust tushuvchi, sanoq boshi deb qabul qilingan balandlik orqali o'tuvchi, og'irlik kuchi potentsiali bilan chegaralangan sathiy yuza Yer shakli deb tushuniladi.

Quruqlikda geoid shaklini o'rganishda sun'iy yo'ldosh altimetriya usuli ishlamaydi, kosmik geodeziyaning boshqa usullari esa uning yuzasini aniqlashda yetarli aniqlikni bermaydi. Yer usti o'lchashlar orqali geoid shaklini yuqori aniqlikda o'rganish uchun, uning yuzasida bevosita og'irlik kuchini o'lchash zarur, ammo buni amalga oshirishning iloji yo'q. Taniqli olim M. S. Molodenskiy, yuqori aniqlikda yerdagi o'lchashlar orqali geoid yuzasini o'rganishning imkoni yo'qligini isbotladi. Yer usti astronomo-geodezik va gravimetrik kompleks o'lchashlar natajalari bo'yicha nazariy jihatdan boshqa yordamchi yuza, kvazigeoid yuzasi deb nom olgan yuzani aniqlash mumkin, u geoid yuzasidan uncha katta bo'lmagan balandlikka og'adi: tekis joylarda 2-4 sm, tog'li joylarda 2 metrgacha farq qiladi. Dengiz va okeanlar yuzasida geoid va kvazigeoid bir-biri bilan to'liq ustma-ust tushadi.

Kvazigeoid yuzasi birdan chegaralangan Yer shakliga kvazigeoid deb ataladi. Yer usti o'lchashlarni qayta ishlashdan kvazigeoid parametrlarini aniqlab va unga nisbatan yer yuzasidagi nuqtalarning balandligini o'lchab, yerning quruqlikda qattiq qobig'i va dengiz va okeanlarning tinch holatdagi yuzasi bilan chegaralangan, Yerning real shaklini nazariy jihatdan qat'iy o'rganish mumkin. Yer shakli va gravitatsiya maydonini o'rganishning M. S. Molodenskiy nazariyasi dunyoning barcha geodezistlari orasida tan olindi va bu nazariya geodezik - gravimetriya va Yer shakli nazariyasi kurslarida kengroq ko'riladi.

### 1.3. Umumiy yer ellipsoidi

Yerning shaklini o'rganishda ko'p vaqtlardan beri quyidagi tarzda yondoshiladi. Dastlab sirti nisbatan oddiy bo'lib, gemetrik jihatdan yaxshi o'rganilgan, unda geodeziya va kartografiyaning turli masalalarini yechish uchun qulay va birinchi yaqinlashishda Yerni xaqiqiy shakli va o'lchamlarini to'liq xarakterlaydigan yer modelining shakli va o'lchamlari



aniqlanadi. So'ngra bu Yer modelining yuzasi boshlang'ich deb qabul qilinib, unga nisbatan o'rganiluvchi shakl – geoid (kvazigeoid) yoki real Yerning yuzasidagi nuqtalarning balandliklari aniqlanadi shu tariqa konkret shakli va o'lchamlarini tavsiflovchi ma'lumotlar olinadi.

Oliy geodeziyaning masalalarini yechishda bunday shakl sifatida umumiy yer ellipsoidi deb ataluvchi kichik qutbiy siqilishli aylanma ellipsoid qabul qilinadi (1.4- shakl). Uning yuzasi uni kichik  $PP_1$  o'qini atrofida  $PEP_1$  yarim ellipsni aylantirish orqali hosil qilinadi.

Yer ellipsoidi shakli va o'lchamlari katta  $a$  va kichik  $b$  yarim o'qlari, yoki ko'pincha katta yarim o'q  $a$  va qutbiy siqilishi  $\alpha$  bilan

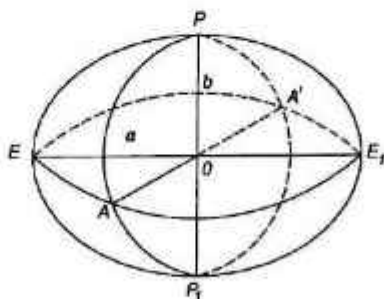
$$\alpha = \frac{a-b}{a}, \quad (1.10)$$

yoki katta yarim o'q  $a$  va meridian ellipsning birinchi ekscentrisiteti  $e$  bilan tavsiflanadi.

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (1.11)$$

Umumiy yer ellipsoidi Yerning to'liq shakli va o'lchamlarini imkon boricha aniq tavsiflashi uchun, uning  $a$ ,  $\alpha$  parametrlari quyidagi shartlarni hisobga olgan holda aniqlanadi:

- umumiy yer ellipsoidining markazi Yer massasi markazi bilan ustma-ust tushishi lozim, uning kichik o'qi esa – Yer aylanish o'qi bilan ustma-ust tushishi lozim;



1.4-shakl. Yer ellipsoidi

- ellipsoid hajmi geoid (kvazigeoid) hajmiga teng bo'lishi lozim;
- ellipsoid yuzasining geoid (kvazigeoid) yuzasidan balandliklar bo'yicha chetlashishlari kvadratlarning yig'indisi eng kichik (minimal) bo'lishi lozim.

Yaqin vaqtlargacha, kosmik fazoni inson tomonidan o'zlashtirgunga qadar, yer ellipsoidining parametrlari gradusli o'lchash deb ataluvchi o'lchashlarni bajarish orqali olingan. Bu maqsadda turli kengliklardagi meridian va parallellar bo'ylab triangulyatsiya qatorlari o'tkazilgan, ularning oxirgi punktlarida astronomik kengliklar, uzoqliklar va tomonlarning azimutlari aniqlanilgan. Umumiy yer ellipsoidi parametrlarining ishonchli qiymatlarini chiqarish uchun butun yer yuzasida, dunyo okeanlari bilan birgalikda gradus o'lchashlarni bajarish lozim bo'lgan. Bundan tashqari, astronomik kengliklar, uzoqliklar va azimutlarga odatda noma'lum bo'lgan shovun chizig'ining og'ishini ta'siri uchun tuzatmalar kiritish kerak bo'lgan.

Oldinlari gradus o'lchovi faqat materiklarda, ya'ni yer yuzasining uncha katta bo'lmagan qismida olib borilgan. Turli mamlakatlarning gradus o'lchovlari umumiy bog'liqlikka ega bo'lmagan, turli dastur bo'yicha turli aniqlik bilan bajarilgan, turli koordinatalar sistemasida qayta ishlangan. Bularning barchasi ularni birgalikda qo'llashda qiyinchiliklar tug'dirgan va yer ellipsoidining o'lchamlari to'g'risida aniq xulosalar chiqarishiga salbiy ta'sir ko'rsatgan.

Ko'plab mamlakatlarning olimlari bir yarim asr davomida, turli hajmga, aniqlikka va mazmunga ega bo'lgan gradus o'lchovlaridan foydalanib, yer ellipsoidi o'lchamlarini aniqlash bilan shug'ullanganlar. Bunday aniqlashlarning ayrim natijalarini keltiramiz (1-jadval).

Delambr ellipsoidi, metr o'lchov sistemasini o'rnatilishida asos sifatida olingan va faqat tarixiy ahamiyatga ega. Delambr ellipsoidi yuzasida qutbdan ekvatorgacha bo'lgan masofa 10000 km ni tashkil etadi, chunki u vaqtda 1 metr, ushbu ellipsoid meridian yoyi choragining o'n milliondan bir qismiga teng deb qabul qilingan.

1-jadval

| Olimlar                                      | Davlat   | yil  | $a, m$    | $\alpha$  |
|----------------------------------------------|----------|------|-----------|-----------|
| Delambr                                      | Fransiya | 1800 | 6 375 653 | 1:334,0   |
| Bessel                                       | Olmoniya | 1841 | 6 377 397 | 1:299,2   |
| Klark                                        | Angliya  | 1866 | 6 378 206 | 1:294,98  |
| Xeyford                                      | AQSh     | 1910 | 6 378 388 | 1:297     |
| Krasovskiy                                   | SSSR     | 1940 | 6 378 245 | 1:298,3   |
| Su'niy yo'ldoshlarni kuzatish orqali olingan |          | 1984 | 6 378 137 | 1:298,257 |

Qolgan barcha ellipsoidlar hozirgacha turli mamlakatlarning topografo-geodezik va kartografik ishlarida foydalaniladi. Masalan, Bessel ellipsoidi Germaniyada va boshqa qator mamlakatlardan tashqari 1942 yilgacha Sobiq Ittifoqda, Krasovskiy ellipsoidiga o'tishdan oldin qo'llanilgan. Klark ellipsoidi (1866) AQSh da, Lotin va Markaziy Amerika mamlakatlarida, Kubada, hamda boshqa qator mamlakatlarda qo'llaniladi.

Keyford ellipsoidi qator Yevropa mamlakatlarida foydaniladi. U 1942 yil Madridda o'tkazilgan geodeziya Xalqaro Bosh Assambleyasida xalqaro ellipsoid sifatida tavsiya etilgan. Bu ellipsoidning parametrlari faqat AQSh hududida bajarilgan gradus o'lchashlaridan foydalanib chiqarilgan va ancha xatoliklarga ega, bunga Xeyford ellipsoidi parametrlarini sun'iy yo'ldoshlarni kuzatish natijalarini qayta ishlashdan olingan yer ellipsoid parametrlari  $a = 6\,378\,137\text{ m}$ ,  $\alpha = 1:298,257$  bilan taqqoslaganimizda ishonch hosil qilishimiz mumkin.

Yer usti o'lchashlarni qayta ishlashdan olingan barcha ellipsoidlar ichida Krasovskiy ellipsoidi eng aniq hisoblanadi. Uning o'lchamlari sun'iy yo'ldoshlarni kuzatishdan olingan ma'lumotlar bo'yicha umumiy yer ellipsoidining o'lchamlariga yaqin, siqilishi amaliy jihatdan bir xil, katta yarim o'qlarigina bir-biridan 108 metrga farq qiladi. Krasovskiy ellipsoidi MDX va qator boshqa mamlakatlarda qo'llaniladi.

#### 1.4. Normal yer va yerning real shakli

Yer shakli va gravitatsiya maydoni o'zaro chambarchas bog'lik bo'lib, ularni o'rganish mohiyati jihatidan bitta masalani yechishdan iborat. Gravitatsiya maydonining tuzilishi murakkab, Yer shaklining noto'g'riligidan va massaning zichligini taqsimlanishi jihatidan,  $W$  og'irlik kuchi potensialini aniqlashda ancha qiyinchilikni keltirib chiqaradi. Yerning gravitatsiya maydonini ikkita maydon ko'rinishida faraz qilsak: asosiy yoki normal qoldiqli, yoki anomal va ularning har birini alohida o'rgansak  $W$  potensialni aniqlash masalasi ancha yengillashishi mumkin.

Bunda yerning fizik modeli sifatida sathiy ellipsoid aylanishi qabul qilinadi, uning tashqiy yuzasi sathiy hisoblanadi va uning har bir nuqtasidagi og'irlik kuchi normal bo'yicha unga yo'nalgan bo'ladi.

Sathiy ellipsoid markazi Yer massasi markazi bilan, uning aylanish o'qi esa – Yerning aylanish o'qi bilan ustma-ust tushadi. Sathiy ellipsoid yuzasi bilan va uning tashqi fazosida hosil bo'ladigan gravitatsion maydon

normal gravitatsion maydon deyiladi, og'irlik kuchi esa normal og'irlik kuchi deyiladi va  $\gamma$  harfi bilan belgilanadi.

Sathiy ellipsoid parametrlarini aniqlab,  $U$  normal potensialni va uning yuzasida hamda tashqi fazoda og'irlik kuchi normal maydonning boshqa elementlarini hisoblash mumkin. Sathiy ellipsoid yuzasini boshlang'ich deb qabul qilib, Yer shaklini o'rganish masalasini, uni fizik yuzasini ellipsoid yuzasidan chetlashishini aniqlashga, real og'irlik kuchi  $W$  potensialini aniqlash masalasini esa,  $T$  – yer yuzasidagi nuqtalarda Yerning toydiruvchi potentsiali deb ataluvchi katta bo'lmagan  $T=W-U$  farqlarni, aniqlashga keltirish mumkin. Yerning fizik modeli sifatida qabul qilinuvchi sathiy ellipsoidni, uni shakli va gravitatsiya maydonini aniqlashda Normal Yer deb atash qabul qilingan. Geodeziya, geofizika, va osmon mexanikasining qator masalalarini yechishda yer tortishish  $V$  potensialini (uni atmosferasini hisobga olgan holda)  $r$ ,  $\Phi$  va  $L$  geotsentrik koordinatalarini, ya'ni geotsentrik radius, kenglik va uzoqliklarni sharoviy funksiya qatoriga yoyilgan ko'rinishida tasavvur qilish keng tarqalgan. Normal Yer (sathiy ellipsoid)  $V_0$  tortishish potentsiali quyidagi ko'rinishga ega [13]:

$$V_0 = \frac{fM_0}{r} \left[ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{a}{r} \right)^{2n} J_{2n}^0 P_{2n}(\sin\Phi) \right] \quad (1.12)$$

bu yerda «0» indeksi bilan Normal Yer parametrlari belgilangan;  $f$  – universal gravitatsion doimiy;  $M_0$  – sathiy ellipsoid massasi;  $r$  – uning yuzasidagi nuqtalarning geotsentrik radius vektori;  $a$  – ellipsoid katta yarim o'qi;  $J_{2n}^0$ ,  $P_{2n}(\sin\Phi)$  Lejandr polinomlarida ikkinchi darajali zonal garmonik koeffitsientlar.

Normal Yer parametrlari, ularni qiymatlari va muhimligiga qarab quyidagi tarzda klassifikatsiyalanadi.

**Nolinchi tartibdagi parametrlar:** geotsentrik gravitatsion doimiy  $fM$ ; Normal Yer yuzasidagi og'irlik kuchining normal potentsiali  $U_0$ ; Yerning ekvatorial radiusi  $a$ ; ekvatoridagi normal og'irlik kuchi  $\gamma_0$ .

**Siqilish tartibdagi parametrlar:** ikkinchi darajali geopotensialning normal garmonik koeffitsienti  $J_2$ ; Yerning geometrik siqilishi  $\alpha = (a-b)/a$ ; Yerning gravimetrik siqilishi,  $\beta = (\gamma_p - \gamma_e)/\gamma_e$  bu yerda  $\gamma_p$  – qutbdagi normal og'irlik kuchi; Yer aylanishining burchakli tezlanishi  $\omega$  funksiyasi hisoblanuvchi kichik parametrlar va nolinchi tartibdagi parametrlar, ya'ni

$$q = \omega^2 a / \gamma_e; \quad (1.13)$$

$$\bar{q} = \omega^2 a^3 / fM \quad (1.14)$$

*Yuqori tartibdagi parametrlar:*

- normal og'irlik kuchi formulasidagi  $\beta_1$  koeffitsient; normal tortishish potensialining garmonik koeffitsientlari  $J_4^0, J_6^0 \dots$  va h.k.

---

### Fundamental geodezik doimiylar

O'ta muhimligi tufayli Normal yerning ayrim parametrlari fundamental geodezik doimiylar deb nom oldi. Hozirgi vaqtda ularga quyidagilar kiradi:  $fM, a, J_2, \omega$ , bu yerda  $\omega$  – yer aylanish burchak tezligi. Normal Yerning boshqa parametrlari hosilaviy doimiylar hisoblanadi. Ularni, turli parametrlar orasidagi ma'lum nisbatlardan foydalanib olish mumkin.

Fundamental doimiylarga yana quyidagilar kiradi: vakkumda yorug'lik tezligi  $c$ , atmosfera uchun geotsentrik gravitatsion doimiy  $fM_A$  va universal gravitatsion doimiy  $f$ . Fundamental geodezik doimiylar Yerning sun'iy yo'ldoshlarini, uzoqdagi kosmik uchish apparatlarini kuzatish, astronomik va gravimetrik o'lchash natijalaridan foydalanib aniqlanadi.

Normal Yer parametrlari quyidagi shartlarga rioya qilib aniqlanadi:

- aylanma sathiy ellipsoid aylanish markazi Yer massasi markazi bilan, uning aylanish o'qi hisoblanuvchi – inersiya bosh o'qi Yerning aylanish o'qi bilan ustma-ust tushishi lozim;

- sathiy ellipsoid va haqiqiy Yerning aylanish burchak tezligi  $\omega$  bir xil bo'lishi lozim;

- sathiy ellipsoid massasi  $M_0$  real Yer massasiga  $M$  teng bo'lishi kerak ( $fM_0 = fM$ );

- sathiy ellipsoid va real Yer uchun ikkinchi darajali geopotensial zonal garmonik koeffitsientlar,  $J_2^0$  va  $J_2$  ustma-ust tushishi kerak ( $J_2^0 = J_2$ );

- sathiy ellipsoid yuzasida og'irlik kuchining normal potentsiali  $U_0$  geoid yuzasidagi og'irlik kuchining real potentsialiga  $W_0$  teng bo'lishi kerak.

Geodeziyaning qator masalalarini yechishda  $U_0$  o'rniga fundamental geodezik doimiylar ichiga sathiy ellipsoidning katta yarim o'qi  $a$  kiritiladi. Unda beshinchi shart quyidagicha bo'ladi: sathiy ellipsoidning katta yarim o'qi  $a$  shunday tanlangan bo'lishi kerak-ki uning hajmi geoid hajmiga teng bo'lsin.

Vaqt o'tishi bilan o'lchash tug'risidagi ma'lumotlar yig'ilib fundamental geodezik doimiylarga aniqlik kiritib boriladi. Kanberrada 1972 yilda o'tkazilgan XVII xalqaro geodezik va geofizika ittifoqning Bosh Assambleyasi va uning tarkibiga kiruvchi Xalqaro geodeziya assotsiatsiyasi tavsiyasiga muvofiq, fundamental geodezik doimiylarning qiymati deb quyidagi qiymatlar qabul qilindi:

$$\begin{aligned}fM &= (3896005 \pm 0,5) \cdot 10^8 m^3 s^{-2}; \\J_2 &= (108263 \pm 0,5) \cdot 10^{-8}; \\a &= 6378137 \pm 2 m; \\\omega &= 7292115 \cdot 10^{-11} rad \cdot s^{-1}.\end{aligned}$$

Bu doimiylar 1980 yilda qabul kilingan geodezik referens-sistemalar uchun boshlang'ich hisoblanadi. Fundamental doimiylarni bilib, aniq formulalar [3] bo'yicha Normal Yerning boshqa parametrlarini hisoblash mumkin. Ikkinchi tartibli kichik miqdorlargacha aniqlik bilan Normal Yerning turli parametrlari orasidagi bog'liklikni o'rnatuvchi ayrim formulalarni keltiramiz, bu zamonaviy bosqichda oliy geodeziyaning ko'plab masalalarini yechish uchun yetarlidir.

$J_2$  va  $\bar{q}$  parametrlar yordamida Yerning siqilishi  $\alpha$  quyidagi formula bilan ifodalanadi

$$\alpha = \frac{3}{2}J_2 + \frac{1}{2}\bar{q} + \frac{9}{8}J_2^2 - \frac{11}{56}\bar{q}^2 - \frac{3}{14}J_2\bar{q},$$

bu yerda  $\bar{q}$  (1.14) formula bo'yicha aniqlanadi.

Sathiy ellipsoid yuzasida normal potentsiali  $U_0$  quyidagiga teng

$$U_0 = \frac{fM_0}{a} \left( 1 + \frac{1}{3}\alpha + \frac{2}{15}\alpha^2 \right) + \frac{1}{3}\omega^2 a^2$$

Ellipsoid massasi  $M_0$  va ekvatoridagi normal og'irlik kuchi  $\gamma_e$  quyidagicha bog'langan

$$fM_0 = a^2 \gamma_e (1 - \alpha) + \frac{3}{2}\omega^2 a^3 \left( 1 - \frac{5}{7}\alpha - \frac{1}{441}\alpha^2 \right)$$

Sathiy ellipsoid yuzasini normal og'irlik  $\gamma_0$  kuchini,  $B$  kenglikda quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin



$$\gamma_0 = \gamma_e(1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B); \quad (1.15)$$

bu yerda

$$\beta = \frac{\gamma_P - \gamma_e}{\gamma_e} = 0,00530248 \quad (1.16)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{8}\alpha^2 - \frac{1}{4}\alpha\beta = 0,00000585 \quad (1.17)$$

Tashqi fazoda normal og'irlik kuchi  $\gamma$  (*mGal*) quyidagi formula bo'yicha topiladi

$$\gamma = \gamma_0 - 0,3086H, \quad (1.18)$$

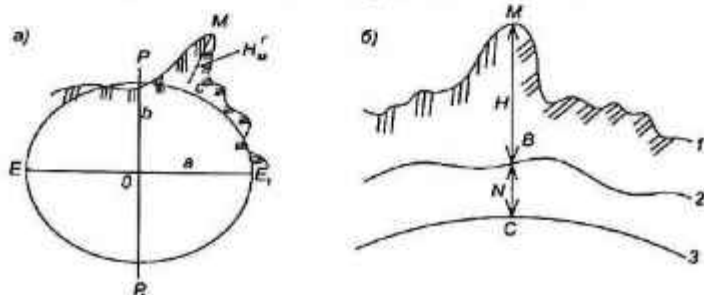
bu yerda  $H$  – ellipsoid yuzasiga nisbatan balandlik, m.

Yuqorida keltirilgan fundamental geodezik doimiylar, sathiy ellipsoid ekvatorida Yerning qutbiy siqiligi  $\alpha$  va normal og'irlik kuchi  $\gamma_e$  – qiymatlari quyidagiga to'g'ri keladi;

$$\alpha = 1:298,257 \pm 0,001; \quad \gamma_e = 978033 \pm 1 \text{ mGal}$$

### Real Yer shakli

Yer tanasida parametrlari ma'lum bo'lgan yer ellipsoidini orientirlagandan so'ng, uning shaklini o'rganish masalasi yer yuzasidan normal bo'yicha ellipsoid yuzasigacha geodezik balandliklarni topishga, ya'ni ellipsoiddagi nuqtalarning ma'lum koordinatalari bilan  $H'_{uv} = MC$  (1.5a-shakl) kesmalarini aniqlashga olib keladi. Ammo har qanday nuqtalarning geodezik balandligini bevosita o'lchash imkoni yo'q. Shuning uchun uni ikkita tashkil etuvchiga ajratiladi va ularning har biri, turli o'lchash ma'lumotlardan foydalanib alohida aniqlanadi.



1.5-shakl. Nuqtaning geodezik balandligi (a) va uni tashkil etuvchisi (b);

1-Yerning fizik yuzasi; 2-kvazigeoid (geoid); 3-ellipsoid.

M. S. Molodenskiyning nazariyasiga muvofiq Yer yuzasidagi har qanday  $M$  nuqtaning geodezik balandligi  $H_M^G$  quyidagi formula orqali hisoblanadi

$$H_M^G = \xi_M + H_M^Y \quad (1.19)$$

bu yerda  $\xi_M$  – balandlik anomaliyasi;

$H_M^Y$  – berilgan nuqtaning normal balandligi.

Balandliklar anomaliyasi  $\xi$  nisbatan kichik bo'lib 100 metrdan oshmaydi, tog'larda nuqtalarning normal balandliklari bir necha km ga yetishi mumkin.

Xohlagan  $M$  nuqtaning balandlik anomaliyasi  $\xi$  quyidagi ko'rinishda beriladi:

$$\xi_M = \frac{T_M}{\gamma_m} + \frac{U_0 - W_0}{\gamma_m}, \quad (1.20)$$

bu yerda  $T_M = W_M - U_M$   $M$  nuqtada Yerning toydiruvchi potentsiali;

$W_m$  va  $W_0$  –  $M$  nuqtada va geoid yuzasida real og'irlik kuchi potentsialining qiymatlari;  $U_M$  va  $U_0$  – shu nuqtalardagi normal og'irlik kuchi potentsialining qiymatlari;  $\gamma_m$  – (1.18) formula bilan hisoblanadigan, ellipsoid sirtidan  $H = \frac{1}{2} H_m^Y$  balandlikdagi normal og'irlik kuchining qiymati. Har qanday  $M$  nuqtaning normal balandligi  $H_m^Y$  quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$H_m^Y = \frac{1}{\gamma_m} \int_0^M g dh; \quad (1.21)$$

$U$  geometrik nivelirlash bilan bir vaqtni o'zida og'irlik kuchini o'lchab aniqlanadi. (1.21) formulada  $\gamma_m$  – ellipsoiddan  $H = \frac{1}{2} H_m^Y$  balandlikdagi normal og'irlik kuchining qiymati;  $g$  – nivelirlash yo'li nuqtalaridagi real og'irlik kuchining qiymati;  $dh$  – elementar nisbiy balandliklar.

Yer yuzasidagi  $M$  nuqta orqali (1.5, b-shakl) yer ellipsoidi yuzasiga  $MC$  normal o'tkazamiz va belgilaymiz:  $N = BC$  – ellipsoiddan kvazigeoid balandligi;  $N = MB$  – ushbu nuqtaning kvazigeoiddan balandligi. Yer yuzasidagi har bir konkret  $M$  nuqta uchun kvazigeoidning  $N$  balandligi  $\xi_M$  balandlik anomaliyasiga miqdoran teng, ya'ni  $N = \xi_M$ , bu nuqtaning

kvazigeoiddan balandligi  $N$  normal  $H_m^r$  balandlikka miqdoran teng, ya'ni  $H = H_m^r$ . Shuning uchun (1.19) ifoda o'rniga shunday talabchanlik va aniqlik bilan yozish mumkin

$$H_M^G = N + H \quad (1.22)$$

Odatda amaliyotda (1.22) formula qo'llaniladi, ammo  $N = \xi_M$  va  $H = H_M^r$  qiymatlar (1.20) va (1.21) formulalar bo'yicha hisoblanadi, garchi  $\xi$  va  $N$  hamda  $H_M^G$  va  $N$  kattaliklar fizik ma'nosi turlichadir. (1.19) formula bilan  $H_M^G$  normal balandliklar ellipsoididan hisoblanadi, (1.22) formula bo'yicha esa  $N$  balandliklar kvazigeoid yuzasidan hisoblanadi. Bu ikkita formula ham nazariy jihatdan qat'iy hisoblanib,  $H^G$  geodezik balandlik bir xil qiymatini beradi.

Kvazigeoid  $N$  balandligini ( $\xi$  balandlik anomaliyasi) aniqlash uchun yer sharining kontinental qismida geodezik, astranomik, gravimetrik, hozir esa sun'iy yo'ldosh va gravinersial kompleks o'lchashlar bajariladi.

Gradusli o'lchashlarni, sun'iy yo'ldosh o'lchashlarini qo'shib, qayta ishlashdan, yer gravitatsiya maydoni bir jinsli emasligi sababli, geoid (kvazigeoid) yuzasi murakkab ekanligi aniqlandi. U Yer ellipsoidi sirtiga nisbatan kenglik va uzoqliklar bo'yicha tegishli yirik (1000 km va undan ortiq) va uncha katta bo'lmagan (100 km va undan kam) to'lqinsimon cho'ziqlarga ega. Bunda geoidni eng katta manfiy balandligi Hind okeani rayonida (-105 m atrofida) va Antarktida yaqinida (Rossiya dengizida - 61 m gacha), eng katta musbat balandlik esa tinch okeanida (Yangi Gvineya yaqinida +77 m gacha) va Shimoliy Atlantikada (+66 m gacha) kuzatilgan. Yerning shakli nok shaklida ekanligi aniqlanilgan bo'lib, uning shimoliy yarimshari qutbga tomon tortilgan, janubiy yarimshari esa aksincha ichkariga kirgan. Yer ekvatori - katta yarim o'qi g'arbga  $15^\circ$  ga yaqin uzoqlik bilan elliptiklikka ega.

## 2-BOB KO'CHIRISH SIRTİ. REDUKSION MASALA

### 2.1. Ko'chirish sirti. Krasovskiy referens-ellipsoidi

Yerning fizik yuzasi juda murakkab, ayniqsa tog'li hududlarda. Uning tenglamasi noma'lum, shu sababli geodezik o'lchash natijalarini matematik qayta ishlash uchun geometrik jihatdan sodda bo'lgan va Yer tanasida orientirilash imkoniyati yaxshi bo'lgan yordamchi sirt tanlab olinadi. Yer yuzasida bajarilgan barcha o'lchashlar: gorizontal burchaklar va yo'nalishlar, punktlar orasidagi masofalar, yer predmetlari azimutlari va b.q., shu tanlab olingan sirtga o'tkaziladi, ya'ni reduksiyalanadi, bu sirtni ko'chirish sirti deb nomlash qabul qilingan. U yoki bu ko'chirish sirtini tanlashda quyidagilarni inobatga olish zarur.

Ko'chirish sirti shakli jihatidan sodda bo'lishi va geometrik nuqtai nazardan yaxshi o'rganilgan bo'lishi kerak. Bu o'z navbatida nuqtalar orasidagi har qanday masofalar geodezik masalalarni oson va kerakli bo'lgan aniqlikda ushbu sirtida yechish imkonini beradi.

Ko'chirish sirti u tanlab olingan mamlakat yoki bir necha mamlakatlar xududlari kvazigeoid sirtidan uncha katta farq qilmasligi kerak; balandlik bo'yicha farq minimal bo'lishi kerak. Bu holda bevosita o'lchangan qiymatlar (masofalar, yo'nalishlar va b.q.) va ularni ko'chirish sirtidagi proeksiyalari orasidagi farqlar kichik bo'ladi.

Ko'chirish sirti Yer tanasida shunday orientirilanishi zarurki bunda o'lchangan elementlardan ularni ko'chirish sirtidagi proeksiyalariga va aksincha elementlar proeksiyasidan ularni o'lchangan qiymatlariga o'tish bir xil bajarilsin.

Butun Yer masshtabida geodezik masalalarni yechish uchun ko'chirish sirti sifatida umumiy yer ellipsoidi sirtini (Normal Yer) olish maqsadga muvofiq. Bir yoki bir necha mamlakatlar miqyosida topografik-geodezik va kartografik masalalarni yechishda ko'chirish sirti sifatida odatda ma'lum o'lchamlarga ega bo'lgan va Yer tanasida orientirlangan, referens - ellipsoid deb nomlangan yer ellipsoidi qabul qilinadi.

Referens ellipsoidni shakli, o'lchamlari va orientirlashni tanlashda quyidagi talablar bajarilishi kerak:

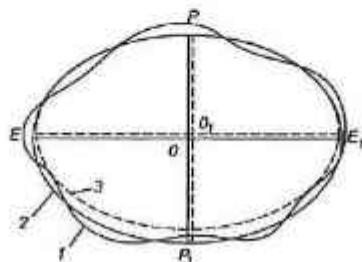
1) Referens ellipsoid parametrlari imkon qadar umumiy yer ellipsoidi parametrlaridan farq qilmasligi kerak;

2) Referens ellipsoidning aylanish o'qi Yer aylanish o'qiga, ekvator tekisligi Yer ekvator tekisligiga parallel bo'lishi kerak;

3) Mamlakat yoki bir necha mamlakatlar uchun tanlangan referens ellipsoid sirtini kvazigeoid (geoid) sirtidan og'ishi kvadratlarining yig'indisi eng kichik (minimal) bo'lishi kerak.

Xududi kichik bo'lgan mamlakatlarda birinchi talabni bajarilishi zaruriy emas.

Referens ellipsoid o'lchamlari umumiy yer ellipsoidi o'lchamlaridan farq qiladi, uni markazi  $O_1$  umumiy yer ellipsoidi markazi  $O$  bilan ustma-ust tushmaydi (2.1- shakl).



2.1- shakl. Ko'chirish sirtlari

1- geoid; 2-unumiy yer ellipsoidi; 3-referens ellipsoid

MDX, davlatlari hududida 1942 yilga qadar topografo-geodezik va kartografik ishlar uchun Bessel referens ellipsoididan foydalanilgan.

1940 yil professor F.N.Krasovskiy, professor A.A.Izotov ishtirokida, SSSR va AQSh, G'arbiy Yevropa mamlakatlarida bajarilgan gradus o'lchovlari va gravimetrik s'emkalardan foydalanib, o'sha vaqt uchun aniq bo'lgan yer ellipsoidi parametrlarini hisoblab topishdi:

$$a=6378245 \text{ m}, \alpha=1:298,3.$$

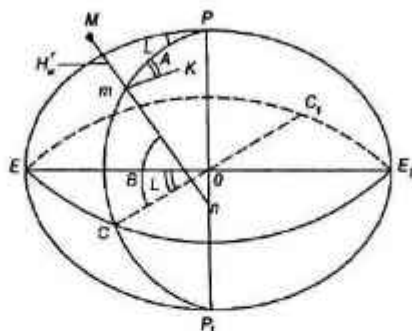
1946 yil ushbu o'lchamlarga ega bo'lgan yer ellipsoidi Sovet davlati uchun referens ellipsoid sifatida qabul qilindi va unga Krasovskiy nomi berildi. Krasovskiy ellipsoidi hozirda barcha MDX, mamlakatlarida qo'llanib kelinmoqda.

Ko'pchilik amaliy geodeziya va kartografik masalalarni va ayrim ilmiy masalalarni yechishda referens ellipsoiddan foydalanish qiyinchiliklar tug'diradi, bunday hollarda yer ellipsoidi zonalariga bo'linadi va har bir zona tekislikka yoyiladi. Bu tekislikda turli geodezik (injenerlik) masalalar yechiladi.

Geodezik tarmoqlarda o'lchangan kattaliklar ellipsoiddan tekislikka reduksiyalanadi va aksincha. Bunday masalalarni yechish uchun 1932 yildan beri Gauss-Kryuger proeksiyasidan foydalaniladi.

## 2.2. Geodezik va astronomik koordinatalar va azimutlar

Oliy geodeziya masalalarini yechishda, yer sathidagi har qanday  $M$  nuqtaning holati qabul qilingan referens ellipsoidni geodezik koordinatalar sistemasida  $B$ ,  $L$ ,  $H^G$  (2.2- shakl) bilan aniqlanadi, bu yerda  $B$ -geodezik kenglik;  $L$ -geodezik uzoqlik;  $H^G$ -nuqtaning geodezik balandligi.



2.2-shakl. Geodezik koordinatalar va azimutlar

$M$  ( $m$ ) nuqtaning geodezik kengligi deb (2.2- shaklga qarang) shu nuqtadan ellipsoid sathiga tushirilgan  $M_n$  normal chiziq bilan  $ECE_1$  ekvator tekisligi orasida hosil bo'lgan  $B$  burchakka aytiladi. Geodezik kenglik ekvator tekisligidan shimolga musbat ishora bilan, janubga qarab manfiy ishora bilan  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  gacha hisoblanadi.

Boshlang'ich Grinvich meridiani tekisligi bilan  $M$  ( $m$ ) nuqtadan o'tgan  $PmP_1$  geodezik meridian tekisligi orasida hosil bo'lgan ikki yoqli  $L$  burchakka  $M$  ( $m$ ) nuqtasining geodezik uzoqligi deyiladi. MDX davlatlarida geodezik uzoqlik boshlang'ich meridian tekisligidan g'arbdan sharqqa  $0^\circ$  dan  $360^\circ$  gacha o'lchanadi, ayrim mamlakatlarda teskari yo'nalishda ham o'lchanishi mumkin.

$M$  nuqtadan o'tgan geodezik meridian tekisligi  $PmP_1$  bilan  $mk$  yo'nalish va  $m$  nuqtadan o'tgan  $mn$  normal chiziqdan o'tgan tekisliklar orasi-da hosil bo'lgan ikki yoqli burchakka  $mk$  yo'nalishni geodezik azimuti  $A$  deyiladi. Azimutlar meridian tekisligidan soat strelkasi yo'nalishida  $0^\circ$  dan  $360^\circ$  gacha orientirlanayotgan yo'nalishlarga o'lchanadi.

$M$  nuqtasining geodezik balandligi  $H^G = mm$  deb ellipsoid sirtidagi  $m$  nuqtadan undan o'tuvchi normal chizig'i bo'yicha  $M$  nuqtagacha aytiladi. Ellipsoid sirtidan yuqorida bo'lgan balandlik musbat va

aksinchasi manfiy hisoblanadi. Ellipsoid sirtida geodezik balandlik nolga teng bo'ladi ( $H^G=0$ ).

Geodezik koordinatalar bevosita o'lchanmaydi. Ular davlat geodezik tarmog'ini boshlang'ich deb qabul qilingan punkti koordinatalariga  $B_0, L_0, H_0$  nisbatan orttirmalarni hisoblab qo'shish orqali topiladi.

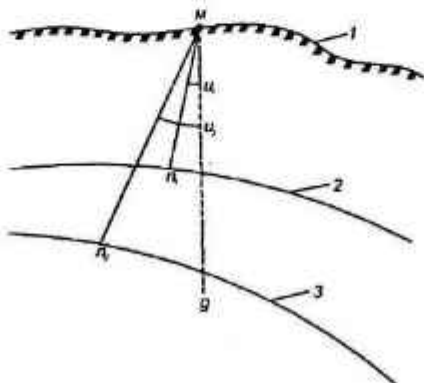
Yer yuzasida yulduzlarni kuzatish orqali astronomik kengliklar  $\varphi$ , uzoqliklar  $\lambda$ , azimutlar  $\alpha$ ) aniqlanadi.  $M$  nuqtadan o'tgan shovun chizig'i yo'nalishi bilan Yer ekvatori tekisli orasida hosil bo'lgan burchakka nuqtaning astronomik kengligi  $\varphi$  deyiladi.

Nuqtaning astronomik meridiani tekisligi deb ushbu nuqtadagi shovun chizig'idan o'tgan va yer aylanish o'qiga parallel tekislikka aytiladi.

Boshlang'ich meridian tekisligi bilan nuqtadan o'tgan astronomik meridian tekisligi orasidagi ikki yoqli burchakka nuqtani  $\lambda$ -astronomik uzoqligi deyiladi.

### 2.3. Shovun chizig'ini og'ishi

Bir nuqtadan o'tgan normal chiziq bilan shovun chizig'ini ustma-ust tushmasligi sababli nuqtani geodezik koordinatalari  $B, L$ , va astronomik koordinatalari  $\varphi, \lambda$  o'zaro teng bo'lmaydi. Berilgan nuqtadan o'tgan Normal chiziq bilan shu nuqtadan o'tgan shovun chizig'i orasidagi burchakka shu nuqtadagi shovun chizig'ini astronomo-geodezik og'ishi deyiladi. Shovun chizig'ini og'ishi mutloq va nisbiy bo'lishi mumkin.

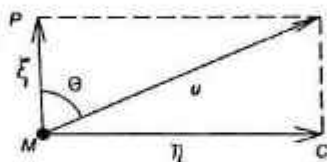


2.3-shakl. Shovun chizig'ini absalyut va nisbiy og'ishi:  
1-Yer fizik yuzasi; 2-umumiy yer elipsoidi; 3-referens elipsoidi.



Yer sirtidagi  $M$  nuqta uchun umumiy yer ellipsoidiga normal bo'lgan  $Mn_1$  (2.3-shakl) bilan shu nuqtadan o'tgan  $Mg$  shovun chizig'i orasida hosil bo'lgan  $U_1$  burchak shu nuqtada shovun chizig'ini mutloq og'ishi deyiladi. Shovun chizig'ini mutloq og'ishi Yer qarida massani taqsimlanishiga bog'liq shu sababli shovun chizig'ini og'ishi Yer ichki tuzilishini o'rganishda, Yer qaridagi anamal massalarni aniqlashda muhim ahamiyatga ega.

$M$  nuqtadan referens ellipsoid satxiga tushirilgan Normal  $Mn_2$  bilan  $Mg$  shovun chizig'i orasidagi  $U_2$  burchakka  $M$  nuqtadagi shovun chizig'ini nisbiy og'ishi deyiladi. Shovun chizig'ini nisbiy og'ishi Yer qarida massani taqsimotiga, qabul qilingan referens ellipsoid o'lchamlari va uni Yer tanasida orientirlash xatoliklariga bog'liq. Umuman olganda shovun chizig'ini nisbiy og'ishi mutloq og'ishdan katta.



2.4-shakl. Meridian va birinchi vertikal tekisliklarida shovun chizig'ini to'liq og'ishini tashkil etuvchilari

Geodezik masalalarni yechishda shovun chizig'ini to'liq og'ishini  $U$  har bir nuqtada ikkita tashkil etuvchiga ajratiladi:  $\xi$ - berilgan nuqtadan o'tgan meridian  $MP$  tekisligida va  $\eta$ - berilgan nuqtadan o'tgan meridian tekisligiga perpendikulyar birinchi vertikal  $MC$  tekisligida (2.4- shakl). Meridian va birinchi vertikal tekisliklarida tashkil etuvchilari,  $\xi$  va  $\eta$  larning qiymatlari ma'lum bo'lganda shovun chizig'ini to'liq og'ishini quyidagi formuladan topiladi

$$U = \sqrt{\xi^2 + \eta^2} \quad (2.1)$$

To'liq og'ish yotgan tekislik  $\Theta$  azimuti quyidagicha topiladi

$$\operatorname{tg} \theta = \eta / \xi \quad (2.2)$$

Agarda nuqtani geodezik  $B, L$  va astronomik  $\varphi, \lambda$  koordinatalari ma'lum bo'lsa u holda shu nuqtada shovun chizig'i og'ishini tashkil etuvchilarini topish mumkin, ya'ni

$$\xi = \varphi - B; \quad \eta = (\lambda - L)\cos B \quad (2.3)$$

Agarda shovun chizig'ini og'ishini tashkil etuvchilari gravimetrik o'lchashlarni qayta ishlash orqali topilsa, unda ularga shovunini gravimetrik og'ish deyiladi va  $\zeta_{gr}, \eta_{gr}$  ko'rinishida belgilanadi. Shovunni astronomo-geodezik og'ishi  $\zeta_{ag}, \eta_{ag}$  bilan gravimetrik og'ishi orasidagi bog'lanish quyidagi formula bilan topiladi

$$\zeta_{ag} = \zeta_{gr} + 0,171H \sin 2B = \varphi - B \quad \eta_{ag} = \eta_{gr} = (\lambda - L)\cos B \quad (2.4)$$

bunda  $H$  – nuqtani ellipsoiddan balandligi,  $km$  da.

Shuni ta'kidlash zarurki, shovun chizig'ini astronomo-geodezik og'ishi qabul qilingan referens ellipsoid sistemasida, gravimetrik og'ish esa sathiy ellipsoid sistemasida hisoblanadi, shuning uchun yer sathidagi bir nuqta uchun shovun chizig'ini u va bu og'ishlari o'zaro teng bo'lmaydi.

Davlat geodezik tarmog'i punktlarida shovun chizig'i og'ishini bilish oliy geodeziyani ko'pgina masalalarini yechish uchun zarur bo'ladi:

triangulyatsiya usulida bajarilgan burchak o'lchash natijalaridan foydalanib yer ellipsoidi shakli va o'lchamlarini aniqlashda;

qabul qilingan referens-ellipsoid satxiga nisbatan yer sathi va kvazigeoid balandliklarini aniqlashda;

turli koordinata sistemalari orasida bog'liqliklarni o'rnatishda;

Yerni fizik sathidan referens ellipsoid sathigacha o'lchangan tomanlar (bazislar), azimutlar, gorizontalar yo'nalishlarni qat'iy matematik reduksiyalashda;

Ayniqsa tog'li joylarda trigonometrik nivelirlash aniqligini oshirishda va h.k.

## 2.4. Laplas azimuti

Agarda bizga nuqtani geodezik  $B, L$  astronomik  $\varphi, \lambda$  koordinatalari yerdagi predmetga bo'lgan yo'nalishni astronomik azimuti  $\alpha$  ma'lum bo'lsa u holda (2.4) formuladan foydalanib punktda shovun chizig'i og'ishini tashkil etuvchilarini  $\zeta$  va  $\eta$  topish mumkin. Ushbu yo'nalishni geodezik azimuti  $A$  quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$A = \alpha - (\lambda - L)\sin\varphi + (\eta\cos\alpha - \xi\sin\alpha)\operatorname{ctg}Z \quad (2.5)$$

bu yerda  $Z$ -kuzatilayotgan nuqtaning zenit masofasi.

Tekis joylarda  $Z = 89^{\circ}30' - 90^{\circ}30'$ , bu ko'pincha triangulyatsiya tomonlari uzunligi 10-30 km bo'lganda uchraydi  $\alpha_{tg} \leq 0,01$  bo'ladi, shunda (2.5) dagi uchinchi had qiymati  $0,02 - 0,03''$  oshmaydi va uni hisobga olmay formulani quyidagicha yozishimiz mumkin

$$A = \alpha - (\lambda - L) \sin \varphi \quad (2.6)$$

(2.6) formula bilan hisoblangan geodezik azimutni Laplas azimuti deb ataladi. Bu formulani ikkinchi hadi punktda geodezik va astronomik meridianlar tekisliklarini ustma-ust tushmaslik natijasidir.

Laplas azimutini aniqlash o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng

$$m_A = \sqrt{m_{\alpha}^2 + m_{\lambda}^2 \sin^2 \varphi} \quad (2.7)$$

bu yerda  $m_{\alpha}$ - astronomik azimutani aniqlash xatoligi

$m_{\lambda}$ -astronomik uzoqlikni aniqlash xatoligi;

Agar  $m_{\alpha} = 0,5''$ ,  $m_{\lambda} = 0,45''$ ,  $\varphi = 45^{\circ}$  bo'lsa  $m_A = 0,6''$  bo'ladi. Laplas azimutlarini aniqlashni real o'rta kvadratik xatoligi  $\approx 1''$  tashkil qiladi.

## 2.5. Reduksion masala to'g'risida tushuncha

O'lchangan kattaliklarni yer fizik sirtidan qabul qilingan referens ellipsoid sirtiga o'tkazishni kompleks muammolari bilan bog'liq qat'iy matematik usullarini va buning uchun zarur, shovun chiziqlari og'ishi hamda ellipsoid sirtidan punktlar balandligini aniqlash usullarini ishlab chiqarish oliy geodeziyani reduksiya masalasi deb qaraladi.

Har bir mamlakat tomonidan tanlangan referens ellipsoid Yer aylanish o'qiga nisbatan orientirlanishi va Yer tanasida boshlang'ich geodezik sanalar bilan "Mahkamlanishi" zarur buning uchun astronomo-geodezik to'ring boshlang'ich punktining  $B_0$ ,  $L_0$ ,  $H_0$  geodezik koordinatalaridan foydalaniladi.

Boshlang'ich geodezik sanalarni aniqlash uchun butun astronomo-geodezik tarmoqda bajarilgan o'lchashlarning barcha ma'lumotlaridan foydalaniladi. Bularni aniqlash usullari nazariy geodeziya kursida [13] ko'riladi. 1934 yil F.N.Krasovskiyni nazariy jihatdan mukammal bo'lgan proektsiyalash usulidan foydalanib, geodezik tarmoq barcha

o'lchashlar: gorizontal yo'nalishlar, tomonlar uzunliklari va azimutlari va h.k., referens ellipsoid sathiga reduksiyalanadi. O'lchangan kattaliklarni ellipsoid sathiga proeksiyalash normallar bo'yicha amalga oshiriladi. O'lchangan kattaliklar (yo'nalishlar, azimutlar va h.k.) shovun chizig'i bilan bog'liq bo'lgani uchun ularni ellipsoid sathiga reduksiyalash uchun geodezik tarmoq punktlarida shovun chizig'ini og'ishini va punktlarni ellipsoid sathiga nisbatan balandliklarini bilish zarur bo'ladi.

Reduksion masalani yechishda quyidagi talablarni bajarish zarur:

- reduksiya tuzatmalarini aniqlash xatosi reduksiyalanayotgan kattalik o'lchash xatosidan hisobga olmasa ham bo'ladigan darajada kichik bo'lishi kerak (o'lchash xatoligidan reduksiya tuzatmalarini xatoligi besh-o'n marta kichik bo'lishi kerak);

- reduksiya tuzatmalarini hisoblash uchun qo'llaniladigan formulalar shunday aniqlikda olingan bo'lishi kerakki ularni xatoligi reduksiyaning hisoblash natijalariga ta'sir etmasin;

- tegishli reduksiyalarni hisoblash uchun argumentlar:

shovun chizig'ini astronomo-geodezik og'ishi  $\zeta_{ag}$ ,  $\eta_{ag}$  punktlarni ellipsoiddan geodezik balandligi  $H^i$ , og'irlik kuchining tezlanish anamaliyasi  $g$ -  $\gamma$  ya'ni real va normal og'irlik kuchi tezlanishi farqlari yetarli darajadagi aniqlikda, konkret o'lchash natijalaridan foydalanib, olingan bo'lishi kerak.

Tog'li xududlarida ish bajarishda shovun chizig'ini og'ishi 1-3 klass triangulyatsiya barcha punktlari uchun ma'lum bo'lishi kerak. Astronomo-geodezik tarmoqlarni alohida punktlarida har 70 - 100 kilometrdagi astronomik kengliklari  $\phi$ , uzoqliklari  $\lambda$  aniqlanadi. Bu punktlarni geodezik kengliklari  $B$ , uzoqliklari  $L$  hisoblab topilgandan so'ng (2.4) formuladan foydalanib, qidirilayotgan shovun chizig'ini og'ishi aniqlanadi.

Oraliq punktlar uchun shovun chizig'ini og'ishi olingan natijalarni, ularni noxiziqli o'zgarishini hisobga olgan holda bavoita interpolatsiyalash orqali topiladi. Buning uchun aniq dastur bo'yicha joyni gravimetrik s'emkasi bajariladi va barcha punktlar uchun avval shovun chizig'ini gravimetrik og'ishlari  $\zeta_{gr}$ ,  $\eta_{gr}$  so'ngra bularni inobatga olib izlangan og'ishlar  $\zeta_{ag}$ ,  $\eta_{ag}$  topiladi. Shovun chiziqlarini astronomo geodezik og'ishlari  $\zeta_{ag}$ ,  $\eta_{ag}$  va punktlar orasidagi masofalarni bilgan holda, kvazigeoid nisbiy balandligi va uni ellipsoiddan balandligi aniqlanadi (balandlik anamaliyasi  $\zeta$ ). Nivelirlash natijasidan punktlarni normal balandligi  $H_y$  aniqlanadi va (1.19) formuladan foydalanib ularni geodezik balandliklari hisoblanadi.

Astronomo-gravimetrik usul bilan shovun chizig'i og'ishini va kvazigeoid nisbiy balandligini aniqlash katta hajmdagi geodezik, astronomik va gravimetrik o'lchashlarni bajarishni taqozo etadi. Bu esa o'z navbatida ko'p mehnat va xarajatlar qilishga olib keladi.

Fan va texnikani rivojlanishi bilan ishlab chiqarishga yuqori aniqlikdagi geodezik graviinersial sistemalar joriy etib borilayapti ular yordamida qisqa vaqtda yuqori 0,1<sup>m</sup> aniqlikda bir punktdan ikkinchi punktga o'tishda shovun chizig'ini astronomo-geodezik og'ishi ortimarlarni o'lchash imkonini beradi. Shovun chizig'i astronomo-geodezik og'ishi ortimarsini o'lchab, punktlar orasidagi masofani bilgan holda, yetarli darajadagi aniqlikda kvazigeoid nisbiy balandligini hisoblash mumkin. Ushbu usulda kvazigeoid (geoid) sathini o'rganishga graviinersial nivelirlash deyiladi. Bu usul su'niy yo'ldosh altimetriya usulini qo'llash imkoniyati bo'lmagan yer sharini kontinental qismda kvazigeoid (geoid) sathini o'rganishda juda ham samarali va aniq natijalar berishi mumkin.

Geodezik tarmoq punktlarida shovun chizig'i og'ishi va geodezik balandliklarini aniqlab o'lchangan masofalarga, gorizontalar yo'nalishlarga, azimutlarga [13] darslikda keltirilgan formulalardan foydalanib ularni referens ellipsoid sathiga reduksiyalash uchun tuzatmalar hisoblanadi. So'ngra sferoidik geodeziya formulalaridan foydalanib o'lchangan kattaliklarni ellipsoiddan Gauss-Kryuger proektsiyasida tekislikka reduksiyalanadi.

## 2-BO'LIM

### TAYANCH GEODEZIK TARMOQLAR

#### 3-BOB. DAVLAT GEODEZIK TARMOQLARI

##### 3.1. Geodezik tarmoqlar. Ularning ahamiyati

Yer yuzasida maxsus mahkamlangan, holati umumiy koordinata va balandliklar sistemalarida aniqlangan nuqtalar tizimiga geodezik tarmoqlar deyiladi.

Geodezik tarmoqlar yer yuzasining kichik va katta maydonlarida barpo etilishi mumkin. Ular hududiy alomati va vazifasi bo'yicha global (barcha yer sharini qoplovchi); milliy davlat qabul qilingan yagona koordinatalar va balandliklar sistemalarida har bir davlat tomonidan terretoriyasida barpo etiluvchi; zichlashtirish (topografik s'emkani bajarishda s'emka asosini barpo etishga mo'ljallangan), s'emka asosi tarmoqlariga bo'linadi.

Geometrik mohiyati jihatidan planli balandlik va fazoviy geodezik tarmoqlarga ajratiladi. Planli tarmoqlarda o'lchashlarni qayta ishlash natijasida qabul qilingan ko'chirish sathida punktlarning koordinatalari aniqlanadi (ellipsoid sathida yoki tekislikda); balandlik (nivelirlash) tarmoqlarida boshlang'ich yuzaga nisbatan punktlarning balandligi olinadi masalan, kvazigeoid yuzasiga nisbatan; fazoviy tarmoqlarda o'lchashlarni qayta ishlashdan punktlarning uch o'lchamli o'zaro holati aniqlanadi. Global geodezik tarmoqlar hozirgi vaqtda yerning sun'iy yo'ldoshini kuzatishdan foydalanib, kosmik geodeziya usullari yordamida barpo etiladi, shuning uchun uni sun'iy yo'ldosh yoki kosmik geodeziya tarmog'i deyiladi. Bu tarmoqda punktlarning holati geotsentrik to'g'ri burchakli koordinatalar  $X, Y, Z$  sistemasida hisoblanadi, koordinatalar boshi Yer massasi markazi bilan,  $Z$  o'qi esa uning aylanish o'qi bilan,  $ZY$  tekislik esa boshlang'ich meridian tekisligi bilan ustma-ust tushadi.

Global geodezik tarmoqlar ilmiy va ilmiy-texnik muammolarni hamda oliy geodeziya, geodinamika, astronomiya va boshqa fanlarning masalalarini yechishda foydalaniladi. Bunday muammo va masalalar jumlasiga quyidagilar kiradi:

- fundamental geodezik doimiylarni aniqlashtirish;
- Yer shakli va gravitatsiya maydonini aniqlash;
- Yer qutblari harakatini aniqlash;

-butun yer uchun yagona, to'g'ri burchakli fazoviy geotsentrik yoki geodezik koordinatalar sistemasini hosil qilish;

-Yer qobig'idagi litosfera plitalar siljishi va deformatsiyasini o'rganish;

-Yer og'irlik markaziga nisbatan turli mamlakatlar referens ellipsodi holatini aniqlash;

-Yer yuzasi dinamikasi tufayli yer umumiy geodezik punktlari koordinatalarini vaqt o'tishi bilan o'zgarish qonuniyatlarini o'rganish va ularni aniq lahzali qiymatlarini aniq belgilangan davrga keltirish [1].

Global geodezik tarmoqlar punktlarini geotsentrik koordinatalar sistemasida "lahzali" holatini yuqori aniqlikda olishga erishish uchun ular uzluksiz ravishda takomillashtirib borilishi lozim. Global geodezik tarmoqlarning aniqligi oshgan sari, geodeziya, amaliy kosmonavtika, geodinamika, astronomiya va ko'plab boshqa fanlarning yangi ilmiy muammolari va masalalarini yechish imkoniyatlari sekin-asta ortib boradi.

Milliy geodezik tarmoqlar, yuqorida ta'kidlaganimizdek uchta turga bo'linadi: davlat geodezik tarmog'i (planli), davlat nivelirlash tarmog'i (balandlik), davlat gravimetrik tarmog'i.

Davlat geodezik tarmog'ida tanlangan ko'chirish sathida (referens-ellipsoidda yoki tekislikda) geodezik punktlarning o'zaro planli o'rmini yuqori aniqlikda aniqlash ko'zda tutiladi; tarmoq punktlarning balandligi nisbatan past aniqlik bilan, ayniqsa tog'li rayonlarda aniqlik yanada past aniqlikda aniqlanadi.

Davlat nivelirlash tarmog'i kvazigeoid yuzasiga nisbatan har bir punkt balandligini yuqori aniqlik bilan aniqlash uchun xizmat qiladi; bu tarmoq punktlarning planli holati ko'chirish yuzasida taqriban aniqlanadi.

Davlat gravimetrik tarmog'i uning punktlarida og'irlik kuchi tezlanishini yuqori aniqlikda aniqlashga mo'ljallangan; bu punktlarni planli va balandlik holati talab qilingan aniqlikda aniqlanishi lozim.

Geodeziyani rivojlanish tarixiga nazar salsak, vaqt o'tgan sari davlat geodezik tarmoqlari aniqligiga bo'lgan talab oshib bormoqda. Shu bilan birga davlat geodezik tarmog'i sistematik ravishda yangilab va takomillashtirib borilmasa, asta-sekin eskiradi, punktlarning bir qismi yo'qoladi, yer qobig'ining zamonaviy harakati tufayli uni alohida qismlarining aniqligi pasayadi.

Har bir alohida mamlakat hududida barpo etiladigan davlat geodezik tarmoqlar quyidagi maqsadlar uchun mo'ljallangan:



-Yer shakli va gravitatsiya maydoni va ularni vaqt o'tishi bilan o'zgarishini mufassal o'rganish (mamlakat xududi chegarasida);

-mamlakat hududida yagona koordinatalar va balandliklar sistemalarini yaratish;

-yagona koordinata va balandliklar sistemasida turli masshtablarda mamlakat kartalarini yaratish;

-xalq xo'jaligi ahamiyatidagi turli ilmiy va injenerlik-texnik masalalarni geodezik usullar bilan yechish.

Barcha turdagi davlat geodezik tarmoqlari alohida barpo etiladi, ammo ular bir-biri bilan o'zaro mustahkam bog'langan bo'ldi va bir-birini to'ldiradi. Barcha ko'rinishdagi tarmoqlar uchun alohida punktlar umumiy bo'lishi mumkin, bu esa geodeziya, geodinamika va boshqa ko'plab masalalarini yuqori samarada yechish imkonini beradi.

Davlat geodezik tarmog'i zamon va yaqin kelajak talabi darajasida bo'lishi uchun quyidagilar zarur:

-tarmoq barcha punktlarini sistematik ravishda joylarda bevosita ko'zdan kechirish, yo'qolgan punktlarni qaytadan aniqlash va o'rnatish;

-davriy ravishda, masalan, 25-30 yil oralig'ida takroriy yoki yer yuzasining zamonaviy harakati yoki boshqa sabablarga ko'ra tarmoqning eng katta o'zgargan qismida qo'shimcha o'lchashlarni bajarish;

-davlat geodezik tarmoqlari aniqligini oshirish va keyinchalik takomillashtirish uchun olib boriladigan takroriy yoki qo'shimcha o'lchashlarni yuqori aniqlikdagi o'lchash texnikasi va usullarida amalga oshirish;

-takroriy va yoki qo'shimcha o'lchashlardan olingan ma'lumotlarini yig'ilishiga qarab hududning katta qismida taxminan 25-30 yil oralig'ida, ushbu davrga tegishli, koordinatalar va balandliklarning yangi aniq qiymatlarini olish maqsadida, planli va balandlik tarmoqlarni qaytadan tenglashtirishni bajarish.

Zamonaviy geodezik tarmoqlarini barpo etishda kompleks geodezik ishlarni bajarish lozim va ular quyidagilardan iborat: geodezik tarmoqlarni loyihalash; rekognossirovka qilish; yer osti markazlar va reperlarni o'rganish-mahkamlash; geodezik belgilarni qurish; burchak va masofa o'lchashlarni bajarish; astronomik kenglik, uzoqlik va azimutlarni aniqlash; nivelirlash ishlarini bajarish; og'irlik kuchi tezlanishini aniqlash; yerning sun'iy yo'ldoshlarini kuzatish va h.k. va o'lchash natijalarini matematik qayta ishlash.

Oxirgi yillarda yerning sun'iy yo'ldoshlarini kuzatish natijalari asosida punktlar koordinatalarini topish aniqligini oshirishga erishildi. Shu

tufayli yer sun'iy yo'ldoshlarini kuzatish bilan davlat geodezik tarmoqlarini yuqori aniqlik bilan barpo etishda keng qo'llanilmoqda.

*Mahalliy geodezik tarmoqlar.* Qator holatlarda joyning lokal uchastkalarida, istalgan vaqtda nuqtalarni o'zaro planli holati va balandligini yuqori aniqlikda topishni talab qiladigan murakkab ilmiy va ilmiy-texnik masalalarni yechishga to'g'ri keladi. Bunday hollarda o'ta yuqori aniqlikda mahsus tarmoqlar barpo etiladi va ularda aniq vaqt oralig'ida takroriy presizion o'lchashlar bajariladi. Bunday tarmoqlardagi o'lchashlarning matematik qayta ishlanishi mahalliy koordinatalar sistemasida bajariladi, u shunday tanlanadi-ki, o'lchangan miqdorlardan ularni mahalliy ko'chirish sathidagi proeksiyasiga o'tish uchun reduksion tuzatma imkoni boricha kichik bo'lsin. Bunday tarmoqlardan, masalan kuchli yer silkinishlarning sabablarini bilish va bashorat qilishda, kuchli radioteleskoplarni qurishda va ekspluatatsiya qilishda, elementar zarrachalar tezlatgichlarini va gidrostansiyalar qurilishida foydalaniladi.

### **3.2. Davlat geodezik tarmoqlarini barpo etishning asosiy prinsiplari**

Davlat geodezik tarmoqlarini barpo etishda prinsipial ahamiyatga ega bo'lgan uchta asosiy savol tug'ilishi mumkin: mamlakatning butun hududida davlat geodezik tarmog'ini barpo etish chizmasini tanlash; geodezik punktlar zichligini o'rnatish, hamda tarmoq yonma-yon joylashgan punktlarning o'zaro holatini topish aniqligi. Bu savollardan har birini birgalikda ikki nuqtai nazardan ko'rib chiqish lozim: geodeziyaning asosiy masalasini yechish, hamda mamlakat hududi kartasini tuzish. Bu masalalarni yechishda tayanch geodezik tarmoqlariga turlicha talab qo'yiladi. Shuning uchun, ikki guruh masalalarni Talab etilgan ilmiy darajada va aniqlikda yechish uchun tarmoqlarni barpo etishning optimal variantini topish lozim.

Kosmik geodeziya usullaridan foydalanib, butun Yerni yetarli darajadagi umumlashgan shakli va gravitatsiya maydoni tavsifi olinadi. Bir yoki bir guruh mamlakatlar territoriyasida Yerning shakli astronomo-geodezik tarmoqlarni barpo etish yo'li bilan batafsil o'rganiladi. Yaqin vaqtgacha katta hududli mamlakatlarda astronomo-geodezik tarmoqlar, meridian va parallellar bo'ylab o'tkaziladigan va yopiq poligonlarni tashkil etadigan triangulyatsiya qatorlari ko'rinishida barpo etilgan.

Astronomo-geodezik tarmoqlarda bajariluvchi barcha turdagi o'lchashlarni birgalikda matematik qayta ishlash natijasida kvazigeoidning

balandligi va uning profili I klass triangulyatsiya qatori bo'ylab olinadi. Bunda har bir poligonning ichida kvazigeoid yuzasining shakli o'rganilmay qoladi. Bu kamchilikni yechish uchun davlat hududida tarmoq poligon shaklida emas, balkim punktlari mumkin qadar teng taqsimlangan yaxlit astranomo-geodezik tarmoqni barpo etish lozim.

Mamlakatning butun hududi kartasini tuzish maqsadida bajariladigan topografik s'yomkani geodezik taminlash uchun uning xududida yaxlit tayanch geodezik tarmoqni barpo etish lozim. Bunda qo'shni punktlar orasidagi masofa ayniqsa yirik masshtabdagi kartalami tuzish uchun astranomo-geodezik tarmoqlaridagiga qaraganda ancha kichik bo'lishi lozim.

Davlat geodezik tarmoqlari umumiydan hususiya o'tish prinsipiga rioya qilingan holda bosqichma-bosqich barpo etiladi. Oldin yopiq poligonlar yoki katta uchburchaklardan tashkil topgan bosh ya'ni astranomo-geodezik tarmoq barpo etiladi.

Astranomo-geodezik tarmoqlarda o'lchashlar imkoni boricha yuqori aniqlikda bajariladi. Ushbu tarmoqni boshlang'ich sifatida qabul qilinadi. Uning asosida geometrik qurilishi ancha mufassal va nisbatan pastroq aniqlikda o'lchangan ikkinchi tartibdagi geodezik tarmoq barpo etiladi, lekin yonma-yon joylashgan punktlarning o'zaro holatini aniqlashda mutloq xatoning miqdori birinchi tartibdagi tarmoqdagi kabi saqlanib qoladi. So'ngra ikkinchi tartibdagi tarmoq asos qilib olinib uning asosida geometrik qurilishi mufassal va o'lchashlari pastroq aniqlikda bajariladigan uchinchi tartibdagi tarmoq barpo etiladi, yonma-yon joylashgan punktlarning o'zaro holatini aniqlash mutloq xatoligi oldingidagi kabi bo'ladi. Talab qilingan punktlarning zichligiga ega bo'lgan geodezik tarmoq barpo etilgunga qadar huddi shunday davom etdiriladi.

Shunday qilib, umumiydan xususiya o'tish prinsipiga rioya qilgan holda davlat geodezik tarmoqlari I,2,3,4 klasslarga ajratilishi muqarrar bo'ladi. Past klass tarmoqlarini tenglashtirilgan elementlariga boshlang'ich ma'lumotlar xatoligi ta'sirini kamaytirish maqsadida klasslar sonini minimumga keltirish tavsiya etiladi.

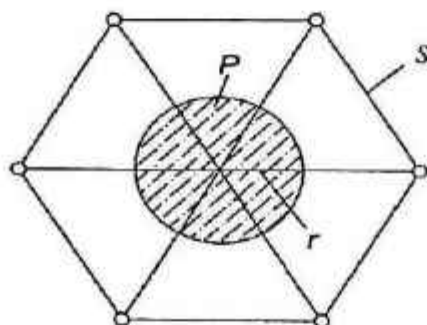
### **3.3. Davlat geodezik tarmog'i punktlarining zichligi**

Davlat geodezik tarmog'ida punktlarning zaruriy zichligi to'g'risidagi masala ko'rilganda Yer shaklini aynan, davlat butun hududida kvazigeoid yuzasini mufassal o'rganish bilan bog'liq bo'lgan geodeziyaning ilmiy muammolaridan biri bo'lgan masala nazarda tutiladi. Yuqorida

ta'kidlagandek triangulyatsiya qatori poligonal astranomo-geodezik tarmoq ko'rinishda barpo etilganda har bir alohida poligon ichida joylashgan kvazigeoid yuzasi o'rganilmay qoladi.

2-jadval

| Topografik s'emkaning mashtabi | Syomka trapesiyasi maydoni, $km^2$ | Bitta punktga to'g'ri keladigan maydon $R$ , $km^2$ | Punktlar orasidagi masofa $S$ , $km$ |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1:25 000                       | 75                                 | 50-60                                               | 7-8                                  |
| 1:10 000                       | 18                                 | 50-60                                               | 7-8                                  |
| 1:5 000                        | 4.5                                | 20-30                                               | 4-5                                  |
| 1:2 000                        | 1.1                                | 5-15                                                | 2-4                                  |



3.1-shakl. Bitta geodezik punt bilan taminlanadigan maydon

Butun davlat hududida yaxlit astronomi-geodezik tarmoqni barpo etib bu «oq» dog'ni yo'qatish mumkin. Kvazigeoid yuzasini qancha mufassal o'rganish kerak bo'lsa, astranomo-geodezik punktlar shunchalik zich bo'lishi kerak. Tog'li hududlarda punktlar zichligi tekis hududlarga qaraganda yuqori bo'lishi kerak, chunki tog'li hududlarda kvazigeoid yuzasi tekis joylarga qaraganda ancha murakkab bo'ladi. Kvazigeoid yuzasini o'rganish maqsadida astranomo-geodezik tarmoqlarning ko'plab punktlarida astronomik kenglik va uzoqliklar o'lchaniladi, hamda aniq dastur bo'yicha hududda gravimetrik s'emka bajariladi. Tekis va qisman tepalik joylarda astronomik punktlar o'rtacha har 70-100 km dan joylashtiriladi. Bu punktlar orasida kvazigeoid yuzasi astranomo-gravimetrik nivelirlashni qo'llash bilan o'rganiladi.

Tog'li hududlarda Yer gravitatsiya maydonining tuzilishi murakkab bo'lganligi tufayli, astranomo-geodezik tarmoqning har bir punktida 1" xotalik bilan shovun chizig'ining astranomo-geodezik og'ishini aniqlash maqsadga muvofiq.

Mamlakat hududini kartalashtirishda geodezik punktlarning talab etilgan zichligi topografik s'emka masshtabiga, uni bajarish usullariga hamda s'emka asosini barpo etish usullariga bog'liq bo'ladi.

Geodezik tarmoq punktlari orasidagi masofalar  $S$  ni bitta punkt ta'minlay oladigan topografik s'emkalar maydoni  $R$  ga bog'liqligini ko'rish mumkin [8]

Aytaylik, geodezik tarmoq teng tomonli  $S$  uchburchaklardan tashkil topgan bo'lsin (3.1-shakl). Har bir punkt atrofiga  $r=S/2$  radiusli aylana chizamiz va doiraning  $P$  yuzasini quyidagi formula orqali hisoblaymiz

$$P = \pi r^2 = \frac{\pi}{4} S^2, \quad (3.1)$$

bundan

$$S = \frac{2}{\pi} \sqrt{P} = 1.13 \sqrt{P} \approx \sqrt{P} \quad (3.2)$$

Turli masshtabdagi topografik s'emkalar uchun triangulyatsiyadagi uchburchaklarini tomon uzunliklari (3.2) formula bilan hisoblanib 2-jadvalda keltirilgan.

Umumiydan hususiyga o'tish prinsipiga muvofiq davlat geodezik tarmoqni barpo etishda, triangulyatsiyani bir klassidan, boshqasiga o'tishda uchburchak tomonlarining uzunligini o'rtacha qiymatlari orasidagi nisbatga rioya qilish lozim, buning uchun zarur bo'lgan hisoblarni bajaramiz.

Aytaylik, 1 klass geodezik tarmog'i tomonlar uzunligi  $s$  bo'lgan teng tomonli uchburchaklardan tashkil topgan bo'lsin. 2 klass tarmog' 1 klassga tegishli har bir uchburchakning markaziga punkt o'rnatish bilan barpo etamiz. 2 klass yonma-yon punktlarini, hamda 2 va 1 klass punktlarini to'g'ri chiziqlar bilan birlashtirib, tomonlar uzunligi  $s_2$  ga teng bo'lgan 2 klass triangulyatsiya uchburchaklari tarmog'ini hosil qilamiz. So'ngra 2 klassning har bir uchburchakiga huddi shu tarzda bittadan punkt qo'yib tomonlar uzunligi  $s_3$  bo'lgan teng tomonli uchburchaklardan tashkil topgan 3 klass triangulyatsiya tarmog'ini olamiz. Huddi shu tarzda uchburchaklar tomonlari uzunligi  $s_4$  bo'lgan 4 klass triangulyatsiya tarmog'ini hosil qilamiz.

Bunday geodezik tarmoqlarni bosqichma-bosqich barpo etishda turli klassli uchburchaklar tomonlari uzunliklari orasida quyidagi taxmini nisbatga rioya qilish lozim

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= s_1; & s_2 &= s_1/\sqrt{3} = 0.58s_1; \\ s_3 &= s_2/\sqrt{3} = 0.33s_1; & s_4 &= s_3/\sqrt{3} = 0.19s_1 \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Agar 1 klass triangulyatsiyasi tomonlari uzunligi o'rtacha  $s_1=23 \text{ km}$  ga teng bo'lganda uni boshlang'ich deb qabul qilsak, unda (3.3) formulaga muvofiq 2-4 klass triangulyatsiya tarmoqlaridagi uchburchaklarning quyidagi tomonlar uzunliklarini olamiz (3-jadval).

3-jadval

| Triangulyatsiya klassi | Uchburchak tomonlarining uzunligi $s, \text{ km}$ | Bir punktga to'g'ri keladigan s'emka maydoni $R, \text{ km}^2$ | 200x200 km maydonda punktlar soni, $n$ |
|------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 2                      | 13.3                                              | 138.9                                                          | 290                                    |
| 3                      | 7.6                                               | 45.4                                                           | 590                                    |
| 4                      | 4.4                                               | 15.2                                                           | 1750                                   |
|                        |                                                   | Jami                                                           | 2630                                   |

Joyda barpo etilgan triangulyatsiya tarmoqlarida uchburchaklar teng tomonli shakldan birmuncha farq qiladi. Lekin, o'lchami katta maydondagi geodezik tarmoqlar uchun uchburchaklar tomonlari uzunligi (3.3) nisbatga teng yoki unga yaqin bo'lishiga rioya etilishi lozim, aks holda tarmoqning umumiy punktlari soni asossiz oshib ketishi mumkin.

(3.3) nisbatga rioya etilganda, kartasi tuzilayotgan hududning har qanday  $P$  maydonida turli klass punktlarining o'rtacha sonini quyidagi formula bilan hisoblash mumkin

$$\left. \begin{aligned} n_1 &= \frac{P}{P_{0(1)}}; & n_2 &= \frac{P}{P_{0(2)}} - n_1; \\ n_3 &= \frac{P}{P_{0(3)}} - n_1 - n_2; & n_4 &= \frac{P}{P_{0(4)}} - n_1 - n_2 - n_3 \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

bu yerda  $P_{0(i)} = s_i^2 \pi / 4$   $i$ -klassdagi ( $i=1,2,3,4$ ) bitta punkt bilan s'emkasi ta'minlanadigan maydon. Misol sifatida bu formulalar bilan  $n_1 = 0$ ,  $P=200 \times 200$  km bo'lganda 2-4 klass punktlar sonini aniqlanib 3-jadvalda berilgan.

### 3.4. Davlat geodezik tarmog'ini barpo etishning zaruriy aniqligi

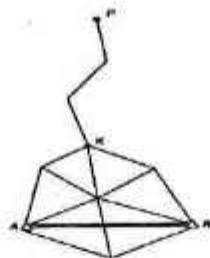
Mamlakat hududini davlat ahamiyatidagi kartalashda barcha klassdagi davlat geodezik tarmoqlarini barpo etish aniqligiga bo'lgan talab yuqori bo'ladi, ayniqsa yirik masshtabli topografik s'emkalarini bajarishda. Mamlakatimiz hududini bosqichma bosqich kartalash quyidagi masshtablarda amalga oshiriladi: 1: 100 000; 1: 50 000; 1: 25 000; 1: 10 000; 1: 5000; 1: 2000.

1950-1980 yillar oralig'ida hozirgi MDH davlatlari barcha xududlarini 1:100 000÷1:250000 masshtablarda kartalash to'la nihoyasiga yetkazilgan. Hozirgi vaqtda hududni 1:10 000 masshtabda kartalash bilan birgalikda zarur bo'lgan joylarda hududlarni 1:5000 va 1:2000 masshtabdagi topografik planlar bilan qoplash ishlari bajarilmoqda.

Uchta bosqichga to'g'ri keluvchi barcha masshtablarda mamlakat hududini bir vaqtda kartalashni ta'minlash uchun davlat geodezik tarmog'ining aniqligi yirik 1:2000 masshtabdagi topografik s'emka bajarishga mo'ljallangan bo'lishi lozim.

Topografik kartalarni barpo etishda fotoplanlarni tuzish uchun bevosita geodezik asos bo'lib, xizmat qiladigan belgilar (opoznaklar) ni koordinatalari yaqin punktlarga nisbatan aniqlanadi. Masalan, davlat geodezik tarmog'ining yaqin punktlari  $A$ ,  $B$  dan joylarda zichlashtirish tarmog'i  $ABK$  qurish va  $KP$  s'emka yo'llarini o'tkazish orqali amalga oshiriladi (3.2-shakl).





3.2-shakl. Tayanch geodezik tarmog'i *A, B punktlari* va *P belgi* (opoznak) joylashishi chizmasi

Davlat geodezik tarmog'i qo'shni *A* va *B* punktlarning tomonlari uzunligi *s* ni topish zaruriy aniqligini hisoblashda *P* belgi koordinatalarini aniqlash xatosi  $t_r$  va uni fotoplanga tushirish, xatosi  $t_t$  ni birgalikdagi ta'siri fotoplanni grafik aniqligi chegarasidan  $m \leq 0.2$  mm chiqmasligi lozim. Teng ta'sir etish prinsipiga rioya qilgan holda yozamiz

$$m_P = m_T \leq \frac{m}{\sqrt{2}} \quad (3.5)$$

*KP* s'emka asosi yo'lini o'tkazishda *K* nuqtaning koordinatalari boshlang'ich bo'lganligi uchun  $\frac{m_r}{2}$  dan katta bo'lmagan xatolik  $m_K$  bilan aniqlanishi lozim, tayanch tarmoq *A* punktining koordinatalari boshlang'ich bo'lib, undan *K* nuqtaning koordinatalari  $\frac{m_r}{2}$  dan katta bo'lmagan xatolik  $m_A$  bilan aniqlanishi kerak. Boshqachasiga aytganda *R* belgi koordinatalarini aniqlash xatosi  $m_P$  (3.5) dan oshmasligi uchun quyidagi shartga rioya qilish zarur

$$m_A \leq \frac{m_K}{2} \text{ va } m_K \leq \frac{m_P}{2} \quad (3.6)$$

(3.5) va (3.6) ifodalarni hisobga olib,  $m_A = m_B$  deb qabul qilib, davlat geodezik tarmog'ining qo'shni joylashgan punktlari orasidagi tomon uzunligi  $S=AB$  aniqlash chekli o'rta kvadratik xatosi  $m_s$  miqdorini topamiz:

$$m_s = m_{AB} = m_A \sqrt{2} \leq 0.25mM, \quad (3.7)$$

bu yerda  $t$ - fotoplan yoki kartaning grafik aniqligi;

*M*- topografik karta masshtabining maxraji; (3.7) formula taqribiy bo'lsa ham amaliyotda tasdiqlanuvchi yetarli aniq natijalarni beradi. Kartada  $t=0.2\text{ mm}$  deb qabul qilib, (3.7) formula orqali, turli masshtabda topografik s'cmkalarni bajarishda davlat geodezik tarmog'ining o'zaro qo'shni joylashgan punktlari orasidagi tomonlar uzunliklari  $S$  ni aniqlash  $m_s$  xatolarni hisoblash mumkin (4-jadval).

4-jadval

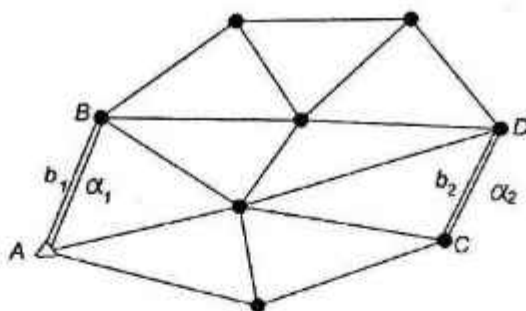
| Ko'rsatgich                                                             | 1:25000 | 1:10000 | 1:5000 | 1:2000 | 1:1000 |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| Kartaning grafik aniqligi, m                                            | 5.0     | 2.0     | 1.0    | 0.4    | 0.2    |
| Qo'shni punktlar orasidagi tomonlar uzunligining chekli xotasi $m_s, m$ | 1.25    | 0.50    | 0.25   | 0.10   | 0.05   |

### 3.5. Davlat geodezik tarmog'ini barpo etishning asosiy usullari

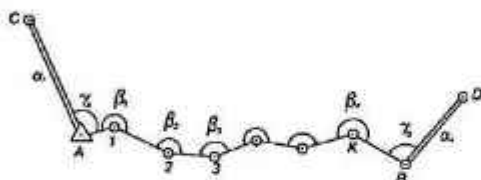
Davlat geodezik tarmoqlarini barpo etishning asosiy usullari triangulyatsiya, poligonometriya va trilateratsiya hisoblanadi. Har bir konkret holatda u yoki bu usulni tanlash tarmoqni barpo etish zaruriy aniqligi va iqtisodiy samaradorligi bilan aniqlanadi.

**Triangulyatsiya usuli.** Triangulyatsiya usuli birinchi marta Gollandiyalik olim Snellius tomonidan taklif etilgan deb hisoblanadi. Bu usul barcha mamlakatlarda keng qo'llaniladi. Usulning mohiyati qo'yidagidan iborat. Joyning eng baland nuqtalarida uchburchaklar sistemasini tashkil etadigan geodezik punktlar mahkamlanadi (3.3-shakl). Bu tarmoqda  $A$  boshlang'ich punktining koordinatalari aniqlanadi, har bir uchburchakda barcha gorizontal burchaklar, hamda tarmoqqa masshtab beruvchi va bazis tomon uzunligi " $b$ " va uni azimuti " $\alpha$ " o'lchanadi.

Triangulyatsiya tarmog'i alohida uchburchaklar qatori, uchburchaklar qatori sistemasini hamda, yaxlit uchburchaklar tarmog'i shaklida barpo etilishi mumkin. Triangulyatsiya tarmoqining elementlari sifatida nafaqat uchburchaklar, undan murakkabroq shakllar: geodezik to'rtburchaklar va markaziy sistemalar ham xizmat qilishi mumkin.



3.3-shakl. Triangulyatsiya tarmog'i



3.4-rasm. Poligonometriya yo'li.

Triangulyatsiya usulining asosiy afzalligi uning tezkorligi va turli fizik-geografik sharoitlarda qo'llash imkoniyati borligidadir; tarmoqdagi ko'p sonli ortiqcha o'lchashlar, barcha o'lchangan miqdorlarni bevosita dalada nazorat qilish imkonini beradi; tarmoqda qo'shni joylashgan, ayniqsa yaxlit uchburchaklar tarmog'i punktlarini o'zaro holati yuqori aniqlikda topiladi.

Davlat geodezik tarmoqlarini barpo etishda triangulyatsiya usuli eng ko'p qo'llaniladi.

**Poligonometriya usuli.** Bu usul ilgari ma'lum bo'lsa ham, invar simlar yordamida chiziqlarni o'lchash murakkabligi tufayli yaqinlashgan undan davlat geodezik tarmoqlarini barpo etishda foydalanmay kelingan. Taxminan 20 asrning 60-yillaridan boshlab, geodezik ishlab chiqarishga aniq sveto-radiodalnomerlarning joriy qilinishi poligonometriya usulini rivojlantirdi va geodezik tarmoqlarni barpo etishda keng qo'llanila boshlandi. Bu usulning mohiyati quyidagidan iborat. Joyda cho'ziq yakka yo'l (3.4-shakl) yoki kesishuvchi yo'llar sistemasi shaklidagi yaxlit tarmoqni tashkil etuvchi geodezik punktlar mahkamlanadi. Yo'lning qo'shni punktlari orasidagi tomonlar uzunligi  $S_i$  va punktlarda burilish burchaklari o'lchanadi. Poligonometrik yo'llarni aniqlanadigan yoki

berilgan azimutlar yordamida azimutal orientirlash ularning oxirgi punktlarida yondosh burchaklar  $\gamma$  ni o'lchab amalga oshiriladi. Ba'zan yuqori klass aniqlikdagi geodezik tarmoqlarning koordinatalari ma'lum punktlari orasida poligonometrik yo'llar o'tkaziladi.

Aholi yashaydigan joylarda, yirik shaharlar hududida, o'rmonzorlarda va boshqa qator hollarda poligonometriya usuli triangulyatsiya usuliga qaraganda qulay va iqtisodiy jihatdan maqbul hisoblanadi, sabab triangulyatsiya punktlarida baland geodezik belgilar o'rnatib, ko'p sonli punktlar orasida to'g'ridan-to'g'ri ko'rinishni ta'minlash lozim bo'ladi. Geodezik belgilarni qurish geodezik tarmoqlarni barpo etishda eng xarajatli ish turi hisoblanadi va u umumiy sarflarni o'rtacha 50-60% ni tashkil qiladi.

Poligonometriya usulida ham o'ziga yarasha kamchiliklar mavjud ular quyidagilardan iborat:

- poligonometriya tarmog'i, ayniqsa yakka yo'llari, triangulyatsiya qatori yoki tarmog'iga qaraganda geometrik mustahkamligi kam qurilma hisoblanadi, chunki poligonometriyada punktlar orasida geometrik bog'lanishlar soni triangulyatsiyaga qaraganda ancha kam (ikkala holatda punktlar soni bir xil bo'lishiga qaramasdan);

- ortiqcha o'lchashlar soni (shartli tenglamalar soni) triangulyatsiyaga qaraganda ancha kam, shu sababli teng sharoitlarda triangulyatsiyaga qaraganda poligonometriya tarmog'i aniqligi ancha past bo'lishiga olib keladi;

- daladagi o'lchashlarni nazorati triangulyatsiyaga qaraganda yomon, chunki poligonometriyada punktlar soni triangulyatsiyaga teng bo'lishiga qaramasdan shartli tenglamalar soni kam.

Yuqoridagi kamchiliklardan aytish mumkinki, geodezik tarmoqlarni yuqori aniqlikda barpo etishda poligonometriya usulining imkoniyati triangulyatsiyaga qaraganda chegaralangan.

**Trilateratsiya usuli.** Ushbu usul, triangulyatsiya usulidek, joylarda geodezik tarmoqlarni uchburchaklar zanjiri, geodezik to'rtburchak va markaziy sistema ko'rinishida yoki yaxlit uchburchaklar tarmog'i ko'rinishida barpo etishni ko'zda tutadi, unda barcha tomonlar uzunligi o'lchanadi (burchaklar o'lchanmaydi). Trilateratsiyada triangulyatsiya kabi, tarmoqni orientirlash uchun qator tomonlaridan ayrimlarini azimuti joyda aniqlangan bo'lishi lozim.

Masofa o'lchash sveto dalnomer va elektron dalnomer texnikasini ishlab chiqarilishi va aniqligini oshishi sababli trilateratsiya usuli katta ahamiyatga ega bo'lmoqda, ayniqsa injenerlik-geodezik ishlar amaliyotida.

Quyidagi sabablarga ko'ra 1-2 klass davlat geodezik tarmoqlarini barpo etishda trilateratsiya usuli qo'llanilmaydi:

1. Masofalarni o'lchash nazorati yo'qligi sababli yuqori aniqlikdagi geodezik tarmoqlarni barpo etishga to'g'ri kelmaydi. Uchburchaklarda tomonlar uzunligini o'lchash nazorati umuman yo'qligi sababli bitta ham shartli tenglama kelib chiqmaydi; tomonlari o'lchangan geodezik to'rtburchak va markaziy sistemalarda esa atigi bittadan shartli tenglama hosil bo'ladi; huddi shunday shakllardagi triangulyatsiyada burchaklar o'lchalgan bo'lsa bir qancha mustaqil shartli tenglamalar paydo bo'ladi: geodezik to'rtburchakda to'rtta, markaziy sistemada esa undan ham ko'p.

2. Texnik-iqtisodiy tomondan trilateratsiya usuli triangulyatsiya usuliga yondosha olmaydi. Teng sharoitlarda chiziqli o'lchashda qatnashuvchilar soni transport harajatlari, burchak o'lchashga qaraganda bir necha marta ko'p.

3. Mos aniqlikda burchak va chiziqli o'lchashda tarmoqlarida azimutlarni uzatish aniqligi trilateratsiya qatori va tarmoqlarida triangulyatsiyaga qaraganda ancha past bo'ladi.

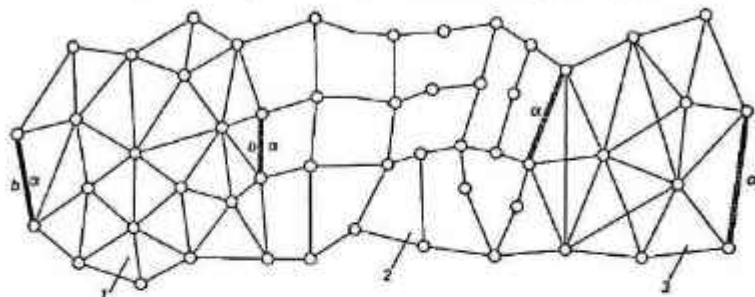
**Chiziqli-burchakli geodezik tarmoqlar.** Chiziqli-burchakli tarmoq deganda bir vaqtda uchburchaklarning burchaklari va tomonlari o'lchanadigan triangulyatsiya yoki trilateratsiyaning ko'rinishi tushuniladi. Ularda ma'lum uchburchaklar sonidan keyin, tarmoqni orientirlash uchun zarur bo'lgan Laplas azimutlari o'lchanadi. Chiziqli-burchakli tarmoqlar, geodezik tarmoqlarni maksimal yuqori aniqlikda barpo etish talab etilgan hollarda quriladi. Chiziqli-burchakli tarmoqni barpo etishda burchak va chiziqli o'lchashni birgalikda bajarib eng yuqori samara olish uchun, radian o'lchov birligida ifodalangan yo'nalishni o'lchash o'rta kvadratik xatosi  $m_N/\rho$  tomon uzunligini o'lchash nisbiy o'rta kvadratik xatosiga  $m_s/s$  teng bo'lishi lozim, ya'ni o'lchashda quyidagi tenglikka rioya etishi zarur

$$\frac{m_N}{\rho} = \frac{m_s}{s}$$

**Kombinatsiyalangan geodezik tarmoqlar.** Geodezik ishlar bajarilayotgan hudud turli shakldagi relefga ega (masalan, bitta uchastka-tekis, qo'shni uchastka tog'li), yoki turli o'simliklar bilan (masalan bir uchastka botqoqlik, yana birida mayda o'simliklar o'sgan, qo'shni uchastkada esa baland o'rmon) qoplangan bo'lsa bunday hollarda texnik-iqtisodiy tomondan kelib chiqqan holda uchastkalarning birida (iqtisodiy

jihatdan qulayligi inobatga olinib) triangulyatsiya (3.5-shakl), boshqasida poligonometriya, uchinchisida esa trilateratsiya usulida geodezik tarmoqlar barpo etiladi.

Boshqacha so'z bilan aytganda turli sharoitli hududlarda kombinatsiyalangan deb aytiluvchi geodezik tarmoqlar barpo etiladi.



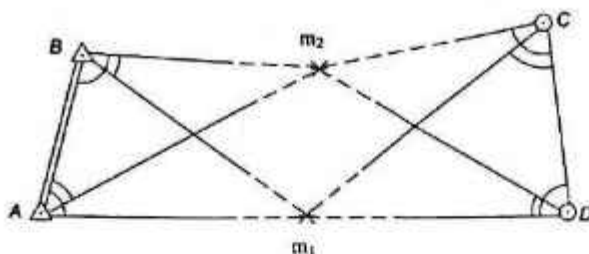
3.5-shakl. Kombinatsiyalangan geodezik tarmoq.  
1-triangulyatsiya; 2-poligonometriya; 3-trilateratsiya

Kombinatsiyalangan geodezik tarmoqlarni barpo etishni sxemasi va usuli turlicha bo'lishi mumkin va ular hududni konkret sharoitlaridan kelib chiqqan holda tanlanishi lozim.

### 3.6. Tayanch geodezik tarmoqlarini barpo etishning boshqa usullari

**Astronomik punktlardan tashkil topgan tayanch tarmoqlar.** Hududi 1:100 000 va undan mayda masshtabda topografik s'emka qilishda tayanch tarmoqni, bir-biridan kamida 80-100 km da joylashgan astronomik punktlardan barpo etish mumkin. Bu holatda astronomik kenglik va uzoqliklarga shovun chizig'ini og'ishi uchun tuzatma kiritilishi lozim. Bu tuzatmalarni birinchi yaqinlashishda gravimetrik s'yomka ma'lumatlari bo'yicha hisoblash mumkin. Tayanch geodezik tarmoqni bunday usulda barpo etish 1945-50 yillarda O'rta Osiyoning tog'li xududlarini 1:100000 masshtabda kartalashtirish uchun qo'llanilgan.

**Dinamik triangulyatsiya yoki harakatlanuvchi vizir nishonli triangulyatsiya.** Bu usulning mohiyati quyidagidan iborat. Aytaylik, boshlang'ich  $A$  va  $B$  punktlarning koordinatalari ma'lum va undan ancha uzaqda joylashgan va bu punktlardan ko'rinmaydigan  $S$  va  $D$  punktlarning koordinatalarini aniqlash talab etilgan bo'lsin.(3.6-shakl).



3.6-shakl. Dinamik triangulyatsiya chizmasi.

Masala quyidagi tarzda yechiladi,  $A$  va  $D$  punktlarining taxminan o'rtasidan  $AD$  chiziqqa perpendikulyar yo'nalishda uchayotgan samalyot yoki vertolyotdan yonayotgan  $m$  nishon tanlanadi va to'rttala punktlardan bir vaqta sinxron ravishda kuzatiladi (boshlang'ich va aniqlanuvchi) nishonning har bir  $m_1, m_2, \dots$  holotida (3.6-shaklda) ko'rsatilgan gorizontal burchaklar o'lchanadi.

$AB$  ma'lum tomondan va unda o'lchangan burchaklardan foydalanib,  $AB_{m_1}, AB_{m_2}, \dots$  uchburchaklar yechiladi va so'ngra  $m_1, m_2, \dots, m_n$  nuqtalarning koordinatalari hisoblanadi. Nuqtalarning koordinatalari  $m_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ,  $C$  va  $D$  punktlarda o'lchangan gorizontal burchaklar bo'yicha bu punktlarning koordinatalari aniqlanadi.

**Geodezik tarmoqlarni barpo etishning Su'niy yo'ldoshli (YeSY) usuli.** Kosmik geodeziya kursida [1] YeSY kuzatishni qayta ishlash bilan nuqtalar koordinatalarini aniqlashning geometrik va dinamik usullari mufassal ko'riladi. Birinchi holatda koordinatalarni aniqlashda YeSY passiv vizir nishonlardek foydalaniladi, masalan, boshlang'ich va aniqlanuvchi punktdan YeSY bo'lgan masofani sinxron o'lchashda foydalaniladi. Ikkinchi holatda YeSY koordanatalarni olib yuruvchi hisoblanadi. Amerika navigatsion sistemasi "Transit" yer yuzasidagi nuqtalarning to'g'ri burchakli geotsentrik  $X, Y, Z$  koordinatalarini, YeSY hafta ichida 40-50 marotaba uchib o'tishida avtonom ravishda 3-5 m xatolik bilan aniqlash imkonini beradi.

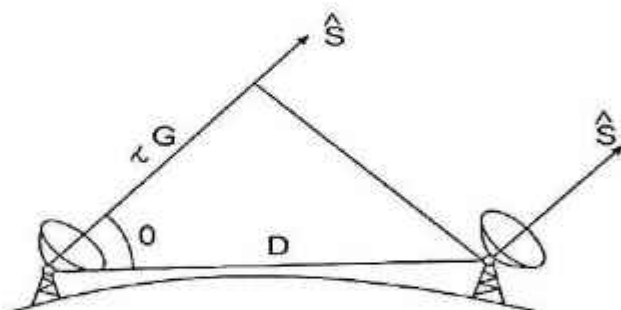
Boshlang'ich va aniqlanuvchi punktlar orasidagi koordinata orttirmalarni yuqoriroq aniqlikda topish uchun (boshlang'ich punkt koordinatalari sistemasida) bu punktlardan YeSY sinxron kuzatishni ko'zda tutuvchi "translokatsiya usuli" qo'llaniladi. Bunda 100-500 km masofalar koordinatalar orttirmalar 0,3-1,3 m aniqlik bilan topiladi.

Hozargi vaqtda takomillashgan va o'ta aniq navigatsion sistemalar: GLONAS (Rossiya) va "Navstar" GPS (AQSh) yaratildi. Ularning har



biri  $24 \div 36$  tadan Yer su'niy yo'ldoshlaridan tashkil topgan va xohlagan vaqtda Yer sharining xohlagan qismida nuqtalarning geotsentrik koordinatalarini yuqori aniqlik bilan topish imkonini beradi.

**O'ta uzun bazali radiointerferometrlash (O'UBR).** Bu usul radiointerferometr yordamida bir-biridan bir necha ming kilometrda joylashgan punktlar orasidagi vatar uzunligini va yo'nalishini yuqori aniqlik bilan topish imkoniyatiga ega, hamda ushbu punktlarda chastotalar standartini sinxronlanishini ta'minlaydi, Yer aylanish parametrlarini bir vaqtda aniqlaydi, hamda kuzatilayotgan galaktikadan tashqari radionurlanish manbaaning (kvazarlar) koordinatalarini aniqlaydi. Bu usulni birinchi marta Rossiya olimlari N.S. Kardashiev, L. I. Matveenko va G. B. Sholomniskiylar 1965 yili taklif etdi va radioastronomiyada keng tarqaldi. Ohirgi yillarda u global tarmoqlarni yuqori aniqlikda barpo etishda, hamda geodinamik hodisalarni o'rganish maqsadida va boshqalarda qo'llana boshlandi.



3.7-shakl. Uzun bazisli radiointerfometr usuli bilan o'lchash sxemasi

Radiointerferometr bir-biridan ancha uzoq  $D$  masofada (3.7-shakl) o'rnatiluvchi ikkita radioteleskoplardan tashkil topgan bo'lib, uni interferometr bazasi deyiladi. Radioteleskoplar sinxron ravishda bitta galaktikadan tarqaluvchi nuqtali radiomanbaaning (kvazarning) nurlanishini santimetrli diapazonda qabul qilib boradi. Radiosignallar raqamli shaklda keng yo'lli videomagnitofonlarga yoziladi. 3-20 minut davom etuvchi bir juft yozuv bo'yicha koorelyatsion qayta ishlash natijasida, bir radioteleskopga nisbatan ikkinchisiga radioto'lqinlar frontini yetib kelish  $\tau$  lahzalarini vaqt bo'yicha kechikishini hamda  $\tau$  ni kechikishi bilan bog'liq bo'lgan interfrensiyasini chastotasi  $f$  aniqlanadi

$$f = v \frac{\partial \tau}{\partial t},$$

bu yerda  $\nu$ -radionurlanish chastotasi;  $t$ -vaqt.  $r$  va  $f$  qiymatlar radiosignallar yozuvining o'rta lahzasida aniqlanadi.  $r$  qiymatni radioto'lqinni tarqalish tezligi  $S$  ga ko'paytirib, kuzatish lahzasida radioteleskoplarni kuzatilayotgan kvazaragacha bo'lgan masofalar farqini aniqlash mumkin.  $r$  va  $f$  ning ko'p sonli o'lchangan qiymatlarini hamda O'UBR asosiy tenglashtirish usulidan foydalanib, o'lchamlarni birgalikda qayta ishlash natijasida quyidagilar topiladi:

Radiointerferometr bazasi uchlari geotsentrik koordinatalarning farqlari  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ , o'z navbatida uning uzunligi  $D$  va koordinata o'qlariga nisbatan yo'nalishi yoki  $\theta$  burchagi; radiomanbaaning aniqlashtirilgan koordinatalari; Yer qutbining koordinatalari; pretsessiya va nutatsiya elementlari; Yer aylanshining bir lahzali tezligi; kuzatish lahzasida  $r$  va  $f$  qiymatlarini aniqlashni haqiqiy grinvich vaqti, hamda aniqlanuvchi kattaliklar sifatida boshqa parametrlar.

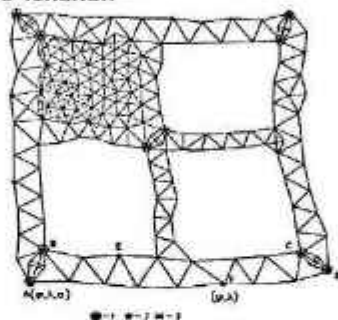
O'UBR usuli bir necha ming kilometrga teng baza uzunligini yuqori aniqlikda o'lchashni ta'minlaydi. Hususan, baza uzunligi 1-3 sm, geotsentrik koordinatalar sistemasida baza yo'nalishi-0.001", Yer qutblari koordinatalari - 3-5 sm, kuzatiluvchi kvazaralar koordinatalari - 0.001" xatolik bilan aniqlanadi. Huddi shunday xatolik bilan pretsessiya, nutatsiya parametrlari va Yerni sutkalik aylanishning variatsiya tezliklari aniqlanadi. RSDB usuli shunday o'lchash aniqligini ta'minlaydiki, hozircha bunday aniqlikka boshqa usullarni qo'llash bilan erishib bo'lmaydi.

O'UBR usulini joriy qilish uchun quyidagilar talab qilinadi: diametrlari 20-60 m bo'lgan santimetrli diapazonda ishlovchi to'la aylanuvchi antennali radioteleskoplar,  $10^{13}$ - $10^{14}$  chastotasi barqarorligi atom generatorlari, kuzatish natijalarini yozish uchun quvvatli keng yo'lli videomagnitofonlar (ma'lumotlar hajmi  $10^6$  birlikka yetadi), tegishli EHM va matematik ta'minot; burchak o'lchamlari 0.001" dan katta bo'lmagan galaktikadan tashqari radionurlanish manbaalarning katologi.

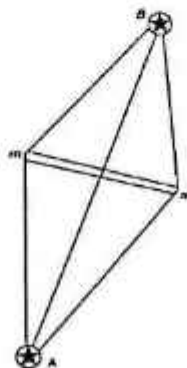
O'UBR usulida statsionardan tashqari katta 60 metrli radioteleskoplar bilan birgalikda ishlovchi, 3,5-5,0 m antennali ko'chma radioteleskoplardan foydalanishga ruxsat etiladi. Bu holda interferometr bazalarining uzunligi bir necha yuz kilometrlargacha kamayadi.

### 3.7. Davlat triangulyatsiyasini barpo etishning F.N.Krasovskiy sxemasi va dasturi

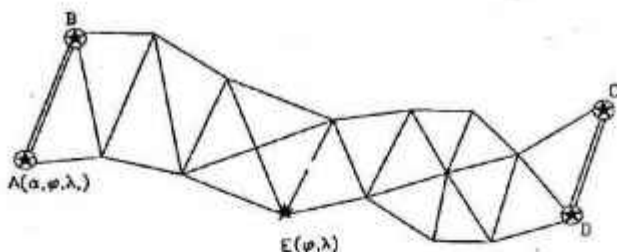
F.N. Krasovskiyning dasturiga muvofiq astronomo-geodezik tarmoq, taxminan meridian va parallelar yo'nalishida bir-biridan 200-250 kilometr oraliq o'tkaziluvchi va perimetri 800-1000 km yopiq poligonni tashkil etuvchi I klass triangulyatsiyasi uchburchaklari qatorlaridan barpo etiladi (3.8-shakl). Qatorlar  $40^\circ$  dan kichik bo'lmagan burchaklari, shakli bo'yicha teng tomonli bo'lgan uchburchaklardan tashkil topadi. Uchburchak tomonlari uzunligi o'rtacha 25-30 km ga teng. Gorizonttal burchaklari  $0,7 - 0,9''$  o'rta kavadratik xatolik bilan (uchburchaklarni bog'lanmasligi bo'yicha) o'lichandi.



3.8-shakl. Davlat triangulyatsiyasini barpo etishni F.N.Krasovskiy sxemasi.  
1 – Laplas punkti; 2 – oraliq astropunkti; 3 – bazis.



3.9- shakl. Bazisli tarmoq



3.10 – shakl. 1 klass triangulyatsiya zvenosi

Meridian va parallellar bo'yicha 1 klass qatorlarining kesishuvida triangulyatsiya chiqish tomonlarining uzunligi va azimutlari aniqlanadi, masalan,  $AB$  va  $CD$  tomonlar.  $AB$  chiqish tomonining uzunligi ilgari bazisli tarmoqlarni barpo etish yo'li orqali topilgan (3.9 - shakl), bunda 6-8 km uzunlikdagi  $nm$  bazis invar simlar bilan o'lgangani hamda bu tarmoqning punktlarida barcha burchaklari o'lgangan, bazis qarshisidagi burchak  $36^\circ$  dan kam bo'lmashligi kerak. Bazislar 1/500000 dan katta bo'lmagan nisbiy o'rta kvadratik xatolik bilan o'lgangan, chiqish tomonlarining uzunligi esa 1/300000 dan katta bo'lmagan xatolik bilan aniqlangan.

Hozirgi vaqtda triangulyatsiya qatorining boshlang'ich tomonlari bevosita yuqori aniqlikdagi svetodalmomerlar yoki elektron dalmomerlar bilan o'lganadi va shuning uchun bazis tarmoqlarini barpo etish kerak emas. Uzunligi bevosita o'lgash natijasida olingan boshlang'ich tomonlarga bazis tomonlar deb atash qabul qilingan.

Har bir chiqish tomonining ikkala uchlarida astronomik kenglik, uzoqlik va azimutlar (to'g'ri va teskari) aniqlanadi. Astronomik kuzatishdan kengligi, uzoqligi va azimuti aniqlangan geodezik punktga Laplas punkti deyiladi. Chiqish tomonlari bilan chegaralangan, oxirida Laplas punkti aniqlanilgan triangulyatsiya qatorining qismiga 1 klass triangulyatsiya zvenosi deyiladi (3.10-shakl). Triangulyatsiya zvenolarining uzunligi 200-250 km ga teng zvenoning o'zi esa uchburchaklardan, geodezik to'rtburchaklardan va markaziy sistemalardan tashkil topadi.

Har bir 1 klass triangulyatsiya zvenosida Laplas punktlaridan tashqari har 70-100 km oraliqda astronomik punktlar deb ataluvchi oraliq  $E$ ,  $F$  punktlarni (3.8-shakl) astronomik kengligi va uzoqlikigi aniqlanadi.

Kenglik, uzoqlik va Laplas punktlarida azimutlarni astronomik aniqlash o'rt kvadratik xatolari  $m_{\varphi} = 0,4''$ ,  $m_{\lambda} = 0,45''$ ,  $m_{\alpha} = 0,5''$  dan oshmasligi kerak. Bu xatoliklar priyomlardagi o'lchash natijalarini o'rtachasidan og'ishi bo'yicha, ya'ni o'lchashdagi sistematik xatolarni hisobga olmagan holda hisoblanadi.

Hozirgi MDH davlatlari hududini umumiy gravimetrik s'yomka qilish 1932 yili boshlandi. F.N.Krasovskiyning taklifiga muvofiq mahsus dastur bo'yicha bajariladigan gravimetrik o'lchashlar astronomo-geodezik tarmoqlarni barpo etishda keng qo'llana boshlandi va hozirgacha asosiy geodezik ishlarning ajralmas qismi hisoblanadi. Geodezik, astronomik, gravimetrik o'lchashlarni birgalikda qo'llanishi Yer shaklini mukammal o'rganish imkoniyatini beradi va geodezik o'lchash natijalirni Yerning haqiqiy yuzasidan referens-ellipsoid yuzasiga reduksiyalash imkonini beradi. Bu masalalarni muvofaqiyatli yechish uchun F.N.Krasovskiy o'lchangan miqdorlarni ellipsoid yuzasiga normallar bo'yicha o'ziga loyihalashni nazariy usulini ishlab chiqdi va 1934 yili geoid balandligini aniqlash uchun astronomo-gravimetrik nivelirlash usulini taklif etdi, keyinchalik bu nazariya M.S.Molodenskiy tomonidan rivojlantirildi va hozirda kvazigeoid yuzasini o'rganishda keng qo'llaniladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, astronomo-geodezik tarmoqlarda astronomik va gravimetrik o'lchashlar juda muhim ahamiyatga ega. Bu o'lchashlardan foydalanib tarmoqni har bir punktida shovun chizig'ining astronomo-geodezik og'ishini hisoblash mumkin. Astronomo-geodezik og'ishi ikkita o'ta muhim masalani yechish uchun juda zarur: o'lchangan kattaliklarni ellipsoid yuzasiga reduksiyalash va kvazigeoid balandligini aniqlash, o'z navbatida astronomo-geodezik tarmoq chegarasida Yer shaklini o'rganish uchun ham muhim ahamiyatga ega.

F.N.Krasovskiy astronomo-geodezik tarmoq poligonlari ichida 2-4 klass geodezik tarmoqlarini barpo etishni quyidagi chizmasi va dasturini taklif etdi.

1-klass triangulyatsiyani har bir poligoni ichida 2-klass asosiy qatorlarini o'tkazish yo'li bilan u 4 ta qismga bo'linadi (3.8-shakl). 2-klass triangulyatsiyasi asosiy qatorlarini kesishuvida bazis tarmoqlari barpo etiladi, ulardan chiqish tomonlarining ikki uchlarida Laplas punktlari ( $\varphi, \lambda, \alpha$ ) aniqlanadi. 2-klassning asosiy qatorlarida uchburchaklar tomonlarini o'rtacha uzunligi 18 km ga yaqin bo'ladi; uchburchaklarda burchaklar  $30''$  kam bo'lmasligi kerak; burchak o'lchash o'rt kvadratik xatosi 1,2-1,5'' dan (uchburchaklarda bog'lanmasligi bo'yicha) oshmasligi kerak (5-jadval).

Bazis o'lchash va astronomik o'lchashlar aniqligi astronomo-geodezik to'rlarga qaraganda bir necha marta past bo'ladi.

5-jadval

| Triangulyatsiya klasslari                                                   | Tomonlari-ning o'rtacha uzunligi $S, km$ | Burchak o'lchash o'rta kvadratik xatosi $m$ , burchak sekunda | To'r bo'sh tomonining xatosi $m/s$ | Qo'shni punktlarni o'zaro holatini aniqlash xatosi, $m$ |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1-klass qatorlari                                                           | 25-30                                    | 0,7-0,9                                                       | 1/100000                           | ~0,3                                                    |
| 2-klass qatorlari                                                           | 18                                       | 1,2-1,5                                                       | 1/60000                            | ~0,3                                                    |
| 2-klass tarmoqlari                                                          | 11-13                                    | 2-2,5                                                         | 1/35000                            | ~0,3                                                    |
| 3-klass tarmoqlari                                                          | 5-8                                      | 5                                                             | 1/15000                            | ~0,3                                                    |
| 4 klass punktlari kesishtirish orqali 1 metrgacha xatolik bilan aniqlangan. |                                          |                                                               |                                    |                                                         |

2-klass triangulyatsiyasi qatorlari bilan bo'lingan 1-klass triangulyatsiyasini har bir chorak poligoni ichiga uchburchak tomonlarini uzunligi o'rtacha 12-13 km 2-klass triangulyatsiya to'ldiruvchi tarmog'i barpo etilgan. Uchburchaklar burchaklarning eng kichigi  $20''$  dan kichik bo'lmashligi, burchak o'lchashni o'rta kvadratik xatosi 2-2,5" (uchburchaklarning bog'lanmasligi bo'yicha) oshmasligi kerak.

3-klass triangulyatsiya tarmog'i 2-klass tomonlariga va punktlariga tayanuvchi uchburchaklar tizimi yoki alohida punktlar ko'rinishida qo'yish orqali barpo etiladi. Uchburchak tomonlari uzunligi 5-8 km; eng kichik burchagi  $15''$ ; burchak o'lchashni o'rta kvadratik xatosi (uchburchaklarning bog'lanmasligi bo'yicha) 5" ga teng.

4-klass punktlari yuqori klass triangulyatsiya punktidan geodezik kesishtirish orqali o'rta kvadratik xatosi 1 metrgacha xatolik bilan aniqlanadi.

F.N.Krasovskiy dasturi bo'yicha davlat triangulyatsiyasini barpo etish asosiy geodezik ishlarni rivojlantirishda ulkan qadam hisoblanadi. Bu dasturni amalga oshirish natijasida quyidagi eng muhim masalalar yechilgan:

-1-klass triangulyatsiyasini qurish orqali qisqa muddatda mamlakatning katta hududida yagona koordinatalar sistemasi tarqatildi;

- yer ellipsoidi o'lchamlarini aniqlash va Yer shaklini o'rganish bo'yicha oliy geodeziyaning asosiy ilmiy muammolarini yechish uchun yuqori aniqlikdagi tajribaviy ma'lumatlar olindi;

- texnik ta'minoti chegaralangan davrda 2 va 3-klass triangulyatsiya tarmoqlarini rivojlantirish uchun sharoit yaratildi hamda barcha klassdagi triangulyatsiya to'rlarini blok bo'yicha tenglashtirish imkoniyati paydo bo'ldi;

- 1:10000 masshtabgacha topografik s'emkalar uchun yetarli bo'lgan triangulyatsiya qo'shni punktlarining o'zaro holatini topish yuqori aniqlikda ta'minlandi.

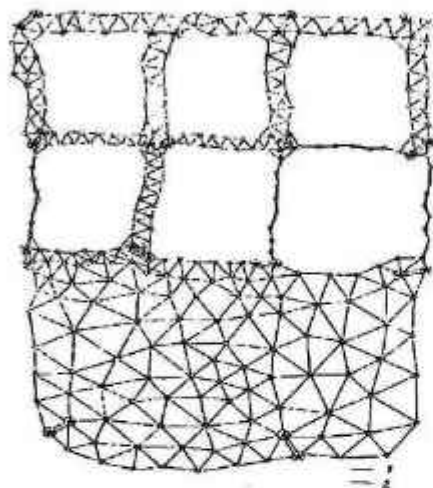
### **3.8. Davlat geodezik tarmog'ini asosiy qoidalariga binoan qurish**

Davlat geodezik tarmog'ini qurish asosiy qoidalariga muvofiq 1-klass astronomo-geodezik tarmoqni barpo etish asosida, F.N.Krasovskiyning birmuncha aniqlik va o'zgartish kiritilgan dasturi yotadi. Meridianlar va parallellar yo'nalishi bo'ylab joylashgan, har birining uzunligi 200 kilometrdan katta bo'lmagan triangulyatsiya yoki poligonometriya zvenolaridan tashkil topgan, perimetri 800 kilometrga yaqin poligonlar ko'rinishida astronomo-geodezik tarmoq barpo etiladi (3.11-shakl). 1-klass triangulyatsiya zvenosi teng tomonlikka yaqin bo'lgan, o'z navbatida burchaklari  $40''$  dan kichik bo'lmagan uchburchaklardan tashkil topadi. Joyning reliefi murakkabligi tufayli burchaklari  $40''$  dan katta uchburchaklarni barpo etishning imkoni bo'lmaydi, bunday joylarda burchaklari  $30''$  dan kichik bo'lmagan geodezik to'rtburchaklar va markaziy sistemalarni barpo etishga ruxsat etiladi. Uchburchaklar tomonlarining uzunligi o'rtacha 20-25 km ga teng. Har zvenoning boshi va ohirida yuqori aniqlikdagi sveto-radiodalnomerlar yordamida bazis tomonlari o'lchanadi. Har bazis tomonining ikki uchida (poligon uchlarida) astronomik kenglik, uzoqlik va azimutlar, ya'ni Laplas punktlari aniqlanadi.

1-klass poligonometriya zvenosi cho'ziq yo'llar ko'rinishida o'tkaziladi; yo'l tomonlari 10 dan ko'p bo'lmazligi uzunligi esa 20 kilometr atrofida bo'lishi kerak. Har bir 1 klass triangulyatsiya va poligonometriya zvenosida, Laplas punktlaridan tashqari oraliq astronomik punktlar o'rnatiladi va astronomik kenglik va uzoqliklar aniqlanadi. Oraliq



astronomik punktlari Laplas punktlari oraliq'ida har 65-120 kilometrda joylashtiriladi. Astropunktlar orasidagi masafalar 1 klass qatorlari bo'ylab bajariladigan gravimetrik s'emkani zichligiga bog'liq; bu s'emkani zichligi qancha yuqori bo'lsa, oraliq astropunktlar shunchalik kam aniqlanadi. Barcha astropunktlar (Laplas va oraliq) atrofida mahsus dastur bo'yicha zichlashtiruvchi gravimetrik s'emka olib boriladi.



3.11-shakl. Asosiy qoidalariga astronomo-geodezik tarmoqni barpo etish sxemasi.

*1-1 klass poligonometriya tomoni; 2-1 klass triangulyatsiya tomoni.*

Mamlakatning ayrim rayonlarida 1-klass triangulyatsiya yoki poligonometriya zvenolaridan tashkil topgan poligonlar o'miga, uchburchak burchaklari  $30^\circ$  va tomonlar uzunligi 20 kilometrda kichik bo'lmagan yaxlit 1 klass triangulyatsiya tarmoqlari quriladi. Masafalar fizik-geografik sharoitlarga va punktlarni o'rnatilgan zichligiga bog'liq holda belgilanadi. 1-klass yaxlit tarmoqlarda bazis tomonlar va Laplas punktlari har 10 ta tomondan keyin joylashtiriladi.

Astronomo-geodezik tarmoqlarni barpo etishda geodezik, astronomik va gravimetrik kompleks o'lchashlar bajariladi, shu bilan birga ko'p o'lchashlar yuqori aniqlikda yangi zamonaviy o'lchash texnikalarini qo'llash orqali amalga oshiriladi.

Triangulyatsiya va poligonometriya punktlarida gorizontal burchaklar (uchburchaklar yoki yopiq poligonlar bog'lanmasliklari bo'yicha)  $0.7''$  dan katta bo'lmagan xatolikda o'lchanadi. Bazis tomonlar o'rta kvadratik nisbiy xatoligi  $1/400\,000$  dan, poligonometriya tomon uzunliklari  $1/300\,000$  dan katta bo'lmagan xatolik bilan o'lchanadi. Sistematik xato

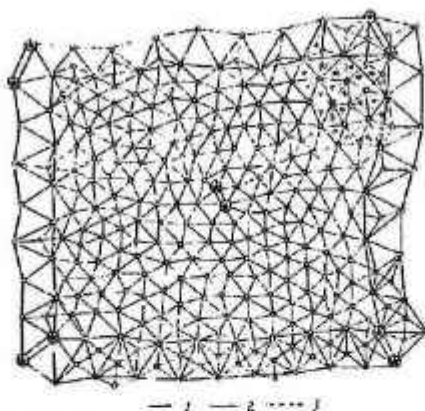
ta'siri priyomlardagi o'lchash natijalari bo'yicha hisoblanadigan, astronomik aniqlashlar o'rta kvadratik xatolari kengliklarda  $0.3''$  gacha, uzoqlikda  $0.45''$  gacha va azimutlarda  $0.5''$  gacha ruxsat etiladi.

**2-klass geodezik tarmoqlar.** 2-klass tarmoqlari ko'pincha triangulyatsiya usuli bilan uzluksiz (tutash) uchburchaklar tarmoqi ko'rinishida, 1-klass astronomo-geodezik tarmoqlar poligonlarini to'la to'ldiradigan shaklda barpo etiladi (3.12 shakl).

Uchburchaklardagi eng kichik burchaklar  $30''$  gacha ruxsat etiladi. Tomon uzunligi bir qator faktorlarga va birinchi navbatda joyning relefiga bog'liq holda 7 km dan 20 km gacha bo'lishi mumkin; ular o'rtacha 12-13 km ga teng bo'ladi. Relif shakllari yaxshi ifodalangan joylarda 2 klass triangulyatsiyasini yirik uchburchaklar bilan ularga 3 klass punktlarini o'rnatish orqali rivojlantirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bunday geodezik belgilarning minimal balandligi ta'minlanadi, bu esa iqtisodiy nuqtai nazardan muhim ahamiyatga ega. 2 klass triangulyatsiyasida bazis tomonlari bir oraliqda va har 25 ta uchburchaklarni oralab joylashtiriladi. Bazis tomonlaridan biri 1 klass poligonini o'rta qismida olinib, uning uchlarida 1 klass triangulyatsiyasidagi aniqlikda Laplas punktlari aniqlanadi. Bazis tomonlarning uzunligi 1:400000 dan katta bo'lmagan nisbiy o'rta kvadratik xatoligi burchaklar esa 1' dan oshmaydigan xatolik bilan o'lchanadi.

**3 va 4 klass geodezik tarmoqlari.** 2-klass tarmoqlarining punktlarini talab qilingan zichlikda zichlashtirishda ular 3 va 4 klass tarmoqlarini rivojlantirish yo'li bilan amalga oshiriladi. 3 va 4 klass tarmoqlari triangulyatsiya, poligonometriya va trilateratsiya usullari bilan barpo etilishi mumkin. Har bir rayon uchun bu tarmoqlarni rivojlantirishni shunday usul va chizmalari tanlanadiki, unda boshqa teng sharoitlarda talab qilingan aniqlikni ta'minlab, mablag' va vaqtni tejash imkoni bo'lsin. 3 va 4 klass triangulyatsiya tarmoqlari 2-klass geodezik tarmoqlariga qo'yiladigan yaxlit uchburchaklarni mustahkam sistemasi ko'rinishida barpo etiladi. 3 va 4 klass uchburchaklarida bir xil klass tomonlari orasidagi burchaklar  $20''$  dan kam bo'lmashligi kerak. 3-klass tomonlar uzunliklari 5-8 km, 4-klass esa 2-5 km ga teng bo'ladi. Turli uchburchaklar sistemasiga tegishli va o'lchangan yo'nalishlar o'zaro bog'lanmagan punktlar orasidagi masofalar 3-klass tarmoqlarida 4 km gacha 4-klass tarmoqlarida esa 3 km gacha ruxsat etiladi, aks holda bu sistemalar tegishli yo'nalishlarini o'lchash yo'li bilan birlashtiriladi. 3 va 4 klass tarmoqlarida gorizontal burchaklar  $1.5''$  va  $2.0''$  dan katta bo'lmagan

(uchburchaklarning bog'lanmasliklari bo'yicha) o'rta kvadratik xatolik bilan o'lchanadi.



3.12-shakl. 1-klass triangulyatsiya poligoni ichida 2-4 klass triangulyatsiyalarini barpo etish chizmasi

*1-1 klass triangulyatsiya tomoni; 2-2 klass triangulyatsiya tomoni;  
3-3 klass triangulyatsiya tomoni.*

3 va 4 klass tarmoqlarini poligonometriya usulida barpo etilganda shu klasslar punktlarini aniqlash yuqori klass punktlariga tayanuvchi yo'l yoki yo'llar sistemasini o'tkazish orqali amalga oshiriladi. Tugun punktlar hamda tugun va boshlang'ich punktlar orasida ikkitadan ko'p bo'lmagan burilish nuqtalariga ruxsat etiladi. 3 klass yo'lini eng kichik tomoni 3 km, 4 klass da 2 km yo'l qo'yiladi. 3 va 4 klass poligonometriya punktlarida gorizontal burchaklar 1,5" va 2,0 " (yopiq poligonlarning bog'lanmasliklari bo'yicha) o'rta kvadratik xatolik bilan, tomonlari uzunligi tegishlicha 1/200 000 va 1/150 000 nisbiy o'rta kvadratik xatolik bilan o'lchanadi.

Barcha klasslardagi davlat geodezik tarmoqlari har bir punktida undan 0,5-1 km masofada (o'rmonda eng kamida 250 m) ikkitadan orientir punktlari o'rnatiladi, ular yer osti markazlari bilan mahkamlanadi. Orientir punktlari s'emka yo'llarini azimutal bog'lash maqsadlari uchun ham foydalaninishi mumkin. Davlat geodezik tarmoqlarining barcha punktlari balandligini asosan trigonometrik nivelirlash orqali aniqlanadi; faqatgina tekis va sal notekis joylarda 4 klass geometrik nivelirlash qo'llanadi.

Asosiy nizomga muvofiq barpo etiladigan davlat geodezik tarmog'i quyidagi umumlashtirilgan texnik ko'rsatkichlar bilan tavsiflanadi (6-jadval).

6-jadval

| Tarmoq klassi | Tomonlar uzunligi, <i>km</i> | Burchak o'lchashni o'rta kvadratik xatosi, <i>t</i> sekund | Tarmoqni zaif qismidagi tomonlari xatosi <i>m<sub>s,s</sub></i> | Yonma-yon joylashgan punktlar o'zaro holatini aniqlash xatosi, <i>m</i> |
|---------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1             | 20-25                        | 0,7                                                        | 1/150000                                                        | 0,15                                                                    |
| 2             | 7-20                         | 1,0                                                        | 1/200000                                                        | 0,06                                                                    |
| 3             | 5-8                          | 1,5                                                        | 1/120000                                                        | 0,06                                                                    |
| 4             | 2-5                          | 2,0                                                        | 1/70000                                                         | 0,06                                                                    |

Burchak o'lchashni amaldagi aniqligi asosiy nizomda belgilanganiga ko'ra bir necha marta yuqori. Asosiy nizomda xatolar o'rtacha qiymatlari quyidagilarga teng:

1 klass tarmog'ida - 0,65";

2 klass tarmog'ida - 0,75";

3 klass tarmog'ida - 1,1 " va 4 klassda tarmog'i to'rida - 1,5". Laplas azimutlarini aniqlash haqiqiy aniqligi astronomo-geodezik tarmoqlarning katta bloklarini tenglashtirish natijasidan olingan 1,1" o'rta kvadratik xatolik bilan xarakterlanadi.

Davlat geodezik tarmog'i uning elementlarini yuqori aniqlikda aniqlash bilan xarakterlanadi, lekin u geodezik o'lchashlarni yuqori aniqlikda bajarish uchun noqulay murakkab fizik-geografik sharoitlarda barpo etiladi. 2-4 klass tarmoqlarida yonma-yon joylashgan punktlarning o'zaro holatini 5-7 sm xatolik bilan aniqlanadi. Asosiy nizomga muvofiq barpo etiladigan davlat geodezik tarmog'i o'zining aniqligi bo'yicha, nafaqat mamlakatning katta hududini yirik 1:2000 masshtabda kartalashni ta'minlaydi, ilmiy va amaliy injener-texnik masalalarni yechishga imkon beradi.

### 3.9. Asosiy geodezik ishlarni bajarish ketma-ketligi

Davlat geodezik tarmog'i fan va texnikaning yangi yutuqlaridan foydalangan holda mamlakatning butun xududida barpo etiladigan, yer yuzasidagi o'ziga xos injenerlik-texnik inshootdir. U uzoq muddatga xizmat qilishga mo'ljallanadi va shuning uchun vaqt o'tishi bilan unga bo'lgan talabalarning o'sishini hisobga olib barpo etilishi lozim. Joylarda tarmoq punktlarini joyda saqlanishini hamda planli va balandlik xolatlari uzoq vaqt davomida o'zgarmasligini ta'minlash uchun mahsus yer osti markazlar bilan mahkamlanishi zarur.

Zamonaviy davlat geodezik tarmoqlarini barpo etishda texnologik chizmani aniqlash bo'yicha katta hajmdagi turli ishlar bajariladi.

Davlat geodezik tarmog'ini barpo etish, har qanday sanoat ob'ekti kabi, uni ilmiy-texnik tomondan isbotlangan loyihadini ishlab chiqishdan boshlanadi. So'ngra kameral sharoitda tuzilgan geodezik tarmoq loyihasi (joyda) aniqlashtiriladi. Shu maqsadda loyihalangan geodezik tarmoq punktlari dala sharoitida rekognossirovka qilinadi, buning natijasida joyda har bir punktning konkret o'rni tanlanadi, zarurat bo'lganda tarmoq barpo etish chizmasiga tuzatishlar kiritiladi; punktlar orasida o'zaro ko'rinishni ta'minlash uchun geodezik belgilar balandligi hisoblab chiqiladi; berilgan joy sharoitiga mos geodezik belgilar va yer osti markazlar tiplari aniqlanadi; gruntga yerosti markazlarini o'rnatishning zarur chuqurligi aniqlanadi va h.k.; yakunida geodezik tarmoqlarni barpo etish uchun moliyaviy xarajatlari aniqlanadi.

Punktlarni rekonossirovka qilishdan so'ng geodezik belgilarni qurishga va yerosti markazlarini o'rnatishga kirishiladi. Bu ishlar natijasida geodezik tarmoq joyda ishonchli mahkamlanishi lozim.

So'ngra bazis va boshqa tomonlar o'lchanadi, tarmoqni loyihasida ko'zda tutilgan astoronomik aniqlashlar (kenglik, uzoqlik va azimutlar) bajariladi, tarmoq punktlarida gorizantal burchaklar o'lchanadi, hamda geometrik va trigonometrik nivelerlashlar yordamida dengiz sathidan (kvazigeoddan) punktlar balandligi aniqlanadi; aniq dastur asosida astoronomik punktlarning atrofida mufassal gravimetrik s'emka olib boriladi. Bu ishlarni bajarishni tashkil etish, geodezik ishlarni olib boruvchi davlat idorasi tomonidan koordinatsiyalanadi.

Dala ishlari yakunlagandan so'ng o'lchash natijalarini matematik qayta ishlashga kirishiladi, u esa 3 ta bosqichga bo'linadi: 1. Kvazigeoid balandliklarini, astoronomo-geodezik punktlarning geodezik va normal balandliklarini hamda ularda shovun chizig'ini og'ishini aniqlash;

2. Dastlabki hisoblashlarni bajarishadi, buning natijasida punktlar markazga keltirilgan va referens ellipsoidga hamda qabul qilingan proektsiyada tekislikka reduksiyalangan o'lchangan miqdorlarning jadvali olinadi; 3. Geodezik tarmoqlarni tenglashtirish, tarmoqni tenglashtirilgan elementlari aniqligini baholash, punktlarning koordinatalari va balandliklari xatoligini tuzish.

### **3.10. Davlat geodezik tarmog'ini takomillashtirishning istiqbolli yo'llari**

Asosiy nizomga binoan barpo etiladigan davlat geodezik tarmoqlari yonma - yon joylashgan punktlari o'zaro holatini yuqori aniqlikda aniqlash bilan tavsiflanadi. Ammo shunga qaramasdan 1-klass astronomo-geodezik tarmoqni aniqligi, unga tayanuvchi 2-klass tarmog'iga qaraganda pastroq bo'ladi (6-jadvalga qarang), qoidaga ko'ra aksincha bo'lish kerak. Shu sababli 1-klass tarmog'i punktlarini boshlang'ich deb qabul qilib, uni poligoni ichida tenglashtirilgan 2 klass tarmog'i qisman difermatsiyalanadi. Bunda poligon uchlarida joylashgan 2 klass punktlarida burchaklarni o'zgarishi sezilarli darajada bo'ladi, bunday o'zgarish 1 klass uchburchaklarining tomonlari yaqinda joylashgan punktlarda ham bo'ladi. Tenglashtirishdan olingan burchaklar tuzatmalari bu punktlarda 5-7" gacha yetadi, buni burchaklarni o'lchash xatolari deb aytib bo'lmaydi. 2-klass tarmoqlarida burchaklar xatolari va tarmoq deformatsiyasi poligon markaziga qarab 1-klass punktlaridan uzoqlashgan sari tez kamayib boradi.

1 va 2 klass tarmoqlarida ushbu kamchilikni tuzatish uchun ularni klasslarga ajratmasdan, hamda ulardagi barcha o'lchangan gorizantal yo'nalishlar, Laplas punktlaridagi azimutlari va bazis yoki chiqish tomonlari bilan birga ularning vaznlarini hisobga olib eng kichik kvadratlar usulida birgalikda tenglashtirish lozim. Birgalikda tenglashtirish natijasida mamlakat barcha territoriyasini yopuvchi yaxlit 1 klass astronomo-geodezik tarmoq olinadi. Shu bilan davlat geodezik tarmog'ini takomillashtirishning eng muhim etaplaridan biri ta'minlanadi.

Astronomo-geodezik tarmoqlarni takomillashtirishni masalalaridan biri sun'iy yo'ldosh yordamida undagi punktlarning holatini, zaruriy yuqori aniqlik bilan aniqlashdan iborat.

Vaqt o'tishi bilan Yer aylanish o'qining holati ham o'zgaradi, demak punktlarning lahzali koordinatalari ham o'zgaradi. Punktlarni holati va balandligi Yer qobig'ini ko'tarilish diformatsiyasi tufayli o'zgarib turadi.

Demak, yangi to'rt o'lchamli fazoviy  $XYZt$  bu yerda  $t$ - vaqt prezision davlat geodezik tarmog'iga o'tish kerak bo'ladi, bu esa undagi o'lchashlarni matematik qayta ishlashni yuqori aniqlik darajasida bajarishni talab etadi.

Geodeziyaning ko'plab amaliy masalalarini yechishda vaqt o'tishi bilan o'zgaruvchan lahzali koordinatalarga tayanish noqulaydir. Shuning uchun, lahzali koordinatalarni aniq davrga reduksiyalash lozim, boshqa davr koordinatalariga o'tish zarurati tug'ilgunga qadar ulardan foydalanish kerak.



## **4-BOB. GEODEZIK TARMOQLARNI LOYIHALASH VA REKOGNOSSIROVKA QILISH. GEODEZIK BELGILAR VA MARKAZLAR**

### **4.1. Geodezik tarmoqlarni loyihalash to'g'risida ma'lumotlar**

Loyihalashning asosiy vazifasi geodezik tarmoqning ishlab chiqilgan loyiha varianti o'z aniqligi va punktlarning zichligi bo'yicha qo'yilgan me'yoriy talablarga javob berishi va uni joriy qilish uchun kam mablag', mehnat va vaqt sarflanishini ta'minlashdan iborat. Loyihalashda asosiy yetakchi xujjatlar bo'lib davlat geodezik tarmoqlarini barpo etish to'g'risidagi asosiy nizom va yo'riqnomalar hisoblanadi. Loyihalash uchun rahbar korxona tomonidan berilgan ko'rsatma va bu ko'rsatmada keltirilgan ishlar bajariladigan hudud, tarmoqning vazifasi, uni barpo etish bo'yicha muhim ko'rsatmalar, ishlarni bajarish muddatlari asos bo'lib xizmat qiladi.

Geodezik tarmoqlarni barpo etish 3 ta ketma-ket bosqichni o'z ichiga oladi: 1) loyihani tuzish uchun zaruriy ma'lumotlar va materiallarni yig'ish; 2) karta va chizmalarda geodezik tarmoq loyihasining grafik chizmasini ishlab chiqish; 3) tarmoqni barpo etish uchun umumiy moliyaviy xarajatlarni hisoblash bilan birga loyihani texnikaviy va iqtisodiy asoslash.

Loyihalash uchun ish bajariladigan hudud to'g'risida quyidagi materiallar va ma'lumotlar zarur:

1:100000 va undan yirik masshtablardagi topografik kartalar; ushbu rayonda oldin barpo etilgan planli va balandlik geodezik tarmoqlari to'g'risidagi materiallar (tarmoqning chizmasi, katologlar, hisobotlar); fizik-geografik va geomorfologik sharoitning ta'rifi; gidrologik tadqiqotlar haqida ma'lumotlar; aloqa vositalari to'g'risida ma'lumotlar va h.k. Agar yig'ilgan ma'lumotlar ishlar bajariladigan hudud to'g'risida to'la tavsif bermasa, unda ishlab chiqilgan dastur bo'yicha dalada geodezik izlanishlar o'tkaziladi. Loyihalash uchun yig'ilgan boshlang'ich materiallar sinchiklab o'rganilishi va bir tizimga keltirilishi kerak. Bu bosqichda, hamda keyingi loyihalash paytida shuni e'tiborga olish kerakki, geodezik tarmoqning sifati, uni barpo etish aniqligi va narxi texnik loyihaning sifatiga bevosita bog'liq bo'ladi.

Qoniqarsiz ishlab chiqilgan loyiha dala ishlarini bajarishda ortiqcha mehnat xarajatini keltirib chiqaradi, topshiriqqa rioya qilmaslikka va topshiriq muddatini uzaytirishga olib keladi. Loyihalash tarmoqni barpo

etish bilan bog'liq bo'lgan barcha tashkiliy, texnik va iqtisodiy masalalarni to'g'ri yechishni talab etuvchi mas'uliyatli masala hisoblanadi. Shuning uchun texnik loyihani tuzish, asosiy geodezik ishlarni bajarish yetarli tajribaga ega bo'lgan mutaxassislarga beriladi. 1-2 klass geodezik tarmoqlarni loyihalash aslida 1:100000 masshtabdagi topografik kartada bajariladi. 3-4 klass geodezik to'rlarni loyihalashda esa yirik masshtabdagi (1: 50000 - 1:10000) topografik kartalardan foydalaniladi. Loyihalashni boshlashdan avval kartani tayyorlash lozim, masalan, ko'k rangda gidrografiya to'ri, suvayrgich chiziqlari boshqa (pushti rang) rangda ko'rsatiladi va unda eng baland tepaliklar belgilanadi, geodezik qidiruv ma'lumotlari bo'yicha yoki o'rmon xo'jaligining materiallaridan foydalanib o'rmon darxatlarining haqiqiy balandligi to'g'risidagi aniqlashlar kiritiladi. Kartani bunday tayyorlash punktlar o'rmini to'g'ri tanlashni sezilarli yengillashtiradi.

Geodezik tarmoq loyihasini ishlab chiqishda avvalambor uni barpo etilish maqsadi va aniqligidan kelib chiqiladi. Bu masala yechilgandan keyin ish bajariladigan hududni iqlimi va fizik-geografik xususiyatlarini hisobga olgan holda geodezik tarmoqni barpo etish uchun triangulyatsiya, trilateratsiya, poligonometriya, sun'iy yo'ldoshli usullaridan birini tanlash va asoslashga kirishiladi.

Tarmoqni bir xil sharoitda barpo etishda eng kam mehnat, material, mablag' va vaqt sarflash bilan birga eng yuqori aniqligini ta'minlaydigan usul maqsadga muvofiq hisoblanadi. Ushbu hudud uchun geodezik tarmoqni barpo etish usulining optimal variantini tanlash uchun uni turli usullar bilan barpo etishning bir necha variantlari ishlab chiqiladi, yakuniy yechimi texnik-iqtisodiy hisoblar asosida qabul qilinadi.

Tarmoqni barpo etishda talab qilingan aniqlikni ta'minlash uchun geometrik nuqtai nazardan tarmoq chizmasida quyidagilarga e'tibor berish lozim: triangulyatsiya va trilateritsiya uchburchaklari shakli bo'yicha teng tomonlga yaqin bo'lishiga; burchaklari 40° dan kam bo'lmasligiga; (markaziy sistema va geodezik to'rtburchaklarda 20° gacha ruxsat etiladi); poligonometriyada yo'llar imkoni boricha cho'ziq bo'lishiga.

Davlat geodezik tarmoqlarida bazis tomonlar va har bir bazis tomonning ikkala uchlarida aniqlanuvchi Laplas punktlari tarmoq bo'yicha teng oraliqda joylashgan bo'lishi lozim; har 100-150 km dan kvazigeoid balandligini aniqlash uchun astronomo-geodezik o'lchashlarga qo'shimcha aniq dastur bo'yicha bajariluvchi hududni qo'shimcha gravimetrik s'yomkasi ko'zda tutiladi.

Turli klassdagi tayanch geodezik tarmoqlar aniqlangan ketma-ketlikda loyihalanadi: oldin eng yuqori klassdagi tarmoqlar loyihalanadi, masalan, 1 so'ngra 2, 3 va h.k. Tarmoqni grafik loyihasini ishlab chiqishda har bir punktni joylashish o'rni tanlashga muhim ahamiyat berishligi lozim.

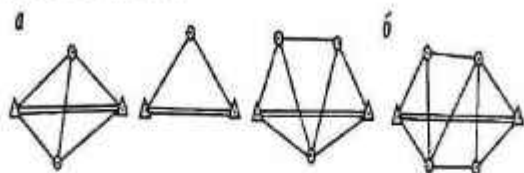
Davlat geodezik tarmoqlarining barcha punktlari tepalik joylarda o'rnatilishi lozim. Bunda birinchidan yonma-yon joylashgan punktlar orasida geodezik belgilarning minimal balandligida o'zaro ko'rinishni ta'minlashga, ikkinchidan keyinchalik tarmoqni xohlagan yo'nalishda rivojlantirish imkoniyatiga erishiladi. Barcha hollarda geodezik punktlar shunday joylarda joylashgan bo'lishi kerakki, ularning planli va balandlik holati uzoq vaqt davomida qo'zg'olmas saqlansin. 1-klass triangulyatsiya va poligonometriyada yuqori aniqlikda burchak o'lchash va azimutal aniqlash natijalariga tashqi muhit ta'sirini hisobga olish talab etiladi, ya'ni janubiy va cho'l rayonlarida vizir nuri to'siq ustidan 4 metr va qolganlarida kamida 2 metr balanddan o'tishi lozim. Laplas azimutlarini aniqlashda yirik suv omborlari, daryolar, tog' etaklari bo'ylab ularga parallel o'tuvchi yo'nalishlardan voz kechish lozim, chunki bu holda refraksiya tufayli xatolik paydo bo'lishi mumkin.

Tayanch geodezik tarmoqlarini barpo etishda eng qimmat geodezik ishlardan biri, geodezik belgilarni qurish hisoblanadi. 2 va 3 klass triangulyatsiya tarmoqlarida asosiy turdagi ishlarning o'rtacha narxini aniqlashda turli fizik-geografik sharoitlar inobatga olinadi.

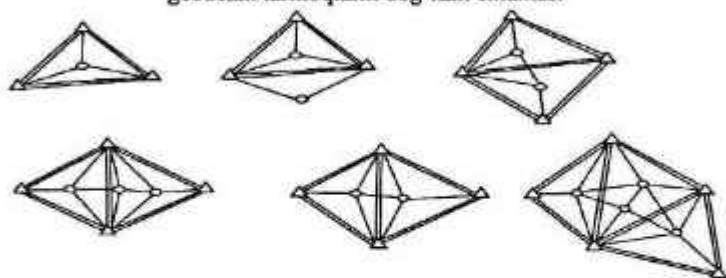
Triangulyatsiya yoki trilateratsiya tarmoqlarini loyihalasini tuzishda past klass tarmoqlarini yuqoriroq klass tarmoqlarga ishonchli bog'lash muhim ahamiyatga ega. Bog'lash tarmoqning alohida punktlariga emas, balki tarmoq tomonlariga bajariladi (4.1-shakl).

3-4 klass triangulyatsiya tarmoqlarini qurishni 4.2-shaklda berilgan chizmalari tavsiya etiladi. Tarmoqni grafik chizmasi kartada yoki qabul qilingan ixtiyoriy masshtabda tuziladi. Bu chizmada bazis tomonlari, Laplas punktlari ( $\varphi, \lambda, \alpha$ ), oraliq astronomik punktlari ( $\varphi, \lambda$ ) hamda gravimetrik s'yomkalar bilan qoplanadigan maydonlar ko'rsatiladi. Ushbu chizma ilovasida tarmoqda o'lchanadigan miqdorlar (burchaklar, bazis tomonlari, astronomik kengliklar, uzoqliklar, azimutlar va b.q.) hamda amalda me'yoriy hujjatlarga asosanib o'lchashlarni o'rta kvadratik xatolari ko'rsatiladi. Loyihani ishlab chiqish va texnik-iqtisodiy asoslash, bosqichli loyihalangan tarmoqni qurish aniqligini aprior baholash hisoblanadi. Aniqlikni baholash parametrik usulda tarmoqni tenglash kompyuter dasturida bajariladi. Natijada aniqlanadigan punktlar koordinatalarini, qo'shni punktlar orasidagi tomonlar uzunligi va direksion

burchaklarini aniqlashni o'rta kvadratik xatolari topiladi. Ular qiymatlari loyihalash uchun berilgan topshiriqlarda ko'rsatilgan aniqliklar bilan solishtiriladi. Natija qoniqarli bo'lmasa loyiha qisman o'zgartiriladi va yana qayta aniqlik baholanadi.



4.1-shakl. Yuqori klass triangulyatsiya tomonlariga (a) va punktlariga (b) geodezik tarmoqlarni bog'lash chizmasi



4.2-shakl. 3,4 klass triangulyatsiya tarmoqlarini barpo etishning namunaviy chizmasi

## 4.2. Geodezik punktlarni rekognossirovka qilish

Kameral sharoitida loyxalashtirilgan geodeziya tarmoqini joyida tekshirib aniqlashtirishlar maqsadida punktlarini rekognossirovka ishlari bajarishda. Bunda asoslarda quyidagilar amalga oshirladi; geodezik tarmoqni barpo etish sxemasi bo'yicha geodezik punktlarni o'rnatish jarayonlari tanlanadi; geodezik belgilarni balandliklari uzil-kesil hisoblanadi; geodezik belgilarni biror turi va yer ostiga o'rnatiladigan markazlari tanlanadi; markazlarini joylashtirish chuqurligi aniqlanadi. Rekognossirovka jarayonida loyihaga kiritilgan o'zgartirishlar va shuni tashkillashtirish masalalarni inobatga olinib xarajatlar smetasiga aniqliklar kiritiladi.

Agarda geodezik belgilarning balandliklarini pasaytirish va ularni qulay joyga joylashtirish imkoniyatlari tug'lsa rekognossirovka jarayonida geodezik tarmoq loyihasi qisman o'zgartirishlar kiritish mumkin bo'ladi. Tarmoq loyixasiga katta o'zgartirishlar kiritishga ruxsat etilmaydi, chunki bu tarmoq geometirik sxemasini buzishga va tarmoqni qurish

aniqligini pasaytirish mumkin. Rekognossirovka natijasida aniqlashtirilgan (o'zgartirish kiritilgan) tarmoq layihasi texnik, iqtisodiy va ishni tashkilashtirish nuqtayi nazardan eng ma'qul variant bo'lishi kerak. Geodezik tarmoq punktlari joydagi eng baland yerlarda qurilishi zarur. Geodezik punktlar injenerlik inshootlariga va turar joy binolarga, temir yo'l va avtomobil yo'llariga, telegraf va telefon tarmoqlariga, yuqori kuchlanishli liniyalarga, quvur o'tkazgichlari yaqiniga, qishloq xo'jalik joylari ekinlari yerlariga, botqoqlik joylarga, ko'chishi mumkin bo'lgan yon bag'irlarga, suv toshish xavfi bo'lgan daryolarning poymalariga yaqin joylarga, geodezik belgi va markazlarni uzoq saqlanishiga ishonch bo'lmagan yerlarga geodezik belgi va punktlar o'rnatilmasligi kerak. Geodezik punkt o'rnatilgan joyni tanlash bilan bir vaqtda orientirlash punktlarini va Laplas punktlari uchun astronomik ustunlari o'rnatiladigan joylar tanlanadi.

Geodezik punktlar (orientirlash punktlari, astronomik ustunlar) uchun tanlangan yerlar shu joydagi toshlarni uyub, vexa yoki yog'och ustun qo'yib belgilab qo'yiladi.

Muayyan sharoitga qarab rekognossirovkadan so'ng yoki rekognossirovka paytida geodezik belgi qurilishi mumkin.

Ochiq va tekis joylarda, tog'li, baland pastliklarda qo'shni punktlarni yerdan yoki narvon yordamida ko'rinadigan joylarda punktlar (geodezik belgi va markazlar) rekognossirovkadan so'ng qurilishi mumkin. Qolgan sharoitlarda rekognossirovka bilan bir vaqtda geodezik belgi va markazlarni qurish maqsadga muvofiq. Sababi qurilgan belgidan foydalanib, teodalit yordamida kuzatiladigan yo'nalishlardagi to'siqlar va ularning balandliklarini aniqlash maqsadida o'lchashlar bajarish imkoniyati tug'iladi. Amaliyot ko'rsatishicha, belgilarni ko'rish bilan rekognossirovka yuritish yaxshi natijalar beradi: belgilar balandligi yetarli aniqlikda aniqlanadi, punktlar orasidagi ko'rinish bo'lmalik hollar uchramaydi. Bir vaqtni o'zida rekognossirovka olib borish va belgilarni qurish yirik masshtabli tapografik kartalarda mufassal ishlab chiqilgan texnik loyixalar mavjud bo'lgan holda maqsadga muvofiq natija beradi.

Rekognossirovka olib boruvchi dalaga chiqishdan oldin geodezik tarmoq loyixasini, boshlang'ich berilgan materiallarni, joyning topografik kartasini batafsil o'rganishi kerak. Rekognossirovka xajmiga va joyning fizik-geografik xususiyatlariga qarab rekognossirovka uchun asboblari va jixozlari tanlanadi.

Rekognossirovka qilishni vizual va instrumental (asbob bilan) usullari mavjud. Yetarli darajada orientirlari bo'lgan ochiq joylarda (tekis, tepalik,

tog'lik) geodezik punkt o'rnatiladigan joyni belgilash (tanlash) qiyin bo'lmaganda geodezik belgi balandligi Vizual aniqlanadi. Bunday rekognossirovkaga vizual rekognossirovka deyiladi.

Tekis o'rmonli, baland – past, orientirlari kam bo'lgan ochiq tekis, cho'l va dasht joylarda geodezik belgilarning balandliklarini vizual usulda aniqlashni iloji bo'lmaydi. Bunday xollarda rekognossirovkani instrumental yani asbob yordamida bajariladi. Kartada va joyda o'rni aniq bo'lgan punktdan ish boshlanadi. Boshlangich punkt bilan aniqlanayotgan punktlar orasidagi masofa va tomon azimuti kartadan aniqlanadi. Bu malumotlardan foydalanib teodalit yo'li, menzula yo'li yoki boshqa geodezik yasashlar yordamida aniqlanayotgan punkt o'rnatilgan joy topiladi. Ushbu joy va uning atrofi mufassal o'rganilib, geodezik punkt o'rnatish uchun eng baland joy olinadi.

Geodezik punktlar orasida to'g'ridan-to'g'ri ko'rinishi bo'lmaganda belgilar balandligini hisoblash uchun to'siqlar orasidagi masofa va nisbiy balandlikni bilish zarur bo'ladi.

Bu masalani 1:25000 + 1:10000 topografik kartalarda joy profilini chizish yo'li bilan oson yechish mumkin. Topografik kartalar bo'lmaganda bu masala instrumental usulda yechiladi: ochiq joylarda menzula va kipregel yordamida oddiy geometrik to'r barpo etiladi; balandlik teodolit yo'li o'tkaziladi; trigonometrik yoki barometrik nivelirlash bajariladi. U yoki bu usulni tanlash, ish bajariladigan xududning hususiyatlaridan kelib chiqadi. Barcha xollarda o'lchash aniqligi geodezik belgilar balandligini 2-3 metrdan katta bo'lmagan xatolik bilan aniqlashni ta'minlashi zarur.

Punkt o'rnatiladigan joy bilan to'siq orasidagi nisbiy balandlikni trigonometrik nivelirlash usuli bilan aniqlashda zenit masofalarini o'lchash kechki yoki ertalabki vaqtlarda amalga oshirish maqsadga muvofiq.

Astronomik azimutlari aniqlanadigan bazis tomonlardagi punktlar o'rnatiladigan joylar burchak o'lchash natijalariga va azimutlarni aniqlashga yon tomonlama refratsiya ta'siridan xoli yoki ta'siri kam bo'lishi kerak. Shu maqsadda punktlarni bog'lovchi yo'nalish tog' yon bag'ridan, katta daryolarning qirg'og'idan, ko'l va suv omborlarining yonidan o'tmasligi kerak.

Tarmoq punktlariga o'rnatilgan belgilar va markazlar uzoq muddat saqlanadigan, plpnl va balandlik jihatidan o'zgarmaydigan joyda bo'lishi zarur. Yer qatlamini muzlashi, yer osti suvini chuqurligi, grunt tipiga qarab, texnik loyiha asosda rekognossirovka har bir punktning markaz tipini va o'rnatilish chuqurligini belgilaydi.



Geodezik belgi quriladigan joy tanlangandan so'ng yerda turib markazdan ko'rinadigan 500÷1000 metr masofada ikkita orientirlash punkti uchun joy belgilanadi. Bunda orientirlash punktlarini uzoq vaqt saqlanishi ta'minlanishini inobatga olish kerak. O'rmon joylarda orientirlash punktlarigacha bo'lgan masofa 250 metrgacha olishga ruxsat etiladi. Ochiq joylarda 3 km masofada joylashgan geodezik tarmoq punkti orientir punkti qilib olinishi mumkin.

Geodezik tarmoqni qurishdagi barcha tayyorgarlik ishlarini olib borish rekognossirovkani vazifasiga kiradi.

Punktlar rekognossirovkasida baxtsiz xodisalarni oldini olish uchun texnika xavfsizligiga to'liq rioya qilish zarur, hammadan ham machtalar o'rnatishda, daraxtlarga chiqishda, tog'larda ishlashda, bir punktdan ikkinchi punktga o'tishda va x.k.

### 4.3. Geodezik belgilar balandligini hisoblash

Geodezik tarmoqlarning punktlarida geodezik belgilar shunday balandlikda qurilishi kerakki, ulardan har bir yo'nalishda burchak va masofa o'lchashda vizir nuri joydagi to'siqlar ustidan, belgilangan minimal balandlikda o'tishi lozim. Belgilar balandligini hisoblash V.N.Shishkinning eng oddiy formulasi bo'yicha bajariladi. Masala ikkita yaqinlashishda yechiladi. Oldin har bir juft yonma-yon joylashgan punktlar uchun belgilarning taqribiy balandliklari  $l'_1$  va  $l'_2$  aniqlanadi. So'ngra ular korrektirlanadi balandliklarinig yakuniy qiymati  $l_1$  va  $l_2$  topiladi.

Belgilarning taqribiy balandligi  $l'_1$  va  $l'_2$  (4.3-shakl) quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$l'_1 = h_1 + a + v; \quad l'_2 = h_2 + a + v_2 \quad (4.1)$$

bu yerda  $h_1$  va  $h_2$  - birinchi va ikkinchi belgilar asoslaridan (o'rmon daraxtlari balandligini hisobga olgan holda)  $S$  nuqtadagi to'siq uchining nisbiy balandligi;  $a$  - vizir nurini to'siq ustidan o'tish balandligini; amaldagi yo'riqnomada belgilangan chekli qiymati  $v_1$  va  $v_2$  - yer egriligi va refraksiya uchun tuzatma.

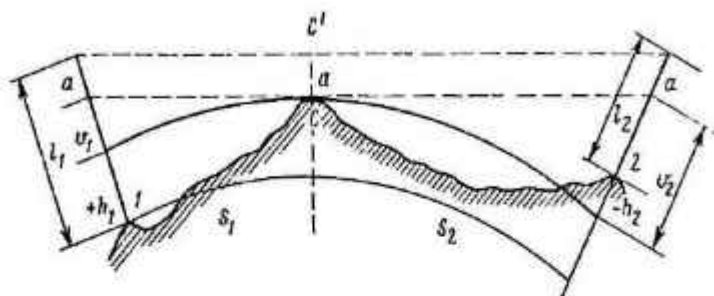
$h_1$  va  $h_2$  ishoralari quyidagi ayirmalar bo'yicha aniqlanadi:

$$h_1 = H_c - H_1; \quad h_2 = H_c - H_2 \quad (4.2)$$

bu yerda  $H_c$  -  $C$  nuqtadagi to'siq uchi balandligi;



$H_1$  va  $H_2$ -birinchi va ikkinchi belgilarni o'rnatish joyidagi yer yuzasining balandligi,  $h_1$  - yirik masshtabli karta bo'yicha yoki punktlarni rekognossirovka qilish jarayonida bajarilgan o'lchashlardan aniqlangan nisbiy balandliklar.



4.3-shakl. Belgilar balandligini aniqlash chizmasi

Yer egriligi va refraksiya uchun tuzatma qo'yidagi formuladan hisoblanadi

$$v = \frac{1-k}{2R} s^2, \quad (4.3)$$

bu yerda  $k$ -Yer refraksiyasi koeffitsienti;  $R$ - Yer radiusi;  $s$ -to'siqdan tegishli punktga bo'lgan masofa.

$k=0,13$  va  $R=6371$  km bo'lganda (4.3) formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$v = 0,068 s^2$$

bu yerda  $v$  metrda,  $s$  esa kilometrda ifodalanadi.

Agarda,  $h_1$  va  $h_2$  bir xil ishoraga ega bo'lsa,  $s_1$  va  $s_2$  masofalar turli bo'lsa, (4.1) formula bo'yicha hisoblangan belgilar balandligi  $l_1$  va  $l_2$  bir-biridan anchaga farq qiladi: bir belgi past, boshqasi o'ta baland bo'ladi. Baland belgilarni qurish iqtisodiy jihatdan maqul emas. Shuning uchun (4.1) formuladan hisoblangan belgilar balandligini shunday o'zgartirish kerakki, bunda belgilarning yakuniy balandliklari  $l_1$  va  $l_2$  kvadratlarning yig'indisi eng kichik bo'lsin,  $\sum l^2 = \min$ . Ushbu talabga rioya qilinganda olingan juft belgilarni qurish xarajatlari eng kichik bo'ladi, chunki teng sharoitda har bir belgini qurish narxi uni balandligiga proporsionaldir.

Tomon uchlarida joylashgan har bir juft belgilar balandligini tuzatish,  $\sum l^2 = \min$  shartga rioya qilgan holda va to'siq ustidan vizir nurini berilgan



Yo'nalishlar soni  $p$  ga teng punktda belgilar balandligining  $p$  ta qiymatlari olinadi, chunki har bir alohida tomon bo'yicha hisoblash ushbu punktdagi belgi balandligining turli qiymatlarini beradi.

Yakuniy balandlik sifatida to'siq ustidan vizir nurini minimal chekli balandlikda o'tishi uchun barcha yo'nalishlar bo'yicha ko'rinishni ta'minlovchi balandlik qabul qilinadi.

Rekognossirovka ishlari amaliyotida shunday holat bo'lishi mumkinki, unda punktlardan bittasida belgining balandligi, masalan, ikkinchi punktni balandligi  $l_2$  (qurilgan belgi) berilgan bo'lsin. Birinchi punktdagi belgining  $l$  balandligini hisoblash talab qilinsin. Buning uchun (4.1) formulalar bo'yicha belgilarning taqribiy  $l_1'$  va  $l_2'$  balandliklarini hisoblaymiz. O'xshash uchburchaklardan (4.4-shakl) yozamiz:

$$\frac{l_1 - l_1'}{l_2' - l_2} = \frac{s_1}{s_2} \quad (4.6)$$

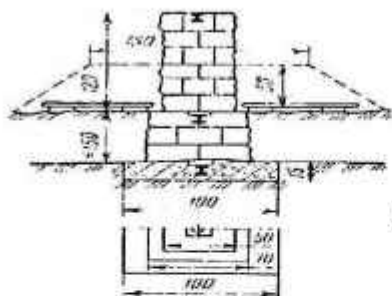
Bundan belgining izlanayotgan balandligini topamiz:

$$l_1 = l_1' + (l_2' - l_2) \frac{s_1}{s_2} \quad (4.7)$$

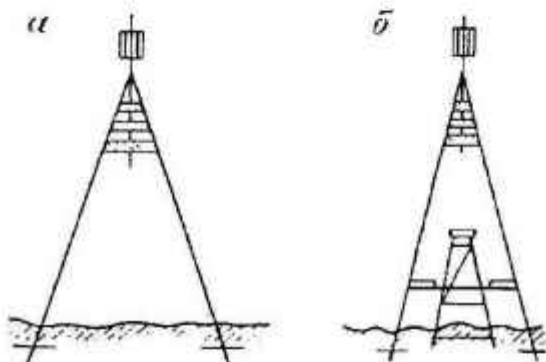
#### 4.4. Geodezik belgilar

Geodezik tarmoqlarni har bir punkti joyda gruntga o'rnatilgan markaz bilan mahkamlanadi, unda punktning koordinatalariga tegishli bo'lgan nuqtaning o'rni ko'rsatilgan metall marka bo'ladi. Punkt markazi ustiga talab etilgan balandlikda vizirlash silindri va o'lchash asbobini o'rnatish uchun mahsus stol o'rnatiladi, unda kuzatuvchi uchun ham turish joyi qurilgan bo'ladi.

Geodezik tarmoqlarda quyidagi turdagi belgilar qo'llaniladi: tur, piramida (oddiy va shtativli), oddiy signal va murakkab signal.



4.5-shakl. Geodezik punktdagi to'r  
(o'lchamlar sm da)



4.6-shakl. Oddiy piramida (a) va shtativli piramida (b)

Turlar 4.5-shakl tog'larning o'tkir cho'qqilarida, agar barcha yo'nalishlar yerdan turib ko'rinssa va 1,5 metrdan kam chuqurlikda joylashgan qoya gruntida qo'llaniladi.

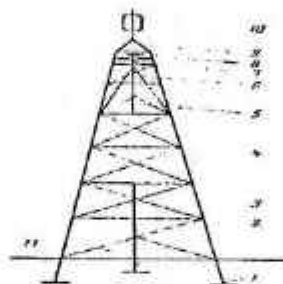
Tur ustiga vizir silindrli oddiy piramida quriladi. Agar piramidani qurish imkoni bo'lmasa, unda vizir silindr bevosita turga o'rnatiladi.

Oddiy piramidalar (4.6,a-shakl) barcha yo'nalishlar bo'yicha tur yoki shtativdan kuzatishning imkon bo'lganda quriladi. Agar qo'shni punktlarda kuzatishni ta'minlash uchun asboblarni yerdan 2-3 metrga ko'tarish talab etilsa, asboblarni o'rnatish uchun shtativli piramida quriladi (4.6.,b-shakl). Bunda shtativ piramidadan ajratib o'rnatiladi, kuzatuvchi uchun maydoncha esa piramida ustunlariga, shtativni undan ajratgan holda, o'rnatiladi. Piramidalar balandligi 5-8 metr bo'lib yog'och yoki metallardan quriladi.

Oddiy signal (4.7-shakl) bir-biridan ajratilgan ikkita piramidalardan: vizir silindriga ega tashqi 1 va kuzatuvchi uchun maydoncha va asbob o'rnatish stoliga ega ichki 2 piramidalardan tashkil topadi. Ichki piramida uchqirrali, tashqi piramida esa uchqirrali yoki to'rtqirrali shaklga ega bo'ladi.

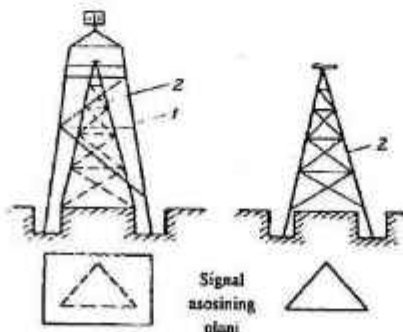
Murakkab signal (4.8-shakl) konstruksiyasi bo'yicha oddiydan shunisi bilan farq qiladiki, asbob o'rnatish uchun mahsus stolga ega, ichki piramida oyoqlari bilan yerga tayanmasdan balkim signal ustunning asosiga tayanadi (kuzatuvchi maydonchasidan 6 metr pastda).

Belgining oraliq ustunlari signalni qurish sifatini oshiradi. Murakkab signallar 11 dan 40 metrgacha balandlikda quriladi. Ular to'rtqirrali konstruksiyaga ega bo'lib, yerda yig'iladi (gorizontal holatda), so'ngra tugallagan shaklda vertikal o'rnatiladi.



4.8 – shakl. Murakkab signal:

1-signal ustunlarining asosi; 2-signalning asosiy ustunlari; 3-chor cho'p; 4-krestovina; 5-g'ula; 6-ichki piramida ustuni; 7-kuzatuchi uchun maydon; 8-stol; 9-tom; 10-vizir nishoni; 11-oraliq ustun.



4.7-shakl. Oddiy signal

**Geodezik signallarga bo'lgan asosiy talablar.** Geodezik signallar (oddiy va murakkab) yuqori aniqlikda o'lchashni va havfsiz ish yuritishni ta'minlashi lozim. Geodezik signallar chidamli, mustahkam va qattiq bo'lishi lozim.

**Signalning chidamliligi** deganda unga ta'sir etuvchi doimiy (signal detallarining massasi) va vaqtinchalik (shamol, signalda turgan asboblari va kuzatuvchining massasi va h.q.) yukka qarshilik qilish qobiliyati tushuniladi, ularning ta'siri ostida signallarning ayrim detallari va tugunlari (uzellari) deformatsiyaga uchrashishi mumkin. Agar signal buzilmasa va unda deformatsiyaning qoldig'i paydo bo'lmasa u chidamli hisoblanadi.

**Signalning mustahkamligi** deb, uni shamolning ta'sirida o'zining holatini saqlab qolishiga aytiladi. Signalning konstruksiyasi yomon bo'lsa, asosi tuproqqa yaxshi mahkamlangan bo'lmasa shamol uni ag'darib tashlashishi mumkin. Signalning mustahkamligi asosining zaruriy kengligi va asosiy ustunlar yakorlarining qo'yilish chuqurligi bilan ta'minlanadi. Tuproqni mavsumiy muzlash xududlarida signalning asosiy ustunlarini o'rnatish chuqurligi quydagicha (metrda):

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| Oddiy piramidalar                             | 1   |
| Oddiy signallar                               | 1,5 |
| Balandligi 25 m gacha murakkab signallar:     |     |
| asosiy ustunlar                               | 2   |
| oralik ustunlar                               | 1,5 |
| Balandligi 25 m dan ortiq murakkab signallar: |     |
| asosiy ustunlar                               | 2,5 |
| oralik ustunlar                               | 2   |

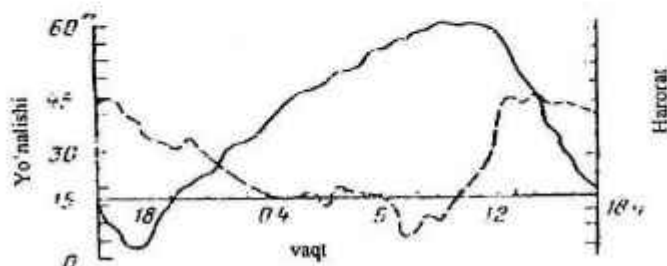
Asosiy ustunlarning pastki qismi yakorlar bilan ta'minlanadi va chuqurning tagiga o'rnatiluvchi, mustahkam ujitlarga o'rnatiladi; grunt bilan ko'miladi va yaxshilab shibbalanadi.

**Signalning qattiqligi** deganda, uni tashqi faktorlarning ta'sir qilishi tufayli yuzaga keluvchi deformatsiyalarga qarshilik qilishi va bu kuchlar ta'siri tugagandan so'ng o'zining dastlabki holatini tiklash qobiliyati tushuniladi. Shamol kuchi signalni nafaqat egilishiga va tebranishiga balkim yiqitishiga ham sabab bo'lishi mumkin.

Signalning qattiqligi uni burilish miqdori va tebranish chastotasi bilan harakterlanadi; burilish chiziqli siljishga va signalning yuqori qismini ozroq aylanishiga olib keladi; vibratsiya teodolitni ko'rish maydonida vizir nishonini tebranish amplitudasini kuchaytiradi. Gorizont tekisligida

stolning siljishi 1 sm dan oshmasa, hamda shamolning tezligi 5 m/s gacha bo'lganda burchak o'lchash imkoni bo'lsa signal qattiq hisoblanadi, geodezik signal konstruksiyasining chidamliligi, mustahkamligi va qattiqligini hisoblash qurilish mexanikasi va materiallar qarshiligi nazariyalari asosida bajarildi.

**Signalning burilishi.** Tashqi faktorlar ta'siri ostida (harorat, havoning namligi, shamol va x.q.) signalning yuqori qismi bir muncha deformatsiyalanadi.



4.9-shakl. Geodezik signalning burilish grafigi

Buning natijasida signalning stoli, unga o'rnatilgan teodolit bilan birgalikda azimut bo'yicha asta-sekin buraladi. Bu hodisaga signalning burilishi deyiladi. Signalni burilishi ishorasi va miqdori har bir sutka ichida o'zgaradi (4.9-shakl), shu bilan-birga bu hodisa aniq qonuniyat bilan ifodalanmaydi. Bajarilgan tadqiqotlarni, ko'rsatishicha noqulay sharoitlarda baland signal stolining azimutal burilishi kun davomida bir necha burchak minutiga yetishi mumkin. Masalan, 10 minut vaqt ichida - 10" ga burilish. Signalning burilishi burchak o'lchash aniqligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi, shuning uchun geodezik signallarni shunday qirish kerakki, ularni burilishi imkoni boricha kichik bo'lsin.

**Vizir nishonlar.** Burchak o'lchashni bajarish uchun geodezik belgining yuqori qismida vizir nishon o'rnatiladi, u quyidagi talablarni qanoatlantirishi lozim:

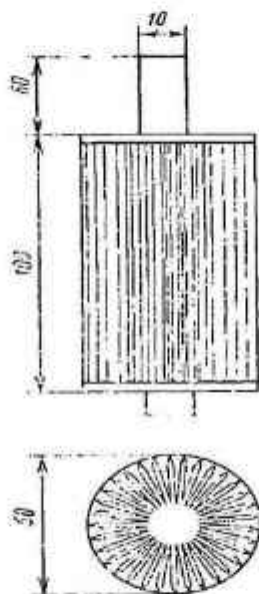
1. Vizir nishonning shakli, o'lchami va rangi shunday bo'lishi kerakki, uni ishonch bilan topish va geodezik tarmoqlarning tegishli klasslaridagi masofalarda teodolitning qarash trubasini o'nga aniq qaratish mumkin bo'lishi kerak.

2. Vizir nishon vertikal o'rnatilishi kerakki, uning geometrik o'qi punktni yerosti markazi orqali o'tishi kerak.



3. Vizir nishoni konstruksiyasi bo'yicha kichik fazali bo'lishi, uni yuzasi quyosh nurlari bilan yoritilganda burchak o'lchashda yuzaga keluvchi sistematik xatolar nolga yaqin bo'lishi kerak.

Ma'lumki, vizir nishon uzluksiz doiraviy silindrdan iborat bo'lsa, uning yorug' va soya tomonlarida tasvir tiniqlikning farqi yo'nalishlarda 1" va undan ortiq xatolikka olib keladi. Shu sababli kichik fazali radial o'rnatilgan plastinali silindrik ishlatiladi bu silindrning to'la yuzasida soya qorong'uligini teng taqsimlanishni ta'minlaydi (4.10-shakl).



4.10-shak. Shishkinning kichik fazali vizir silindri

Bunday silindrlarning o'lchami tarmoq tomonlari uzunlik-lariga bog'lik bo'ladi. 4.10-shaklda 1-klass triangulyatsiyasi punktlari uchun silindrning o'lchamlari keltirilgan. Bunday vizir silindrlar vizir nishonlar fazasi uchun xatolikni 0,2-0,4" gacha kamaytirish imkonini beradi.

#### 4.5. Geodezik punktlarning markazlari

Geodezik tarmoq har bir punktining o'rnini joyda kamida 1,5-2 m, ayrim xududlarda 6 metrdan kam bo'lmagan chuqurlikda gruntga o'rnatiladigan mahsus markazlar yordamida mahkamlanadi.

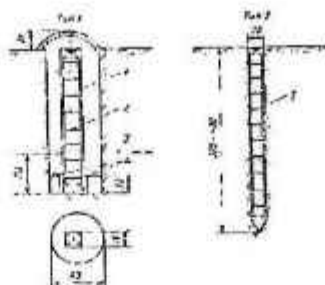
Markazning yuqori qismiga chugun marka sement qorshimasida o'rnatiladi yoki metall trubaga kovsharlanadi. Markani sferik yuzasida diametri 2 mm li teshikcha belgisi qo'yilgan bo'lib, uni markaziga punktning koordinatalari va unda bajarilgan o'lchash natijalari tegishli bo'ladi, shuning uchun joyda mustahkam o'rnatilishi lozim. Davlat geodezik tarmoqlarini klassidan qat'iy nazar markazning saqlanishi va uni uzoq vaqt davomida gruntida planli va balandlik o'rnini o'zgarimas bo'lishi geodezik punktlarning markazlariga qo'yiladigan muhim talab hisoblanadi.

Markazni uzoq vaqt saqlanishini ta'minlash uchun ular korroziyaga qarshi vositalar bilan qoplangan yuqori sifatli kurilish materiallaridan: temir beton pilon va svaylardan, asbosement va korroziyaga qarshi vositalar bilan qoplangan metall quvurlardan tayyorlanadi. Markazning asosi yaroqli qurilmalar bilan mahkamlanadi va gruntning muzlash chegarasidan pastda o'rnatiladi.

Gruntida o'rnatilgan markazning mustahkamligi ko'pgina omillarga bog'liq, jumladan gruntning tarkibi va hususiyatiga, muzlash va erish chuqurligiga, namligining o'zgarishiga, yer osti suvlari satxining o'zgarishiga va boshqalarga. Bularni ichida eng muhimi gruntning muzlashi va erishi hisoblanadi. Shuning uchun geodezik punktlar markazlarini mahkamlash va saqlash masalasiga juda katta e'tibor beriladi. Markazlar konstruksiyasi va ularni mamlakatning turli mintaqalarida o'rnatish texnologiyasining tavsifi "Davlat geodezik tarmoqlarining markazlari va reperlari" yo'riqnomasida keltirilgan.

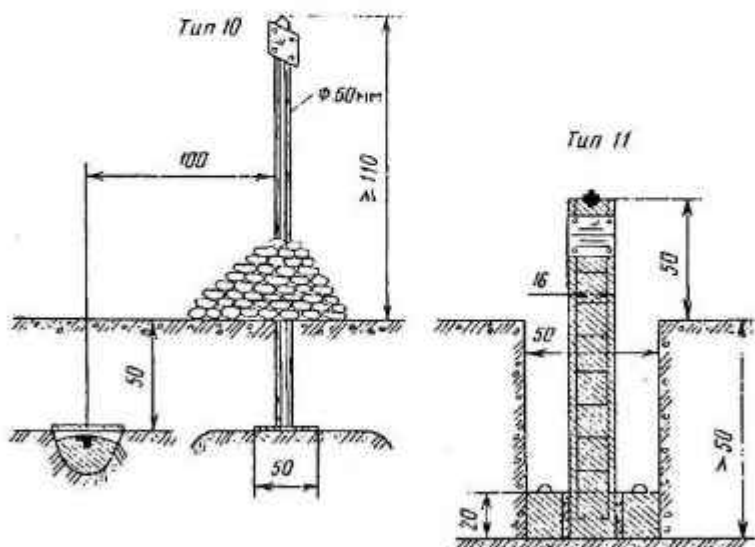
I tipdagi markazlar (4.11-shakl.) gruntlar mavsumiy muzlaydigan joylarda qo'llaniladi.

Markaz 16x16 sm diametrdagi temir beton (yoki beton bilan to'ldirilgan 14-16 sm diametrli asbosementli truba), burg'ilib o'rnatilganda diametri 50 sm va balandligi 20 sm li yoki kotlovanga o'rnatilganda 50x50x20 sm o'lchamdagi beton yakordan tashkil topadi.



4.11-shakl. Gruntlari mavsumiy muzlaydigan xududlar uchun geodezik punktlarning markazlari:

1-armatura  $D 10-12\text{mm}$ ; 2-armaturali halqa  $D 5-6\text{ mm}$ ; 3-gruntni muzlash chegarasi; 4-temir doska; 5-temir beton qoziq (svay).



4.12-shakl. Qoyalarda o'rnatiladigan markazlar

Markazning asosi gruntning muzlash chegarasidan kamida 0,5 m pastda va barcha holatlarda yer yuzasidan kamida 1,5 m pastda joylashishi lozim.

2 tipdagi markazlar gruntlarni mavsumiy muzlaydigan barcha hududlar uchun mo'ljallangan, markazlar 20x20 sm kesimli hamda uzunligi 3-4 m bo'lgan temir beton qoziqdan (svaydan) iborat (4.11-shakl).

10 tipdagi qoya markazlar (4.12- shakl) qoya jinslari 0,5 metrgacha chuqurlikda yotgan tog'li xududlarda qo'llaniladi. Markaz qoya gruntiga sementlangan markadan iborat bo'ladi. Chuqurligi 0,5 metrdan ortiq bo'lgan qoya jinslarda 11 tip markazlari qo'llaniladi (4.12-shakl).

Markazning yuqori qismi yer yuzasi satxida yoki undan pastda joylashsa va markaz ustida doimiy metall belgi bo'lmaganda markazdan 1-1,5 metr masofada cho'yan yoki siluminli saqlash plitasi markaz tomonga qaratilgan temir beton topish ustuniga o'rnatiladi. Plitada quyidagi yozuv bo'lishi lozim: "Geodezik punkt. Davlat tomonidan qo'riqlanadi". Agar markazning yuqori qismi yer yuzasidan 0,5-0,8 m chiqib tursa saqlash plitasi bevosita markazga mahkamianadi.

## **5-BOB. GEODEZIK TARMOQLAR ANIQLIGINI APRIOR (TAKRIBIY) BAHOLASH**

### **5.1 Umumiy ma'lumot**

Geodezik tarmoqlar aniqligini baholash nazariy va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega. Bu jarayon geodezik tarmoqlarni loyihalashtirishda ya'ni loyihani optimal variantini tanlashda, hamda barpo etib tenglashtirish paytida amalga oshiriladi.

Yakuniy bosqichda bajariladigan tenglashtirish hisoblari, joyda barpo etilgan tarmoq va uning elementlarini aniqligi to'g'risida eng ishonchli ma'lumotlar beradi. Bu ma'lumotlar geodezik tarmoqlardan to'g'ri foydalanib ilmiy va xalq xo'jaligi masalalarini geodezik usullar bilan yechishda punktlar koordinatalari balandliklari, tomonlar azimutlari va masofalarini talab etilgan aniqlikda juda zarurdir.

Geodezik tarmoklar aniqligini, ularning loyihalashtirish bosqichida baholash juda muhim ahamiyatga ega ekanligini aytib o'tish lozimdir. Aniqlikni baholash tufayli quyidagi texnik va iktisodiy ahamiyatga ega bo'lgan masalalarni yechish imkoniyati tug'iladi:

- turli ko'rinishdagi geodezik tarmoqlarda punktlar koordinatalarini, tomonlar azimutlarini va masofalarni uzatishda ta'sir etuvchi o'lchash xatoliklarining qonuniyatlarini o'rganish;

- punktlar koordinatalari, azimuti va tomonlar uzunliklarini uzatishda yuqori aniqlikni ta'minlovchi triangulyatsiya va trilateratsiya uchbur-chaklarning eng qulay shaklini aniqlashda;

- tarmokda Laplas azimuti va bazis tomonlarini joylashtirishning zaruriy sonini hisoblash;

- loyihalashtirilayotgan tarmoqda Laplas azimuti, tomonlar uzunliklari va gorizontal burchaklarni o'lchashni talab etilgan aniqligini hisoblash va ushbu ma'lumotlar asosida o'lchash usulini va asboblarni tanlash;

- Kompyuterda modellashtirish orqali aniqlikni baholash asosida, Yerning sun'iy yo'ldoshlarini kuzatish orqali aniqlanuvchi punktlar, azimutlar va unda joylashgan bazis tomonlarini turli o'lchashlar bilan tarmoqni barpo etishning eng ratsional variantini aniqlash;

- tarmoqni barpo etishda tanlangan chizma va o'lchash usullari orqali, eng yaqin joylashgan tarmoq elementining talab qilingan aniqlikda aniqlashga erishilganligini tekshirish.

Kompyuter paydo bo'lishigacha geodezik tarmoqlar aniqligini aprior baholash taqribiy ifodalar orqali bajarilgan, u o'z navbatida barcha

geometrik va tarmoqdagi o'lgangan miqdorlar orasida korrelatsion bog'lanishlarni hisobga olmagan, hamda tarmoq to'g'ri shakldagi geometrik shakllardan (teng tomonli uchburchaklardan, cho'zik poligonometrik yo'llardan va h.k.) tashkil topgan deb, faraz qilingan. Shunday kamchiliklarga ega bo'lishiga qaramay, davlat geodezik tarmoqlari aniqligini aprior baholash uchun oldin qo'llanilgan taqribiy formulalar geodezik tarmoqlarni loyihalash bilan bog'liq bo'lgan nazariy masalalarni yechishda juda muhim rol o'ynagan.

Triangulyatsiya qatorini barpo etish, uning aniqligini aprior baholash usullarini ishlab chiqishda olimlardan F.N.Krasovskiy, A.A.Jukov va boshqalar juda katta hissa qo'shganlar. Poligonometriya tarmoqlari aniqligini baholashda V.V.Danilov, A.S.Litvinov, A.Sh.Tatevyan kabi olimlar keng ko'lamda izlanishlar olib borishgan.

Uzluksiz triangulyatsiya tarmoqlari aniqligini baholashda K.L.Provorov, A.I.Durnev, trilateratsiya tarmoq aniqligini baholashda S.A.Butler, K.L.Provorov, S.G.Sudakov va boshqa olimlar juda katta ishlar qilishgan.

Hozirgi vaqtda, geodezik tarmoqlar aniqligini aprior baholashda, tarmoqning barcha tenglashtirilgan elementlari orasidagi geometrik va korrelatsion bog'lanishlarni hisobga olgan holda eng kichik kvadratlar usulida kompyuterlarda bajariladi.

Hoxlagan tenglashtirilgan elementning o'rta kvadratik xatosini  $m$  umumiy holda ikkita qo'shiluvchilar ko'rinishida yozish mumkin

$$m^2 = m_{bosh}^2 + m_F^2,$$

bu yerda  $m_{bosh}$  - boshlangich ma'lumotlar xatolarining ta'sirini ifodalovchi o'rta kvadratik xatolik;

$m_F$  - tenglashtirilgan miqdor  $F$  funksiyasining o'rta kvadratik xatosi, u ushbu ifoda yordamida topiladi

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} \quad (5.1)$$

bu yerda  $\mu$  - vazn birligining o'rta kvadratik xatosi;  $1/P_F$  -  $F$  funksiyasining teskari vazni.

(5.1) formula geodezik tarmoqlarni loyihalashda va yakuniy tenglashtirishda paydo bo'ladigan barcha geometrik shartlar bo'yicha hisoblashlarda qo'llaniladi. Farq faqat vazn birligining xatosini aniqlash usullarida bo'ladi. Har ikkala holatlarda ham teskari vazn  $\frac{1}{P_F}$  bir xil hisoblanadi va bir xil qiymatga ega bo'la oladi. Tarmoqni tenglashtirishda vazn birligining xatosi quyidagi formula bilan topiladi

$$M = \sqrt{\frac{\sum \rho v^2}{r}} \quad (5.2)$$

bu yerda  $v$ -tarmoqni tenglashtirishdan  $P$  vaznlari bilan bevosita o'lchangan miqdorlarga (yo'nalish, masofa, azimutlar va x.k.) topilgan tuzatma;  $r$ -tarmoqdagi ortiqcha o'lchashlar soni. Geodezik tarmoqlarni loyihalash bosqichida vazn birligining xatosi  $\mu$  oldindan beriladi uning miqdori xuddi shunday tarmoqlarni barpo etish tajribasidan malum deb faraz qilinadi.

Vazn birligining xatosi  $\mu$  berilganda loyihalanayotgan geodezik tarmoqni har qanday elementlarining aniqligini baholash masalasi bu elementlarning teskari vaznlarini  $\frac{1}{P_P}$  hisoblashga olib keladi. Tarmoq har qanday elementining teskari vaznini tenglashtirilgan miqdorlar funksiyasi  $F$  kabi hisoblash uchun quyidagilar zarur: o'lchanishi kerak bo'lgan barcha miqdorlar (yo'nalish, azimutlar, tomonlar uzunligi, bazis tomonlarni va x.k.) uchun tuzatmalar tenglamasini tuzish; kartadan bo'yicha aniqlanadigan punktlar taqribiy koordinatalari bo'yicha tuzatmalar tenglamalarining koeffitsientlarini hisoblash; o'lchanadigan har bir miqdor vaznini o'rnatish; o'lchanadigan miqdorlar vaznlarini hisobga olib, tuzatmalar tenglamalari koeffitsientlarining  $A$  matritsasini tuzish, so'ngra ma'lum qoidaga muvofik normal tenglamalar koeffitsientlarining  $N$  matritsasiga o'tish; teskari matritsani  $Q=N^{-1}$  topish, ya'ni vaznli koeffitsientlar matritsasini va undan foydalanib (5.20) yoki (5.21) formula orqali tarmoqni har bir baholanuvchi elementi teskari vazni  $\frac{1}{P_P}$  ni hisoblash, so'ngra baholanuvchi elementning o'rta kvadratik xatosini (5.1) bo'yicha hisoblash.

## 5.2. O'lchanuvchi miqdorlar vaznini aniqlash

Geodezik tarmoqni tenglashtirilgan elementlarining ishonchliligi va aniqligi har bir o'lchanadigan miqdorning xaqiqiy vaznini o'rnatilishiga ko'p jihatdan bog'liq bo'ladi. Umumiy holda har bir bevosita o'lchangan miqdorning vaznini quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$P = \frac{c}{\sigma^2}, \quad (5.3)$$

bu yerda  $c$ - ayrim darajagacha ixtiyoriy ravishda tarmoq uchun o'rnatiladigan doimiy o'lchamsiz miqdor ( $c=const$ );

$\sigma^2$  - o'lchanadigan miqdorning dispersiyasi.



Amalda dispersiya  $\sigma^2$  noma'lum bo'ladi masalan, o'lchash natijalarida sistematik xatolarning mavjudligi tufayli. Shuning uchun  $\sigma^2$  o'rniga o'lchash natijalarining emperik dispersiyasi  $m^2$  dan foydalaniladi.

Loyihalash bosqichida o'lchanadigan miqdorlarining o'rta kvadratik xatolar  $m$  oldin barpo etilgan geodezik tarmoqlardagi o'lchashlar tajribasidan foydalanib qabul qilinadi. Bunday holda loyihalanayotgan tarmoqda o'lchashga mo'ljallangan gorizontal yo'nalishlar  $N$ , azimutlar  $\alpha$ , masofalar  $S$  vaznlari quyidagi formulalar bo'yicha topiladi

$$P_N = \frac{l}{m_N^2}, \quad P_\alpha = \frac{c}{m_\alpha^2}, \quad P_S = \frac{c}{m_s^2} \quad (5.4)$$

Har bir berilgan geodezik tarmoq klassida punktlarida gorizontal yo'nalishlar teng aniqlikda o'lchanadi. Shuning uchun  $s=m^2$ , deb qabul qilish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu holda (5.4) formula quyidagi ko'rinishga keladi va ular asosan amaliyotda qo'llaniladi

$$P_N = 1, \quad P_\alpha = \frac{m_N^2}{m_\alpha^2}, \quad P_S = \frac{m_N^2}{m_s^2} \quad (5.5)$$

O'lchangan yo'nalishlar, azimutlar, tomonlar uzunligining o'rta kvadratik xatosilari turli usullar bilan topish mumkin va bir xil miqdor uchun xatolikning turli qiymati kelib chiqishi mumkin. Masalan, trangulayatsiyada o'lchangan burchak xatosini ( $m_1$ ) stansiyada o'lchangan burchaklarni tenglashtirishdan va uni uchburchak burchaklari bog'lanmasligini hisoblash orqali topish mumkin ( $m_2$ ).

2-klass triangulyatsiyada  $m_1$  va  $m_2$  larni o'rtacha qiymat mos ravishda  $\pm 0,3''$  va  $\pm 0,8''$  ga teng; bu yerdan vaznning bir-biridan farqi yetti martadan ko'p ikkita  $p_1=c/0,09$  va  $p_2=c/0,64$  qiymatlarini topamiz. Huddi shunday holat o'lchangan azimutlar, tomonlar uzunligi va boshqalar o'rta kvadratik xatolarini aniqlashda yuzaga keladi. (5.4) va (5.5) formulalarda burchaklar, azimutlar, masofalar o'lchashning haqiqiy aniqligini tavsiflovchi o'rta kvadratik xatolar qiymatlaridan foydalanish lozim. Bu xatolar o'lchashning tasodifiy va asosan sistematik xatolarini birgalikdagi ta'sirini inobatga olgan holda hisoblanishi lozim. Ammo o'lchash natijalariga sistematik xato ta'siri to'g'risidagi zaruriy ma'lumot yo'qligi sababli hamma vaqt ham buning iloji bo'lavermaydi. Shunday bo'lsa ham o'lchangan miqdorlarning vaznlari imkoni boricha yuqori aniqlik bilan aniqlanishi lozim, chunki geodezik tarmoqni tenglashtirilgan elementlarini ishonchlilikiga bunga bog'lik bo'ladi.

Ma'lumki, o'xshash qiymatlarni o'lchash natijalariga tasodifiy va sistematik xatolarning birgalikdagi ta'siri shartli tenglamalar ozod hadlarining qiymatlarida to'la namoyon bo'ladi. Shuning uchun o'lchashni

haqiqiy aniqligini tavsiflovchi o'rta kvadratik xatoni olish uchun shartli tenglamalarning bog'lanmasliklaridan (ozod hadlaridan) foydalanish lozim.

Triangulyatsiyada o'lchangan burchaklar o'rta kvadratik xatolarini uchburchaklarni bog'lanmasliklari bo'yicha Ferrero formulasidan hisoblanadi

$$m = \sqrt{\frac{\sum \omega^2}{3n}} \quad (5.6)$$

bu yerda  $n$ - uchburchaklardagi  $\omega$  bog'lanmasliklar soni;

O'lchangan yo'nalish o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng

$$m_N = \frac{m}{\sqrt{2}} \quad (5.7)$$

10% xatolik bilan  $m_s$  ni aniqlash uchun kamida 25-30 ta uchburchaklarning bog'lanmasligidan foydalanish lozim, xatolikni xatosi  $m_s$  ni aniqlash uchun quyidagi taqribiy formuladan foydalaniladi

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}} \quad (5.8)$$

bu yerda  $n$ -o'lchashlar ya'ni ushbu holda uchburchaklar bog'lanmasliklari soni.

Sveto va elektron dalnomerlarda o'lchangan masofa  $S$  o'rta kvadratik xatosi  $m$ , odatda quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$m_s = (a_0 + a_1 S) \quad (5.9)$$

bu yerda  $a_0$  va  $a_1$  - emperik koeffitsientlar. Ular asbobning pasportida ko'rsatiladi, etalon poligonida turli uzunlikdagi o'lchangan masofalarni qayta ishlashdan aniqlanadi. Ammo masofa o'lchashning amaldagi aniqligi (5.9) formula bo'yicha olinadigan miqdordan kattaroqdir.

Trilateratsiya va chiziqli-burchakli geodezik tarmoqda masofa o'lchashni o'rta kvadratik xatosining eng ishonchli qiymatini markaziy sistema va geodezik to'rtburchakda o'lchangan tomonlar uzunligi shartli tenglamalari ozod hadlari  $\omega$  bo'yicha hisoblash mumkin:

$$m_s = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{\omega_i^2}{\sum \lambda_i^2}} \quad (5.10)$$

bu yerda  $m_s$ -o'lchangan tomonlar o'rtacha uzunligi  $\bar{S} = (\sum S_i)/n$  ni o'rta kvadratik xatosi;  $k$  ozod hadlar  $\omega_i$  soni;  $(\sum \lambda_i^2)$  -  $i$  geodezik to'rtburchak yoki markaziy sistemadagi shartli tenglama koeffitsientlari kvadratlarning yig'indisi.  $m_s$  ni 10% li xatolik bilan olish uchun kamida 25-30 ta  $\omega_i$  bog'lanmaslik kerak bo'ladi.

Agar tomonni o'rta uzunligi uchun  $m_s$ -ma'lum bo'lsa, unda boshqa  $s$ , uzunlikdagi tomonlar uchun  $m_{s(i)}$  xatolikni quyidagi formula bo'yicha topish mumkin

$$m_{s(i)} = \frac{s_i}{s} m_s \quad (5.11)$$

(5.10) va (5.11) formulalar (5.9) ga qaraganda aniq natijalarni beradi, shuning uchun ularni o'lchangan tomonlar vaznini (5.4) yoki (5.5) formulalar bo'yicha hisoblashda qo'llash lozim.

Laplas punktlarida astronomik azimutlarni aniqlash o'rta kvadratik xatosi, priyomlardagi azimutlar qiymatini o'rta qiymatdan farqlari orqali hisoblanadi. Shu tarzda olingan qiymatlar xatosi  $m \leq 0.5''$  uning amaldagi qiymatidan anchagina farq qiladi.

Laplas punktlarida azimutal aniqlashlar o'rta kvadratik xatosi aniqroq qiymatini o'zaro teskari azimutlar farqlari  $d$  bo'yicha, ya'ni Laplas shartining ozod hadlari bo'yicha hisoblab olish mumkin [8]

$$m_a = \sqrt{\frac{Ed^2}{2n}} \quad (5.12)$$

bu yerda  $n-d$  farqlar soni; o'rtacha  $m_a = 1.0''$ , bu yetarli darajada boshqa baholashlar bilan, masalan, astronomo-geodezik tarmoqning katta bloklarini tenglashtirishdan olingan ( $m_a = 1.2''$ ) baholashlar bilan yaxshi muvofiqlashadi.

### 5.3. Geodezik tarmoqning teskari vazni va tenglashtirilgan elementlari o'rta kvadratik xatolarini hisoblash

#### Tenglashtirilgan elementlarning teskari vaznini hisoblash

Geodezik tarmoqni loyihalash bosqichida, ya'ni o'lchashlar hali bajarilmagan, lekin o'lchanadigan miqdorlarni vazni o'rnatilgan holda baholanadigan elementlarning teskari vaznini aniqlash masalasi quyidagi tarzda yechiladi. Geodezik tarmoqning loyihasi grafik usulda yirik masshtabdagi topografik kartaga tushiriladi, unda boshlang'ich va aniqlanadigan punktlar, hamda barcha o'lchanadigan miqdorlar: gorizantal yo'nalishlar  $N$ , tomon azimutlari  $\alpha$  va tomonlar uzunliklari (baza va oddiy)  $S$  ko'rsatiladi. Kartadan tarmoqni barcha (boshlang'ich va aniqlanadigan) punktlarining taqribiy koordinatalari  $X, Y$  aniqlanadi va taqribiy koordinatalari katalogi tuziladi.

Tarmoqni tenglashtirilgan elementlarining teskari vazni tekislikda geodezik tarmoqlarni parametrik usulda tenglashtirish algoritmidan foydalanib hisoblanadi. Buning uchun oldin barcha o'lchanadigan

miqdorlar uchun tegishli tuzatmalar tenglamalari tuziladi, ular quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

o'lchanadigan yo'nalishlar uchun

$$v_{ik(N)} = -\delta z_i - a_{ik}\xi_i - b_{ik}\eta_i + a_{ik}\xi_k + b_{ik}\eta_k + l_{ik(N)}; \quad (5.13)$$

o'lchanadigan azimutlar uchun

$$v_{ik(\alpha)} = -a_{ik}\xi_i - b_{ik}\eta_i + a_{ik}\xi_k + b_{ik}\eta_k + l_{ik(\alpha)}; \quad (5.14)$$

o'lchanadigan masofalar uchun

$$v_{ik(s)} = -c_{ik}\xi_i - d_{ik}\eta_i + c_{ik}\xi_k + d_{ik}\eta_k + l_{ik(s)}; \quad (5.15)$$

bu yerda  $i, k$ -punktlar raqami;  $\delta z_i$  -  $i$  punkttdagi orientirlash burchagiga tuzatma;  $\xi, \eta$  - aniqlanadigan punktlar absissa va ordinatalariga taqribiy tuzatma, dm;  $a, b, c, d$  - punktlarning taqribiy koordinatalari bo'yicha hisoblanadigan koeffitsientlar;  $l_{ik}$  - tuzatmalar tenglamalarining ozod hadlari.

Tenglashtirilgan elementlarning teskari vaznini aniqlash uchun tuzatma tenglamasining ozod hadlari talab etilmaydi.

$\delta z_i$  tuzatmalar oldidagi koeffitsientlar (-1) ga teng;  $a, b, c, d$  koeffitsientlar formulalar bo'yicha hisoblanadi, ular kompyuterda hisoblash uchun quyidagi ko'rinishga ega

$$a_{ik} = -\frac{\rho \sin \alpha_{ik}}{10s_{ik}} = -206265 \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2};$$

$$b_{ik} = +\frac{\rho \cos \alpha_{ik}}{10s_{ik}} = +206265 \frac{\Delta x_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \quad (5.16)$$

$$c_{ik} = \cos \alpha_{ik} = \frac{\Delta x_{ik}}{\sqrt{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2}};$$

$$d_{ik} = \sin \alpha_{ik} = \frac{\Delta y_{ik}}{\sqrt{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2}}. \quad (5.17)$$

bu yerda  $\Delta x_{ik} = x_k - x_i$  va  $\Delta y_{ik} = y_k - y_i$  koordinata ortirmalari va

tomon uzunliklari  $S_{ik}$  metrda ifodalanadi;  $\rho=206265''$

Hisoblash ishlarini kamaytirish maqsadida redutsirlangan deb ataluvchi normal tenglamalar tuziladi, ularda stansiyadagi orientirlash

burchaklariga  $\Delta z$ , tuzatma chiqarib tashlangan. Bu maqsadda har bir punktda (5.13) tenglama  $\Delta z$ , tuzatmasiz  $p=1$  deb qabul qilib yoziladi, so'ngra punktda  $p=-1/n$  vazn bilan bunday tenglamalar yig'indisiga teng bo'lgan yig'indi tenglamasi tuziladi, bu yerda  $n$ -punktdagi yo'nalishlar soni.

Burchaklar o'lchanadigan barcha punktlarda tuzilgan yo'nalishlar tuzatmalari tenglamalariga, yig'indi tenglamasi bilan birga, azimutlarni o'lchash uchun tuzatmalar tenglamalar (5.14) va masofalarni o'lchash uchun tuzatmalar tenglamalar (5.15) ham birlashtiriladi. Barcha bu tenglamalardan foydalanib tarmoq uchun umumiy tuzatma tenglamasini koeffitsientlari matritsasi  $A$  tuziladi. So'ngra bu tenglamalarga muvofiq tuzatmalar tenglamalarining vaznlar  $P$  diagonal matritsasi tuziladi va eng kichik kvadratlar usulining ma'lum qoidasiga binoan normal tenglamalar koeffitsientlarining  $N$  matritsasiga o'tiladi

$$N = A^T P A, \quad (5.18)$$

bu yerda  $A^T$ -transponirlangan matritsa. EHM da vazn koeffitsientlarining teskari matritsasi  $N^{-1} = Q$  topiladi

$$N^{-1} = Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1m} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{m1} & Q_{m2} & \dots & Q_{mm} \end{pmatrix} \quad (5.19)$$

bu yerda  $m$ - aniqlanadigan punktlarning ikkilangan soniga teng bo'lgan  $\xi, \eta$  koordinatalar tuzatmalarining soni.

Agar vazn koeffitsientlarining matritsasi  $Q$  aniqlangan bo'lsa, geodezik tarmoqni tenglashtirilgan hoxlagan elementlarining teskari vaznini hisoblash qiyin emas.

$i$  raqamli aniqlanadigan punktlarning absissasi  $x_i$  va  $y_i$  ordinatalarining teskari vaznlari koordinatalar  $\xi_i$  va  $\eta_i$  tegishli tuzatmalari  $Q$  matritsaning diagonal elementlariga teng bo'ladi, ya'ni

$$\frac{1}{p_{xi}} = Q_{ii} \text{ va } \frac{1}{p_{yi}} = Q_{i+1,i+1} \quad (5.20)$$

Geodezik tarmoqning yonma-yon hamda bir-biridan bir nechta uchburchaklarga uzoqda joylashgan  $i$  va  $k$  punktlarini birlashtiruvchi direksion burchak  $\alpha$  va tomon uzunligi  $S$  teskari matritsasi quyidagi formula bilan hisoblanadi

$$\frac{1}{p_f} = f^T Q_{i-k} f, \quad (5.21)$$

bu yerda  $f$ -vazn funksiyasi  $F$  ko'effitsientining vektor-ustuni;

$f^T$ - transportirlangan vektor qator;  $Q_{i-k}$  - berilgan  $i$  va  $k$  punktlar koordinatalari tuzatmalariga tegishli vazn matritsasi  $Q$  elementlari  $i$  va  $k$  punktlarini birlashtiruvchi tomon direksion burchagi va uzunligining vaznli funksiyalari  $F_u$  va  $F_r$  tuzatmalar tenglamalar (15.14) va (15.15) ko'rinishida ozod hadlarsiz yoziladi

$$F_u = -a_{ik}\xi_i - b_{ik}\eta_i + a_{ik}\xi_k + b_{ik}\eta_k; \quad (5.22)$$

$$F_r = -c_{ik}\xi_i - d_{ik}\eta_i + c_{ik}\xi_k + d_{ik}\eta_k. \quad (5.23)$$

bu yerda  $a, b, c, d$  ko'effitsientlar punktlarning taqribiy koordinatalaridan foydalangan holda (5.16) va (5.17) formulalar bo'yicha hisoblanadi.

Vaznli funksiyalar  $F_u$  va  $F_r$  uchun  $f = f_u$  va  $f = f_r$  vektorlar quyidagi ko'rinishiga ega bo'ladi

$$f_{u(i,k)} = \begin{pmatrix} -a_{ik} \\ -b_{ik} \\ a_{ik} \\ b_{ik} \end{pmatrix}; \quad f_{r(i,k)} = \begin{pmatrix} -c_{ik} \\ -d_{ik} \\ c_{ik} \\ d_{ik} \end{pmatrix}. \quad (5.24)$$

Matritsa  $Q_{i-k}$  tarmoq uchun umumiy  $Q$  vaznli ko'effitsientlar elementlaridan shakllanadi va tanlangan  $i$  va  $k$  punktlar uchun quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin [23]:

$$Q_{i-k} = \begin{pmatrix} Q_{x_i, x_k}, Q_{x_i, y_k}, Q_{x_i, x_i}, Q_{x_i, y_i} \\ Q_{y_i, x_k}, Q_{y_i, y_k}, Q_{y_i, x_i}, Q_{y_i, y_i} \\ Q_{x_k, x_i}, Q_{x_k, y_i}, Q_{x_k, x_k}, Q_{x_k, y_k} \\ Q_{y_k, x_i}, Q_{y_k, y_i}, Q_{y_k, x_k}, Q_{y_k, y_k} \end{pmatrix}, \quad (5.25)$$

bu yerda  $x_i, y_i, x_k, y_k$   $i$  va  $k$  punktlar koordinatalari, tarmoqni tenglashtirishdan ularga  $\xi_i, \eta_i, \xi_k, \eta_k$  tuzatmalar aniqlanadi.

Agar (5.22) yoki (5.23) ifodalarda punktlardan birinchi koordinatalari, masalan,  $i$  punkti boshlang'ich hisoblansa, unda  $\xi_i, \eta_i$  tuzatmalar topilmaydi va ular nolga teng deb qabul qilinadi ( $\xi_i = \eta_i = 0$ ). Bu holda (5.22)-(5.25) ifodalar ancha qisqaradi.

### Tenglashtirilgan elementlarning o'rta kvadratik xatosini hisoblash

Vazn birligi xatosi  $\mu$  berilgan qiymatidan foydalanib hamda tenglashtirilgan elementlarning teskari vaznini  $P_F$  hisoblab, (5.1) formula

bo'yicha baholanayotgan geodezik tarmoq elementlarini o'rta kvadratik xatolari qiymatlarini topamiz:

punktlar abssissalari va ordinatalari

$$m_{x_i} = \mu \sqrt{Q_{ii}}; \quad m_{y_i} = \mu \sqrt{Q_{i+1,i+1}}; \quad (5.26)$$

tomonlar direksion burchaklari va diogonalari

$$m_{\alpha(ik)} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{\alpha(ik)}}}; \quad (5.27)$$

tomonlar uzunligi va diogonalalar uchun

$$m_{s_{ik}} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{s_{ik}}}}. \quad (5.28)$$

Triangulyatsiya, trilateratsiya va chiziqli-burchakli tarmoqlar uchun vazn koeffitsientlari matritsasi  $Q$  kompyuterda hisoblash bilan tenglashtirilgan elementlarni aniqligini baholashga doir misollar [19] da berilgan.

#### 5.4. O'lchash natijalarini kompyuterda modellashtirish bilan geodezik tarmoq aniqligini aprior (taqribiy) baholash

Geodezik tarmoq aniqligini dastlabki (aprior) baholashni kompyuterda yechish tarmoqni yakuniy bosqichda parametrik usulda tenglashtirishda bajariladi, bunda faqat o'lchangan miqdorlar o'miga ularni kompyuterda modellashtirish yo'li bilan hisoblangan va tasodifiy xatolar ta'sirida o'zgargan qiymatlaridan foydalaniladi. Masala quyidagi tarzda yechiladi. Grafik usul bilan ishlab chiqilgan geodezik tarmoq loyihasi yirik masshtabdagi topografik kartaga tushiriladi va unda boshlang'ich va aniqlanadigan punktlar o'lchanishi lozim bo'lgan, bazis va boshqa tomonlar, Laplas azimutlari ko'rsatiladi. So'ngra barcha o'lchanadigan miqdorlar, shu jumladan gorizontalar yo'nalishlar yoki burchaklar, Laplas punktlaridagi azimutlar, hamda bazis yoki tarmoqning boshqa tomonlari qiymatlarini yozish uchun jadval ishlab chiqiladi. Bu miqdorlarning sonli qiymatlari quyidagi tarzda olinadi. Yirik masshtabli karta bo'yicha loyihalangan tarmoqni barcha punktlarining koordinatalari aniqlanadi va ulardan foydalanib, tarmoq tomonlari bo'yicha teskari geodezik masala yechilib, berilgan punktlarning koordinatalariga aniq to'g'ri keluvchi, tomonlar uzunligi  $S$  va direksion burchaklari  $\alpha$  topiladi. So'ngra, datchik yoki tasodifiy sonlar jadvalidan foydalanib, kompyuterda o'lchanadigan yo'nalishlarning loyihada berilgan vazn birligining xatoligi  $\mu$  ga olib keluvchi xatoliklari  $v$  hisoblanadi.



So'ngra  $v$  xatoliklar direksion burchaklarning hisoblangan qiymatlariga kiritiladi va shunday tarzda «o'Ichangan» yo'nalishlarning  $N=N'+v_n$  ma'lumoti (svodkasi) olinadi. Huddi shunday «o'Ichangan» azimutlar  $\alpha = \alpha^1 + v_2$  (direksion burchaklar) hamda «o'Ichangan» tomonlarning uzunligi  $S=S'+v_s$  qiymatlari topiladi. Barcha «o'Ichangan» miqdorlarga (5.5) formula bo'yicha hisoblanuvchi  $P$  vaznlar beriladi. Endi boshlang'ich punktlar koordinatalaridan foydalanib (ular kartadan aniqlangan) va yuqorida ko'rsatilgan usullar bilan olingan «o'Ichangan» yo'nalishlar  $N$ , azimutlar  $\alpha$  va tomonlar  $S$  uzunliklardan foydalanib (5.13)-(5.15) tuzatmalar tenglamalari tuziladi, lekin  $t_n$  ozod hadlarni albatta hisoblash orqali, so'ngra esa tarmoq parametrik usul bilan tenglashtiriladi. Hisoblashlar natijasida vazn birligining xatosi  $\mu$  topiladi (u o'Ichash natijalarini modellashtirishda qabul qilingan qiymatiga teng yoki unga yaqin bo'lishi lozim), vazn koeffitsientlarining matritsasi  $Q$  olinadi, tenglashtirilgan elementlarning teskari vazni  $\frac{1}{P_r}$  hamda ularning o'rta kvadratik xatolari  $m_r$  hisoblanadi.

Shuni ta'kidlash lozimki, o'Ichash xatolarini modellashtirish va tarmoqni tenglashtirish ko'p marotaba takrorlanadi (kamida 15-20 marta) va tenglashtirilgan elementlar xatolarining olingan qiymatlaridan o'rtachasi topiladi.

### 5.5. Taqribiy formulalar bilan triangulyatsiyaning aniqligini baholash

Turli usullar bilan barpo etiladigan geodezik tarmoqlarning elementlarini aniqligini taqribiy (aprior) baholash uchun shakli va aniqligi bo'yicha turli formulalar chiqarilgan. Bu formula-larning ko'pchiligi turli usullarda quriladigan sxematik geodezik tarmoqlarga tegishli hisoblanadi, masalan, teng tomonli uchburchaklarga, tomonlar uzunligi bir xil bo'lgan cho'ziq yo'llarga va x.o.

**1-klass triangulyatsiya qatorlari.** Bunday qatorlar har biri 200 kilometr ga bo'lgan zvenolardan tashkil topadi. Har bir zvenoning ikkala tomonida bazis tomonlar  $b_1, b_2$  va bu tomonlarning azimutlari  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  aniqlanadi (5.1-shakl). Quyidagi belgilashlarni kiritamiz va ulardan keyinchalik foydalanamiz:  $s_i$  - bog'lovchi tomonlar (yonma-yon uchburchaklar uchun umumiy);  $c_i$  - uchburchaklarning oraliq tomonlari;  $A_i, B_i$  - bog'lovchi tomonlar qarshisida yotuvchi, bog'lovchi burchaklar;  $C$  - oraliq burchaklar;  $L$  - zveno diagonalining uzunligi.

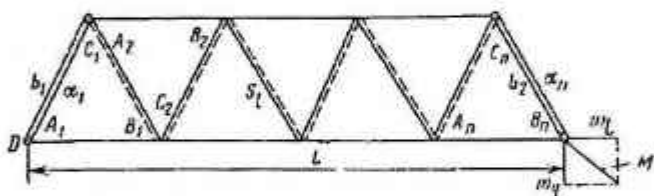
Aytaylik  $M$  – tenglashtirilgan zveno oxirgi punktini uni boshlang'ich punktga nisbatan planli holatini aniqlash o'rta kvadratik xatosi.  $M$  xatolikni ikkita tashkil etuvchining yig'indisi ko'rinishida faraz qilamiz:  $m_L$  – zveno yo'nalishida va  $m_q$  – zvenoga perpendikulyar. Bu holda

$$M = \sqrt{m_L^2 + m_q^2}. \quad (5.29)$$

$m_L$  xatolikni zvenoning bo'ylama siljishi,  $m_q$  xatoni esa zvenoning ko'ndalang siljishi deb nomlaymiz.

Aytaylik bazis va azimutlarga ega bo'lgan triangulyatsiya zvenosi teng tomonli uchburchaklardan tashkil topgan va yo'nalishlar bo'yicha shakl, bazis va azimut shartlari uchun tenglashtirilgan. Bunday zvenoda bog'lovchi tomonlar logarifmining o'rta kvadratik xatosi (logarifm belgisining oltinchi hadi birligida) quyidagicha bo'ladi

$$m_{\lg s(k)} = \sqrt{\frac{m_{\lg b}^2}{2} + 3,15m^2 \frac{(N-k)k}{N}} \quad (5.30)$$



5.1-shakl. Triangulyatsiya zvenosining bo'ylama va ko'ndalang siljishi

Nisbiy xatolikni quyidagi formula orqali topamiz

$$\frac{m_s}{s} = \frac{m_{\lg s}}{M \cdot 10^6} = \frac{1}{434300 / m_{\lg s}} \quad (5.31)$$

Yo'l chizig'i bo'yicha uzatiluvchi (5.1-shaklda punktir chiziqlar bilan ko'rsatilgan) bog'lovchi tomon azimutining o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng

$$m_{A(k)} = \sqrt{\frac{m_A^2}{2} + \frac{m^2}{25} \left[ (5k+12) - \frac{(5k+6)^2}{5N+22} \right]} \quad (5.32)$$

Bunday zvenoning bo'lama va ko'ndalang siljishi quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$m_L = \frac{L}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{m_b^2}{b^2} + \frac{2n^2 - 3n + 10}{9n} \frac{m^2}{\rho^2}}, \quad (5.33)$$

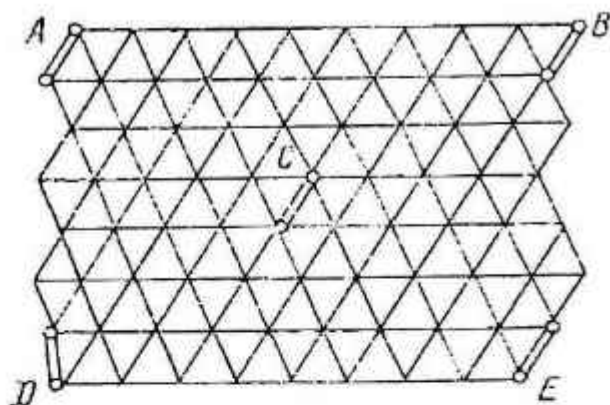
$$m_r = \frac{L}{\rho\sqrt{2}} \sqrt{m_A^2 + \frac{n^2 + 2n + 12}{15n} m^2}. \quad (5.34)$$

(5.30)-(5.34) formulalarda:  $N$  – zvenodagi uchburchaklar soni;  $k$  – baholanuvchi tomonga tegishli bo'lgan uchburchakning nomeri;  $n$  – zveno diagonalidagi oraliq tomonlar soni  $L = nS$ ;  $m, m_A, m_b/b$  – burchaklar, Laplas azimuti va bazis tomonlarni o'lchash o'rta kvadratik xatosi. Bazis tomon logarifimining xatosi  $m_{\lg}$  va bog'lovchi tomon xatosi  $m_{\mu}$  logarifm belgisining oltinchi hadida ifodalanadi.

Bu formulalar bo'yicha teng tomonli uchburchaklardan tashkil topgan (5.1-shakl) zveno elementlarining o'rta kvadratik xatolarini hisoblaymiz: bunda  $L = 176$  km,  $s = 22$  km,  $N = 16$ ,  $n = 8$ ,  $m = 0,7$ ,  $m_b/b = 1/400000$  yoki  $m_{\mu b} = 1,1$  lg belgisining 6 hadi;  $m_A = 1,1$ .

Zveno o'rtasidagi bog'lovchi tomon o'rta kvadratik xatosi  $m_{\mu}$ ,  $m_{\mu b} = 0,13$

|                                                                                  |          |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Nisbiy xatolik $m_1/s$ .....                                                     | 1/167000 |
| Zveno o'rtasidagi tomon azimutining o'rta kvadratik xatosi $m_{\mu k} \cdot 1,1$ |          |
| Zvenoning bo'yлама siljishi $m_t, m$ .....                                       | 0,62     |
| Zvenoning ko'ndalang siljishi $m_q, m$ .....                                     | 0,76     |
| Zvenoning umumiy siljishi $M, m$ .....                                           | 0,98     |



5.2-shakl. Bazis tomonlari va azimutlari o'lchanilgan teng tomonli uchburchaklardan tashkil topgan yaxlit 2 sinf triangulyatsiya sxemasi.

**Yaxlit triangulyatsiya tarmog'i.** 200x200 km o'lchamdagi 1-klass triangulyatsiya poligonlarini to'ldiruvchi yaxlit 2-klass triangulyatsiya tarmoqlarining aniqligini baholash masalalari professor A.I.Durnev, professor K.L.Provorov, geodezik ishlab chiqarishning yirik mutahassislar S.G.Sudakov, D.A.Larinlar va boshqalarning tadqiqotlarida yoritilgan.

Bulardan eng ko'p tarqalgani K.L.Provorov formulalaridir, keyinchalik biz ushbu formulalardan foydalanamiz.

Quyida keltirilgan (5.35)-(5.39) formulalar, burchaklar bo'yicha, shakl, gorizont, qutb, direksion burchak va bazis shartlari uchun, boshlang'ich azimut va bazislar xatolarini hisobga olmagan holda, ozoddek tenglashtirilgan, har biri 100-300 punktlardan tashkil topgan (5.2-shakl), yaxlit 2-klass triangulyatsiya tarmoqlari uchun olingan.

K.L.Provorov tadqiqotlari shuni ko'rsatishiga teng tomonli uchburchaklardan tashkil topgan yaxlit 2-klass triangulyatsiya tarmog'ining tenglashtirilgan elementlari orasida quyidagi oddiy munosabatlar mavjud

$$\frac{m_s}{s} = \frac{m_\alpha}{\rho}; \quad \frac{m_L}{L} = \frac{m_T}{\rho}, \quad (5.35)$$

bularga muvofiq, uchburchak tomonlarining nisbiy xatosi  $m_s/s$  shu tomonlar direksion burchaklari radian o'lchovida ifodalangan  $m_\alpha/\rho$  xatolariga teng.

Bu yonma-yon joylashmagan punktlarni birlashtiruvchi  $L$  diagonal xatolariga ham tegishlidir.

Xohlagan diagonal  $L$  oxirining boshiga nisbatan bo'ylama silijishi  $m_L$  ko'ndalang siljishiga teng va quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$m_L = m_q = \frac{m_T}{\rho} L, \quad (5.36)$$

bu yerda  $m_T$  —  $L$  diagonal yo'nalishining xatosi, u quyidagiga teng

$$m_T = m \sqrt{\frac{n^2 - 3n + 50}{45n} - \frac{n^2 - 5n + 80}{70N}}. \quad (5.37)$$

Bu yerda  $m$  — burchak o'lchash o'rta kvadratik xatosi,  $n$  — zanjirdagi diagonal  $L$  bosh va oxirgi nuqtalari orasidagi uchburchaklar soni;  $N$  — to'rdagi bazis tomonlar orasidagi uchburchaklarning o'rtacha soni;  $n = N = 24$  va  $m = 1.0$  bo'lganda  $m_L = m_q = 0.44$   $m$  bo'ladi.  $n \leq N$  bo'lganda (5.37) formula adolatlidir.

Ixtiyoriy shakldagi uchburchaklardan iborat bo'lgan (burchaklari  $30^\circ$  dan  $110^\circ$  gacha bo'lgan) undagi geometrik shartlar uchun burchaklar bo'yicha tenglashtirilgan yaxlit triangulyatsiya tarmog'ida:

tomon direksion burchagining o'rta kvadratik xatosi o'rtacha quyidagiga teng bo'ladi

$$m_\alpha = 0,16m\sqrt{N - 6,5 + 48t}; \quad (5.38)$$

tomonlar logarifmining o'rta kvadratik xatosi (6-chi hadi) quyidagiga teng bo'ladi

$$m_{lgs} = 0,35m\sqrt{N - 6,5 + 48t}, \quad (5.39)$$

bu yerda  $m$  — o'lchangan burchak o'rta kvadratik xatosi;  $N$  — tarmoqdagi bazis tomonlar orasidagi uchburchaklarning o'rtacha soni;  $t$  — parametr quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$t = \left(\frac{1}{2}\right)^{N/4} - \left(\frac{1}{2}\right)^{(N/4)+1} \quad (5.40)$$

yoki  $N$  argument bo'yicha topiladi (8-jadval).

(5.36)-(5.39) formulalar o'rta kvadratik xatolarning kichik qiymatini beradi, sababi azimutlarni o'lchash xatosi  $m_L$  va bazis tomon o'lchash xatosi  $m_{lgs}$  ta'siri inobatga olinmaydi. Ular ta'siri hisobga olinsa  $m_\alpha$  va  $m_{lgs}$  xatolarning nisbatan aniqroq qiymati quyidagiga teng bo'ladi

$$M_{\alpha} = \sqrt{\frac{m_A^2}{2} + m_{\alpha}^2}, \quad (5.41)$$

$$M_{\lg s} = \sqrt{\frac{m_{\lg s}^2}{2} + m_{\lg s}^2}, \quad (5.42)$$

bu yerda  $m_{\alpha}$  va  $m_{\lg s}$ , (5.38) va (5.39) formulalar bo'yicha hisoblanadi.

8-jadval

| $N$ | $t$   | $N$ | $t$   |
|-----|-------|-----|-------|
| 11  | 0,138 | 18  | 0,043 |
| 12  | 0,117 | 19  | 0,036 |
| 13  | 0,100 | 20  | 0,031 |
| 14  | 0,084 | 21  | 0,026 |
| 15  | 0,072 | 22  | 0,022 |
| 16  | 0,060 | 23  | 0,018 |
| 17  | 0,051 | 24  | 0,016 |

Aytaylik, yaxlit triangulyatsiya tarmog'ida bazis tomonlar ularning oxirlaridagi Laplas azimutlari bilan o'rtacha 24 uchburchakdan keyin joylashgan bo'lsin ( $N=24$ ), gorizont burchaklar va azimutlar  $m=m_A=1,0'$  bazis tomonlar  $m_s/b=1/300000$  yoki  $m_s/b=1,45$  o'rta kvadratik xatoli bilan o'lchanilgan bo'lsin.  $N=24$  bo'lganda parametr  $t=0,016$

Bo'ladi (8-jadvalga qarang). Bu ma'lumotlardan foydalanib, (5.41) va (5.42) formulalar bo'yicha olamiz:  $M_{\alpha}=1,0'$  va  $M_{\lg s}=2,1$  logarifm belgisining 6-hadi yoki  $m_s/s=1/200000$ , bu uchburchak tomonlarining uzunligi  $s=7 \div 20$  km bo'lganda  $m_s=4 \div 10$  sm xatolikka olib keladi, ya'ni o'rtacha taxminan 6 sm bo'ladi. Bunday aniqlikda tayanch geodezik to'rlarni barpo etish 1:2000 va undanda yirikroq masshtabdagi topografik s'emkallarni bajarish uchun yetarli bo'ladi (4 jadvalga qarang).

## 5.6 Azimut va bazis tomonlarni joylashish chastotasi. Uchburchaklarning eng qulay shakli

**Azimutlarni joylashtirish chastotasi.** Tayanch geodezik tarmoqlarni barpo etishda Laplas azimutlari eng muhim rol o'ynaydi: geodezik tarmoqlarning barcha qismlarida tomonlarni azimutal orientirlash mustahkamligini yuqori aniqlikda taminlaydi, azimutal shartlar bog'lanmasligi bo'yicha burchak o'lchash natijalarini nazorat qilish imkonini beradi, bunda o'lchashga sistematik xatolar ta'sirini

kamaytirishni ham ta'minlaydi; tarmoqni tenglashtirishda azimutal shartli tenglamasini triangulyatsiyada hosil etadi va uning aniqligini oshirishini ta'minlaydi. Uchburchaklar chekli soni  $n_{max}$  ularni oralab Laplas azimutlarini joylashtirish zarur bo'ladi, hisoblaymiz, bunda ular burchak o'lchashdalar nazorati funksiyasini bajarsin. Uchburchaklar zanjirining uchlarida  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  azimutlar o'lchangan bo'lsin. Uchburchaklarning oraliq burchaklari  $C$ , dan foydalanib, umumiy xol uchun yozamiz.

$$\alpha_2 = \alpha_1 - C_1 + C_2 - C_3 + \dots + C_n \pm (n-1)180^\circ.$$

O'rta kvadratik xatoliklarga o'tib, quyidagini olamiz

$$2m_\alpha^2 = nm^2$$

bu yerda  $m_\alpha$  va  $m$  – azimut va burchak o'lchash o'rta kvadratik xatoligi,  $n$  – oraliq burchaklar soni, azimutlar orasidagi uchburchaklar soniga teng. Xatolarning chekli qiymatlari berilgan bo'lsin:

$$m_{achek} = tm_\alpha \quad \text{va} \quad n_{chekli} = n_{max}.$$

Bunda burchak o'lchash o'rta kvadratik xatoligini berilgan qiymati  $m''$  va geodeziyada cheklarni hisoblashda qabul qilinganidek  $t=2.5$  desak, topamiz

$$n_{max} \leq 12,5 \frac{m_\alpha^2}{m^2}. \quad (5.43)$$

$m_\alpha = m$  da  $n_{max} = 12$  bo'ladi;  $m_\alpha = 1,0''$  va  $m = 0,7''$  da  $n_{max} = 25$  bo'ladi.

1-klass triangulyatsiyasi zvenosi 12 – 16 uchburchakdan tashkil topgan. 2-klass triangulyatsiya tarmoqlarida yo'riqnomaga asosan azimutlar har 25 ta uchburchakdan keyin aniqlanadi, bu esa (5.43) ifoda orqali bajarilgan hisobga to'g'ri keladi.

**Bazis tomonlarini joylashtirish chastotasi.** Triangulyatsiyada bazis tomonlar, Laplas azimutlari kabi eng muhim rol o'ynaydi. Ular yer sirtida geodezik tarmoqlarni barpo etishda yagona masshtabni ta'minlaydi; tomonlar uzunligini uzatishni nazorat qilishga imkon beradi va o'lchashda sistematik xatolar yig'ilishini kamaytiradi; geodezik tarmoqlarni tenglashtirishda bazis shartini keltirib chiqadi, bu esa o'z navbatida tarmoq aniqligini oshirish uchun xizmat qiladi.

Davlat geodezik tarmoqlarini barpo etishning mukammal sistemasini ta'minlash maqsadida bazis tomonlarning uchlarida Laplas azimutlarini aniqlash qabul qilingan. Shuning uchun triangulyatsiyada bazis tomonlarni joylashtirish chastotasi, Laplas azimutlari joylashtirish chastotasi kabi aniqlanadi.



**Uchburchakning eng qulay shakli.** Triangulyatsiya uchburchaklarining barcha tomonlari bir xil ahamiyatga ega, shuning uchun bog'lovchi  $s$  va oraliq  $c$  tomonlar uchburchakda, teng sharoitlarda bir xil yuqori aniqlikda aniqlanishi shart. Bu talabni quyidagi tenglik ko'rinishida yozish mumkin

$$\frac{m_s}{s} = \frac{m_c}{c} = \min$$

Bu talab bajarilsa triangulyatsiya qatoridagi uchburchaklar teng yonli ko'rinishiga keladi, ya'ni burchaklar  $C=A=52^{\circ}46'$  va  $B=74^{\circ}28'$

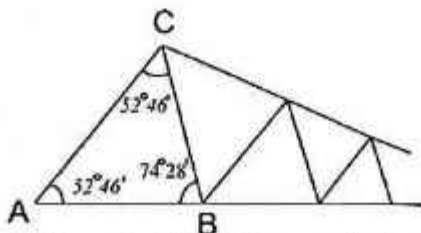
Binobarin, uchburchaklarning bu qulay shakli amaliyotda yaroqsizdir, ya'ni qator boshlang'ich bazis tomonlardan uzoqlashgan sari "buziladi" (5.3-shakl). Amaliyot nuqtai nazardan qaraganda uchburchakning eng qulay shakli teng tomonli uchburchaklardir, ammo joy relefi tufayli hamma vaqtda buni barpo ta'minlashni iloji yo'q. 1-klass triangulyatsiya qatorida uchburchaklar burchaklari  $40^{\circ}$  dan, 2-klass uzluksiz triangulyatsiya tarmog'ida  $30^{\circ}$  dan kichik bo'lmashligi kerak.

## 5.7 Trilateratsiya tarmog'i va qatorlari aniqligini taqribiy formulalar bilan baholash.

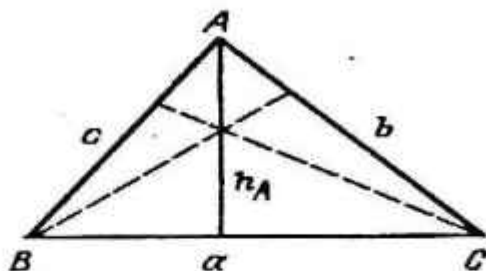
### Uchburchaklarning hisoblangan burchaklarining o'rta kvadratik xatolari

$a, b, c$  o'lchangan tomonlari qarshisida yotgan  $A, B, C$  burchaklar bo'lgan  $ABC$  uchburchagi berilgan bo'lsin (5.4-shakl). Kosinuslar teoremasidan foydalanib uning hojlagan burchagini hisoblab topishimiz mumkin, misol uchun  $a$  tomon qarshisida yotgan  $A$  burchak quyidagiga teng bo'ladi

$$\cos A = \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} \quad (5.44)$$



5.3-shakl. "Eng qulay" burchaklarga ega bo'lgan uchburchaklar zanjirining sxemasi



5.4-shakl. Tomonlari o'lchangan burchaklar.

(5.44) formulani barcha o'zgaruvchilar bo'yicha differensiallab, murakkab bo'lmagan o'zgartirishlardan so'ng quyidagilarni olamiz

$$dA = \frac{P}{h_A} (da - db \cos c - dc \cos B), \quad (5.45)$$

bunda  $h_A$ -uchburchakning  $A$  uchidan uni qarshisidagi  $a$  tomonga tushirilgan balandlik; u quyidagi formulalar biri bilan hisoblash mumkin

$$h_A = c \sin B = b \sin C = \frac{bc}{a} \sin A \quad (5.46)$$

(5.45) ifodadan, o'rta kvadratik xatolikka o'tsak unda quyidagini xosil qilamiz

$$m_A^2 = \frac{P^2}{h_A^2} (m_a^2 + m_b^2 \cos^2 c + m_c^2 \cos^2 B) \quad (5.47)$$

Bu formula uchburchakning g'uanligi yani burchaklarni kattaligiga bog'liq ravishda, hisoblab topilgan burchakning o'rta kvadratik xatosi va tomonlarni o'lchashdagi  $m_a$ ,  $m_b$ ,  $m_c$  xatoliklar orasidagi bog'lanishni o'rgatadi.

Uchburchakning  $B$  va  $C$  burchaklari uchun ham (5.45) va (5.47) formulasini keltirib chiqarganimizdek mulohazalar yuritib, bu burchaklarni o'rta kvadratik xatosini hisoblash formulalarini yozamiz

$$m_B = \frac{P^2}{h_B^2} (m_b^2 + m_a^2 \cos^2 c + m_c^2 \cos^2 A); \quad (5.48)$$

$$m_c^2 = \frac{p^2}{h_c^2} (m_c^2 + m_a^2 \cos^2 B + m_b^2 \cos^2 A).$$

Teng tomonli uchburchaklarda  $a=b=c=s$ ,

$$\cos A = \cos B = \cos C = 0,50; h_A = h_C = h_B = s \cdot \sin 60^\circ = s\sqrt{3}$$

bo'ladi, unda tomonlar teng aniqlikda o'lchangan desak ya'ni  $m_a=m_b=m_c=m_s$ , burchaklar  $A=B=C=\beta$  bo'lganligini inobatga olib, uchburchakning o'rgangan tomonlaridan foydalanib hisoblab topilgan burchakning o'rta kvadratik xatosini hisoblash formulalarni quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{m_p}{p} = \frac{m_s}{s} \sqrt{2} \quad (5.49)$$

Teng tomonli trilateratsiya uchburchaklarning  $\beta$  burchaklari talab etilgan aniqlikda hisoblab topishimiz uchun, uning tomonlarini o'lchash aniqligi quyidagidan past bo'lmashligi lozim

$$\frac{m_s}{s} = \frac{m_p}{p\sqrt{2}} = \frac{m_N}{p}, \quad (5.50)$$

bunda,

$$m_N = \frac{m_p}{\sqrt{2}}$$

Yo'nalishni o'rta kvadratik xatosi.

### Trilateratsiya zvenosida ko'ndalang va bo'ylama siljish

Aytmalik trilateratsiya zvenosi teng tomonli uchburchaklardan tashkil topgan va ularning uchlarida  $A_1$  va  $A_2$  azimutlari o'lchangan bo'lsin. Zvenoni azimutlar sharti uchun tenglashtirib, Butler formulasiga binoan topamiz:

zvenoning bo'ylama siljishi

$$m_L = \frac{m_s}{2} \sqrt{\frac{N^2 - 1}{N}},$$

zvenoning ko'ndalang siljishi

$$m_q = \sqrt{\frac{L^2}{2\rho^2} m_A^2 + \frac{N-1}{36} (N^2 + N + 48) m_s^2}$$

bu yerda  $L$  – zveno diagonalining uzunligi;

$N$  – zvenodagi uchburchaklar soni;

$m_A$ ,  $m_s$  – tomonlar azimuti va uzunligini o'lchashni o'rta kvadratik xatosi.

$L = 200 \text{ km}$ ,  $N = 16$ ,  $S = 25 \text{ km}$ ,  $m_A = 1,0''$  va  $m_s/S = 1/300000$  yoki  $m_s = 0,083$  bo'lsa, unda  $m_L = 0,17 \text{ m}$  va  $m_q = 1,18 \text{ m}$  bo'ladi. Shunda

$$M = \sqrt{m_L^2 + m_q^2} = 1,19 \text{ m}.$$

### Teng tomonli uchburchaklardan tashkil topgan yaxlit trilateratsiya tarmog'i.

Erkin tarmoq sifatida azimutlar va markaziy sistemalar uchun tenglashtirilgan o'lchami  $200 \times 200 \text{ km}$  bo'lgan, 2-klass yaxlit trilateratsiya tarmog'i bo'lsin. Azimutlar xatosini inobatga olmagan holda, tenglashtirilgan elementlar o'rta kvadratik xatosini hisoblash uchun K. L. Provorovni formulalaridan foydalanamiz.

*Qo'shni punktlar nisbiy xolatining o'rta kvadratik xatoliklari:*  
tomon oxirini bo'ylama siljishi

$$m_t = 0,83 m_s; \quad (5.53)$$

tomon oxirini ko'ndalang siljishi

$$m_r = 1,20 m_s; \quad (5.54)$$

tomon oxirini to'liq siljishi

$$U = \sqrt{m_t^2 + m_r^2}. \quad (5.55)$$

Agar  $s=7+20 \text{ km}$ ,  $m_s/s=1/300000$  bo'lsa, (5.53)-(5.55) formulalardan  $m_t=2+6 \text{ sm}$ ;  $m_r=3+8 \text{ sm}$ ;  $U=4+10 \text{ sm}$ .

Qo'shni bo'lmagan punktlar nisbiy xolatining o'rta kvadratik xatoliklari:

Diagonal oxirini bo'ylama siljishi

$$m_L = m_s \sqrt{\frac{(N+15)(K+11)}{10(N+25)}}; \quad (5.56)$$

Diagonal oxirini ko'ndalang siljishi

$$m_g = m_s \sqrt{\frac{(N+15)(5k^2+12k+8)}{30(N+25)}}; \quad (5.57)$$

Diagonal oxirini to'liq siljishi

$$M = m_s \sqrt{m_L^2 + m_g^2}.$$

bu yerda  $L$  – oraliq'ida  $k$  ta uchburchak joylashgan qo'shni bo'lmagan punktlarni birlashtiruvchi diagonalining uzunligi;  $N$  – Laplos azimutlari oraliq'idagi uchburchaklarning o'rtacha soni ( $k < N$ );  $m_s$  – tomonlarni o'lchash o'rta kvadratik xatosi. Yaxlit trilateratsiya tarmog'ida  $L=180 \text{ km}$ ,

$s=15$  km,  $N=k=24$ ,  $m_s/s=1/300000$  yoki  $m_s=0,05$  m bo'lganda  $m_t=0,08$  m,  $m_g=0,46$  m,  $M=0,47$  m bo'ladi. Bu hisobdan ko'rinadiki yaxlit trilateratsiya tarmoqlarida ko'ndalang siljish bo'ylama siljishdan olti marta katta ekan. Yaxlit triangulyatsiya tarmoqlarida bu siljishlar o'zaro teng.

## 5.8. Poligonometriya zvenosining aniqligini baholash

To'g'ri chiziqli va bir xil uzunlikdagi tomonlardan iborat I-klass poligonometriya zvenosi boshi va oxirida aniqlangan azimutlar bo'yicha azimut sharti uchun tenglashtirilgan deb faraz qilaylik. Prof V.V. Danilov formulasiga binoan bunday zvenoning bo'ylama va ko'ndalang siljishi uchun yozamiz

$$m_c = \sqrt{nm_s^2 + n^2 m_g^2}; \quad (5.58)$$

$$m_q = \frac{L}{p} \sqrt{\frac{m_A^2}{2} + \frac{n+3}{12} m^2}, \quad (5.59)$$

bu yerda  $m_c$  va  $m_q$  – masofa o'lchashdagi tasodifiy va sistematik xatolari;

$n$  – poligonometriya zvenosidagi tomonlar soni;

$m_A$  va  $m$  – azimut va gorizontal burchak o'lchash o'rta kvadratik xatolari.

Agar  $L=200$  km,  $n=10$ ,  $S=20$  km,  $m=0,7''$ ,  $m_A=0,1$ ,  $m_{s/2}=1/300000$  yoki  $m_s=0,067$  m,  $m_t=5 \cdot 10^{-6}$  m bo'lganda;  $m_2=0,79$  m  $m_q=0,98$  m. Bunda zvenoning to'la siljishi:  $M = \sqrt{m_c^2 + m_q^2} = 1,02$  m.

## 5.9. Geodezik tarmoqlarda gorizontal yo'nalishlar, azimutlar va tomonlar uzunliklarini o'lchash aniqliklarini muvofiqlashuvi

Geodezik tayanch tarmoqlarini barpo etishda burchaklar va masofalar, azimutlarni aniqlash va x.k. kompleks o'lchash ishlari bajariladi. Turli kattaliklarni o'lchash aniqliklari o'zaro muvofiqlashtirilmasa biron bir kattalik yuqori aniqlikda, ikkinchi biri aniq yoki texnik aniqlikda o'lchansa o'lchash natijalarini tenglashtirish aniqligini chegarasi past aniqlik bilan chegaralanib qoladi. Bunday holda yuqori aniqlikdagi o'lchash ishlarini bajarishga ketgan sarf xarajat o'zini oqlamaydi.

Amaliyot nuqt'ai nazaridan olib qaraganda geodezik tarmoqni har bir punktida o'lchash natijalarining xatolar ellipsi aylanaga yaqin va radiusini

kichik bo'lishi maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu geodezik tarmoqdagi har qanday tomonni, ixtiyoriy diagonalni bo'ylama va ko'ndalang siljishi modul jihatidan teng bo'lishi, ya'ni  $|m_l|=|m_q|$  va nolga intilishi kerak.

(5.35), (5.36), (5.50) formulalaridan ko'rinishicha birinchi shart  $|m_l|=|m_q|$  bajarilishi mumkin agarda gorizontal yo'nalishlarni o'lchashni o'rta kvadratik xatosi  $m_N = \frac{m_\beta}{\sqrt{2}}$ , radianda ifodalangan yo'nalishlar azimutlari  $m_A$ , hamda masofalarni o'lchash nisbiy xatosi  $m_s/s$  o'zaro teng bo'lsa:

$$\frac{m_N}{\rho} = \frac{m_A}{\rho} = \frac{m_s}{s}, \quad (5.60)$$

(5.60) tengliklarga asoslanib  $N$ -yo'nalish,  $\beta$ - burchak,  $A$ -azimut va  $S$ -tomon uzunliklarini muvofiqlashtirilgan o'rtacha kvadratik xatolarining jadvalini tuzamiz (9-jadval).

9-jadval

| $m_N = m_A$ | $m_s/s$   | $m_\beta = m_N\sqrt{2}$ |
|-------------|-----------|-------------------------|
| 0,2"        | 1/1000000 | 0,3"                    |
| 0,3         | 1/700000  | 0,4"                    |
| 0,5         | 1/400000  | 0,7"                    |
| 0,7         | 1/300000  | 1,0"                    |
| 1           | 1/200000  | 1,4"                    |

Barcha xatoliklar shartli tenglamalarning erkin hadlari bo'yicha hisoblanishi zarur.

#### 6-BOB. YUQORI ANIQLIKDAGI OPTIK TEODOLITLAR. TEODOLITLARNI TADQIQ QILISH

##### 6.1. Yuqori aniqlikdagi teodolitlar va ulardan foydalanish. Ularga qo'yiladigan talablar.

Burchak o'lchash geodezik asboblari vazifasi, o'lchash aniqligi va konstruksiyasiga qarab turli guruxlarga bo'lish mumkin.

Vazifasiga qarab burchak o'lchash geodezik asboblari teodolitlarga va astronomik teodolitlarga bo'linadi.

Teodolitlar geodezik tarmoqlar punktlarida gorizontal burchaklar va zenit masofalarni o'lchashda, astronomik teodolitlar esa Laplas punktlarida astronomik kuzatishlarni bajarib kenglik, uzoqlik va azimutlarni aniqlashda ishlatiladi. Aniqligi bo'yicha teodolitlar yuqori aniqlikdagi teodolitlar, aniq teodolitlar va texnik teodolitlarga bo'linadi. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarga burchakni laboratoriya sharoitida bir priyomda  $m \leq 1''$ , aniq teodolitlarga  $1 < m \leq 10''$  va texnik teodolitlarga  $m \geq 10''$  o'rta kvadratik xatolik bilan o'lchashni ta'minlaydigan teodolitlar kiradi. Konstruksiyasi bo'yicha hozirgi teodolitlarni sanoq olish moslamasiga qarab ikkita katta guruxlarga: optik sanoq olish moslamasiga ega teodolitlarga va elektron teodolitlarga bo'linadi. Amaldagi standart bo'yicha teodolitning har bir tipiga ularni o'lchash aniqligiga bog'liq holda maxsus shifr beriladi, bu shifr «T» xarfidan (teodolit) va laboratoriya sharoitida burchak o'lchashni o'rta kvadratik xatosi chegarasini belgilovchi raqamlardan tashkil topadi. Masalan, T1 bir sekund aniqlikdagi teodolit hisoblanadi.

Davlat geodezik tarmoqlarini qurishda burchak o'lchash ishlari turli fizik-geografik va iqlimiy sharoitlarda: issiq cho'l va qumlik hududlarda, tog' oldi va baland tog' hududlarda, xavo haroratini keskin tebranishlarda (+50 dan -20°S) bajariladi.

Har bir asbobni bunday sharoitlarda uzoq yillar davomida foydalanish, kam mehnat va vaqt sarflab yuqori aniqlikdagi o'lchash natijalariga erishish burchak o'lchash asboblari ishlab chiqishda maxsus talablarni hisobga olish va ularni ta'minlashni talab etadi.

Bu talablardan eng asosiylari quyidagilar:



-turli fizik-geografik va iqlimiy sharoitlarda bajarilgan o'lchashlardan yuqori aniqlikdagi va kam o'zgaruvchan natijalarni olish;

-qiyin ekspiditsiya sharoitlarida va uzoq vaqt davomida foydalanishda teodolit asbobini ishchi holatda bo'lishini ta'minlash;

-asbobni kichik hajmli va yengil bo'lishi bilan birga uni o'lchash jarayonida turg'unligini, qismlarini oddiy va ishonchli bo'lishini hamda ishlashda qulayligini ta'minlash.

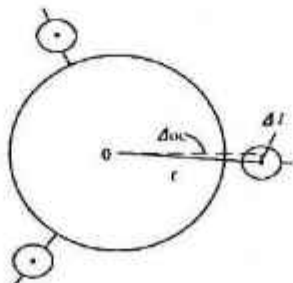
Asosiy geodezik ishlarni bajaruvchi mutahassislar teodolitlar tuzilishini mukammal bilishi, ularni tadqiq qila olishi, asbob doimiy qiymatlarni yuqori aniqlikda aniqlay olishi (adilak bo'lak qiymatini, mikrometr bo'lak qiymatini va h.k), punktda ishlash paytida teodolitni sozlashni bilishi va asbob xatolarini o'lchash natijalariga ta'sirini hisobga ola bilishi kerak. Yuqori aniqlikdagi teodolit murakkab sistema bo'lib, metall va optik qismlari ichki zo'riqish yoki kengayishi natijasida deformatsiyaga uchraydi. Deformatsiya esa burchak o'lchash natijalarida xatoliklarga olib keladi.

Oddiy misol, punktda ishlash jarayonida kuzatuvchini beparvoligi oqibatida ko'targich vintlardan biriga ma'lum vaqt davomida quyosh nurining tushib turishi ko'targich vintlarni  $\Delta l$  o'ta kichik chiziqli (0,5 mkm) siljishga olib keladi (6.1-shakl).

Teodolit o'qi bilan ko'targich vintlar orasidagi masofa  $r = 14$  sm bo'lganda bu siljish teodolitni limbi bilan birga quyidagi burchak qiymatga burilishiga sabab bo'ladi

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta l}{r} \rho'' \quad (6.1)$$

Yuqorida keltirilgan  $\Delta l = 0,5$  mkm;  $r = 14$  sm orqali topamiz  $\Delta\alpha = 0,7''$  shunda o'z navbatida o'lchangan yo'nalish qiymatiga shu miqdorda xatolik ta'sir etadi. Agar burchaklar yuqori aniqlikda o'lchansa xatosi 0,5" dan oshmasligi kerak, demak yuqoridagi 0,7" yo'l qo'yib bo'lmaydigan xatolikdir.



6.1-shakl. Ko'tarish vintining deformatsiyasi tufayli teodolit tagligining azimuthal siljishi

Bundan kelib chiqadiki kuzatishlar davomida katta extiyotkorlik bilan ishlash talab qilinadi. Geodezik tarmoqlarda punktlar orasidagi masofalar 15-20 km bo'lganda asbob xatolari  $m_{a,x}$  bilan tashqi muhit ta'siri  $m_{m,M}$  (yon refratsiya, signallarni buralishi va h.k) xatolarini o'zaro teng deb qabul qilish mumkin. Shuni hisobga olib I-klass triangulyatsiyasi uchun burchak o'lchashni o'rta kvadratik xatosini ( $m \leq 0,7''$ ) quyidagicha yozamiz

$$m_p = m_{a,x}^2 + m_{m,M}^2 \leq 0,7'' \quad (6.2)$$

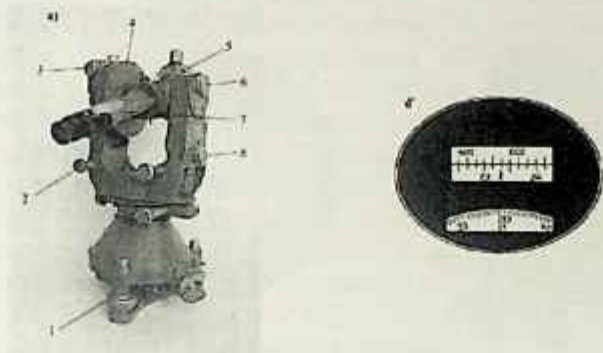
Asbob xatosi  $m_{a,x}$  teodolit kompleks xatolarini qo'shma ta'siridan kelib chiqadi. Teng ta'sir etish prinsipiga asosan aytish mumkinki har bir xato manbasining ta'siri 0,2-0,3" dan oshmasligi kerak.

Ushbu murakkab bo'lmagan hisoblash yuqori aniqlikdagi teodolitni tayyorlash, yig'ish va sozlash uchun qanday yuqori talablar qo'yilishini ko'rsatadi.

## 6.2. Yuqori aniqlikdagi teodolitlar haqida umumiy ma'lumotlar

Katta hajmdagi astronomik – geodezik tarmoqlarni qurish ishlarini ta'minlash maqsadida prof.F.N.Krasovskiy tomonidan ishlab chiqilgan texnik topshiriqqa asosan 1936 yilda yuqori aniqlikdagi TT-2/6 triangulyatsiya teodoliti ishlab chiqa boshlandi. U I klass triangulyatsiya tarmoqlarida burchaklarni o'lchashga mo'ljallangan edi.

TT-2/6 teodolit diametri 220 mm ga teng metallardan tayyorlangan gorizontallimb doirasiga ega; teodolitni vertikal o'qi konus shaklida bo'lib o'zgartirish imkoniyatiga ega; ko'rish trubasining fokus masofasi 520 mm ga teng, uning kattalashtirishi 30;52 va 65 $\times$ ; u bo'lak qiymati 1" ga teng okulyar mikrometri bilan ta'minlangan; tekshirish trubasining kattalashtirishi 30 $\times$ , okulyar mikrometrini bo'lak qiymati 1,4" va u teodolit tagligiga mahkamlangan, vazifasi signal stolchasining toblanishini aniqlash va hisobga olishdan iborat; teodolit 2 mm ga bo'lak qiymati 2,5" ga teng bo'lgan qarash trubasining gorizontall aylanish o'qiga o'rnatilgan silindrik adilakka ega; gorizontall doiradagi mikroskop-mikrometr barabanining eng kichik bo'lagi qiymati 2" ni tashkil qiladi; teodolit massasi 27,5 kg.



6.2-shakl. Teodolit OT-02M

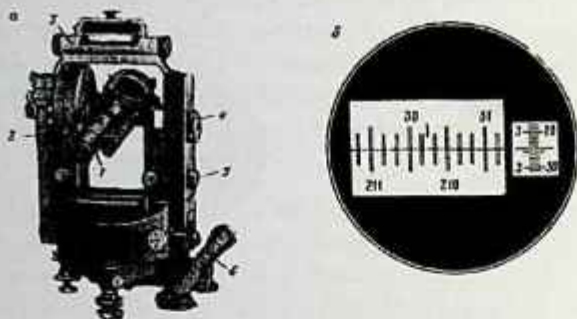
(a) 1-taglik, ko'tarish vintlari bilan; 2-teodolitning alidade qismi; 3-vertikal doira alidadasining adilaki; 4-vertikal doira; 5-ko'rish trubasi; 6-optik mikrometr burchagi; 7-sanoq olish qurilmasining mikroskopi; 8-vertikal va gorizontal dairalarni o'zgartiruvchi prizma; (b)-sanoq olish qurilmasi mikroskopining ko'rish maydoni.

Bu teodolit bilan astronomik-geodezik tarmoqlarda burchak-larni o'lchash ta'minlandi. U teodolit uchburchaklar tomonlari 20-30 km va undan ortiq bo'lganda gorizontal burchaklarni o'lchash o'rta kvadratik xatosi 0.5-0.7" dan kam bo'lmagan aniqlikni taminlaydi (uchburchaklar bog'lanmasliklari bo'yicha).

Taxminan shu yillarda AU-2/10 yuqori aniqlikdagi astronomik universal ishlab chiqildi, uning gorizontal va vertikal limblarining diametri mos ravishda 220 va 135 mm ni tashkil qiladi. Bu asboblardan bir necha o'n yillar davomida yuqori aniqlikdagi astronomik kenglik, uzoqlik va azimutlarni (Laplas punktlarida) aniqlashda xizmat qildi.

1940 yilda "Aerogeopribor" zavodi yuqori aniqlikdagi optik teodolit OT-02 birinchi partiyasini ishlab chiqdi. Bu asboblardan 2-4 klass geodezik tarmoqlarda burchak o'lchashga mo'ljallangan edi. 1965 yilda bu asbob birmuncha mukammallashtirilib OT-02M shifri bilan ishlab chiqildi (6.2.a-shakl).

1968 yilda TT-2/6 teodoliti o'miga yuqori aniqlikdagi T05 teodoliti ishlab chiqarish boshlandi, uning aniqligi 0,5" ni tashkil qiladi.



6.3-shakl. Teodolit T05 (a):

1-Ko'rish trubasi; 2-okulyarli mikroskop; 3-o'rnatiluvchi adilak; 4-vertikal doira; 5-vertikal va gorizontal doiralarni o'zgartiruvchi prizma; 6-okulyarli mikrometrga ega bo'lgan tekshiruvchi trubasi; (b)-sanoq olish qurilmasi mikroskopining ko'rish maydoni.

Teodolit T05 (6.3a-shakl), boshqa optik teodolitlarga o'xshash ishlash uchun qulay, TT-2/6 ga nisbatan kichik o'lcham va massaga ega, aniqligi bo'yicha esa undan aniqroq.

T05 teodoliti ikkita asosiy qismlardan: ostki va ustki qismlardan tashkil topgan bo'lishi zarurat bo'lganda (masalan, uzoq mudatga saqlashda, boshqa joyga olib borishda va h.k) ular ajratilib boshqa-boshqa qutilarga solinadi.

Teodolitni ostki qismiga quyidagilar kiradi:

Taglik ko'targich vintlari, hamda markazlash moslamasi bilan birga; gorizontal doira unda o'rnatilgan limb doirasi bilan birga; qarash trubasining gorizontal aylanish o'qini o'rnatish uchun lagerli kolonkalar; sanoq olish sistemasining kolonkalar ichida o'rnatilgan qismlari.

Teodolitni ustki qismiga quyidagilar kiradi: qarash trubasi uning gorizontal aylanish o'qi bilan; vertikal doira va unda o'rnatilgan silindrik adilak; sanoq olish mikroskopi; vertikal doira sanoq olish sistemasining qismlari.

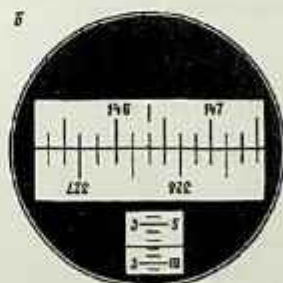
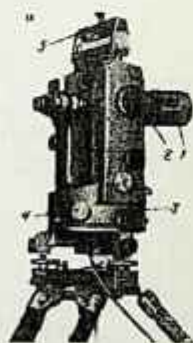
Horizontal doira alidadasida 2 mm ga bo'lak qiymati 6-7" ga teng silindrik adilak joylashgan; trubaning gorizontal aylanish o'qi sapfalarida esa 2 mm ga bo'lak qiymati 4-5" ga teng bo'lgan silindrik adilak o'rnatiladi.



Teodolitni vertikal o'qi silindrik, yarim kinematik tipda va o'z-o'zidan sozlanadi, (sharikli podshipnikda); uning ishchi qismi uzunligi 100 mm ga yaqin. Vertikal o'q bilan teodolit alidada doirasi quyma mahkamlangan. Trubaning gorizontaal o'qi silindr shaklida bo'lib, ichi bo'sh, uning sapfalari bronzali lagerlarga tayanadi. Qarash trubasi-markaziy to'g'ri astronomik bo'lib okulyar qismi bilan zenitdan o'tkaziladi. Trubani yassi paralel plastinkali okulyar mikrometrining bo'lak qiymati 1" ga teng. Sanoq olish sistemasi klassik variant asosida limbning diametral qarama-qarshi shtrixlari tasvirini tutashtirishga asoslab qurilgan. Gorizontaal va vertikal doiralardan sanoq olish optik ponali mikrometr yordamida amalga oshiriladi. Masalan, gorizontaal doira bo'yicha sanoq quyidagini tashkil qiladi (6.3.b-rasm).

Teodolitni geodezik belgi stolchasidagi nuqta ustida markazlash mexanik markazlash moslamasi bilan amalga oshiriladi. Asbob komplektiga shuningdek signal toblanishini hisobga olish uchun tekshirish trubasi ham kiradi (buyurtmachini talabiga asosan).

**Teodolit T1** (6.4.a-rasm) OT-02 va OT-02M teodolitlaridan qo'shimcha mo'ljalga aniq qaratish uchun okulyar mikrometriga; trubaning gorizontaal aylanish o'qiga o'rnatiladigan adilakka; asbobni nuqta ustiga markazlash uchun optik sentrirga ega.



6.4-shakl. Teodolit T1(a):

1-okulyarli mikrometriga ega bo'lgan ko'rish trubasi; 2-optik mikrometrburagichi; 3-ko'tarish vintlariga ega bo'lgan taglik; 4-gorizontaal doirani qayta o'rnatish uchun buragich qurilmasi; 5-o'rnatiluvchi adilak;

(b)-sanoq olish qurilmasi mikroskopining ko'rish maydoni.

Vertikal o'qi silindrik, yarim kinematik, o'z-o'zidan mosla-nadigan. Qarash trubasi to'g'ri markaziy astronomik, okulyar qismi bilan zenit orqali o'tkaziladi. Okulyar mikrometri kichik bo'lagining qiymati 1" ga teng, u teleskopik linza shaklida tayyorlangan. Gorizontal va vertikal doiralar bo'yicha sanoqlar T05 teodolitiga o'xshash optik ponali mikrometr yordamida amalga oshiriladi. Masalan, T1 teodoliti gorizontal doirasi bo'yicha sanoq (6.4.b-shakl) quyidagi tartibda olinadi:

Qiyoslab aytish mumkinki OT-02 va OT-02M teodolitlarida yanada murakkabroq yassi paralel plastinkali mikrometr qo'llanilgan. T05 teodolitidagidek. T1 teodoliti ham uchta silindrik adilaklarga ega.

Elektronika, mikroprressorli texnika va optik asbobsozlik sohasidagi keyingi yillarda erishilgan yutuqlar geodeziyada qo'llanadigan yuqori aniqlikdagi o'lchash texnikasini avtomatlashtirish imkonini berdi. Keyingi yillarda ishlab chiqarilayotgan yuqori aniqlikdagi teodolitlarda, an'anaviy optik teodolitlardagi limtdan sanoq olish optik mikrometr qurilmasi o'miga, sanoq olishni dinamik tizimi optik-elektron skanerlash qo'llanilganki u burchak o'lchash jarayonini avtomatlashtirish hamda asbob o'lchash aniqligini oshirish imkonini beradi.

Bunday elektron teodolitlarga misol qilib YeT-02, T2000S, Trimble 3600DR va boshqalarni ko'rsatish mumkin.

Quyidagi 10-jadvalda yuqori aniqlikdagi optikaviy va elektron teodolitlarni texnik tavsifi berilgan.

10-jadval

| Texnik tavsiflar                                                                    | Teodolitlar    |                |                  |                 |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|
|                                                                                     | optik          |                | elektron         |                 |                  |
|                                                                                     | T 05           | T 1            | YeT-02           | T200 0S         | Trimble 3600DR   |
| Laboratoriya sharoitida burchakni to'la priyomda o'lchashni o'rta kvadratik xatosi: |                |                |                  |                 |                  |
| Gorizontal                                                                          | 0,5"           | 1"             | 2"               | 0,5"            | 1"               |
| Vertikal                                                                            | -              | 1,5"           | 2"               | 0,5"            | 1"               |
| Qarash trubasi (bosh truba):                                                        |                |                |                  |                 |                  |
| Ob'ektiv diametri                                                                   | 64m            | 60m            | 30 <sup>x</sup>  | 52m             |                  |
| Kattalashtirishi                                                                    | m              | m              | 1,3 <sup>0</sup> | m               | 30 <sup>x</sup>  |
| Ko'rish maydoni burchagi                                                            | 36;5           | 30;4           |                  | 43 <sup>x</sup> | 1,3 <sup>0</sup> |
|                                                                                     | 0 <sup>x</sup> | 0 <sup>x</sup> |                  | 1 <sup>0</sup>  |                  |
|                                                                                     | 40'            | 1 <sup>0</sup> |                  |                 |                  |

|                                                   |                 |      |                       |      |      |
|---------------------------------------------------|-----------------|------|-----------------------|------|------|
| Mikrometr okulyar barabani                        |                 |      |                       |      |      |
| Bo'lak qiymati                                    | 1"              | 1"   | -                     | -    | -    |
| Vizirlash eng kichik masofasi, <i>m</i>           | 5               | 5    | -                     | -    | -    |
| Gorizontal doira:                                 |                 |      |                       |      |      |
| Limb kichik bo'lagining qiymati                   | 10'             | 10'  | -                     | -    | -    |
| Limb diametrining to'la xatosi                    | 1"              | 1,2" | -                     | -    | -    |
| Vertikal doira:                                   |                 |      |                       |      |      |
| Limb kichik bo'lagining qiymati                   | 10'             | 10'  | -                     | -    | -    |
| Limb diametrining to'la xatosi                    | 2"              | 2,5" | -                     | -    | -    |
| Sanoq olish qurilmasi:                            |                 |      |                       |      |      |
| Ko'rinishi                                        | Optik mikrometr |      | Optik-elektron skaner |      |      |
| Bo'lak qiymati                                    | 1"              | 1"   | 1"                    | -    | -    |
| Adilak eng kichik bo'lagi (2 <i>mm</i> ) qiymati: |                 |      |                       |      |      |
| Truba gorizontal o'qidagi                         | 4"              | 5"   | -                     | -    | -    |
| Gorizontal doira alidadasida                      | 7"              | 7"   | 30"                   | 20"  | 20"  |
| Vertikal doira alidadasida                        | 12"             | 12"  | komp                  | komp | komp |
| Teodolit massasi, <i>kg</i> qutisiz               | 19              | 11   | 5,2                   | 5,9  | 6,5  |



6.5-shakl. Elektiron teodolit T2000 S:

1-displayli boshqarish paneli; 2-gorizontal burchak va zenit masofalarni o'lchangan natijalarini ko'rsatuvchi tablo; 3-ko'rish trubasi; 4-gorizontal doira alidadasini mahkamlovchi va to'g'irllovchi vintlari; 5-taglik.



**Elektron teodolit T2000S.** Yuqori aniqlikdagi elektron teodolit T 2000S (6.5-rasm). «Vil'd Xerbrugg» (Shveysariya) firmasi tomonidan ishlab chiqilgan. Qarash trubasi yuqori sifatli to'g'ri tasvir hosil qiladi; ob'ektiv diametri 52 mm, trubaning kattalashtirishi  $43\times$  (standart), lekin 26,35 va  $59\times$  ga teng qilib o'rnatilishi mumkin. Burchaklarni o'lchash ikkita rejimga ega: oddiy burchaklarni yuqori aniqlikda o'lchash uchun va kuzatib boruvchi, harakatda bo'lgan nishonini kuzatish uchun. Teodolit havo harorati  $-20$  dan  $+50^{\circ}$  S gacha bo'lganda normal ishlaydi. Teodolit massasi, elektr batareyasiz 9,7 kg.

Vertikal doira nol belgisini boshlang'ich holatiga keltirish uchun kompensatorga ega. Doiralalar bo'yicha sanoq olish aniqligi kuzatuvchini hoxshiga qarab 1" dan 0,1" gacha o'zgartirilishi mumkin. Gorizontal doira bo'yicha sanoqlarga eksentrisitet tuzatmasi, kollimatsiya xatosiga tuzatma va truba gorizontal o'qini qiyaligi uchun tuzatma avtomatik ravishda kiritiladi.

Teodolit boshqarish displey paneli va unga ulanadigan registratorga ega. Tugmachalar orqali teodolitga ish rejimi va ma'lumotlarni qayd qilish topshiriqlari beriladi. Displey ekraniga o'lchangan gorizontal burchak va zenit masofa qiymatlari chiqariladi. Boshqarish panelidan foydalanib qayd qiluvchi xotirasiga nafaqat o'lchashlar natijalari, shu bilan birga, kuzatish vaqti, punkt nomeri, uning koordinatalari va balandligi, kuzatilayotgan punktlargacha masofalar kiritilishi mumkin. Qayd qiluvchi registrator nafaqat yozilgan ma'lumotlarni saqlaydi balkim berilgan dastur asosida o'lchashlar natijalarini matematik ishlab chiqadi. Qayd etuvchiga komp'yuter va boshqa elektron moslamalar ulanishi mumkin.

T 2000S teodoliti yuqori aniqlikda o'lchash ishlarini va ularni ishlab chiqishni ma'lum darajada avtomatizatsiyalashni ta'minlaydi va mehnat unumdorligini oshiradi; u ishlash uchun oddiy, ishonchli va o'lchashlarni yuqori aniqlikda ta'minlaydi, jumladan gorizontal burchaklarni  $0,5''$  o'rta kvadratik xato bilan o'lchash imkonini beradi (tashqi muhit xatolarini hisobga olmaganda).

**Elektron teodolit YeT-02.** Burchak o'lchashni o'rta kvadratik xatosi  $2''$  ga teng. Gorizontal va vertikal doiralalar limblarini qarama-qarshi tomonlaridan avtomatik sanoq olish sistemasiga ega; vertikal doira kompensator bilan bo'lishi mumkin. Teodolit ikkita interfeys portlarga ega bo'lib elektron dalmomer va kompyuter bilan ma'lumotlar almashtirishga mo'ljallangan. Qarash trubasi to'g'ri tasvir hosil qiladi, uni kattalashtirish  $30\times$  va ko'rish maydoni burchagi  $1,3^{\circ}$  ga teng. Limbdan sanoq 1" va  $5''$  aniqlikda yozilishi mumkin. Gorizontal doira adalagining bo'lak qiymati

30", vertikal doira kompensatorini ishlash chegarasi  $\pm 3'$  tashkil qiladi. Teodolit nuqta ustida optik shovun yordamida markazlashtiriladi, uni ko'rish maydoni  $5^0$  ga teng. Asbob massasi 5,2 kg. Xitoy Xalq Respublikasini SOUTH firmasi tomonidan ishlab chiqiladi.

**Elektron teodolit-taxeometr Trimble 3600DR.** Burchak o'lchashni o'rta kvadratik xatosi  $1''$  ga teng. Vertikal doira avtomatik kompensatorga ega, uni ishlash chegarasi  $\pm 5'$ . Gorizontal doirada doiraviy va elektron silindrik adilaklar o'rnatilgan. Qarash trubasining kattalashtirish  $30\times$  va uni ko'rish maydoni  $1,3^0$  ni tashkil qiladi. Qaytargich prizma yordamida chiziq o'lchash chegarasi 1,5 m dan 3000 m gacha bo'lib o'lchash aniqligi  $\pm 1$  mm + 1 mm/km ni tashkil qiladi. Rangli displey qo'shimcha yoritiladi. Alfavit-raqamli 19 ta klaviaturaga ega, ichki xotira 4 Mbdan ortiqroq. Zaryadlangan batareya bilan to'la ishlash vaqti 8,5 soat; teodolit massasi 6,5 kg.

### 6.3 Yuqori aniqlikdagi optik teodolitlarning geometrik chizmasi

Yuqori aniqlikdagi teodolit aniq teodolitga nisbatan birmuncha konstruktiv xususiyatlarga ega, bular geodezik tayanch tarmoqda gorizontal burchaklarni maksimal yuqori aniqlikda o'lchash bilan asoslanadi. Yuqori aniqlikdagi teodolit asbobi quyidagi asosiy qismlardan tashkil topadi (6.6- shakl):

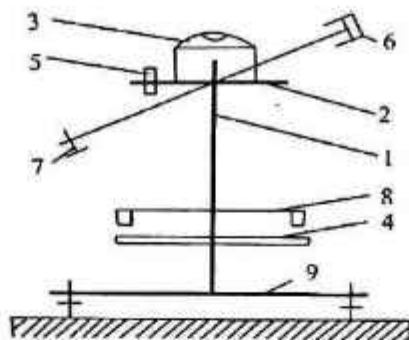
**o'qiy sistema** - bunga teodolitni vertikal o'qi 1, trubani aylanish o'qi 2, aniq adilak 3, taglik 9 kiradi;

**ishechi o'lchagichlar** - gorizontal doira limbi 4, vertikal doira limbi 5, yuqori aniqlikda ularga tushirilgan bo'laklari bilan;

**vizirlash qurilmasi** - qarash trubasi 6, uni okulyar mikrometri 7 bilan yoki u siz;

**sanoq olish qurilmasi** - optik mikrometr 8.

Teodolitni optik sxemasiga asosan trubani gorizontal aylanish o'qi va gorizontal doira limbi tekisligi teodolit vertikal o'qiga perpendikulyar bo'lishi kerak; trubaning vizir o'qi trubaning gorizontal aylanish o'qiga perpendikulyar bo'lishi kerak; trubaning vizir o'qi trubaning gorizontal aylanish o'qiga perpendikulyar bo'lishi kerak. Alidadani aylanish o'qi va gorizontal doirani aylanish o'qi limb bo'laklari gardishi markazi orqali o'tishi yoki u bilan ustma-ust tushishi kerak.



6.6-shakl. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarning geometrik sxemasi

Burchak o'lchash jarayonida teodolit geometrik chizmasini har qanday buzilishi so'zsiz tegishli xatoliklarga olib keladi.

Teodolitni asosiy qismlari o'zaro ma'lum bog'liqlikda bo'ladi; ularni tayyorlash aniqligi kelishtirilishi zarur.

Har qanday teodolitda, ayniqsa yuqori aniqlikdagi teodolitlarda, quyidagilar kelishtirilishi kerak:

O'qiy sistemalamni tayyorlash aniqligi, limbni bo'laklarga bo'lish aniqligi, qarash trubasini vizirlash aniqligi, sanoq olish qurilmasi bo'laklarini tayyorlash aniqligi va kompanovkasi va h.k. Quyida yuqori aniqlikdagi teodolitlarni asosiy konstruktiv hususiyatlari va ularga qo'yiladigan talablar ko'rib chiqiladi.

#### 6.4. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarni o'qiy sistemalari va adilaklari

**O'qiy sistemalar.** Teodolit vertikal o'qi asosiy o'q hisoblanadi, unga nisbatan boshqa hamma qismlari va uzellari geometrik chizmaga asosan joylashtiriladi. Yuqori aniqlikdagi T05, T1, OT-02M teodolitlar tiplarida keng ko'lamda yarim kinematik tipdagi silindrik o'qlar qo'llanadi.

OT-02 teodoliti vertikal o'qining (6.7-shakl) ichi bo'sh, teodolitni alidada (ustki) qismi bilan quyma mahkamlangan. U vtulkani yon sirti bilan ostki qismida o'q harakatini yo'naltiruvchi, faqat tor enli belbog'cha bo'ylab yondoshadi. Alidada uchun tayanch bo'lib o'q vtulkasini burchak ostida yo'nilgan sirtida o'rnatilgan po'lat sharik podshipnik xizmat qiladi. Alidada massasi va o'z massasi ta'sirida sharik

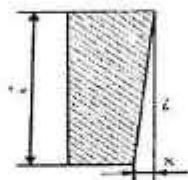
podshipnik qiya tekislik bo'yicha quyiga qarab sirg'anishga harakat qiladi va aladadani aylanishi paytida o'qni tebranishiga yo'l qo'ymay uni hamma tomonidan ushlab turadi.

Bunday o'qiy sastema o'z-o'zidan boshqariluvchi sistema deyiladi.

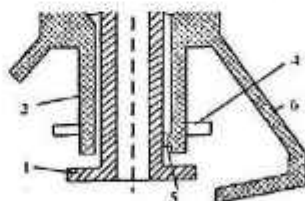
O'qni aylanishida turg'unligini ta'minlash uchun shariklar diametrlarining farqi 0.5 m km dan oshmasligi kerak.

Yuqori aniqlikdagi teodolitlar o'qlarini tayyorlash masuliyatli mexanik jarayon hisoblanadi. Odatda burchaklarni o'lchash vaqtida alidada o'qini tebranishi 1" dan oshmasligi talab etiladi, buni esa silindrik o'qni (6.10-shakl) konusligi uchun chekli qiymat deb hisoblash mumkin va u quyidagidan oshmasligi kerak

$$x = \frac{i}{\rho} \ell \quad (6.3)$$

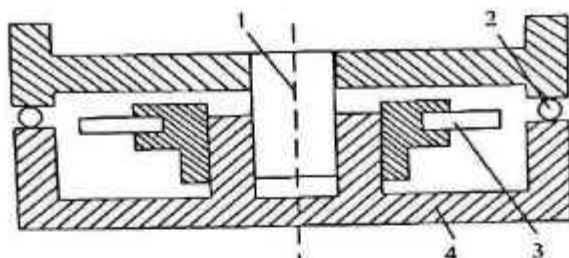


6.8-shakl. Teodolit silindrik o'qining konusligi



6.7-shakl. OT-02 tipidagi teodolitlardasharikli tayanchga ega bo'lgan yarim kinematik tipdagi silindrik o'q:

1-alidada o'qi; 2-alidada vtulkasi; 3-sharikli podshipnik; 4-limb; 5-yetaktovchi poyas; 6-taglik



6.9-rasm. DKM-3 teodoliti vertikal o'qini tarqoq sharikli ustunini bo'lingan vertikal o'qi:

*1-alidada o'qi; 2-sharikni ko'targich; 3-limb; 4-taglik.*

Agar  $i=1''$ ,  $l=100$  mm deb olinsa  $x=0.5$  km m bo'lishini topamiz. Demak yuqori aniqlikdagi teodolitlarda o'qlarni juda sinchiklab katta aniqlikda tayyorlash kerak bo'ladi.

#### **Yuqori aniqlikdagi teodolitlar adilaklari**

T05 va T1 yuqori aniqlikdagi teodolitlarni eng muhim konstruktiv xususiyatlaridan biri truba aylanish o'qi sapfalarida o'rnatilgan silindrik adilak hisoblanadi; bundan tashqari gorizontaal va vertikal doiralarda alidadasida adilaklar o'rnatilgan. Eng aniq adilak truba aylanish o'qiga o'rnatilgan adilak hisoblanadi, uning bo'lak qiymati 2 mm ga 3-5" ni tashkil qiladi. Gorizontaal doira alidadasidagi adilak bo'lak qiymati 6-7", vertikal doira alidadasidagi adilak esa 10-12" bo'lak qiymatiga ega. Truba aylanish o'qiga qo'yilgan adilak va gorizontaal doira alidadasida o'rnatilgan adilak teodolit vertikal o'qini vertikal holatga keltirish uchun xizmat qiladi.

Truba gorizontaal o'qiga qo'yilgan adilak truba aylanish o'qini gorizontaal holda ekanini uzluksiz nazorat qilib borishga va o'lchangan yo'nalishlarga teodolit vertikal o'qining qiyaligi uchun tuzatmalar aniqlashga imkon beradi.

Vertikal doira alidadasidagi adilak vertikal doira nol diametrini ( $0 - 180^0$  yoki  $90-270^0$ ) gorizontaal holatga keltirish uchun xizmat qiladi (teodolit tipiga qarab).

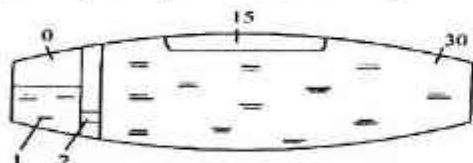
Silindrik adilakni asosiy qismi bo'lib shishadan yasalgan ampula xizmat qiladi, uning ichki sirti yuqori aniqlikda silliqiladi.

Ampulaning bo'ylama yo'nalishidagi ichki sirtining egrilik radiusi, adilak bo'lak qiymati  $r$  ga bog'liq va u quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin

$$r = \frac{\rho}{\tau} \Delta t, \quad (6.4)$$

bu yerda  $\Delta t$  - adilak ampulasining ikkita qo'shni bo'laklari orasidagi masofa. Agarda  $\tau = 4''; 7''; 12''$  va  $\Delta t = 2 \text{ mm}$  bo'lganda yuqoridagi formuladan tegishli qiymatlarni topamiz  $r \approx 103; 59$  va  $34 \text{ m}$ . Adilak pufakchasining uzunligi havo haroratini o'zgarishi bilan sezilarli o'zgaradi (taqriban  $0,4$  bo'lakka har  $1^\circ\text{C}$  da). Pufakchaning uzunligi qancha kalta bo'lsa uning sezgirligi shuncha kam bo'ladi, aksincha uzunligi qancha katta bo'lsa uning sezgirligi shuncha yuqori bo'ladi. Adilak pufakchasining sezgirligi  $0,1r$  deb qabul qilinadi.

Pufakchaning me'yoriy uzunligi (normal uzunligi) adilak ampulasidagi shkala bo'laklarini  $1/3$  hissasiga teng deb olinadi. Kamerali adilakda (6.10-shakl) pufakcha uzunligini o'zgartirish uchun ampulani qiyalatib, kerakli hajmdagi efir bug'ini ajratilgan kamera 1 dan undagi to'siq teshigi 2 orqali surish (o'tkazish) bilan amalga oshiriladi.



6.10-rasm. To'siqli kamerali adilakning ampulasi.

Dala sharoitida ishlashda teodolit va adilaklarni Quyosh nuridan astoydil asrash kerak, chunki ampulani bir tomonlama qizishi pufakchani issiqlik manbaasi tomonga qarab surilishiga sabab bo'ladi.

Adilak pufakchasi sezgir bo'lishi sababli ampula shkalasi bo'yicha sanoq olishda pufakcha tinchlangunicha biroz kutish kerak bo'ladi.

## 6.5 Yuqori aniqlikdagi optik teodolitning limbi

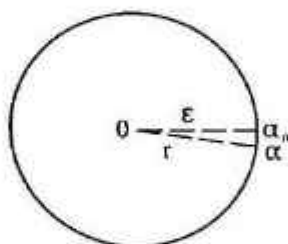
Optik teodolitning limbi shisha diskdan iborat bo'lib, uning sirtida ma'lum radiusli aylana bo'yicha odatda  $0$  dan  $360^\circ$  gacha qo'shni shtrixlar orasidagi interval  $5, 10, 20$  va h.k. bo'laklar shkalasi tushurilgan.

Shisha limb metal doiraga bir o'q bo'yicha mahkamlanadi va u teodolit aylanish o'qiga (gorizontal doira) yoki trubani aylanish o'qiga (vertikal doira) o'rnatiladi.

Limb ishchi o'lchov bo'lib, u bilan joyda berilgan yo'nalishlar orasidagi gorizontal va vertikal tekisliklardagi burchaklar solishtiriladi. Limbning sifatli tayyorlanishini tavsifi bo'lib uning bo'laklarga bo'linishi aniqligi hisoblanadi. Shtrixlarni tushirish xatosi qancha kichik bo'lsa, limbning sifati va aniqligi shuncha yuqori bo'ladi.

Yuqori aniqlikdagi geodezik tarmoqlarda gorizontal yo'nalishlarni 0,3-0,5" dan katta bo'lmagan o'rta kvadratik xato bilan o'lchash talab qilinadi. O'lchashlar aniqligiga turli omillar salbiy ta'sir etadi, shu jumladan tashqi muxit, asbob xatolari va h.k. Shu sababli yo'nalishlarni yuqori aniqlikda o'lchash uchun limb shtrixlarining tushirish xatosi yo'nalishlarni o'lchash xatosidan ikki, uch marotaba kichik bo'lishi va o'rta 0,15-0,17" dan har holda bu xatolikning real qiymat  $\varepsilon \approx 0,5''$  dan oshmasligi kerak.  $\varepsilon$  burchak qiymati limb  $a$  shtrixini uning aslida hisoblashi kerak bo'lgan o'rni  $a_0$  ga nisbatan chiziqli surilishi  $aa_0$  yoy qiymatini tashkil etsa (6.11-shakl), bunda u quyidagiga teng bo'ladi

$$a_0^{\cup} a = \varepsilon / \rho, \quad (6.5)$$



6.11-shakl. Limb shtrixi holatining xatosi

bu yerda  $r$  – limb bo'laklari gardishining radiusi. Agar  $r = 90 \text{ mm}$  (T 05 teodolitida) va  $\varepsilon = 0,5''$  bo'lsa formuladan topamiz  $a_0^{\cup} a = 0,2 \text{ mkm}$ . Bundan kelib chiqadiki, yuqori aniqlikdagi teodolitlarning limblarini bo'laklarga bo'lish o'ta aniqlikda bajarilishi kerak.

## 6.6. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarning qarash trubalari

Yuqori aniqlikdagi teodolit qarash trubasining muxim konstruktiv xususiyatlaridan biri kuzatiladigan nishonlarga vizirlash uchun xizmat qiluvchi okulyar mikrometrga ega ekanligidir. Astronomik teodolitlarda

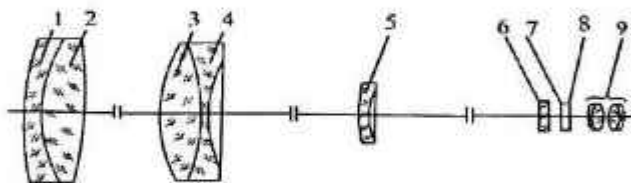


kuzatilgan ob'ektlarni teskari tasvirini hosil qiluvchi siniq (egik) qarash trubalari qo'llanadi.

Yuqori aniqlikdagi optik teodolitlarda esa ichki fokuslovchi astronomik qarash trubalari qo'llanadi (6.12- rasm). Bundan tashqari ayrim teodolitlarda oynali-linzali trubalar ham ishlatilgan.

*Qaratishning (vizirlashning) o'rta kvadratik xatosi.* Qarash trubasining vizirlash aniqligi uning hal qiluvchi kuchiga, kuzatuvchining hal qiluvchi ko'rish qobiliyatiga, mo'ljalni kontrastligiga, atmosferaning sofligiga, tasvimi tebranish amplitudasiga va boshqalarga bog'liq. Ko'zining hal qiluvchi ko'rish qobiliyati deb, shunday chekli kichik burchak  $\omega$  tushiniladikim, bu burchak ostida ikkita yaqin joylashgan nuqtalar deyarli qo'shilganday, lekin alohida-alohida ko'rinadi. Hisoblashlarda odatda

$\omega = 60''$  (ayrim kuzatuvchilarda bu qiymat 15 dan 120" gacha o'zgarishi mumkin) deb qabul qilinadi.



6.12-shakl. T05 teodoliti trubasining optik sxemasi:

1, 2, va 3, 4-objektiv komponentlari; 5-fokuslovchi linza; 6-okulyar mikrometrining yassi parallel plastinkasi; 7-iplar to'ri; 8-iplar to'rimi qoplovchi oyna; 9-okulyar.

Trubaning imkon kuchi  $\alpha$  trubaning kattalashtirishi  $G$  ga bog'liq va quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\alpha = \omega / r \quad (6.6)$$

Tadqiqotlarni ko'rsatishicha kuzatishni qulay sharoitlarida trubaning imkon kuchi vizirlashning chekli xatosiga muvofiq keladi, ya'ni

$$\alpha \approx 3m_{\text{ovs}} \quad (6.7)$$

buni hisoblab olib (6.6) dan yozamiz.

$$m_{\text{vtx}} \approx \alpha / 3 = \omega / 3G \quad (6.8)$$

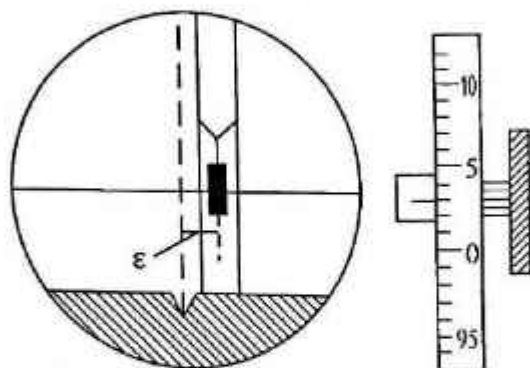
Bu formula bo'yicha turli teodolitlar uchun vizirlashni o'rta kvadratik xatosini aniqlash mumkin (11-jadval).

Amaliyotni ko'rsatishicha qarash trubasining kattalashtirishi  $60\times$  dan ortiq bo'lganda xohlangan samaraga erishib bo'lmaydi, chunki

kattalashtirish qancha yuqori bo'lsa mikro zarrachalarni kattalashtirishimiz natijasida atmosfera shuncha xira ko'rina boshlaydi. Punktlar orasidagi masofalar ancha uzoq va trubani kattalashtirishi katta bo'lsa atmosfera tiniqligi pasayadi, mo'ljalning ko'rinishi yomonlashadi va bu bilan bog'liq holda vizirlash aniqligi pasayadi.

11-jadval

| Texnik xarakteristika                                          | T05      | T1    | OT-02M |
|----------------------------------------------------------------|----------|-------|--------|
| Qarash trubasining kattalashtirishi, krat                      | 36;50;60 | 30;40 | 24;30  |
| Trubaning imkon kuchi $\alpha$ , sek.                          | 1        | 2     | 2      |
| Vizarlashning o'rta kvadratik xatosi $m_{\text{vz}}$ , sekund. | 0.3      | 0.7   | 0.7    |



6.13-shakl. Yuqori aniqlikdagi teodolit okulyar mikrometrining ko'rish maydoni

**Okulyar mikrometri.** Yuqori aniqlikdagi teodolitlar qarash trubasining vizirlash ehtimoliy xatolari ta'sirini kamaytirish maqsadida trubalar okulyar mikrometri bilan ta'minlanadi, uning asosiy qismi bo'lib mikrometrni sanoq olish shkalasi bilan bog'langan (6.13-shakl) iplar to'rining siljiydigan bissektori hisoblanadi. Bissektorning vertikal iplari orasining burchak qiymati 30-35" atrofida. Kuzatishda trubaning qo'zg'almas holatida bissektor kamida uch marotaba ketma-ket vizirlash nishoniga qaratiladi, shu yo'l bilan bissektor o'rtasini mikrometr nol punktiga nisbatan burchak qiymati  $\epsilon$  o'lchanadi (shaklda punktir chiziqli bilan ko'rsatilgan).  $\epsilon$  qiymatini burchak o'lchashida ifodalab okulyar mikrometrini ko'rsatuvi uchun limb bo'yicha sanoqqa tuzatma olinadi. Surilma bissektorli okulyar mikrometrini qo'llash vizirlash ehtimoliy xatosini 1,5-2 marotaba kamaytirish imkonini beradi.

*Tekshirish trubasi.* Yuqori aniqlikdagi teodolitlar bosh qarash trubasidan tashqari tekshiruvchi deb ataladigan trubaga ega, u okulyar mikrometri bilan ta'minlangan. Bu truba birinchi marotaba taniqli rus astronomi va geodezisti V.Ya.Struve tomonidan taklif etilgan edi. U teodolit tagligiga mahkamlanadi va geodezik signal stolchasi toblanishini (planda burilishini) aniqlash va uni hisobga olishga mo'ljallangan. Burchak o'lchashdan avval punktda tekshirish trubasini yaqin joylashgan (1-2 km masofada) kuzatish nishoniga qaratiladi va teodolit tagligiga mahkamlash moslamasi bilan qo'zg'almas qilib mahkamlab qo'yiladi.

Punktda kuzatishlarni bajarishda bosh va tekshirish trubalarini tegishli vizirlash nishonlariga qaratiladi va kuzatuvchini ko'rsatmasiga binoan bu trubalarning okulyar mikrometridan baravariga sanoqlar olinadi. Tekshirish trubasining sanoqlari farqi bo'yicha geodezik signal toblanish xatosiga o'lchangan yo'nalishlar va burchaklar uchun tuzatmalar hisoblanadi. Tekshirish trubasini qo'llash natijasida signallardan burchak o'lchash aniqligi sezilarli oshadi. Agar signalni toblanish burchagi kichik bo'lsa (4-5 daqiqa uchun 1"dan oshmasa) tekshirish trubasi ishlatilmaydi.

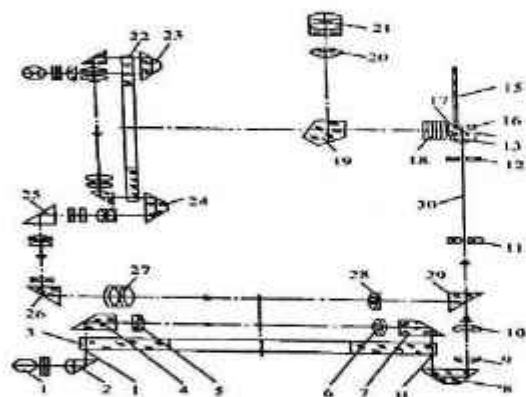
### **6.7. Optik teodolitning sanoq olish qurilmasi**

Optik teodolit sanoq olish qurilmasining geometrik chizmasi limb bo'laklari to'g'risidagi ma'lumotni uzatish prinsipiga bog'liq. OT-02 va Vil'd T-3 tipidagi teodolitlarda yorug'lik manbasidan kelayotgan nurlar linza va prizmalar sistemasi vositasida limb orqali o'tib uning amalgama bilan qoplangan ustki sirtidan qaytariladi. T05 va T1 tipidagi teodolitlarda yorug'lik nurlari limbdan qayatrilmay, uning bo'laklar tushirilgan qismini yoritadi. Umumiy tartibda quyida T05 teodoliti sanoq olish qurilmasining optik chizmasini (6.14-shakl) ko'rib chiqamiz. Yorug'lik oqimi yorug'lik manbasi 1 dan saqlash oynasi, kondensator va prizma 2 orqali o'tib shtrixlar I, limbning chap qismi 3 ni, yoritadi (shtrixlar limbning ostki sirtiga tushirilgan). Ikkita bir xil komponentlar 5 va 6 hamda prizmalar 4 va 7 dan tashkil topgan qaytarish sistemasi yordamida limb I (chap) qismi shtrixlarning tasviri limb II (o'ng) bo'lagini shtrixlari tekisligida hosil qilinadi, bunda limb chap qismi shtrixlarining tasviri II qism shtrixlariga nisbatan  $180^{\circ}$  ga burilgan bo'ladi. Chap shtrixlar (I) va o'ng shtrixlar (II) haqidagi ma'lumotlarni eltuvchi nur oqimi endi prizma 8 yordamida gorizontal doira sanoq olish mikroskopini 9 va 10 komponent-laridan iborat ob'ektivga yo'naltiriladi, u limbning diametral qarama-qarshi tomonlari tasvirini taqsimlovchi blok 13 dan yorug'lik dastasining chiqish tekisligida quradi.

Blok 13 limb qarama-qarshi qismlari tasvirini to'g'ri chiziq bo'ylab qo'shish va aniq hosil qilishga kerak (6.3-shakl).

Yorug'lik oqimi optik mikrometr 11-17 ga kirishda gorizontal va vertikal doiralar tasvirining prizma-o'tkazuvchisi 29 yonidan o'tadi.

Vertikal doira limbi 22 qarama-qarshi qismlarining tasviri prizma va linzalar sistemasi 23-28 yordamida prizma-o'tkazuvchi 29 ga uzatiladi va optik mikrometr 11-17 ga yuboriladi. Limbning qarama-qarshi bo'laklaridan kelayotgan yorug'lik nurlari pardacha 30 bilan o'zaro bo'lingan ikkita qo'zg'almas optik ponalar 11 orqali o'tadi, keyin ponalar 12 orqali, ajratuvchi blok 13, prizma 14 lar orqali o'tib kollektiv 18 ga tushadi, u sanoq olish mikroskopining birinchi optik detali hisoblanadi. Prizma 14 ni kirish qirrasida eksstentisitetni aniqlash uchun indeksli oyna mavjud; bu oyna limb qarama-qarshi bo'laklari tasvirini ko'rish maydoni diafragmasi bo'lib xizmat qiladi.



6.14-shakl. T05 teodoliti sanoq olish sistemasining optik sxemasi

Mikrometrning sekundlar shkalasi 15 surilma ponalar 12 bilan quyma mahkamlangan. Sekundlar shkalasi bo'yicha sanoq indeksining prizmasi 17 kirish qirrasiga tushirilgan, bu qirra sekund shkalasining tasvirini ko'rish maydoni diafragmasi bo'ladi.

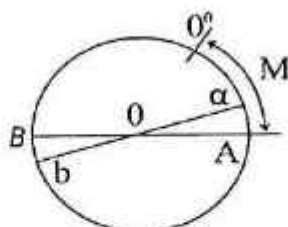
Sanoq mikroskopi kollektiv 18, penta prizma 19, ob'ektiv 20 va okulyar 21 dan iborat bo'lib limb diametral qarama-qarshi bo'laklari tasvirini, hamda sekundlar shkalasining tasvirini uzatadi (6.3-shakl).

T1 teodoliti sanoq sistemasining optik chizmasi T05 teodoliti chizmasidan asosiy qismi bo'yicha farq qilmaydi.

## 6.8. Birlashtirib sanoq olish prinsipi. Optik mikrometrilar

**Birlashtirib sanoq olishning mexiyati.** Ekssentrisitet ta'sirini yo'qatish uchun sanoqlar limbning diametral qarama-qarshi shtirixlari bo'yicha olinadi va ulardan o'rtacha natija chiqariladi.

$A$  va  $V$  limbning qarama-qarshi qismlarida o'rnatilgan ikkita sanoq olish qurilmalarining indeksleri bo'lsin  $a$  va  $v$  esa kichik shtirixlari, ya'ni  $A$  va  $V$  indekslariga eng yaqin limb shtirixlari (6.15-shakl) bo'lsin.



6.15-shakl. Ikkita sanoq olish qurilmasi yordamida limb bo'yichi sanoq olish sxemasi

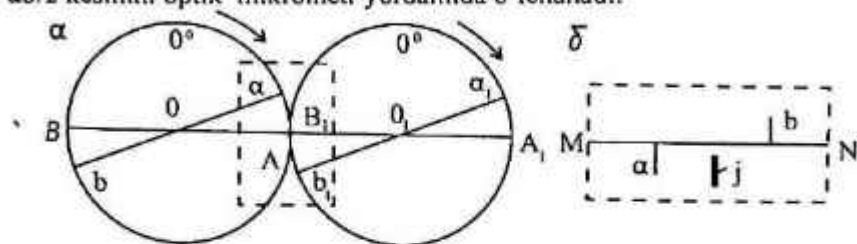
Limbdan uning qarama-qarshi qisimlaridagi ikkita sanoq qurilmalari bo'yicha sanoq olish uchun  $a$  va  $v$  yoylari kesimlarini o'lchash kerak bo'ladi. Shunda yakuniy sanoq  $M$  ekssentrisitet ta'siridan ozod bo'lib, quyidagiga teng bo'ladi

$$M = a + \frac{aA + bB}{2}. \quad (6.9)$$

Optik teodolitlarda sanoq olish qurilmasi shunday tuzilganki, unda sanoq mikroskopining ko'rish maydonida (6.16,a-shaklda punktor chiziqlar bilan ko'rsatilgan) limbning diametral qarama-qarshi ikkita chet qismlarini qo'shilgan tasvirlari ko'rinadi ularni ikkita bir-biriga tegib turgan doiralarda deb tasavvur etish mumkin (6.16,a-shakl).  $a$  va  $v$  yoylari juda kichik bo'lgani uchun nur dastasi ajratuvchi blokdan o'tgandan keyin ikkala doiralarni bir-biriga tegish chizg'i  $j$  indeksli sanoq mikroskopining ko'rish maydonida  $MN$  to'g'ri chiziq ko'rinishida tasvirlanadi (6.16,b-shakl). Optik teodolit limbidan sanoq olish  $a$  va  $b$  diametral qarama-qarshi shtirixlar tasviri orasidagi  $\overline{ab}$  masofani o'lchashga va yakuniy sanoqni quyidagi formula bo'yicha hisoblashga asoslanadi

$$M = a + \frac{\overline{aA} + \overline{bB}}{2} = a + \frac{\overline{aA} + \overline{b_1B_1}}{2} = a + \frac{\overline{ab}}{2}. \quad (6.10)$$

Shunday qilib optik teodolitda limbdan eksentrisitet ta'siridan ozod sanoqni olish uchun kichik shtrix  $a$  qiymatini aniqlab  $a$  va  $b$  diametral qarama-qarshi shtrixlar orasidagi  $\overline{ab}$  masofani o'lchab uni yarimini burchak o'lchamida olib kichik shtrix qiymatiga qo'shish kerak bo'ladi.  $\overline{ab}/2$  kesimni optik mikrometr yordamida o'lchanadi.



6.16-shakl. (a) optik teodolitlarda optik teodolitlarda limb bo'yicha birlashtirib sanoq olish sxemasi va (b) sanoq olish mikroskopining ko'rish maydoni

**Optik mikrometrlar.** Optik mikrometrlarni juda ko'p konstruksiyalari mavjud. Yuqori aniqlikdagi optik teodolitlarda asosan yassi paralel plastinkali mikrometrlar (OT-02, Vil'd T-3 va boshqa tipdagi teodolitlarda) va optik ponali mikrometrlar (T05, T1 va boshqalarda) keng qo'llanadi. Yassi paralel plastinkali mikrometrlarda limbning  $a$  va  $b$  diametral qarama-qarshi shtrixlari orasidagi  $\overline{ab}$  masofa yarimini ikkita yassi paralel plastinkalar yordamida o'lchanadi, bu plastinkalarni baravariga turli tomonga bir xil burchak ostida qiyshaytirish mumkin. Optik mikrometr golovkasini burab limbning qarama-qarshi tomonlaridagi  $a$  va  $b$  shtrixlarning tasviri birlashtiriladi va keyin mikrometrning sekund shkalasidan  $\overline{ab}/2$  qiymatni beruvchi sanoq olinadi.

Yassi paralel plastinkali mikrometrmni afzalligi uni kompaktligi (ixchamligi), kichik hajmi (diametri  $\approx 30\text{mm}$ ) va yetarli darajadagi aniqligidir.

Lekin uni ayrim kamchiliklari ham bor: mikrometr ta'sirsiz yo'lga (mertvy xod) ega; tayyorlanishi ancha murakkab (uning qismlarini tayyorlashda kichik qiymatda bo'lsa ham sistematik xatolarni kelib chiqishiga asos yaratiladi, bu xatoliklar yuqori aniqlikdagi o'lchashlarda albatta hisobga olinishi kerak).

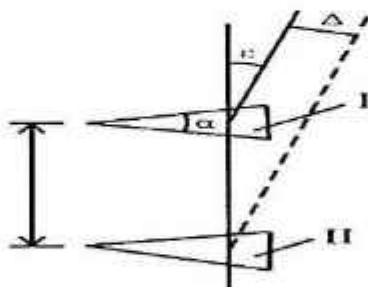
Boshqa tipdagi optik mikrometrda o'lchash vositasi sifatida kichik sinish burchakli optik ponadan foydalanadi (6.17-shakl).

Agar optik pona (I-holat) unga tushayotgan nur tomonga qarab  $t$  masofaga surilsa (II-holat) bunda nur o'z-o'ziga paralel  $\Delta = \alpha t$  qiymatga yoki  $\varepsilon = \alpha(n-1)$  bo'lganda  $\Delta = \alpha(n-1)t/\rho$  qiymatga suriladi,

bu yerda  $\alpha$ - ponani sindirish burchagi;  $n$ -pona shishasini sindirish ko'rsatkichi. Berilgan pona uchun  $\alpha$  va  $n$  qiymatlari doimiy, shuning uchun  $\Delta$  ni o'lchash  $t$  ni aniqlash bilan amalga oshiriladi.

Mikrometr (6.18-shakl) bir juft surilma ponalar 1 va 2, ular yordamida  $\overline{ab}/2$  kesim o'lchanadi, qo'zg'almas ponalar jufti 3 va 4, sekundlar shkalasi 5 va qo'zg'almas indeks 6 dan tashkil topadi. Surilma ponalar o'zaro hamda sekundlar shkalasi bilan qo'zg'almas qilib ulangan. Qo'sh surilma ponalarni har qanday surilishi huddi shu qiymatga sekundlar shkalasi surilishini ta'minlaydi.

Limbning qarama-qarshi shtrixlari tasviri  $a$  va  $b$  orasidagi kesim  $\overline{ab}/2$  o'lchash uchun ponalarni boshlang'ich holati I dan shkaladan sanoq nolga teng



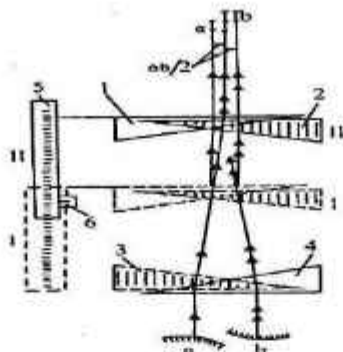
6.17-shakl. Optik pona yordamida optik nurni paralel siljish sxemasi

II holatga (shtrixlar tasviri tutashtirilgan) oldinga qarab suriladi va bu surish qiymatini shkaladan aniqlanadi.

Qo'zg'almas ponalar surilma ponalarga nisbatan  $180^\circ$  ga aylantirilgan va nurlarni boshlang'ich yo'nalishiga paralel og'dirishga hamda xromatizmni cheklashga xizmat qiladi.

Optik ponali mikrometrlar yuqori aniqlikdagi teodlitlarda keng qo'llanadi, chunki ular birmuncha avzalliklarga ega: uning konstruksiyasi sodda va oson yasaladi; mikrometr ta'sirsiz yo'l (mertvy xod) ga ega emas va yuqori aniqlikda o'lchashni ta'minlaydi.





6.18-shakl. Optik ponalar yordamida mikrometrning ishlash sxemasi

Optik mikrometrdan foydalanib limbdan sanoqlar quyidagicha olinadi. Sanoq indeksining yaqinida limbning diametral qarama-qarshi shtrixlari tasviri birlashtiriladi va indeksdan chapda yozib ko'rsatilgan  $M^0$  sanoq olinadi; keyin aniq  $180^0$  ga farq qiladigan raqamlar bilan belgilangan shtrixlar orasidagi bo'laklar soni  $n$  aniqlanadi, oxirida mikrometrni sekund shkalasidan  $S$  sanog'i olinadi. Limbdan yakuniy sanoq  $M$  yig'indi sifatida olinadi, ya'ni

$$M = M^0 + n(i/2) + c\mu \quad (6.11)$$

bu yerda  $i$  –limb kichik bo'lagining qiymati;  $\mu$  – mikroskop shkalasining bo'lak qiymati.

## 6.9. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarni tekshirish va tadqiq qilish

Teodolitni tekshirish va tadqiqolari vazifasiga uni konstruksiyalashda asos qilib olingan geometrik parametrlar va optik-mexaniq talablardan cheklanishni aniqlash va uni imkoni boricha to'la bartaraf etish kiradi. Tadqiqotlar bartaraf etib bo'lmaydigan cheklanishlarni aniqlash va ularga tegishli tuzatmalarni kiritish; teodolitni doimiylari (sanoq olish qurilmasi bo'lak qiymatini, okulyar mikrometri, adlaklar bo'lak qiymatlari va b.q.) ni aniqlash; teodolit ayrim bog'lanmalari to'g'ri ishlashini sinash; limb diametrlari xatosini aniqlash; teodolitni ayrim bog'lanmalari va butun teodolitni ishlashga tashqi muxit ta'sirini aniqlash va boshqalarni ko'zda tutadi.

Bajarilgan tadqiqotlar natijalari bo'yicha teodolitni berilgan aniqlik klassidagi ishlarga yaroqliligi aniqlanadi.

Har bir punktda bajariladigan kuzatishlardan oldin o'tkaziladigan majburiy tekshirishlarga quyidagilar kiradi:

1. Truba aylanish o'qida o'rnatilgan adilak o'qi trubaning gorizontal aylanish o'qi bilan bitta tekisligida joylashishi va unga paralel bo'lishi kerak.

2. Alidadani teodolit vertikal o'qi atrofida aylanishi tekis hech qanday tebranishsiz va ozod (tegib qolmasdan) o'tishi kerak.

3. Trubaning gorizontal aylanish o'qi teodolit vertikal aylanish o'qiga perpendikulyar bo'lishi kerak.

4. Teodolit trubasini trubani yo'naltirish vinti orqali vertikal tekislikda og'dirish truba o'qini lagerlarda azimutal siljishishga olib kelmasligi kerak.

5. Sanoq qurilmasi tekshirilgan va sozlangan bo'lishi kerak.

6. Trubaning kollimatsiya xatosi 10" dan oshmasligi kerak.

7. Truba okulyari mikrometrining iplar bissektori vertikal o'rnatilgan bo'lishi kerak.

8. Vertikal doira zenit o'rni  $Z\ddot{Y}$  yoki nol o'rni  $H\ddot{Y}$  qiymati 10" dan oshmasligi kerak;  $Z\ddot{Y}$  yoki  $H\ddot{Y}$  quyidagi formulalar bo'yicha topiladi:

OT-02M teodoliti uchun

$$Z\ddot{Y} = \angle\varphi + \angle\ddot{Y} - 180^\circ; Z = \angle\ddot{Y} - \angle\varphi + 90^\circ; \quad (6.12)$$

T1 teodoliti uchun

$$Z\ddot{Y} = (\angle\varphi + \angle\ddot{Y} - 360^\circ)/2; Z = \angle\varphi - Z\ddot{Y}; \quad (6.13)$$

T05 teodoliti uchun

$$H\ddot{Y} = (\angle\varphi + \angle\ddot{Y} \pm 180^\circ)/2; \beta = 90^\circ - Z = \angle\varphi - H\ddot{Y}; \quad (6.14)$$

9. Ko'targich va (qaratgich) yo'naltiruvchi vintlari yumshoq lyuftsiz va ozod yurishi kerak.

Yuqori aniqlikdagi har bir teodolit zavoddan olingandan keyin yoki kapital ta'mirlashdan keyin to'la dastur asosida tadqiq qilinadi. Yuqori aniqlikdagi burchak o'lchash ishlariga uni yaroqliligini aniqlash uchun tadqiqotlardan adilak bo'lak qiymati (truba aylanish o'qidagi va alidadagi adilaklar); truba okulyar mikrometrini bo'lak qiymati (bosh truba va tekshirish trubasi); truba fokuslash linzasining to'g'ri yurishi; limb shtrixlari tasvirini birlashtirish xatosi optik mikrometr reni; yassi paralel plastinkali mikrometrni foydasiz yo'li (mertvy xod); mikrometr shkalasining bo'laklari xatosi; limb va alidadani eksentrisiteti; alidada aylanishi to'g'riligi; limb diametrlari xatosi; teodolit gorizontal va vertikal o'qlarini o'zaro perpendikulyar emasligi aniqlanadi. Laboratoriya

sharoitida teodolit bilan gorizontal va vertikal burchaklarni bitta priyomda o'lchashni o'rta kvadratik xatosi aniqlanadi.

Teodolitni tekshirish ishlari va tadqiqotlarini to'g'ri bajarish haqidagi batafsil ko'rsatmalar, amaldagi Standartlarda va me'yoriy hujjatlarda keltiriladi.

## 6.10. Optik mikrometr renini aniqlash

Optik mikrometr reni deb, limb yarim bo'lagining loyiha (nominal) qiymati bilan uni mikrometr bilan o'lchangan qiymati orasidagi farqqa aytiladi. Ren gorizontal va vertikal doiralar sanoq olish qurilmalari uchun alohida-alohida aniqlanadi.

Limbning qarama-qarshi chetlaridan kelayotgan nurlar dastasi mikrometrgacha turli optik yo'llarni bosib o'tishi sababli sanoq mikroskopining ko'rish maydonidagi doirani yuqori va quyi tasvirlari uchun ren qiymati turli bo'lishi mumkin. Gorizontal doira sanoq sistemasining reni, limb doirasining diametrlari xatosini renni o'rtacha qiymatiga ta'sirini kamaytirish maqsadida, doirani to'la aylana bo'yicha teng bo'lib turli o'rnatishlarda aniqlanadi. Alidadani har  $45^{\circ} + i$  ( $i$ -limb bo'lagining qiymati) dan o'rnatiladi.

To'g'ri yo'l alidadani  $0^{\circ}00'$  ga qo'yib boshlanadi, teskarisi esa  $360^{\circ} - (22 + i)$  ga qo'yib boshlanadi. T05 teodolitlarida vertikal doira sanoq sistemasini reni  $350'$  dan to  $4^{\circ}10'$  gacha (to'g'ri yo'l) va  $7^{\circ}50'$  dan to  $353^{\circ}40'$  gacha (teskari yo'l); OT-2M, T1 teodolitlarida  $80^{\circ}00'$  dan to  $94^{\circ}10'$  (to'g'ri yo'l) va  $97^{\circ}50'$  dan to  $83^{\circ}40'$  gacha (teskari yo'l) oraliqlarda aniqlanadi; vertikal doira har  $2^{\circ}10'$  dan o'zgartiriladi.

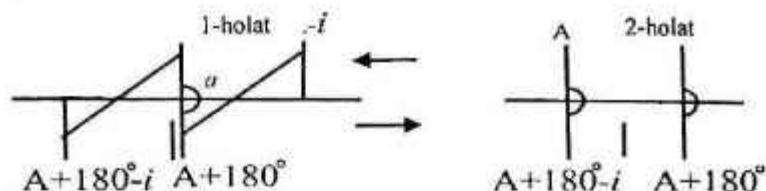
O'lchash tartibi quyidagicha, optik mikrometr shkalasida (6.19-shakl) nolga yaqin sanoq o'rnatiladi, keyin alidadani qaratgich vinti yordamida diametral qarama-qarshi limb bo'laklari shkalasining ustki va ostki tasvirlari A va  $A+180$  birlashtiriladi (1 chi - holat). Bunday tayyorgarlikdan keyin optik mikrometr yordamida limb shtrixlarining tasviri aniq birlashtiriladi (ikki marotaba ketma-ket) va ikki marotaba sanoqlar olinadi:

A va  $A+180^{\circ}$  shtrixlarni birlashtirib; -a

$A-i$  va  $A+180^{\circ}$  shtrixlarni birlashtirib; -b

A va  $A+180^{\circ} - i$  shtrixlarni birlashtirib -c

bu yerda  $i$  - limb bo'lagining qiymati.



6.19-rasm. Optik mikrometr renini aniqlashda limb shtrixlari tasvirini birlashtirish sxemasi

Ta'kidlash kerakki  $a$  sanoqlari mikrometr shkalasining boshidan,  $b$  va  $s$  sanoqlar esa mikrometr shkalasining oxiridan (2-holat) olinadi, bunda  $b$  sanog'i indeksdan o'ng tomondagi  $s$  sanoq esa uni chap tomondagi shtrixlarni birlashtirib olinadi. Ren quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$r_b = (a - b)\mu + i/2; r_H = (a - c)\mu + i/2; r = (r_b + r_H)/2, \quad (6.15)$$

bu yerda  $a, b, c$  - mikrometr shkalasidan sanoqlar, bo'laklarda;  $\mu$  - mikrometr shkalasining bo'lak qiymati,  $i$  - limb bo'lagingining qiymati.

Renning o'rtacha qiymati  $r = (r_b + r_H)/2$  va ular farqi  $\Delta r = r_b - r_H$  yuqori aniqlikdagi teodolitlarda  $0,5''$  dan oshmasligi kerak.  $r > 0,5''$  va  $\Delta r \leq 0,5''$  bo'lganda punktda o'lchangan yo'nalishlar va zenit masofalarga ren uchun quyidagi formuladan hisoblanadigan tuzatmalar kiritiladi

$$\delta r = \frac{2c}{i} r, \quad (6.16)$$

bu yerda mikrometrdan sanoq  $c$  va limb bo'lak qiymati  $i$  minutlarda ifodalanadi.  $r > 0,5''$  va  $\Delta r \geq 0,5''$  bo'lsa sanoq olish sistemasini, uni 9 va 10 optik komponentlari orasidagi masofani (6.14-shaklga qarang) o'zgartirib sozlash kerak bo'ladi.

Renni aniqlash o'rta kvadratik xatosi  $m_r$  va limb shtrixlari tasvirini bir marotaba birlashtirish o'rta kvadratik xatosi  $m_{bir}$  quyidagi formulalardan hisoblanadi

$$m_r = \sqrt{\frac{3 \sum d^2}{4nk}}; \quad (6.17)$$



$\delta_i$ -shkalani qaysi bo'laklari orasida  $\beta$  burchagi o'lchangan bo'lsa, shu bo'laklar uchun tenglashdan olingan tuzatmalar ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), bunda  $\delta_0 = \delta_n = 0$ ;

$\beta_j$ -shkalani  $j$  o'rnatishda o'lchangan burchak qiymati;  $\beta = \frac{\sum \beta_j}{m} - \beta$  burchagini  $m$  qiymatlaridan o'rtachasi. Tuzatmalar  $\beta$  tenglamalari mikrometr shkalasini hamma o'rnatishlarida o'lchangan  $\beta_1, \beta_2$  va  $\beta_3$  burchaklar qiymatlari uchun tuziladi. Tuzatmalar tenglamalarning umumiy soni  $r = m_1 + m_2 + m_3$  ga teng; aniqlanadigan  $\delta_i$  tuzatmalar 0,5' ga karrali, 10 ga teng, ( $\delta_0 = \delta_n = 0$  uchun). Tuzatmalar  $\beta$  yig'indisi nolga teng, shuning uchun tenglamalar ketma-ket yaqinlashish usulida yechiladi.

### Yassi paralel plastinkali optik mikrometrni foydasiz (mertvy) yo'li

Foydasiz yo'l OT-02 tipidagi teodolitlarni optik mikrometriga xos. Uni alidada va mikrometr shkalasini turli o'rnatishlarda aniqlanadi. Aladada va mikrometrni har bir o'rnatishda limb qarama-qarshi shtrixlarning tasviri ikki marotaba birlashtiriladi. Mikrometr kallagi soat yo'li bo'yicha burab I-birlashtirish va soat yo'liga qarshi burab II-birlashtirish amalga oshiriladi. Keyin ayirmalar  $d = I - II$  hisoblanadi, ular qiymati foydasiz yo'l kattaligini tavsiflaydi. Har bir ayirma qiymati  $d \leq \pm 1''$  shartini qanoatlantirishi kerak. Limbdan olinadigan sanoqqa mikrometrni foydasiz yo'li ta'sirini pasaytirish uchun limb shtrixlari tasvirini birlashtirishda mikrometr kallagi xarakatini har doim ichkariga qarab, soat yo'li bo'yicha burash bilan yakunlash kerak.

### 6.12. Alidada va limb eksentrisitetini aniqlash

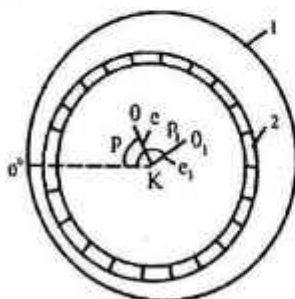
Teodolitni geometrik chizmasiga asosan alidada aylanish o'qi-ning limb tekisligiga proeksiyasi  $O$ , gorizontal doira I aylanish markazi  $O_1$  va limb 2 bo'laklari xalqasining markazi  $K$  (6.20-rasm) ustma-ust tushishi kerak. Teodolitni markazlashda xatolik ro'y berishi tabiiy, lekin uning qiymati belgilangan miqdordan oshmasligi kerak. Alidada eksentrisiteti deganda alidadani aylanish markazi  $O$  ni limb bo'laklari xalqasining markazi  $K$  bilan ustma-ust tushmasligiga, limb eksentrisiteti deganda esa limb aylanish markazi  $O_1$  ni uning bo'laklari xalqasi markazi  $K$  bilan ustma-ust tushmasligiga tushiniladi. Alidada eksentrisiteti chiziq elementi  $e = KO$  va burchak  $R$  (6.21-shakl), limbning nol shtrixiga nisbatan chiziqli elementni orientirleydigan burchak, bilan tavsiflanadi.

Limb eksstentrisiteti aynan shunday elementlar:  $e_1 = KO_1$  va burchak  $R_1$  bilan tavsiflanadi.

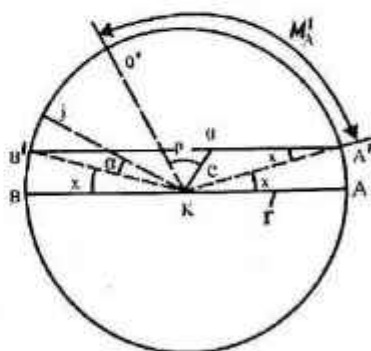
**Alidada eksstentrisiteti elementlarini va uni to'g'ri aylanishini aniqlash.**

$K$  limb bo'laklari xalqasining markazi (6.21-shakl);  $O$ - alidada aylanish o'qi;  $j$ —optik mikrometrni sanoq indeksi;

$d$ - indeksni hisoblangan siljishi burchagi;  $e$  va  $p$  - alidada eksstentrisiteti elementlari;  $A$  va  $V$  - limb qarama-qarshi shtrixlarining hisoblangan holati;  $A'$  va  $V'$  eksstentrisitet sababli shtrixlarni siljigan holatining ko'rinishi;  $x$ -eksstentrisitet ta'siridan sanoqlardagi xatolar bo'lsin. Elementlar  $e, p$  va  $d$  larni aniqlash talab qilinadi. Alidada eksstentrisitetini tadqiq qilishdan oldin qarash trubasi aylanish o'qiga o'rnatilgan adilak (agar  $y$  bo'lmasa alidadada o'rnatilgan adilak) sinchiklab tekshiriladi va teodolit vertikal o'qi vertikal holatga keltiriladi. Tadqiqotlar alidadani soat yo'li bo'yicha ikkita ketma-ket aylanishida (to'g'ri yo'l) va soat yo'liga qarshi uning ikki to'liq aylanishida (teskari yo'l) bajariladi. Limbning qo'zg'almas holatida alidadani odatda har  $30^0$  dan o'zgartib o'rnatiladi va har bir o'rnatishda ikki martadan sanoqlar olinadi:  $t$ -limb diametral qarama-qarshi shtrixlari tasvirini birlashtirgandagi va  $t'$ -yaqin shtrixni mikrometr  $j$  indeksi bilan birlashtirgandagi sanoqlar.



6.20-shakl. Alidada va limb eksstentrisitetining elementlari



6.21-shakl. Limb bo'yicha sanoqqa alidada eksstentrisitetini tasir sxemasi

Bundan tashqari adilak pufakchasining har ikkala uchlari bo'yicha ham sanoqlar olinadi. Qabul qilingan belgilarga asosan yozamiz



$$\begin{aligned} M_A &= M'_A + x, \\ M_B &= M'_B + x. \end{aligned} \quad (6.21)$$

Bularga ko'ra yozish mumkin

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{2}(M_A + M_B) = \frac{1}{2}(M'_A + M'_B), \\ t' &= \frac{1}{2}(M_A + M_B) + x + d. \end{aligned} \quad (6.22)$$

Pastdagi tenglamadan yuqorisidagi tenglamani ayiramiz.  $v=t'-t$  ayirma  $\delta$  tasodifiy xato - bilan aniqlanishini hisobga olib, topamiz

$$\delta = x + d - g, \quad (6.23)$$

bu yerda  $x$  va  $d$  - noma'lumlar;  $g$  - ozod had.

16.21-shakldagi  $OKA'$  uchburchakda  $OK=ye$ ;  $KA'=r$ ; bu yerda  $r$  - limb bo'laklari xalqasining radiusi;

$K$  nuqtasidagi burchak  $M'_A=P$  ga teng,  $A'$  nuqtasidagi burchak esa  $x$  burchagiga teng, chunki eksentrisitet limbning ko'rinayotgan shtrixlarini paralel ko'chishini (siljishini) keltirib chiqaradi. Ushbu uchburchak yechib yozamiz

$$\frac{e}{r} = \frac{\sin x}{\sin[180^\circ - (M'_A - P + x)]} \cong \frac{\sin x}{\sin(M'_A - P)}, \quad (6.24)$$

Burchak  $x$  kichik bo'lgani uchun ( $x < 1'$ ) yuqoridagi ifodadan yetarli aniqlikda topamiz

$$x = \frac{e}{r} \rho \sin(M'_A - P) = \varepsilon \sin(M'_A - P), \quad (6.25)$$

bu yerda  $\frac{e}{r} \rho = \varepsilon$  alidadani burchak eksentrisiteti deyiladi;  $\rho=206265''$ .

quyidagilarni hisobga olib  $\sin(M'_A - P) = \sin M'_A \cos P - \cos M'_A \sin P$  (6.26)

va quyidagi belgilarni kiritib

$$y = \varepsilon \cos P; z = \varepsilon \sin P, \quad (6.27)$$

tuzatmalar tenglamasini quyidagi yakuniy ko'rinishda yozamiz.

$$\delta = y \sin M'_A - z \cos M'_A + d - g \quad (6.28)$$

Tenglamadagi ozod had  $g$  alidadani har bir  $M'_A$  berilgan o'rnatish uchun olingan to'rtta qiymatlardan, ikkita to'g'ri va ikkita teskari yo'llarda, o'rta chasi olinib topiladi. Bu esa  $g$  qiymatlaridan alidada o'qini aylanishidagi tebranishdan kelib chiqadigan xatoliklarni to'la yo'qotish

imkonini beradi, bu esa juda muhim. Tuzatmalar tenglamalarining soni butun aylana bo'yicha alidadani qo'yish soni  $n$  ga teng.

Tuzatmalar tenglamalaridan normal tenglamalar sistemasiga o'tiladi, ularni yechib noma'lumlar  $\delta$  aniqlanadi

$$\begin{aligned} y &= \frac{2[\delta \sin M_A]}{n}; \\ z &= \frac{-2[\delta \cos M_A]}{n}; \\ d &= \frac{1}{n} [\vartheta]. \end{aligned} \quad (6.29)$$

Olingan  $y$  va  $z$  qiymatlardan foydalanib topamiz

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} P &= \frac{z}{y} = \frac{\sin P}{\cos P} = \frac{-[\delta \cos M_A]}{[\delta \sin M_A]} \\ \varepsilon &= \frac{y}{\cos P} = z / \sin P \end{aligned} \quad (6.30)$$

yoki

$$\varepsilon = \frac{2[\delta \sin M_A]}{n \cos P} = \frac{-2[\delta \cos M_A]}{n \sin P} \quad (6.31)$$

$\varepsilon$  ni aniqlab yuqoridagi (6.31) formuladan foydalanib alidada ekscentrisitetining chiziqli elementiga o'tiladi

$$e = r\varepsilon/p \quad (6.32)$$

$\varepsilon$ ,  $p$  va  $d$  qiymatlardan foydalanib alidadani hamma o'rnatishlari  $M_A$  uchun ayirmalar  $\vartheta = t' - t$  sinusoida ko'rinishidagi silliqlangan qiymatlari hisoblanadi:

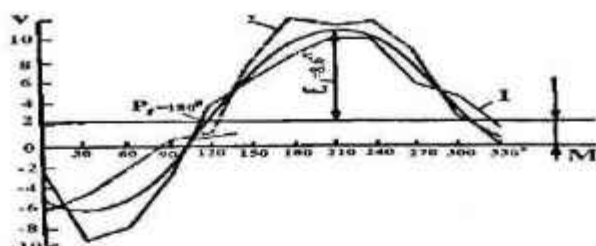
$$\vartheta = \varepsilon \sin(M_A - P) + d \quad (6.33)$$

Ayirmalar  $\omega = \vartheta - \bar{\vartheta}$  qiymatlari bo'yicha, yani  $\vartheta$  ni sinusoida  $\bar{\vartheta}$  dan farqlari bo'yicha alidadani o'z o'qi atrofida to'g'ri aylanishi haqida xulosa qilinadi. Hozirgi mavjud yo'riqnomalarni talabiga asosan  $v = t' - t$  qiymatlarining o'zgarishi 40 dan oshmasligi kerak, ularni sinusoidadan og'ishi, yani  $\omega = \vartheta - \bar{\vartheta}$  farqlar qiymati 10" dan oshmasligi kerak.

Boshqacha aytganda, agar baravariga quyidagi ikkita shartlar bajarilsa alidadani o'z o'qi atrofida aylanishi to'g'ri hisoblanadi

$$\begin{aligned} \omega_{\max} &= \bar{\vartheta} - \vartheta_{\max} \leq 10'', \\ \vartheta_{\max} - \vartheta_{\min} &= 2(\varepsilon + \omega_{\max}) \leq 40''. \end{aligned} \quad (6.34)$$

Bu shartlarni qondirilishi alidadani burchakli ekscentrisiteti 10" dan oshmasligini, ya'ni  $\varepsilon \leq 10''$  ekanini ta'minlanishidir.



6.22-shakl. Limb ekssentrisiteti elementlarini aniqlash sxemasi:

1-to'g'ri yo'l; 2-teskari yo'l; 3-sinusoida

Alidadani aylanishi to'g'riligini qo'shimcha tadqiq qilish truba aylanish o'qidagi adalakni (alidadadagi adalakni) ketma-ket ikki marotaba orqa tomonga aylantirib uning ko'rsatishini o'zgarishi bo'yicha bajarilishi mumkin.

### Limb ekssentrisitetini aniqlash

Alidadani mahkamlangan hola-tida, to'g'ri va teskari yo'llarda to'la aylantirib, limb har  $30^\circ$  dan o'zgartib o'rnatiladi. Limbning har bir o'rnatishda diametral qarama-qarshi shtrixlarni birlashtirib  $t$  va limb shtrixini sanoq indeksi bilan birlashtirib  $t'$  sanoqlar olinadi.

Shundan keyin ayirmalar  $\vartheta = t' - t$  hisoblanadi va ular grafikka tushiriladi (6.22-shakl), grafikda simmetriya o'qini o'tkazib  $\vartheta$  qiymati o'zgarishini eng yaxshi aproksimatsiyalovchi sinusoida chiziladi. Sinusoida parametrlari  $\varepsilon$ ,  $p$  va  $d$  quyidagicha aniqlanadi. Burchak ekssentrisiteti  $\varepsilon$  simmetriya o'qidan hisoblanadigan sinusoidani eng katta ordinatasiga teng; burchak  $R$  sinusoidani simmetriya o'qi bilan kesishadigan nuqtasida,  $v$  qiymati osha boshlaydigan nuqtada, sanaladi;  $d$  qiymati sinusoida simmetriya o'qini ordinatasiga teng. Gorizontallimb doirasining burchak ekssentrisiteti  $\varepsilon$ ,  $10''$  dan oshmasligi kerak. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarda alidadani burchak ekssentrisiteti  $\varepsilon$  va gorizontallimb doira ekssentrisiteti  $\varepsilon$ , qo'shma qiymati  $20''$  dan oshmasligi kerak, ya'ni  $\varepsilon + \varepsilon_1 \leq 20''$

### 6.13. Teodolit gorizontaal va vertikal o'qlarini perpendikulyar emasligini aniqlash

Teodolit gorizontaal va vertikal o'qlarini perpendikulyar emasligini deyarli bitta stvorda (stvordan og'ishi  $1^0$  dan oshmaydigan) va vertikal burchaklari  $\beta_1 \approx +20''$ ,  $\beta_0 \approx 0''$ ,  $\beta_2 \approx -20''$  bo'lgan uchta vizirlash nishonlariga qarab o'lchangan burchaklarni ishlab chiqib topiladi. O'lchashlar dasturi 6 ta priyomdan tashkil topadi. Har bir priyomda vertikal doirani bitta holatda ( $\mathcal{D}^4$ ) trubani uchta vizirlash nishonlariga: yuqoridagi, gorizontdagi va pastki nishonlarga ketma-ket qaratilib gorizontaal doiradan sanoqlar olinadi. Keyin trubani zenit orqali aylantirib o'tkazib ( $\mathcal{D}^5$ ) teskari ketma-ketlikda o'lchashlar bajariladi. Har bir nishon uchun  $i$  priyomda  $c_i = (\mathcal{D}^4 + \mathcal{D}^5 \pm 180^\circ)/2$  ni hisoblanadi va 6 ta priyomdan tegishli o'rtacha qiymatlar  $s_1$ ,  $s_2$  va  $s_3$  topiladi. Har bir vizir nishoniga qarab bir minut aniqlikda qiyalik burchaklari  $\beta_1, \beta_0, \beta_2$  o'lchanadi.

Teodolit o'qlarini perpendikulyar emasli burchagi  $i$  quyidagi

$$i = \frac{1}{2} \left( \frac{c_1 - c \sec \beta_1}{\operatorname{tg} \beta_1} + \frac{c_2 - c \sec \beta_2}{\operatorname{tg} \beta_2} \right). \quad (6.35)$$

Yuqori aniqlikdagi teodolitlarda bu burchakni qiymati  $5''$  dan oshmasligi kerak.  $i$  ni aniqlashni o'rta kvadratik xatosi quyidagi formuladan topiladi

$$m_i = m_c \sec \beta_1 \sqrt{1 + \sin^2 \beta_1} \quad (6.36)$$

bu yerda xatolik  $m_c$  quyidagiga teng

$$m_c = \frac{\sqrt{\Sigma \vartheta^2}}{\sqrt{3n(n-1)}} \quad (6.37)$$

Ushbu holatda  $\vartheta$ - uchta nishonidan har biri uchun alohida topilgan  $C = (\mathcal{D}^4 - \mathcal{D}^0 \pm 180^\circ)/2$  priyomlarda  $c_i$  qiymatlarini tegishli  $n$  ta priyomlar o'rtachasidan og'ishlari. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarda o'qlarni perpendikulyar emasligini aniqlashni  $m_i$  xatosi  $0,5''$  dan oshmasligi kerak.

### 6.14. Limb diametrining to'la xatosini aniqlash

Limbga bo'laklarni avtomatik bo'luvchi mashina yordamida daqiqasiga 3-4 ta shtrix tezligida tushiriladi. Bunda ilojisiz kelib chiqadigan xatoliklarni sababi quyidagilar hisoblanadi: mashinani etolon shesternyalarini xatolari; mashinani sozlash va uni ishlashidagi

kamchiliklari; mashinani aylanish o'qiga limbni o'rnatish xatosi; xaroratni o'zgarishi; mashina asosini vibratsiyasi (ishlash jarayonida) va boshqalar.

$\varphi$ -shtrixni amaldagi o'rni bo'lishi  $\delta_\varphi$  qiymatga farq qiladi. Ikki ta diametral qarama-qarshi shtrixlar  $\varphi$  va  $\varphi+180^\circ$  xatolarini arifmetik o'rtachasiga  $\varphi$  diametr xatosi  $x_\varphi$  deyiladi, ya'ni

$$x_\varphi = \frac{1}{2}(\delta_\varphi + \delta_{\varphi+180}). \quad (6.38)$$

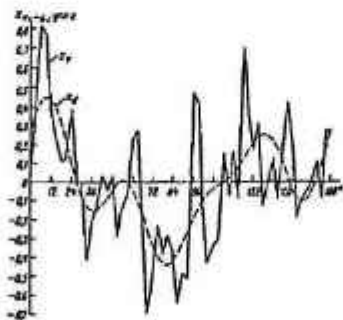
Burchaklarni o'lchashda har doim limb diametri foydalaniladi, chunki sanoqlar limbning qarama-qarshi shtrixlari bo'yicha olinadi.

Limb nol shtrixining xatosi ( $\varphi=0$ ) nolga teng deb, qabul qilinadi ( $\delta_n=0$ ). Nol diametrining xatosi noldan farq qiladi ( $x_n \neq 0$ ), chunki diametral qarama-qarshi shtrix  $\varphi+180$ ni tushirish xatosi umumiy holda nolga teng bo'lmaydi.

Diametr  $\varphi$  to'la xatosi  $x_\varphi$  ni uni sistematik  $x_\sigma$  va ehtimoliy  $x_\eta$  tashkil etuvchilari yig'indisidan iborat deb hisoblash mumkin, ya'ni

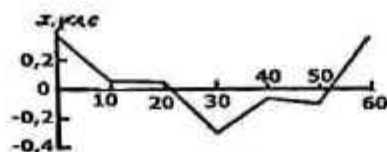
$$x_\varphi = x_\sigma + x_\eta. \quad (6.39)$$

Tadqiqotlardan  $x_\sigma$  va  $x_\eta$  qiymatlarini aniqlab ehtimoliy xatolarini quyidagi ayirma sifatida topiladi  $x_\eta = x_\varphi - x_\sigma$ .



6.23-shakl. T05 teodoliti diametrlarining  $x_\varphi$  to'la va  $x_\sigma$  sistematik xatolar

Diametral xatolar uzun davriy, limbning butun aylanasi bo'yicha o'zgaradigan (6.23-shakl) va kalta davriy (6.24-shakl), har bir gradusli bo'lak chegarasida o'zgaradigan, xatolarga bo'linadi. Hozirgi yuqori aniqlikdagi teodolitlarda har bir diametрни  $x_\sigma$  to'la xatolari  $\pm (1-2'')$  gacha yo'l qo'yiladi. Bu xatolarni amaldagi qiymati ko'rsatilgan chekdan bir muncha kichik bo'ladi.



6.24-shakl. T05 teodoliti diometrlarining qisqa davirli (ichkigradusli) xatolari

Har bir seriya ichida  $\beta$  burchakni o'lchashda limbni  $m = 180^\circ/\beta$  o'rnatib, uni xar oralig'ida o'rni  $\beta$  burchakka almashtirib o'rnatiladi.

Limb diametrining xatosi burchaklarini o'lchash natijalariga bevosita ta'sir etadi, shuning uchun limb sinchiklab tadqiq qilinib uni yuqori aniqlikda burchak o'lchashga yaroqli ekani aniqlanadi. Bu ish maxsus qabul qilingan standart talablari asosida amalga oshiriladi. U quyidagi usullardan xohlaganini qo'llash imkonini beradi: yaqinlashish usuli, teskari matritsa usuli, Yeliseev usuli va o'zgartirilgan Vil'd usuli. Limb diametrlarining soni juda ko'pligi (limb bo'lagining qiymati  $10'$  bo'lganda ularning soni 1080 taga teng) sababli tadqiqotlardan ularni hammasini emas balkim har  $1^\circ$  yoki  $3^\circ$  ga qoldiqsiz bo'linadigan diametrlarining xatolari aniqlanadi. Limb diametrlari xatoliklarini aniqlashni yuqorida keltirilgan har bir usul asosida ma'lum dastur bo'yicha uchta nazorat burchaklari  $\beta_1, \beta_2$  va  $\beta_3$  ni ketma-ket o'lchab chiqish yotadi. Nazorat burchaklarini, odatda, 2 ta kollimatorlar yordamida beriladi, ular o'rni boshqa moslamalar ham ishlatilishi mumkin. Nazorat burchakni har biriga qo'yiladigan asosiy talablardan biri, uning qiymati berilgan dastur bo'yicha bajariladigan kuzatishlar davomida o'zgarmas qolishi kerak ( $0,01''$  aniqlikgacha). Har bir nazorat burchagi  $\beta$  alohida seriyalarda limbning turli o'rnatishlarida o'lchanadi. Seriyalar soni  $n = \beta/\Delta\varphi$ , bu yerda  $\Delta\varphi = 3'$  - diametrlar xatosini tadqiq qilish intervali. Har bir seriya ichida  $\beta$  burchakni o'lchashda limbni  $m = 180^\circ/\beta$  o'rnatilib, uni oraliqda o'rni  $\beta$  burchakni almashtirib o'rnatiladi. Seriyalar nomerlarini  $i = 1, 2, \dots, n$  orqali, har bir seriya ichidagi limbni o'rnatish nomerini  $k = 1, 2, \dots, m$  bilan belgilaymiz. Shunda limbni  $i$  nomerli seriyada boshlang'ich o'rnatish qiymati  $\varphi_i$  quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin

$$\varphi_i = (i-1)\Delta\varphi, \quad (6.40)$$

k nomerli  $i$ -seriyadagi limbni keyingi o'rnatish  $\varphi_k$  quyidagicha hisoblanishi mumkin

$$\varphi_k = \varphi_i + (k-1)\beta \quad (6.41)$$

Limbni har bir o'rnatishda  $\varphi_k$  burchak  $\beta$  ikkita priyomda o'lchanadi va natijalardan o'rtachasi olinadi. Har bir  $i$  - seriyada o'lchangan burchakni  $m$  qiymatlaridan o'rtachasi  $\bar{\beta}_i = \sum \beta_i / m$  hisoblanadi, keyin o'rtacha  $\bar{\beta}_i$  dan har bir qiymatni  $\beta_k$  farqi topiladi, ya'ni tuzatmalar tenglamalarining ozod hadlari sifatida qabul qilinadigan ayirmalar  $\ell_k = \beta_k - \bar{\beta}_i$  hisoblanadi. Bu tenglamalar har bir seriyada limbni  $m$  o'rnatishlarda nazorat burchakni o'lchash natijalari bo'yicha tuziladi va ular quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$\begin{aligned} \delta_1 &= x_1 - x_0 + \ell_1; \\ \delta_2 &= x_2 - x_1 + \ell_2; \\ \delta_3 &= x_3 - x_2 + \ell_3; \\ &\dots\dots\dots \\ \delta_k &= x_k - x_{k-1} + \ell_k; \end{aligned} \quad (6.42)$$

bu yerda  $x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, \dots, x_m$  nomerli diametrlar qiymatlariga tuzatmalar.

Hamma seriyalarda o'lchangan nazorat burchaklarni o'lchash natijalaridan foydalanib bunday tuzatmalar tenglamalari  $\beta_1 = 36^\circ, \beta_2 = 45^\circ$  va  $\beta_3 = 60^\circ$  burchaklarning har biri uchun tuziladi. Bunda diametrlar va tuzatmalar nomeri  $x$ , limb uchun umumiy. Tuzatmalar tenglamalarining umumiy soni 180 ga, diametrlarni aniqlanadigan tuzatmalari 60 taga teng bo'ladi.

Butun aylana chegarasi bo'ylab limbni teng qiymatlarda o'rnatib chiqishda diametrlar tuzatmalarining yig'indisi nolga teng bo'ladi ( $\sum x_i = 0$ ). Shu sababli tenglamalarni birgalikda yechishda qiyinchilik paydo bo'ladi. Limb diametrlari tuzatmalarining hisoblashni eng oddiy va qat'iy usuli S.V.Yeliseev usuli bo'lib, u tayyor formulalar yordamida amalga oshiriladi. Tuzatmalarni hisoblash aniqligi 0,1" o'rta kvadratik xato bilan tavsiflanadi.



## **7-BOB. YUQORI ANIQLIKDA BURCHAKLARNI O'LCHASHDA XATOLAR MANBAI VA ULARNING TA'SIRINI KAMAYTIRISH USULLARI**

### **7.1. Yuqori aniqlikda burchaklarni o'lchashdagi xatolarning turlari**

Burchak o'lchash xatolarining kelib chiqish sharoitiga qarab uchta katta guruhlarga bo'linadi: shaxsiy xato, asbob xatolari va tashqi muhit ta'siridan kelib chiqadigan xatolar. Bundan tashqari xatolar sistematik va tasodifiy turlarga bo'linadi. Yuqori aniqlikdagi burchak o'lchashlarda eng qiyin yo'qotiladigan xato bu sistematik xatolar hisoblanadi, shunga ko'ra ularni juda sinchiklab o'rganilishi kerakki, natijada o'lchashni maxsus usullarini qo'llab yoki natijalarga tegishli tuzatmalar kiritib bu xatolar ta'sirini kamaytirish mumkin bo'lsin. Tasodifiy xatolar ta'sirini o'lchash priyomlarni ko'paytirishi yo'li bilan kamaytiriladi. Lekin iqtisodiy nuqtai nazardan priyomlar soni ma'lum chegaradan oshmasligi kerak.

O'lchashlarni shaxsiy xatosi asbob-kuzatuvchi o'lchash sistemasini mukammal emasligidan kelib chiqadi. Shaxsiy xatolarga qarash nishoniga trubani vizirlashni tasodifiy va sistematik xatolarini ko'rsatish mumkin: teodolit doirasidan sanoq olishda limb bo'laklari tasvirini birlashtirishni tasodifiy xatosi; limb shtrixlarini yoritilishi sharoitidan limbdan olingan sanoqlardagi sistematik xatolar; optik mikrometрни shkalasidan sanoqlarni tasodifiy xatolari.

Asbob xatolari teodolitni ayrim qismi yoki uzelinı tayyorlashdagi xatolar tufayli kelib chiqadi. Asbob xatolari qatoriga qarash trubasi okulyar mikrometrini bo'lagi amaldagi qiymatlari farqidan kelib chiqadigan xatolar; qarash trubasi fokuslovchi linzasi yo'lini xatosi; limb va alidada eksentrisiteti; limb diametrlari xatosi; trubani kollimatsiya xatosi; teodolit gorizantal va vertikal o'qlarini og'ishidan kelib chiqadigan xatolar; limbni qiyaligi xatolari; ko'targich vintlar lyuftidan kelib chiqadigan xatolar va k.k.

Har bir teodolit amaldagi standartlarda belgilangan tekshirish va tadqiqatlarni davriy o'tib turadi. Punktda kuzatishlarni boshlashdan oldin teodolitni zaruriy tekshirishlari va sozlashi bajariladi. Burchaklarni o'lchash aniqligi qancha yuqori talab qilinsa, shuncha asbob xatolari sinchiklab va to'la o'rganilishi va hisobga olinishi kerak bo'ladi.

Kichik sistematik xatolar asta-sekin yig'ilib borish hususiyatiga ega va ularni yig'ma ta'siriga e'tibor bermaslik mumkin emas. Shuning uchun

barcha turlardagi asbob xatolari ta'sirini kamaytirish barcha chora tadbirlarni ko'rish zarur.

Yuqori aniqlikdagi teodolit dinamik juda sezgir o'lchash asbobi bo'lib, ko'p faktorlarga, shu jumladan teodolitni alohida uzellari ishga ta'sir etuvchi mexanik faktorlarga, yarim priyomlarda alidadani aylanish yo'nalishiga va h.k., hamda punktda o'lchash sharoitlarini o'zgarishi bilan bog'liq fizik faktorlar, masalan havo xaroratini ko'tarilishi yoki pasayishi va h.k.larga bog'liq.

Hozirgi zamon yuqori aniqlikdagi teodolitlardan foydalanishda burchak o'lchashda sistematik xatolarni eng sezilarli manbai, bu tashqi muhit ta'siri, birinchi navbatda refraksiya hisoblanadi. Agar uning ta'siriga qarashi samarali choralar ko'rilmasa u burchak o'lchash aniqligini yanada oshirishni chegaralab qo'yadi. Bu guruhga signallarni burilishi va buklanishi xatolari ham kiradi.

Yuqorida keltirilgan sistematik xatolar ro'yxatidan ko'rinishicha, yo'nalishlar, gorizontalar, azimutlar va zenit masofalarni atmosferani real sharoitida punktlar orasidagi katta masofalarda (bir necha o'n kilometrgacha) aniq o'lchash ancha murakkab muammo hisoblanadi. Shuning uchun har bir yuqori kvalifikatsiyali geodeziya mutaxassisi burchaklarni o'lchashdagi xatolar turli manbaalarini yaxshi o'rganishi va ularni salbiy ta'siriga qarshi chora-tadbirlar ko'ra bilishi kerak. Faqat shundagina eng yuqori aniqlikdagi natijalarni olish mumkin bo'ladi.

## 7.2. Vizirlashni sistematik xatolari

Hozirgi zamon burchak o'lchash usullarini qo'llashda tasodifiy xatolarni, shu jumladan shaxsiy xatolarni, 1 va 2 klass geodezik tarmoqlarda o'lchashlarga ta'siri nisbatan kichik [8]. Bulardan eng sezilarlisi kuzatuvchiga xos sistematik xatolik bilan tuba iplar to'ri bissektorini nishonga (mo'ljalga) qaratishda kelib chiqadigan vizirlash sistematik xatosi hisoblanadi. Bu xatolar mo'ljalni kontrastligi va fonni pasayishi bilan ortib boradi. Professor F.N. Krasovskiyni baholashicha vizirlash silindriga tuba okulyar mikrometrining bissektorini qaratish sistematik xatosi  $u/18$  qiymatini tashkil qilishi mumkin, bu yerda  $u$ -bissektorni burchak qiymati ( $u=30\div35$ ).

Yorug'ligi bir-biridan keskin farq qiladigan nishonlarga qaratishda, masalan, joy predmeti azimutini yulduzlarni kuzatish orqali aniqlashda, nuqtalar shaklidagi yorug'lik manbalarini ko'zni qabul qilish psixofiziologik xususiyatlaridan vizirlash sistematik xatosi kelib chiqishi

mumkin. Astronomlarni aniqlashicha astronomik kuzatishda meridian orqali yulduzni o'tishi lahzasini belgilash, uni yorug'lik darajasiga bog'liq: yulduz qancha yorug' bo'lsa kuzatuvchi uni meridian orqali o'tishini shuncha oldin (vaqti) belgilaydi. Yulduz yorug'ligini beshta yulduz kattaligiga oshirganda ayrim kuzatuvchilarda bu o'tish ilgari lab qayd etish  $0,05^s$  ga yetadi.

Yuqorida keltirilgan yulduzlarning yorug'ligi farqi hamda nuqtali yorug' nishonlarni kuzatishdan kelib chiqadigan vizirlashni sistematik xatosi ob'ektiv holatdir. Ularni o'zgarish qonuniyati yulduz yorug'ligi (yorug'lik nishoni) oshganda kuzatuvchiga uni azimuti oshgan bo'lib ko'rinadi va aksincha, yorug'ligi pasayishi bilan meridiandan soat yo'li bo'yicha o'lchanadigan azimuti kamayib ko'rinadi. Bu hodisani «Yulduzlar yorug'ligi va nuqtali yorug'lik nishoni azimutal tenglamasi» orqali ifodalab uni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin

$$\delta = k(m - 4,0), \quad (7.1)$$

bu yerda  $\delta$  -  $\alpha$  yulduzga yoki  $N$  nuqtali yorug'lik nishoniga qarab o'lchangan yo'nalishga tuzatma;  $k$  - proporsionallik koeffitsienti;  $m$  - yulduz (yorug'lik nishoni) yorug'ligi, Garvard shkalasi bo'yicha yulduzlar birligida ifodalanadi. Ushbu tenglama  $1 \leq m \leq 4$  bo'lganda ishonchli;  $m$  ni boshqa qiymatlarida tenglama murakkabroq shaklga ega bo'ladi.  $k$  koeffitsientini yulduzlar uchun  $k_\alpha$  va nuqtali yorug'lik nishonlar uchun  $k_N$  qiymatlari har xil bo'lib, ularni o'rtacha qiymati quyidagilarga teng  $k_\alpha = 0,10$  va  $k_N = 0,33$  Laplas punktlarida astronomik azimutlarni aniqlashda yulduz  $\alpha$  (odatda qutb yulduzi) bilan joy predmetining yorug'lik nishoni  $N$  orasidagi  $\beta$  burchagi o'lchanadi.

Yulduz yorug'ligi  $m_\alpha$ , yorug'lik nishoni ravshanligi esa  $m_N$  bo'lsin, shunda o'lchangan burchak  $\beta = N - \alpha$  uchun kuzatilayotgan nishonlar yorug'ligini farqi uchun tuzatma  $\delta_\beta$  quyidagiga teng bo'ladi

$$\delta_\beta = 0,33m_N - 0,10m_\alpha \quad (7.2)$$

Agar  $m_N = 4$  va  $m_\alpha = 2,1$  (qutb yulduzi) bo'lsa yuqoridagi formuladan topamiz  $\delta_\beta = +1,11''$ . Yuqori aniqlikda burchak o'lchashda va azimutlarni aniqlashda bunday katta tuzatmalarni hisobga olmasdan bo'lmaydi. Lekin amalda bu tuzatmalar haligacha hisobga olinmay kelinadi.

Ikkita yulduzlar 1 va 2 yoki nuqtali yorug'lik nishonlari orasidagi gorizont burchakni  $\beta = 2 - 1$  o'lchashda, ular yorug'liklarning farqi  $m_1$  va  $m_2$  uchun tuzatma quyidagicha hisoblanadi

$$\delta_{\beta} = k(m_2 - m_1). \quad (7.3)$$

Agar  $m_1 = m_2$  bo'lsa  $\delta_{\beta} = 0$  ga tengdir.

Shunday qilib yorug'ligi turli yulduzlar va nuqtali yorug'lik nishonlarini kuzatishda sistematik xatolar ta'sirini kamaytirish uchun ularning yorug'ligi farqini biror bir yo'l bilan (masalan, yorug'lik filtrini ishlatib) tenglashtirish kerak bo'ladi.

### 7.3. Yuqori aniqlikda burchak o'lchashda asbob xatolari

Faraz qilaylik punktda burchak o'lchashdan oldin teodolit sinchiklab tekshirilgan, sozlangan va unga qo'yilgan texnik talablarga to'la javob beradi. Shunga qaramay 7.1 da ko'rsatib o'tilgan asbob xatolari burchak o'lchashda to'la yo'qotilgan bo'lmaydi, demak ular ta'sirini kamaytirish kerak bo'ladi. Davlat geodezik tarmoqlarida punktlar orasidagi masofalar har doim 1 km dan katta bo'ladi, shuning uchun har bir punktda truba cheksiz fokuslanib butun kuzatishlar davomida u o'zgartirilmaydi (uni priyomlar orasida o'zgartirishga yo'l qo'yiladi). Bu holatda fokuslash linzasini noto'g'ri yurishi burchak o'lchash natijalariga ta'sir etmaydi. Limb va alidada eksentrisiteti limbni diametral qarama-qarshi shtrixlari bo'yicha sanoq olish yo'li bilan yo'qotiladi. Agarda mikrometr reni yo'l qo'yarli chekidan oshsa o'lchash natijalariga tegishli tuzatmalar kiritiladi. Shunga o'xshash amal mikrometr shkalasi bo'laklarining xatosiga nisbatan ham bajariladi.

Truba okulyar mikrometri bo'lak qiymatini aniqlash xatosi ( $m_n = 0,01''$ ) burchak o'lchash natijalariga jiddiy ta'sir etmasligini ta'minlash uchun okulyar bissektorini vizirlash nishoniga qaratilganda okulyar mikrometridan sanoq  $\pm 5''$  dan oshmasligi kerak va nishon turli sanoqlarda navbati bilan mikrometr nol punktidan har ikkala tomonda joylashishi kerak.

### 7.4. Burchak o'lchash natijalariga limb diametrlari xatosining ta'sirini kamaytirish

Hatto hozirgi zamon yuqori aniqliklardagi teodolitlarda limb diametrlarining to'la xatosi  $X_0$  ko'pincha  $\pm 0,7''$  qiymatni tashkil qiladi (6.24-shakl). Limb diametrlarining sistematik xatosi  $X_0$  ni Fur'e qatori ko'rinishida ifodalash mumkin

$$X_{\sigma} = \sum_{i=1}^{i=n} (a_{2i} \sin 2i\varphi + b_{2i} \cos 2i\varphi), \quad (7.4)$$

bu yerda  $a$  va  $b$  koeffitsientlar quyidagi formulalardan aniqlanadi

$$\begin{aligned} a_{2i} &= \frac{2}{n} [x_{\varphi} \sin 2i\varphi]_{\varphi=0}^n; \\ b_{2i} &= \frac{2}{n} [x_{\varphi} \cos 2i\varphi]_{\varphi=0}^n. \end{aligned} \quad (7.5)$$

Ushbu holatda  $x_{\varphi}$  tadqiqatlardan olingan limb diametrlarini to'la xatolari;

$i$  - diametr  $\varphi(i=1,2,n)$  to'la xatosini tartib nomeri;  $2i$ -Fur'e qator koeffitsientining tartib nomeri ( $2i=2,4,6, \dots, k$ );

$n$  - limb diametrlarining to'la xatolari soni.

Ayrim diametrlarni quyidagiga teng tasodifiy xatolari  $X_{\eta}$

$$X_{\eta} = X_{\varphi} - X_{\sigma} \quad (7.6)$$

ba'zi vaqtlarda sistematik xato  $X_{\sigma}$  qiymatiga yetib boradi.

Limb diametrlarining sistematik xatolarini (uzun va qisqa davriy xatolar) to'laroq kompensatsiyalash uchun yo'nalishlar va burchaklarni o'lchashda limb doirasi priyomlar orasida  $\delta = (180' / m) + i$  burchakka o'zgartib boriladi, bu yerda  $m$  priyomlar soni;  $i$  - limb kichik bo'lagining qiymati. Xatolarni kompensatsiyalash o'lchash priyomlari soni qancha ko'p bo'lsa shuncha to'laroq bo'ladi.

O'lchash priyomlari, soni nisbatan ko'p bo'lganda nafaqat sistematik xatolar, balkim tasodifiy xatolar ham yetarlicha to'la kompensatsiyalanadi, demak limb diametrlarining to'la xatolari ham.

Hozirgi zamon teodolitlari limb diametrlarining to'la xatosi o'lchashlardagi priyomlar soni 12 ta bo'lganda odatda  $0,10 - 0,15''$  dan oshmaydi. Amaliy ishlar natijalarini ko'rsatishicha ko'pgina masalalarni muvoffaqiyatli yechish uchun limb diametrlari xatosining ta'siri har bir priyomda o'lchangan yo'nalish uchun  $0,3''$  dan oshmasligi kerak.

## 7.5. Qarash trubasi kollimatsiya xatosining ta'siri

Kollimatsiya xatosi deganda trubaning vizir o'qi va teodolit katta doirasi tekisligining orasida hosil bo'ladigan kichik  $c$  burchak tushuniladi. Kollimatsiya xatosini vertikal doirani bitta holatida (DO' yoki DCh) o'lchaganda yo'nalishga ta'siri quyidagi formulalar bilan ifodalanadi

$$N = DO' + \frac{c}{\sin z};$$

$$N \pm 180^\circ = DCh - \frac{c}{\sin z}, \quad (7.7)$$

bu yerda  $N$ - yo'nalishning haqiqiy qiymati;  $DO'$  va  $DCh$  yo'nalishni o'lchangan qiymatlari;  $z$  - vizir nishonining zenit masofasi.  $A$  va  $V$  nuqtalar orasidagi burchakni vertikal doirani bitta holatida o'lchangan qiymatiga ushbu kollimatsiya xatosining ta'siri quyidagilarga teng

$$N_B - N_A = DO'_B - DO'_A + c \left( \frac{1}{\sin z_B} - \frac{1}{\sin z_A} \right);$$

$$N_B - N_A = DCh_B - DCh_A - c \left( \frac{1}{\sin z_B} - \frac{1}{\sin z_A} \right). \quad (7.8)$$

Yo'nalishni vertikal doirani har ikkala holatida o'lchab limb bo'yicha o'rtacha sanoqni olamiz

$$N = \frac{1}{2}(DO' + DCh \pm 180^\circ), \quad (7.9)$$

Bu sanoq kollimatsiya xatosining ta'siridan holi bo'ladi. Bundan aytilish mumkinki yo'nalishlar har doim vertikal doirani ikki holatida o'lchanib natijalardan o'rtachasi olinishi kerak.

Kollimatsiya xatosi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$N = \frac{1}{2}(DO' - DCh \pm 180^\circ) \sin z \quad (7.10)$$

Kollimatsiya xatosi  $c \leq 10''$  shartni qanoatlantirishi talab qilinadi.

## 7.6. Qarash trubasi gorizontal aylanish o'qi qiyaligining ta'siri

Faraz qilaylik trubaning gorizontal aylanish o'qi ufqga kichik  $i$  burchakka qiyalashgan (truba podstavkalari va sapfalari diametrini teng emasligidan), teodolitni vertikal o'qi qat'iy tik, boshqa asbob xatolari yo'q bo'lsin. Teodolit bilan o'lchangan yo'nalishga truba gorizontal aylanish o'qining qiyaligi ta'sirini ko'rib chiqamiz.

Faraz qilamiz teodolit kuzatilayotgan predmet  $M$  (7.1-shakl) yo'nalishga nisbatan truba gorizontal aylanish o'qini chap uchi o'ng uchiga nisbatan baland joylashgan. Bu holatda limbdan haqiqiy sanoq  $N$  - quyidagiga teng bo'ladi

$$N = N_1 + x \quad (7.11)$$

bu yerda  $N_1$  - truba o'qini qiya holatidagi sanoq;  $x$  - truba o'qining qiyaligi uchun tuzatma.  $x$  burchagini kichik to'g'ri burchakli sferik uchburchak  $m z_1 z$  (7.2-shakl) dan aniqlaymiz. Sferik trigonometriyani ma'lum formulasiga asosan yozamiz

$$\cos(90^\circ - x) = \operatorname{ctg}(90^\circ - i) \operatorname{ctgz}$$

yoki

$$\sin x = \operatorname{tgi} \cdot \operatorname{ctgz}$$

$x$  va  $i$  burchaklari kichik, shuning uchun yozish mumkin

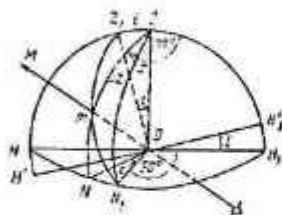
$$x = i \cdot \operatorname{ctgz} \quad (7.12)$$

Trubani zenit orqali o'tkazib uni yana o'sha  $M$  predmetga qaratilganda, tuzatmani ishorasi teskariga o'zgaradi, chunki truba o'qining chap uchi o'ng uchidan pastda bo'ladi. Kuzatishlar  $DO'$  va  $DCh$  holatlarida bajarilgan bo'lsin (7.1-shakl). Bunda quyidagilarni olamiz

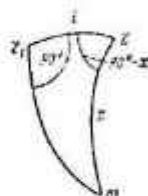
$$N = DO' + i \cdot \operatorname{ctgz};$$

$$N \pm 180^\circ = DCh - i \cdot \operatorname{ctgz};$$

$$N = \frac{1}{2} (DO' + DCh \pm 180^\circ). \quad (7.13)$$



7.1-shakl. Trubani aylanish gorizontali o'qning qiyaligi tufayli limb bo'yicha sanoqdagi xatolik



7.2-shakl. Sferik uchburchak

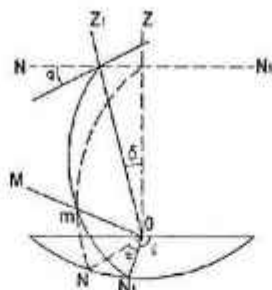
Bundan kelib chiqadiki trubaning gorizontali aylanish o'qini teodolit vertikal aylanish o'qiga perpendikulyar emasligi va sapfalar diametrlarini o'zaro teng emasligi ta'siridan kelib chiqadigan xatolarni yo'qotish uchun yo'nalishlarni trubani har ikkala holatlarida ( $DO'$  va  $DCh$ ) o'lchab olingan natijalardan arifmetik o'rtasini chiqarish kerak bo'ladi.

## 7.7. Teodolitni vertikal o'qi va limbi qiyaligining ta'siri

**Teodolit vertikal o'qi qiyaligining ta'siri.** Faraz qilamiz asbob xatolari bo'lmasin, teodolitni vertikal o'qi punktda uncha aniq o'rnatilmagan bo'lib, vertikal holatdan kichik  $\delta$  qiymatga og'gan bo'lsin. Bu holda gorizontali doiraning limbi ham  $\delta$  burchakka og'gan bo'ladi. Ushbu xatolar ta'sirini alohida-alohida ko'rib chiqamiz, chunki bunda



jamlangan natijalar o'zgarmaydi va formulalarning isboti ancha soddalashadi.



7.3-rasm. Teodolitning vertikal o'qining qiyaligi tufayli limb bo'yicha sanoqdagi xatolik

Limb doirasi gorizontol holatda bo'lsin, vertikal o'q esa  $\delta$  burchakka og'gan bo'lsin (7.3-shakl). Qarash trubasini  $M$  predmetiga qaratamiz va o'q qiya  $OZ$ , holatidagi katta doira  $ON, Z_1$  tekisligini ko'rsatamiz. Bu tekislik limb tekisligini  $ON_1$  chizig'i bo'yicha kesib o'tadi va limb bo'yicha sanoq  $ON, Z_1$  mos holda  $N$  ga teng bo'ladi.

Shovun chizigi  $OZ$  va kuzatiladigan predmet  $M$  orqali limb tekisligini  $ON$  chizigi bo'yicha kesib o'tuvchi vertikal tekislik  $OZ m N$  ni o'tkazamiz va limbdan  $O$  nuqtasida teodolit o'qi vertikal holatda bo'lganda olingan sanoqqa teng  $N$  sanog'ini olamiz.

Vertikal o'qni qiyaligi ta'siri uchun  $x$  tuzatma bilan tuzatilgan limb sanog'i  $N$  quyidagiga teng

$$N = N_1 + x \quad (7.14)$$

Shovun chizig'i  $OZ$  ga nisbatan teodolit vertikal o'qi  $OZ$  kichik burchak  $\delta$  ga og'ishi o'z navbatida truba aylanish o'qi  $HH_1$  ni kichik burchak  $q$  ga og'ishiga sabab bo'ladi, u quyidagiga teng

$$q = \delta \sin t, \quad (7.15)$$

bu yerda  $t$  kichik burchak  $\delta$  ga og'gan teodolit vertikal o'qi  $OZ$  joylashgan vertikal tekislikka nisbatan trubani orientirlash burchagi.

Truba aylanish o'qini  $q$  burchakka qiyaligi uchun tuzatma  $x$  yoki aynan, vertikal o'qni  $\delta$  burchakka og'ishi uchun tuzatmani (7.12) formuladan foydalanib topamiz unda

$$x = q \operatorname{ctg} z \quad (7.16)$$

Bu xatolik trubani  $DO'$  va  $DCh$  holatlarida kuzatish natijalaridan o'rtacha qiymat chiqarilganda ham bartaraf etilmaydi, chunki har ikkala holatda

( $DO'$  va  $DCh$ ) ham truba aylanish o'qini chap (o'ng) uchi o'ngga (chapga) nisbatan balandda (pastda) joylashadi, shunga ko'ra tuzatma  $qctgz$  ishorasi o'zgarmaydi.

Teodolit vertikal o'qini qiyaligi uchun tuzatmalar kiritib tuzatilgan limbdan olingan sanoqlar quyidagiga teng

$$\begin{aligned} N &= DO' + q \cdot ctgz; \\ N \pm 180^\circ &= DCh + q \cdot ctgz; \\ N &= \frac{1}{2}(DO' + DCh \pm 180^\circ) + qctgz \quad (7.17) \end{aligned}$$

$q$  va  $t$  qiymatlari noma'lum bo'lganligi uchun gorizont o'q qiyalik burchagi  $q$  ni (7.15) formula bo'yicha hisoblashni imkoni yo'q. Shunga ko'ra  $q$  burchagi har bir kuzatiladigan yo'nalish uchun truba aylanish o'qidagi adilak yoki gorizont doira adilagi yordamida aniqlanadi. Bunda  $DO'$  va  $DCh$  yarim priyomlarda har bir yo'nalishni kuzatishda adilak pufakchasini chap ( $ch$ ) va o'ng ( $o'$ ) uchlari bo'yicha shkaladan sanoqlar olinadi.

Olingan  $ch$  va  $o'$  sanoqlardan foydalanib har bir yo'nalish uchun truba gorizont o'qining adilak yarim bo'laklarida ifodalangan qiyaligi quyidagi formuladan topiladi

$$b = \frac{1}{2} [o'(ch+o') - (ch+o')_0], \quad (7.18)$$

bu yerda  $o'(ch+o')$ -teodolit vizirlash nishoni yo'nalishiga nisbatan adilak shkalasining noli chap tomonda joylashganda pufakchani chap va o'ng uchlari sanoqlarning yig'indisi;  $(ch+o')_0$  -nol o'ng tomonda bo'lganda (yani doirani boshqa holatida).

Adilak yarim bo'lagining qiymati  $\tau/2$  ni bilib, aniqlanishi kerak bo'lgan truba aylanish o'qining qiyalik burchagini topamiz.

$$q = b \frac{\tau}{2}, \quad (7.19)$$

va u orqali o'lchangan yo'nalish uchun tuzatma  $x$  topiladi. Teodolit vertikal o'qini qiyaligi uchun tuzatma  $x$  vizir chizig'ini qiyaligi  $\beta = |90^\circ - z| \geq 1^\circ$  bo'lgan yo'nalishlar qiymatiga kiritiladi. Masalan, 1 va 2 yo'nalishlar orsidagi burchakni o'lchashda  $z_1 = 92^\circ$  va  $q_1 = +5''$ ;  $z_2 = 88^\circ$  va  $q_2 = +4''$ ; olingan bo'lsin. Unda gorizont burchakka tuzatma quyidagiga teng bo'ladi

$$x_2 - x_1 = q_2 ctgz_2 - q_1 ctgz_1 = +0,31.$$

Bu misol asosida shunday xulosa qilish mumkin: teodolit vertikal o'qini o'lchashlar paytida yuqori aniqlikda vertikal holatga keltirish zarur va vizirlash nurini  $1''$  va undan katta bo'lgan og'ishda o'lchangan yo'nalishlarga vertikal o'qni qiyaligi uchun tuzatmalar kiritilishi kerak.

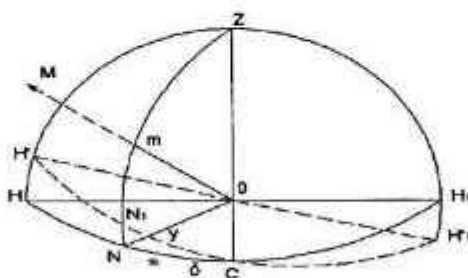
**Limb qiyaligining ta'siri.** Faraz qilaylik teodolit vertikal o'qi  $OZ$  qat'iy vertikal holatda o'rnatilgan, limb esa ushbu nuqta ufq tekisligiga nisbatan kichik  $\delta$  burchagiga qiya joylashgan bo'lsin. Boshqa hamma asbob xatolari yo'q bo'lsin (7.4-shakl). Bu holda trubani bitta  $M$  predmetga limbni gorizontal va qiya holatlarida qaratib olingan sanoqlari farqi  $u-x$  burchakka teng bo'lsin ( $u$  va  $x$  burchaklari limbning gorizontal va qiya holatlarini kesishgan  $S$  nuqtasidan boshlab hisoblanadi).

To'g'ri burchakli sferik uchburchak  $SNN_1$  uchun, bu uchburchakda  $N$  nuqtasidagi burchak  $90^\circ$  ga teng, burchaklar kotangens teoremasiga asosan yozamiz  $\cos \delta = \operatorname{ctg} y \operatorname{ctg} (90^\circ - x)$

Murakkab bo'lmagan o'zgartishlardan keyin olamiz

$$\sin(y-x) = 2 \sin^2 \frac{\delta}{2} \sin y \cos x.$$

Burchaklar  $u-x$  va  $\delta$  kichikligini hisobga olib va tenglamani o'ng tomonida  $\cos x = \cos y$  deb olib quyidagini olamiz



7.4-shakl. Limbning qiyaligi tufayli sanoqdagi xatolik

$$y-x = \frac{\delta^2}{4\rho} \sin 2y. \quad (7.20)$$

gar  $\delta = 60''$ ,  $\sin 2y = 1$  deb olsak, unda  $u-x = 0,005''$ . Demak limbning  $1-2''$  ga og'ishi sezilarli xatolikka olib kelmaydi. Limbni teodolitning vertikal o'qiga perpendikulyar qilib o'rnatish oldindan  $1-2''$  dan kam bo'lgan

xatolik bilan bajarilishi sababli hamma amaliy holatlarda limbning gorizontal emasligi xatosini hisobga olmasa bo'ladi.

### 7.8. Lagerlarda qarash trubasi o'qining azimutal siljishi, ko'tarish vintlarning lyufti, teodolitni harorat o'zgarishidan deformatsiyasi

**Lagerlarda truba o'qining azimutal siljishi.** Qarash trubasining qaratgich vinti ba'zi vaqtda ko'zga tashlanmaydigan nosozliklar bo'lishi mumkin, bu qaratgich vint yordamida trubani vertikal tekislikga qiyalashtirganda aylanish o'qini lagerlarda azimutal siljishga olib keladi. Shuning uchun dala o'lchash ishlariga chiqishdan oldin truba qaratgich vintini to'g'riligiga ishonch hosil qilish kerak. Tadqiq laboratoriya sharoitida ipli shovun yoki kollimatoridan foydalanib bajariladi. Teodolit beton tumbaga o'rnatilib sinchiklab ko'zdan kechiriladi, vertikal o'qi qat'iy vertikal holatga keltiriladi, trubani vizir o'qi gorizontal holatga, trubani qaratgich vinti esa uni ishchi qismini o'rtasiga keltiriladi. Alidadani aylantirib truba okulyar mikrometri bissektorini shovun ipiga qaratib mahkamlanadi. Keyin yo'naltiruvchi vint yordamida trubani ob'ekti vintni ikkita to'la aylantirish bilan pastga qaratiladi. Shu bilan tadqiq uchun vintni tayyorlash yakunlanadi.

Tadqiqlar soat yo'li bo'yicha vintni ikkita to'la aylantirish uchun (to'g'ri yo'l) va soat yo'liga qarshi uni ikkita to'la aylantirish uchun (teskari yo'l) bajariladi. To'g'ri va teskari yo'llarda vintni har chorak aylanishda o'rnatiladi; har bir o'rnatishda okulyar mikrometri bissektori 5 martadan qaratiladi va ulardan o'rtachasi chiqariladi. Natijada to'g'ri yo'lda vintni turli o'rnatishda  $N_i$  sanoqlar teskari yo'lda esa o'sha o'rnatishlarda -  $N_i$  sanoqlar ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) olinadi. Xar bir o'rnatish uchun to'g'ri va teskari yo'llardan o'rtacha sanoq  $N_i = (N_i' + N_i'')/2$ , keyin farqlar olinadi

$$\Delta N_i = N_{i+1} - N_i,$$

bu farqlar truba qaratish vintini ishlashidagi kamchiliklar ta'sirida truba o'qini lagerlarda azimutal siljishini tavsiflaydi.

**Ko'targich vintlarning lyufti ta'siri.** Ko'targich vintlar yo'li kerakli tarzda sozlanmagan bo'lsa va ularni juda ham yumshoq (bo'sh) aylanishi kuzatilsa yo'nalishlarni o'lchashda vintlar lyuftidan (tebranishidan) xatolik kelib chiqishi mumkin. Geodezik punktda kuzatish ishlarini boshlashdan avval ko'targich vintlarni yurishi shunday sozlab olinishi kerakki ularni

aylanishi yetarlicha qattiq bo'lsin va shu bilan birga ularni aylantirish mumkin bo'lsin. Ko'targich vintlarning lyufti va alidada o'qi bilan teodolit tagligiga mahkamlangan vtulka orasida kelib chiqadigan siyqalishdan o'lchangan burchak odatda bir muncha kamaygan bo'ladi ( $\varepsilon$ -qiymatga); bu birinchi yarim priyomdan burchak  $\alpha = \alpha_1 - \varepsilon_1$  va ikkinchi yarim priyomdan burchak  $\beta = \beta_1 - \varepsilon_2$  lar uchun adolatli bo'ladi.

$\beta$  - burchakni  $360^\circ$  dan ayirib, ikkinchi yarim priyom o'lchashlaridan burchak qiymatini quyidagicha topamiz

$$\alpha = 360^\circ - \beta = \alpha_2 + \varepsilon_2.$$

Burchakni o'rtacha qiymati har ikkala yarim priyomlardan quyidagiga teng

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{1}{2}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1),$$

bu qiymat ko'targich vintlar lyufti xatolaridan ma'lum darajada xoli bo'ladi.

**Teodolitni harorat o'zgarishidan deformatsiyasi.** Yuqori aniqlikdagi teodolit juda sezgir o'lchash sistemasi bo'lib, ish sharoitini o'zgarishi, ayniqsa haroratni o'zgarishiga sezgirlik bildiradi. Teodolitning metall va optik qismlarining kengayish koeffitsienti turli bo'lganligi uchun teodolitning turli uzellarida turli kuchlanishlar va deformatsiyalar paydo boladi. Bu deformatsiyalar nisbatan kichik. Lekin yuqori aniqlikdagi teodolitda optik qismlarning o'zaro holati hammasi bo'lib mikrometr o'ndan biri bo'lagiga o'zgarsa bu yo'nalishlarni o'lchashda  $1''$  gacha xatolikka olib keladi. Havo xaroratini keskin bir necha gradusga o'zgarishi mumkin bo'lgan vaqitlarda burchak o'lchash mumkin emas. Punktda kuzatishlarni boshlashdan oldin teodolit harorati havo xaroratiga tenglashishi uchun soyada kamida bir soat ochiq turishi kerak. Punktda havo va teodolit haroratini asta-sekin o'zgarib borishi tabiiy bo'lgani uchun o'lchashda priyomlar oralig'i qancha qisqa bo'lsa va o'lchashlar tez bajarilsa teodolitni deformatsiyasini o'lchash natijasiga ta'siri shuncha kam bo'ladi.

## 7.9. O'lchash natijalariga tashqi muhitning ta'siri

Amaliyotni ko'rsatishicha meteorologik sharoitni o'zgarishi bilan geodezik signallar deformatsiyalanadi, kuzatish nishonlarini Quyosh nuri bilan yoritilishi o'zgaradi, vizirlash nurlarini traektoriyasi bukiladi h.o. Bu fraktorlarning hammasi kuzatishlar jarayonida hisobga olinishi kerak,

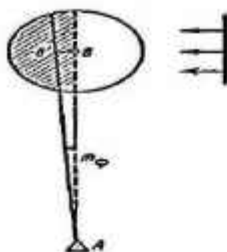
chunki ular natijalarga salbiy ta'sir etadi. Ayniqsa refraksiyani ta'siri katta bo'ladi.

**Geodezik signallarning deformatsiyasidan kelib chiquvchi xatolar.** Geodezik signal, shamol, haroratni o'zgarishi, havo namligi va boshqalardan birmuncha deformatsiyalanadi bu faktorlar ayniqsa baland signallarga katta tasir etadi. Buning oqibatida signalning yuqori qismi, teodolit o'rnatiladigan stolcha bilan birga ko'zga ko'rinmaydigan azimutal buriladi, signalni o'zi birmuncha bukiladi. Shamolni tezligi  $v=3$  m/c bo'lganda signalni bukilishi ro'y bermaydi.  $v \geq 5$  m/c bo'lsa signal tebrana boshlaydi.

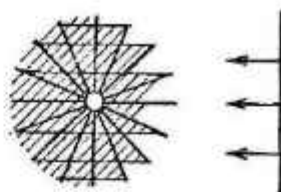
Yuqori aniqlikda burchak o'lchashda signal yuqori qismining burilishi natijaga katta ta'sir etadi. Ayrim vaqtlarda signal 1 daqiqada 1" gacha burchakka buralishi mumkin, bir soatda esa bu qiymat 25" ga yetishi mumkin. Yo'nalishlar soni ko'p punktlarda yo'nalishlarni doiraviy priyomlarda kuzatishda signalni burilishi ta'sirida gorizont yopilmaslik xatosi oshib ketishi mumkin. Ko'pgina holatlarda signalni burilishini qiymati va ishorasi o'zgarishida qonuniyat kuzatilmaydi, shuni takidlash kerak, kunning birinchi yarimidagi burilish bilan ikkinchi yarimidagi burilish turlaricha bo'ladi.

#### **7.10. Vizirlash nishonining fazasidan kelib chiqadigan xatoliklar.**

Faraz qilaylik geodezik belgining vizirlash nishoni silliq sirtli silindr shakligi ega.  $A$  punktdan (7.5-shakl) kuzatishda Quyosh nuri kuzatish nishonining o'ng tomonini yoritсин. Bunda  $A$  nuqtada turgan kuzatuvchiga vizirlash nishonining chap tomoni aniq ko'rinadi (soya tomoni), quyosh yoritgan o'ng tomoni esa ko'rinishi aniq bo'lmaydi. Shu sababdan kuzatuvchi vizirlash nishonining geometrik o'qi holatini xatolik bilan baholaydi, bissektorni  $m_f$  burchagiga yaxshi ko'rinadigan tomonga suradi.  $m_f$  burchakni ushbu lahzadagi vizirlash nishonining faza uchun xatosi deyiladi. Quyoshni o'rni osmon sferasida uzluksiz o'zgarib borishi sababli  $m_f$  qiymati ham vaqt birligida o'zgaradi. Faza xatoligi faqat ochiq havoda sodir bo'ladi. Tadqiqlarni ko'rsatishicha noqulay sharoitda silliq devorli vizirlash silindrlarini faza xatosi 1-1,5" ni tashkil qiladi. Shuni hisobga olib injener V.N.Shishkin tomonidan «Kichik fazali vizirlash silindri» konstruksiyasi taklif qilingan (7.6-shakl).



7.5-shakl. Vizir nishoni fazali uchun xatolik



7.6-shakl. Shirinlik vizir nishoning o'z soyasini sxemasi

Shishkinning vizirlash silindri uning sirtini to'la soya bilan ta'minlaydi va shu sababli vizirlash nishonining fazasi uchun xatolik 0,2-0,4" gacha kamayadi.

### 7.11. Keltirish elementlarini aniqlashning xatosi

Punktga o'lchangan yo'nalishlar punkt markaziga keltirilishi kerak. Buning uchun quyidagi formuladan teodolitni markazlash xatosi uchun tuzatma hisoblanadi

$$c = \frac{e \sin(M + \theta)}{s} \rho'',$$

shu formula bilan reduksiya uchun ham tuzatma hisoblanadi. Formulada  $e$  va  $\theta$  keltirish elementlari;  $s$  - punktlar orasidagi masofa;  $\rho'' = 206265''$ ;  $M$  - o'lchangan yo'nalish. O'rta kvadratik xatolarga o'tib va  $M$  ni xatosiz deb hisoblab yozamiz

$$m_c^2 = m_e^2 \sin^2(M + \theta) \rho^2 / s^2 + m_\theta^2 \cos^2(M + \theta) e^2 / s^2 + m_s^2 \sin^2(M + \theta) e^2 \rho^2 / s^4,$$

bu yerda  $m_e, m_\theta, m_s$  - keltirish elementlari  $e, \theta$  va  $s$  tomonlar uzunligini aniqlashni o'rta kvadratik xatolari;  $m_\theta$  sekund o'lchamda olinadi.

Teng ta'sir etish prinsipiga asosan quyidagini olamiz

$$\begin{aligned} m_c / \sqrt{3} &= m_e \sin(M + \theta) \rho / s = m_\theta \cos(M + \theta) e / s \\ &= m_s \sin(M + \theta) e \rho / s^2. \end{aligned}$$

Har bir konkret holat uchun xatolik  $m_c$  ni konkret qiymatini qabul qilib keltirish elementlari  $e, \theta$  va  $s$  masofalarning talab qilinadigan aniqligini hisoblash mumkin.



## 8 - BOB. BURCHAK O'LCHASH VA AZIMUTLARNI ANIQLASHDA YORUG'LIK REFRAKSIYASI

### 8.1. Yorug'lik refraksiyasi

Gedoezik punktlar orasida vizir nuri havo muhitidan o'tib uni ta'siriga uchraydi. Bu muhitning fizik holati shu jumladan bosimi, harorati, atmosfera tiniqligi va boshqalar to'xtovsiz o'zgarib boradi. Havo muxiti kuzatiladigan punktlarning ko'rish uzoqligini chegaralashga, vizirlash nishonlari tasvirini tebranib turishi va sifatini pasayishiga, vizir nurini egilishga sabab bo'ladi. Shular ta'sirida geodizik o'lchashlarda mehnat unumdorligi, ayniqsa punktlar orasidagi masofalar katta bo'laganda, pasayadi.

Burchak o'lchashda vizirlash nishoni tasvirini tebranib turishi bilan refraksiya hodisasini ajrata bilish kerak. Tasvirni tebranishi turli haroratdagi havo qatlamlarini trubolent aralashuvi tasiridan kelib chiqadi. Bu tebranishlar vizir nuri yer sirtiga qancha yaqin o'tsa, hamda havo harorati tuproq haroratidan qancha katta farq qilsa, shuncha kuchayadi.

**Yorug'lik refraksiyasi** deb, har xil zichlikdagi, demak, sindirish ko'rsatgichi turli bo'lgan bir muxitda yorug'lik nurini egilishiga aytiladi.

Yer atmosferasining to'rtli uchastkalarida zichlikni bir xil bo'lmasa o'z o'zidan yorug'lik nurini singdirish ko'rsatkichlari o'zgarishiga olib keladi.

Kuzatish olib borilayotgan nuqta bilan kuzatilayotgan nuqtalarni o'zaro xolatiga bog'liq xolda bir necha turdagi refraksiyalar mavjud; bular astronomik, sputnik va yer, kuzatilayotgan nuqta cheksiz uzoqda joylashganda yer oldi fazosi va yer satxi refraksiyalaridir. Bulardan tashqari yerdagi obektivlarni kosmik uchish aparatlari yoki samalyotlardan suratga olishda fotogrammetrik refraksiyalar ham kelib chiqadi. Refraksiyalarni bunday bo'lishini shartli qabul qilingan bo'lib, bu bo'linish ularni o'rganishda uslubiyat jihatidan qulaylik yaratadi.

Yer atmosferasi optik jihatdan xilma xil muhitdan iborat. Shuning uchun yorug'lik nuri  $A$  nuqtadan  $B$  nuqtagacha  $AB$  to'g'ri chiziq bo'yicha emas, balkim ikki yoqlama murakkab egrilik  $AmB$  bo'yicha o'tadi, 8.1-shakl. Kuzativchi  $A$  nuqtadan turib  $V$  nuqtaning tasvirini  $AV$  yo'nalishi o'miga,  $A$  nuqtasidagi urinma  $AB'$  bo'yicha ko'radi.

Burchak o'lchashda refraksiyani o'lchovi bo'lib boshlang'ich nuqtada nurga urinma  $AB'$  bilan numi boshlang'ich va ohirgi nuqtalarining tutashtiruvchi vatar  $AB$  orasidagi  $\rho$  burchak hisoblanadi. Bu burchakni  $AmB$  nuri uchlari nuqtalaridan o'tuvchi vertikal tekislikka proeksiyasini

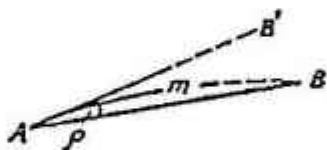
vertikal refraksiya burchagi, uning gorizontal tekislikka proeksiyasini esa – yon refraksiya burchagi deyiladi. Vertikal refraksiya burchagi  $r$ , yon refraksiya burchagini esa  $\delta$  bilan belgilaymiz. Bu kichik burchaklar  $r$  va  $\delta$  refraksiyani tegishlicha zenit mosofani va gorizontal yo'nalishini o'lchashga ta'sirini tafsiflaydi.

Vertikal refraksiya odatda yon refraksiyaga nisbatan 1-2 tartibga katta bo'ladi. Punktlar orasidagi masofa 10-20 km bo'lganda vertikal refraksiya ko'pincha 2-3' va undan ortiqni tashkil qiladi. Yorug'lik refraksiyasi zenit masofalarni, gorizontal burchaklarni va joy predmetlari azimutini aniq o'lchashni bir muncha qiyinlashtiradi, demak geodezik tarmoqlarni qurishda o'lchashlar aniqligini oshirishni chegaralab qo'yadi.

Hozirgi vaqtda refraksiyani aniqlash va uni hisobga olish masalani yechish ikki xil yo'li tanlangan:

1) refraksiya burchaklarini yetarli aniqlikda bevosita o'lchash asbobi refraktomerlarni ishlab chiqish;

2) o'lchashlar natijasiga refraksiya ta'sirini yo'qotish yoki pasaytirishni samarali uslubiy dasturini ishlab chiqish.



8.1-rasm. Yorug'lik refraksiyaning burchagi

XX asrning taxminan 60 - yillari o'rtasidan boshlab sobiq Sovet ittifoqi, AQSh, GFR, Shvesiya va boshqa davlatlarda dispersiyali burchak o'lchash refraktometrlarini ishlab chiqishga kirishildi. Bu asbob vertikal refraksiyani 1" aniqlikda bevosita o'lchashga mo'ljallangan edi. Bunday asboblarni amalda sinash natijalari shuni ko'rsatadiki, ulardan biortasi ham ishonchli natija bera olmaydi; agarda masofa 2 km dan ortiq bo'lsa atmosferani katta o'zgarishi tufayli umuman ishlamaydi.

1-2 klass geodezik tarmoqlarni qurishda burchaklarni o'lchashni o'rta kvadratik xatosi 0,6 – 0,8" bilan ifodalansa, shundan 0,4 – 0,5" refraksiya xatosiga to'g'ri keladi. Shuning uchun ishlab chiqiladigan refraktometr yon refraksiya burchagini 0,2" o'rta kvadratik xato bilan o'lchash imkonini berish kerak.

Burchak o'lchashga tashqi muhit ta'sirini, shu jumladan refraksiya ta'sirni kamaytirish maqsadida 1 va 2 klass tarmoqlarida amaldagi yo'riqnomalar quyidagilarni talab qiladi:

- gorizontal yo'nalishlar va burchaklarni yahshi yoki qoniqarli ko'rinishda vizirlash nishonini tebranmaydigan yoki yengil tebranayotgan tasvirda kuzatishni;

- quyoshli kunlarda kun chiqishi va kun botishiga yaqin vaqtlardan kuzatish uchun foydalanmaslikni;

- 1 va 2 klass punktlarida kuzatishlarni ertalab va kechqurun yoki turli kunlarda bajarishni.

Refraksiya burchaklarini bevosita o'lchash mukammal asboblarini hozirgacha yaratimaganligi sababli refraksiya ta'sirini kamaytiruvchi uslubiy priemlarni rivojlantirish va mukammallashtirish ustida ish olib borish kerak bo'ladi.

Refraksiya miqdori va ishorasini nurni har bir nuqtasidagi havoni sindirish ko'rsatkichi  $n$  ni vektor gradienti  $\partial n / \partial N$  aniqlaydi.  $\partial n / \partial N$  vektoriga ko'pincha refraksiya vektori deyiladi. Atmosferani har bir nuqtasiga tegishli refraksiya vektori qo'yilsa, refraksiya maydoni hosil bo'ladi.

Yon refraksiya maydoni nazariyasiga asosan refraksiya maydoni umum yer maydoni, regional maydon, kichik mahalliy maydonlarga bo'linadi.

Havo zichligini va shu bilan bir vaqtda uni sindirish ko'rsatkichini ekvatoridan qutibgacha o'zgarishi umum yer refraksi maydonini tashkil etadi.

Tevarak atrofda farqli amosfera bosimi, havo harorati va sindirish ko'rsatkichiga ega bo'lgan katta cho'ziqlikdagi maydon regional maydon refraksiyasi (misol uchun: tog' tizmalari, shuningdek, dengiz va okenlarining qirg'oqlari bo'ylab) hisoblanadi.

Nisbatan katta bo'lmagan uchastkalar sirti qoplamasi ustida havo haroratini farqiga bog'liq bo'lgan havo anomal zichligi bilan tavsiflanuvchi kichik maxalliy maydonlar masalan, suv havzalari, namsiz tuproq ustida, o'rmon ustida, dala ekinlari, bino va inshootlarning tomlari, shahar hiyobonlari ustida va x.k.).

Bulardan eng muhimi mahalliy yon refraksiya maydonini burchaklar va azimutlarni o'lchash natijalariga ta'siri hisoblanadi. Tadqiqotlarni ko'rsatishicha yon refraksiya maydoni ta'sirining o'rta kvadratik qiymati  $m_{ref}$  1 va 2 klass triangulyatsiyasi yo'nalishlar  $N$  uchun masofa  $s$  ga bog'liq bo'lib quyidagi emperik formula bilan ifodalanadi

$$m_{N(ref)} = K\sqrt{s}, \quad (8.1)$$

bu yerda  $K$  - koeforitsient.

Ishlab chiqarish materiallariga asoslanib kechki kuzatishlar uchun  $K_{kech} = 0,093$  ( $m_k = 0,004$ ), tundagi kuzatishlar uchun  $K_{tun} = 0,131$ , birgalikda  $K_{bir} = 0,114$  ( $m_k = 0,006$ ) ekanligi aniqlangan.

Katta ishonch bilan tasdiqlash mumkinki, refraksiya mahalliy maydonini 1, 2 klass triangunyatsiyasi gorizantal burchaklari  $\beta$  ni o'lchashga ta'siri quyidagi o'rta kvadratik qiymatlarni tashkil qiladi

$$\left. \begin{aligned} \text{kechki } m_{\beta(ref)} &= 0,093\sqrt{2s}, \\ \text{tungi } m_{\beta(ref)} &= 0,131\sqrt{2s}. \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

Loplas punktlarida astronomik azimutlar  $\alpha$  asosan tunda o'lchanadi, 15÷30 km masofada refraksiya ta'sir 8.1 formula bo'yicha o'rtacha  $m_{\alpha(ref)} = 0,131\sqrt{15 \div 30} = 0,50 \div 0,71''$  ni tashkil etadi.

Noqulay sharoitlarda refraksiyani mahalliy maydoni ta'siri ostida burchak va azimutlarni o'lchashdagi xatolar ayrim holatlarda 3 - 7'' ni tashkil qiladi.

Yer qoplamasi va uning fizik xususiyatlarini turli bo'lishi refraksiya mahalliy maydonini konkret hududlarda tasodifiy taqsimlanishiga olib keladi.

Shunga ko'ra refraksiya mahalliy maydonini geodezik tarmoqlar burchaklarini o'lchashga ta'siri ham tasodifiy harakterga ega bo'ladi.

## 8.2. Refraksiya burchagini metereologik elementlar bilan bog'liqligi va ularning gradientlari

O'lchangan zenit masofa va yo'nalish (azimut) larga tegishli  $r$  va  $\delta$  tuzatmalarni hisoblash uchun boshlang'ich formulalar numing har bir nuqtasidagi havo sindirish ko'rsatkichi  $n$  va uning gradientlari  $\partial n / \partial N$  funksiyasi ko'rinishida berilgan. Zenit masofalarni vertikal, yo'nalishlar va azimutlarni esa gorizantal tekislikda o'lchanishi sababli vektor gradienti  $\partial n / \partial N$  tegishli ikkita:  $\partial n / \partial N$  vertikal va  $\partial n / \partial \alpha$  gorizantal tekisliklardagi tuzuvchilarga ajratiladi.

Masofa  $s \leq 100$  km bo'lganda aniq formulalar quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$r = \frac{\rho}{s} \int_0^s \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial z} (s - y) dy, \quad (8.3)$$

$$\delta = -\frac{\rho}{s_0} \int_0^s \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial x} (s-y) dy. \quad (8.4)$$

Bu formulalar to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasida olingan bo'lib, unda  $y$  o'qi vatar bo'yicha nurning boshlang'ich nuqtasidan oxirgi nuqtasigacha yo'nalgan;  $x$  o'qi ufq tekisligida yotib,  $y$  o'qidan chap tamonga yo'nalgan;  $z$  o'qi  $xy$  tekisligiga perpendikulyar yuqoriga yo'nalgan;  $s$  - vatar uzunligi;  $s_0$  - uning gorizontal tekislikka proeksiyasi ( $s_0 = s \cos \beta$ , bu yerda  $\beta$  - vatarning ufqqa nisbatan og'ish burchagi). Meteorologiya tajribasida havoning sindirish ko'rsatkichi va uning gradientlarini planda va balandlik bo'yicha taqsimlanishi o'rganilmagan.

Shu sababli (8.3) va (8.4) formulalardan foydalanish uchun sindirish ko'rsatkichi  $n$  va uning gradientlarini meteorologik elementlar va ularning gradientlari orqali ifodalanadi.

Spektrni ko'rinadigan qismidagi havo sindirishi ko'rsatkichi indeksi  $(n-1)$  uchun  $2 \cdot 10^{-7}$  aniqlikgacha quyidagi formula ishonchlidir

$$(n-1) = 110,8 \cdot 10^{-6} \left( \frac{p}{T^2} - 0,14 \frac{e}{T} \right), \quad (8.5)$$

bu yerda  $p$  - havo bosimi mm sim ust. (1 mm sim ust. = 133,3 Pa);  $T$  - havoning mutloq harorati;  $T = 273,16 + T^\circ \text{C}$ ;  $e$  - suv bug'lanishi bosimi, mm-sim-ust.

(8.5) formuladan foydalanib  $\partial n / \partial z$  va  $\partial n / \partial x$  hosillalarni hisoblab, ularni (8.3) va (8.4) formulalarga qo'yib, keyin fazoviy to'g'ri burchakli kordinatalar sistemi  $xuH$  ga o'tiladi; bunda vertikal o'q shovun chizig'i  $N$  bilan tutashgan,  $x$  o'qi ufq tekisligida yotib Yerning shimoliy qutbiga,  $y$  o'qi esa sharqqa yo'nalgan bo'ladi.

Natijada  $r$  va  $\delta$  tuzatmalari uchun hisoblash xatosi 1% dan oshmaydigan quyidagi formulalar olinadi

$$r = \frac{22,85}{s} \int_0^s \frac{p}{T^2} \left( 0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) [\sin z - \operatorname{tg} v \cos z \cos(A-Q)] (s-y) dy, \quad (8.6)$$

$$\delta = \frac{22,85}{s} \int_0^s \frac{p}{T^2} \left( 0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) \operatorname{tg} v \sin(A-Q) (s-y) dy. \quad (8.7)$$

bu yerda  $s$  - vizirlash nurining vatar bo'yicha uzunligi, m;  $s_0$  - vizirlash nurining gorizontal tekislikka proeksiyasi;  $s_0 = s \sin z$ ;  $y$  - vatar bo'yicha nurning boshlang'ich nuqtasidan berilgan nuqtagacha uzunligi, m;  $p$  - havo bosimi, mm sim. ust.;  $T = 273,16 + T^\circ \text{C}$   $\delta T / \delta H \approx (T_2 -$

$T_1)/(H_2 - H_1)$  - havo haroratining vertikal gradienti, gradus/m;  $\nu$  - zenit nuqtasidan sindirish ko'rsatkichining vektor gradienti  $\partial n/\partial N$  gacha o'lchanadigan va kamayish tomoni  $n(x, y, H)$  ga yo'naltirilgan burchak;  $A$  - o'lchanadigan yo'nalish azimuti;  $Q$  - gradient vektori  $\partial n/\partial N$  azimuti; azimutlar shimolga yo'naltirilgan ( $x$  o'qi) yo'nalishidan boshlab soat mili yuli bo'yicha hisoblanadi;  $Z$  - kuzatish nishonining zenit masofasi.  $\partial n/\partial N = \text{const}$  bo'lgan bir xil refraksiya maydoni uchun (8.6) va (8.7) formulalar quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$r = 11,42 \frac{p}{T^2} s \left( 0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) [\sin z - \operatorname{tg} \nu \cos z \cos(A - Q)], \quad (8.8)$$

$$\delta = 11,42 \frac{p}{T^2} s_0 \left( 0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) \operatorname{tg} \nu \sin(A - Q). \quad (8.9)$$

Havo harakatining vertikal gradienti  $\partial T/\partial N$  va  $n(x, y, H) = \text{const}$  satxini  $\operatorname{tg} \alpha$  og'ishi har doim qarama-qarshi ishoralarga ega bo'ladi. Bundan tashqari  $\partial T/\partial N$  ishorasi o'zgarishi bilan bir vaqtning o'zida  $\operatorname{tg} \nu$  va  $\sin(A - Q)$  element ishoralari qarama-qarshi ishoralarga o'zgaradi.

Metrologiyada:

$$\frac{T}{P} \cdot \frac{\partial P}{\partial H} = -0,0342 \quad (8.10)$$

kattalikni havo bosimini keltirilgan gradienti deyiladi (gradus/m).  $\partial/\partial N$ -bosim vertikal gradienti, mm sim. ust./m.

O'rtacha ob-havo sharoitida geodezik o'lchash ishlari olib borilayotganda  $n(x, y, H) = \text{const}$  satixni ufqqa og'ishi, odatda, bir gradusdan kam bo'ladi ( $\operatorname{tg} \alpha \approx 0,0175$ ).

Geodezik to'rlarda vizir nurini qiyalik burchagi har doim  $10^\circ$  dan kichik ( $z \approx 80 \div 100^\circ$ ). Bu kattaliklarda (8.6) va (8.8) formulalarning kvadrat qovuslardagi ikkinchi hadining vertikal refraksiyaga ta'siri 0,3% dan oshmaydi. Bunday kichik kattaliklarni inobatga olmasdan yozishimiz mumkin, bir jinsli bo'lmagan maydon refraksiyasi uchun

$$r = \frac{28,85}{5} \int_0^P \frac{p}{T^2} \left( 0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) \sin z (S - y) dy; \quad (8.11)$$

Bir jinsli maydon refraksiyasi uchun

$$r = 11,42 \frac{p}{T^2} S \left( 0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) \sin z. \quad (8.12)$$

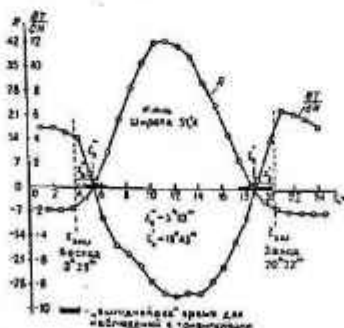
Yuqorida keltirilgan (8.6) – (8.9) formulalar boshqalarga o'xshash nurning butun yo'li bo'yicha meteorologik elementlar gradientlarini bilishni talab qiladi, shuning uchun refraksiya tuzatmalarini aniq hisoblash uchun ulardan foydalanilmaydi.

### 8.3. Harorat, refraksiya va o'lchanadigan miqdorlar gradientlarining kvazi davriy o'zgarishi

Yerning sutkali aynalishi va uni Quyosh atrofidagi harakatidan meteorologik elementlar va ular gradientlari uzluksiz o'zgarib turadi. O'zgarish sutkali va yillik bo'lib, u o'zgarishiga ob-havoga bog'liq. Refraksiyani meteorologik elementlar va ularning gradienti bilan funksional bog'liqligi tufayli u ham sutkali va yillik o'zgarib boradi va bu o'z navbatida zenit masofalar, gorizontal yo'nalishlar va yer predmetlari azimutlarini sutkali va yillik o'zgarishiga olib keladi.

Vaqtga bog'liq bu o'zgarishlar qonuniyatga bo'ysinadi va ular yuqori aniqligidagi astronomo – geodezik o'lchashlarni tashkil qilishda va natijalarni matematik ishlab chiqishda hisobga olinishi kerak.

Yuqoridagi (8.6) va (8.7) formulalarda ko'paytma  $p/T^2 \approx 0,009$  harorat va havo bosimiga bog'liq bo'lib, konkret har bir sutka davomida deyarli o'zgarmas qoladi, shu bilan birga harorat gradienti  $\partial n / \partial H$  keng diapazonda o'zgaradi (8.2-shakl).



8.2-rasm. R – radiatsiya balansini va ochiq joyda yerdan 2 m balandlikda havo temperaturasiining vertikal gradienti  $\partial T / \partial H$  ni sutkali yo'li.

Qo'shni geodezik punktlar orasida vizir nuri nisbatan katta bo'lmagan balandlikda: tekis joylarda bir necha metr, tepalik joylarda bir necha o'n metr va tog'lida esa bir necha yuz metrdan (numri o'rta qismida) o'tadi.



Geodezik punktlar orasida ko'pchilik nurlar atmosfera quyi qatlamlaridan, qalinligi 50-80 m, o'tadi; meteorologiyada u yer usti qatlami deyiladi. Bu qatlam uchun balandlik va vaqt o'zgarishi bilan meteorologik elementlarni keskin o'zgarishi xos. Meteorologik elementlarni vertikal gradienti atmosferaning bu qatlamida yuqori qatlamlarga qaraganda bir – ikki tartibga ortiq. Yer usti atmosfera qatlami iqlimining shakllanishida asosiy omil yer sirtining radiatsiya balansi  $R$  hisoblanadi. Radiatsiya balansi qiymatini hisoblash turli vaqt oralig'i uchun: daqiqa, soat, sutka, oy va yilga bajariladi.

Radiatsiya balansi tuproq va havoda harorat taqsimlanishi, bug'lanish va qor erishi, tumanlar hosil bo'lishiga ta'sir etadi. Uning qiymati joy kengligi, sutka va yil vaqti, havo sharoitini o'zgarishi bilan o'zgaradi. O'rta hisobda qor qatlami bo'lmaganda kun davomida musbat, kechasi manfiy ishorada bo'ladi.

Radiatsiya balansi nur energiyasi oqimning yo'nalishini belgilaydi va shu bilan atmosfera quyi qatlamida havo haroratining vertikal gradienti qiymati va ishorasini aniqlaydi. Yer qor qoplamasi bo'lmaganda radiatsiya balansi va haroratning vertikal gradienti egrilari o'zini sutkali harakati (o'zgarishi) da bitta nuqtada bir vaqtda nol chizig'ini kesib o'tadi, sutka davomida esa ikki marotaba (ertalab va qechkurun), 8.2 - shakl; bunda har safar o'z ishoralarini qarama-qarshiga o'zgartiradi. Bu xususiyatdan foydalanib kuzatuvchi geodezistlar yon refraksiya ta'siridan kelib chiqadigan xatolarni aniqlash va uni yo'qotishda foydalanishi mumkin.

### **Burchak o'lchashda va azimutlarni aniqlashda yon tomon refraksiya ta'siridagi xatolarni kompensatsiyalanishi**

(8.7) va (8.9) formulalarni xar birini ikki qo'shiluvchi had ko'rinishida ko'ramiz

$$\delta = \varepsilon + \ominus, \quad (8.13)$$

Bunda bir jinsli bo'lmagan refraksiya maydoni uchun

$$\varepsilon = \frac{0.79}{s_0} \int_0^S \frac{P}{r^2} t g y \sin(A - Q)(s - y) dy; \quad (8.14)$$

$$\ominus = \frac{22.85}{s_0} \int_0^S \frac{P}{r^2} \frac{\partial r}{\partial H} t g y \sin(A - Q)(s - y) dy; \quad (8.15)$$

bir jinsli refraksiya maydoni uchun

$$\varepsilon = 0,39 \frac{P}{T^2} S_0 \operatorname{tg} \gamma \sin(A - Q); \quad (8.16)$$

$$\mathfrak{S} = 11,42 \frac{P}{T^2} S_0 \frac{\partial T}{\partial H} \operatorname{tg} \gamma \sin(A - Q). \quad (8.17)$$

O'rtaga ob-havo sharoitida  $P/T^2 \approx 0,009$  kattalik sutka davomida barqaror. Shuning uchun yon tomon refraksiyasining (8.13) sutka davomida o'zgarishi havo qatlamlarida vizir nuri balandligida xaroratining vertikal gradientlari,  $n(x, y, z) = \text{const}$  satxini og'ishi  $\operatorname{tg} \gamma$  larga bog'liq. Umumiy xolda, ya'ni  $\varepsilon + \mathfrak{S} \neq 0$  va  $A \neq Q$  da

$$\delta = 0, \text{ agar } (\operatorname{tg} \gamma)_S = 0. \quad (8.18)$$

Ko'pchilik xollarda  $s$  uzunlikdagi butun vizir nuri davomida  $\operatorname{tg} \gamma$  og'ishi nolga teng emas (8.14) va (8.15) formulalar asosida quyidagilarni olamiz

$$\varepsilon \rightarrow 0, \text{ agar } (\operatorname{tg} \gamma)_S \rightarrow 0. \quad (8.19)$$

$$\mathfrak{S} \rightarrow 0, \text{ agar } \left( \frac{\partial T / \partial H}{\operatorname{tg} \gamma} \right) \rightarrow 0 \quad (8.20)$$

Havo izotermiyasida vizir nuri balandligida  $\partial T / \partial H = \partial T / \partial x = 0$ , refraksiya maydoni amaliy jihatdan olganda bir jinsli va (8.15), (8.17) formulalardan refraksiyani tashkil etuvchisi  $\mathfrak{S}$  nol'ga teng ( $\mathfrak{S}=0$ ). Bu xolatda  $n(x, y, z)$  satixni ufqqa og'ishi  $\operatorname{tg} \gamma$  hisobga olmasa ham bo'ladigan darajada kichik va meridian tekisligida quyidagidan katta bo'lmaydi

$$\operatorname{tg} \gamma \leq \operatorname{tg} \gamma_r = -29,24 \frac{T}{P} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \quad (8.21)$$

Yuqorida tasdiqlanadiki, o'rtacha ob-havo sharoitida izobarik yuzalarni og'ishi kichik bo'ladi:  $\alpha_r \leq 2'$  yoki  $\operatorname{tg} \gamma \leq 0,0005$ . (8.16) formulada o'рта qiymatalar  $P/T^2 = 0,009$ ;  $\sin(A-Q) = 1$  va  $\operatorname{tg} \gamma = 0,005$  deb olib, izotermiyada refraksiyani tashkil etuvchi  $\varepsilon \leq 0,02 \div 0,04''$  ekanligini topamiz. Bunday kichik kattalikni amaliy jihatdan hisobga olmasa ham bo'ladi.

Vizir nuri balandligiga havo izotermik xolati bo'lganda yoki unga yaqin xolat bo'lganda yaraldi, qatlami atmosferasi fizikasiga asoslangan refraksiya nazariyasidan yon tomon refraksiyasi  $\delta$  amaliy jihatdan nolga

teng bo'ladi. Bu xulosa nazariy va amaliy jihatdan muhim xulosa hisoblanadi.

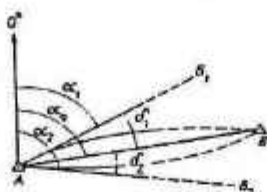
Sutkaning boshqa har qanday vaqtida yon tomon refraksiyasi nolga teng bo'lmaydi, chunki  $\frac{\partial \tau}{\partial H} \neq 0$  va  $tgy \neq 0$  va shu sababli  $\varepsilon \neq 0$  va  $\delta \neq 0$ . Shu narsani takidlashimiz kerakki,  $\delta$  tashkil etuvchi  $\varepsilon$   $\delta$  dan ancha kichik, lekin noqulay sharoitda va  $S=10 \div 20$  km bo'lgan hollarda  $0,3''$  va undan katta bo'lishi mumkin.

Yon tomon refraksiyasi ta'sirida kelib chiqadigan xatoliklarni kompensatsiyalanishining amaliyotda ishlatish uchun punktlarda kuzatish olib borilayotganda vizir nuri balandligida havo izotermiyasini paydo bo'lish vaqtini aniqlash talab etiladi. Bu masalani yechimi oson bo'lib, hech qanday qiyinchilik tug'dirmaydi.

#### 8.4. Yon tomon refraksiya ta'siri uchun tuzatmani aniqlash

Yon refraksiyasining yuzaga keltiradigan xatolik har bir yo'nalish, burchak va azimutni o'lchash vaqti nur balandligidagi havo izotermiyasi vaqtiga asimmetrik bo'lishi tufayli kelib chiqadi. Bundan yon refraksiya ta'sirini yo'qotish yoki kamaytirishni quyidagi usuli kelib chikadi: gorizantal burchaklar va joy predmetlari azimutlari asimmetrik o'lchash vaqtida bajarilgan bo'lsa o'lchashlar natijasini yon refraksiya nolga teng bo'ladigan havo izotermiyasi vaqtiga o'tkazish (redutsiyalash) kerak bo'ladi. Gorizantal yo'nalishlar yoki joy predmeti azimutini yon refraksiyani o'zgaruvchan maydonida o'lchashda  $A$  punktida o'rnatilgan (8.3-shakl) teodolitning qarash trubasini  $B$  punktdagi vizirlash nishoniga qaratib vaqt ( $t$ ) ni belgilangan har bir daqiqaga to'g'ri keluvchi limbning o'zgarish noli (meridian yo'nalishi) bilan  $A$  punktidagi yorug'lik nuriga urinma  $AB_1$ , ( $AB_2$ ) orasidagi yo'nalish yoki azimut  $\alpha$  topiladi. Yorug'lik nuri  $AmB$  shakli va o'rni (uning gorizantal tekislikka proeksiyasi) izlanayotgan yo'nalish  $AB=\alpha_0$  (8.3-shakl) ga nisbatan vaqtga bog'liq to'xtovsiz, aynan yon refraksiyasini o'zgarishiga bog'liq, sutka davomida va qisman yillik o'zgarib (yurib) turadi. Shu sababli yorug'lik nuriga urinma sutkali o'zgarib asta-sekin chetdagi bir holatdan  $AB_1=\alpha_1$  ikkinchi holat  $AB_2=\alpha_2$  ga, keyin esa teskari yo'nalishda,  $\alpha_2$  dan  $\alpha_1$  ga suriladi. Shunday qilib o'lchanayotgan har bir yo'nalish sutkali yo'lida (o'zgarishda)  $\alpha_{min}$  dan  $\alpha_{max}$  gacha va teskari yurib kvazi davriy qonuniyatga asosan sutkada ikki marotaba, kechki va ertalabki havo

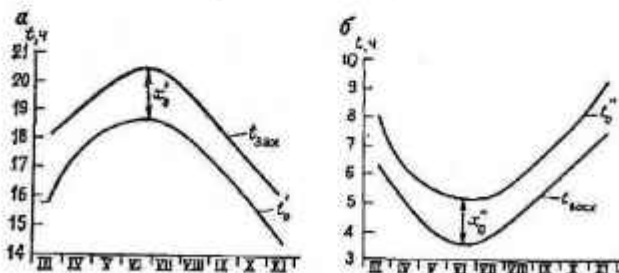
izotermiyasi vaqt daqiqalari  $t_0^k$  va  $t_0^3$  da o'zgarib yon refraksiyasi ta'siridan ozod bo'lgan qiymat  $\alpha_0 = \alpha_{t_0}$  ga ega bo'ladi.



8.3-shakl. Yon refraksiyani sutkalik yo'li tasirida yo'nalishi kvazidavriy o'zgarish grafigi.

Yuqori aniqlikdagi burchak o'lchash va azimutlarni aniqlash ishlari I va 2-klass trangulyatsiyasining har bir punktida 2 – 3 kun, Laplas punktlarida azimutlarini aniqlash esa 10 – 12 kungacha davom etadi. Bir kundan ikkinchisiga o'tishda havo izotermiyasini kirish vaqt oni momenti  $t_0$  suriladi, ya'ni quyoshni botish oni ( $t_{bot.}$ ) kechqurun, uni chiqish onini ( $t_{chiq.}$ ) ertalab deyarli aniq takrorlaydi (8.4-shakl). Shuni hisobga olib ko'p kunlik kuzatishlar natijasini ishlab chiqishda bir kundan ikkinchisiga o'tishdan Quyoshni og'ish qiymatini o'zgarishi bilan bog'liq vaqt oni smomenti  $t_0$  ni surilib borishini hisobga olish kerak bo'ladi. Buning uchun Quyoshni botish oni  $t_{bot.}$  (tundagi kuzatishlarda) va chiqish oni  $t_{chiq.}$  (ertalabki kuzatishlarda)ga nisbatan aniqlanadigan vaqtni hisoblash shartli sistemasiga o'tish kerak bo'ladi, yani:

$$\left. \begin{aligned} x &= t_{bot.} - t_0 \\ x &= t_{chiq.} - t_0 \end{aligned} \right\} \quad (8.22)$$



8.4 – shakl. Yerdan 2 m balandlikda  $53^\circ$  kenglikda kechki va ertalabgi havo izotermiyasi. a) Quyosh botishida b) Quyosh chiqishida.

Vaqtini bu sistemasida havoning kechki izoterimiyasi vaqt oni  $x_0^k$  va ertalabki izoterimiyasi vaqt oni  $x_0^o$  ni quyidagi formulalar bo'yicha topiladi

$$\left. \begin{aligned} x_0^k &= t_{\text{som}} - t_0^k; \\ x_0^o &= t_0^o - t_{\text{umr}}. \end{aligned} \right\} \quad (8.23)$$

Bu vaqtini hisoblash sistemasining xususiyati shundaki  $x_0^k$  va  $x_0^o$  o'z qiymatlari bo'yicha bir sanadan ikkinchisiga o'tishda o'zgarmasdan qoladi. Bundan tashqari har bir muayan sana uchun  $x_0^k$  va  $x_0^o$  qiymatlari deyarli o'zaro teng bo'ladi, bu esa katta amaliy ahamiyatga ega. Amaliy tajribalarni ko'rsatishicha Quyoshni botishi oldidan va uni chiqishidan keyin uch soat vaqt davomida harorat gradienti, refraksiya va kuzatiladigan yo'nalish yoki azimutlar vaqtga bog'liq to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarib boradi. Shu sababli gorizont burchaklar (azimutlar) bir necha kechalar davomida sutkaning shu vaqt bo'lagida o'lgangan bo'lsa refraksiya xatosi uchun tuzatilgan burchak qiymati uni izoterimiyasi oniga reduksiyalanganidan keyin  $x_0$  quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\alpha_0 = \bar{\alpha} + k(x_0 - \bar{x}), \quad (8.24)$$

bu yerda  $\bar{\alpha}$  - burchak o'lgash priyomlaridan chiqarilgan o'rtacha qiymati;  $k$  - burchak yoki azimutni soat davomida o'zgarishi, burchak sut./soatda;  $\bar{x}$  - priyomlar vaqtining o'rtacha qiymati, soatda

$$\delta = k(x_0 - \bar{x}) \quad (8.25)$$

qiymat vaqt asimmetriyasi sababli kelib chiqqan refraksiyaga tuzatma bo'ladi. Bir necha kecha davomida o'lgangan har bir burchak yoki azimutni soat o'zgarishi  $k$  ni hisoblash uchun vaqt sanoq sistemasi  $x$  ga o'tish kerak bo'ladi (azimutni aniqlashda yulduz vaqtini avval o'rtacha Quyosh vaqtiga o'zgartirib olish kerak bo'ladi).

Yuqoridagi (8.24) va (8.25) formulalarda burchakni soat o'zgarishi  $k$  va havo izoterimiyasi soat o'zgarishi  $x_0$  qiymatlari noma'lum.

Hamma burchaklar uchun soat o'zgarishi  $k$  qiymati qo'yidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$k = \frac{[\Delta x_i \Delta \alpha_i]}{[\Delta x_i^2]}, \quad (8.26)$$

bu yerda  $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$ ;  $\Delta \alpha_i = \alpha_i - \bar{\alpha}$ ;  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ .

Hisoblash ishlari qulay bo'lishi uchun burchakni (azimutni) priyomlarda o'lgangan natijalari  $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) jadvali tuziladi, 12-jadvalga qarang.

| Qabul nomeri<br>$I$                  | Kuzatishlar<br>vaqti $x_i$     | Kuzatishlar<br>natijasi $\alpha_i$       |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| 1                                    | $x_1$                          | $\alpha_1$                               |
| 2                                    | $x_2$                          | $\alpha_2$                               |
| 3                                    | $x_3$                          | $\alpha_3$                               |
| $\vdots$                             | $\vdots$                       | $\vdots$                                 |
| $n$                                  | $x_n$                          | $\alpha_n$                               |
| $\bar{x}^2 = \frac{1}{n} \sum x_i^2$ | $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ | $\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i}{n}$ |

Keltirilgan (8.25) formula bo'yicha hisoblangan refraksiya uchun tuzatma  $\delta$  ni aniqlashni o'rtacha kvadratik hatosi quyidagi formula bo'yicha topiladi

$$m_{\delta}^2 = (x_0 - \bar{x})^2 m_k^2 + k m_{x_0}^2, \quad (8.27)$$

bu yerda  $k$  qiymatini aniqlashni o'rtacha kvadratik xatosi quyidagiga teng

$$m_k = \sqrt{\frac{\sum v^2}{(n-1)[\Delta x^2]}}. \quad (8.28)$$

Bu formuladagi priyomlarda o'lchangan  $\alpha_i$  qiymatlariga tuzatma  $v$  quyidagicha topiladi

$$v_i = k(x_i - \bar{x}) - (\alpha_i - \bar{\alpha}). \quad (8.29)$$

### 8.5. Yuqori aniqlikda burchak o'lchash va azimut aniqlashda kuzatishni eng qulay vaqti

Yuqorida qayd qilinganiday har bir sutkadagi vaqt davomida meteorologik elementlar va ularning gradientlari o'zgarib boradi, shular qatorida atmosfera tiniqligi, kuzatilayotgan punktlar ko'rinishi, vizirlash nishonlarining ko'rinish sifati va boshqalar o'zgarib turadi

Bu omillar mehnat unimdorligiga hamda burchak (azimutlar) o'lchash aniqligiga ta'sir etadi. Geodezik tarmoqlarda yuqori aniqlikda burchak o'lchashni "foydali" deb ataluvchi kuzatish davrida, vizirlash nishoni tasvirining tebranishi juda kichik, atmosfera tiniqligi va ko'rish sharoiti eng yaxshi, refraksiya ta'siri esa eng kichik bo'lganda bajariladi. Bunday

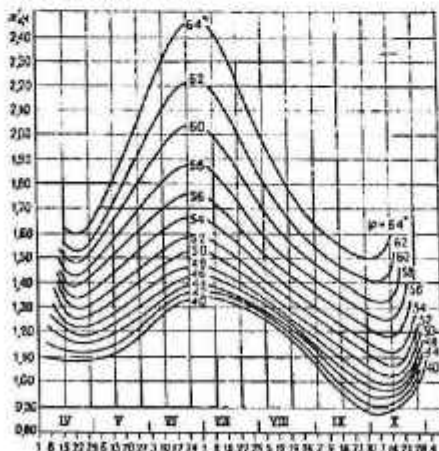
eng qulay kuzatish sharoiti kechqurun va ertalab vizirlash nurining balandligidagi havoda izotermiyaga eng yaqin holat kuzatiladigan soatlarda bo'ladi. Kuzatishlar uchun bunday qulay sharoitni davomiyligi ko'pgina omillarga: havoning harorati, ochiq yoki bulutlilik, yer qoplamasidan vizir nurining balandligi va boshqalarga bog'liq. Shabadasiz, ochiq va issiq yoz havosida, ayniqsa janubiy cho'l zonalarida, bu sharoit 0,5 soatdan oshmaydi; tog'li hududlarda kuzatishni qulay davri oshadi va bir necha soatga yetadi.

Kechki kuzatishlarda eng qulay sharoitni boshlanish vaqi  $t_{\text{dom}}$  ni taqribiy quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin

$$t_{\text{dom}} = t_{\text{dom}} - 2x'_0, \quad (8.30)$$

$x'_0$  qiymati maxsus grafik bo'yicha (8.5-rasm) aniqlanadi;  $t_{\text{dom}}$  - Quyosh botish vaqi Astronomik yilnomadan olinadi. Kuzatishlarni Quyosh botishidan yarim soat ilgari tugatish tavsiya etiladi.

Shuni takidlash kerakki ertalabki "foydali" kuzatish davri kechkiga qaraganda ancha qisqa bo'ladi, ba'zan bunday davr butunlay bo'lmasligi ham mumkin. Havo bulutli bo'lib harorat pasaysa va shamol kuchayib tursa bu davr oshadi. Refraksiya mahalliy maydoni ta'sirini kamaytirish maqsadida yozgi issiq havoda izotermiya oniga nisbatan simmetrik burchak o'lchashni quyosh chiqqandan 1 soatdan keyin boshlab uni 1,5 soatgacha davom ettirish mumkin.



8.5 – shakl. Yerdan 2 metr balandlikda turli kengliklarda radiatsion balansni nol orqali o'tishi.  $x'_0 = t_{\text{max}} - t'_0$  vaqt momentlarini ko'p yillik qiymatlari.



## **9-BOB. YUQORI ANIQLIKDA BURCHAKLARNI O'LCHASH NAZARIYASI VA USULLARI**

### **9.1. Umumiy tushunchalar**

Burchaklarni o'lchashni turli usullari mavjud bo'lib davlat geodezik tarmoqlarida ularni hammasi ham qo'llanavermaydi. Geodezik tarmoqlarni tenglashtirishda hisoblash ishlari hajmini qisqartirish va punktlar koordinatalarini mumkin qadar katta aniqlikda olish maqsadida, burchaklarni o'lchash natijalari birinchidan hamma punktlarda bir xil vaznga ega teng aniq yo'nalishlar qatori ko'rinishida, ikkinchidan o'lchash va hisoblashga kam mehnat va vaqt sarflab mumkin qadar yuqori aniqlikda olinishi kerak.

Birinci masala burchaklarni o'lchashga eng mukammal usulni (dasturini) ishlab chiqish va qo'llash bilan yechiladi; ikkinchi masalani kuzatishlar jarayonida o'lchash xatolari manbaalari ta'sirini, ayniqsa sistematik xatolarni (shu jumladan shaxsiy, asboblardan va tashqi muxit xatolarini) kamaytirish bilan yechiladi.

Tengmas aniqlikda o'lchashlar natijasi olingan bo'lsa o'lchangan burchak natijasini har bir punktda kelib chiqadigan barcha shartlar hamda geodezik tarmoqdagi bevosita o'lchangan natijalar vaznini hisobga olgan xolda, birgalikda tenglashtirishga zaruriyat kelib chiqadi. Bu holda hatto uncha katta bo'lmagan geodezik tarmoqda tuzatmalarni katta miqdordagi tenglamalari kelib chiqadi va ularni teng yechimi kerak bo'ladi; bundan tenglashtirish masalasi murakkablashadi, ya'ni ishlar qiyinlashadi. Agarda o'lchashlar natijasi va burchaklarni stansiyada tenglangan qiymatlari bir xil vaznli yo'nalishlar qatoriga keltirilsa tenglamalarni hisoblash ishlarining hajmi qisqaradi va soddalashadi. Shuning uchun har bir punktda burchak o'lchash natijalarini bir xil vazndagi yo'nalishlar qatori ko'rinishida olish kerakligi sharti muhim ahamiyatga ega. Demak yuqori aniqlikda burchaklarni o'lchashda ushbu shartni hisobga olgan xolda ishlarni tashkil qilish talab qilinadi.

### **9.2. Punktda teng aniqlikda yo'nalishlarni olish sharti**

Agar punktda ixtiyoriy tartibda burchaklar o'lchangan bo'lsa tenglangan burchaklar vaznlari  $P_{j,i}$  bilan tenglangan yo'nalishlar vaznlari  $P_j$  ( $P_i$ ) orasida bog'lanishini tiklash ko'pincha qiyinlik tug'diradi.

Amalda stansiyadagi tenglashtirilgan yo'nalishlarni oldindan berilgan vaznda olish kerak bo'ladi: turli  $P_j \neq P_l$  yoki bir xil  $P_j = P_l = \text{const}$  ( $j, l = 1, 2, \dots, n$ ).

Agarda berilgan yo'nalishlar jufti  $j$  va  $l$ , xohlagan burchak  $j, l$ , ni tashkil qiluvchi kuzatish dasturini bitta yoki bir nechta guruhida birga o'lchangan bo'lsa, bu burchakni o'lchash vazni  $P_{j,l}$  guruhlarda quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$P_{j,l} = \left[ \frac{P_j P_l}{\sigma_i} \right] (j \neq l = 1, 2, \dots, n), \quad (9.1)$$

bu yerda  $\sigma_i = (p_1 + p_2 + \dots + p_k)_i$  -  $i$  guruhidagi o'lchangan barcha yo'nalishlar (shu jumladan  $j$  va  $l$ ) summasi; har bir guruhdagi yo'nalishlar soni  $k$ , quyidagi chegarada o'zgarishi mumkin  $2 \leq k \leq n$ , bu yerda  $n$ -punktdagi yo'nalishlar soni.

Stansiyada tenglangan vaznlar  $P_j$  ( $P_l$ ) konkret qiymatlari bo'lgan yo'nalishlar  $j$  ( $l$ ) ni olish uchun shunday burchak o'lchash dasturini foydalanish kerakki, bunda quyidagi tenglik sharti bajarilsin

$$P_{j,l} = \frac{P_j P_l}{[P]} (j \neq l = 1, 2, \dots, n), \quad (9.2)$$

bunda hamma burchaklar uchun

$$\begin{array}{ccccccc} 1.2 & 1.3 & 1.4 & \dots & 1.n, \\ 2.3 & 2.4 & \dots & 2.n, \\ 3.4 & \dots & 3.n, \\ \dots & \dots & \dots, \\ & & n-1.n \end{array} \quad (9.3)$$

bunda burchaklar soni  $r$  stansiyadagi  $n$  punktdan 2 tadan birikma soniga teng, yani

$$r = n(n-1)/2; [P] = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

Yuqorida ta'kidlanganday triangulyatsiyani har bir punktda burchaklarni o'lchash natijalari berilgan bir xil vaznda  $P_j = \text{const}$  teng aniq yo'nalishlar bitta qatori ko'rinishda berilishi kerak.

Keltirilgan (9.2) formulada  $P_1 = P_2 = \dots P_n = \text{const}$  deb qabul qilib, uni quyidagicha yozamiz

$$P_{j,l} = \left[ \frac{P_j P_l}{\sigma} \right] = \frac{P}{n} = \text{const} \quad (j \neq l = 1, 2, \dots, n). \quad (9.4)$$

Bu tenglik sharti punktdagi hamma yo'nalishlarni qo'sh juftlashdan hosil bo'lgan (9.3) dagi hamma burchaklar uchun bajarilish kerak. (9.4) dagi shartlar taminlanganda stansiyada tenglangan yo'nalishlar quyidagiga teng bir xil vazn oladi

$$P = nP_{j,l} = \text{const}. \quad (9.5)$$

Agarda kuzatish dasturida har bir  $i$  guruxda yo'nalishlar  $1, 2, \dots, n$  bir xil vaznda o'lchanishi ko'rsatilgan bo'lsa

$$(P_1 = P_2 = \dots P_n)_i = P_i = \text{const}, \quad (9.6)$$

va vaznlar yo'nalishlar bir guruhidan ikkinchisiga o'tishda o'zgaruvchan bo'lsa (9.4) tenglama quyidagi shaklni oladi

$$P_{j,l} = \left[ \frac{P_i}{k_i} \right]_{j,l} = \frac{P}{n} = \text{const} \quad (j \neq l = 1, 2, \dots, n), \quad (9.7)$$

Agarda har bir burchak  $j, l$  yo'nalishlar turli guruhda qat'iy teng  $t$  marotaba o'lchansa ( $t = \text{const}$ ) quyidagi talabga rioya qilinishi kerak

$$\left( \frac{P_i}{k_i} \right)_{j,l} = \text{const}, \quad (9.8)$$

unda (9.7) formula o'miga quyidagini yozamiz.

$$P_{j,l} = t \left( \frac{P_i}{k_i} \right)_{j,l} = \frac{P}{n} = \text{const} \quad (j \neq l = 1, 2, \dots, n), \quad (9.9)$$

Shunday qilib punktda bajarilgan kuzatishlar natijasi teng aniq yo'nalishlar qatori ko'rinishda berilishi mumkin, agarda, birinchidan kuzatish dasturi o'lchashlardan hamma burchaklarni olish imkonini bersa, ikkinchidan bu burchaklardan har biri  $j, l$  qat'iy bir xil vaznda  $P_{j,l} = P/n = \text{const}$  o'lchansa, bu yerda  $P$  - tenglangan yo'nalishlarning berilgan vazni,  $n$  - punktdagi yo'nalishlar soni.

Yuqoridagi (9.9) shart bajarilganda stansiyadagi tenglangan burchaklar  $[j, l]$  quyidagi formuladan topiladi

$$\left. \begin{aligned} [1.2] &= \frac{2 \cdot 1.2 + (1.3 - 1.2) + \dots + (1.n - 2.n)}{n}; \\ [1.3] &= \frac{2 \cdot 1.3 + (1.2 - 1.3) + \dots + (1.n - 3.n)}{n}; \\ &\dots \dots \dots \\ [1.n] &= \frac{2 \cdot 1.n + (1.2 - 1.n) + \dots + (1.n - 1 + n - 1.n)}{n}. \end{aligned} \right\} \quad (9.10)$$

bu yerda har bir burchak  $j, l$ , qat'iy bir xil sonda  $t$  o'lcangan yo'nalishlar turli guruhlaridan ( $t=1, 2, \dots$ ) o'rtacha sifatida topiladi, ya'ni

$$j.l = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (j.l)_i, \quad (9.11)$$

bu yerda  $(j.l)_i$  -  $i$  guruhida o'lcangan yo'nalishlardan olingan burchak qiymati.

Boshqa har qanday tenglangan burchaklar  $[j.l]$  ayirma sifatida  $[j.l] = [1.l] - [1.j]$  yoki (9.10) ko'rinishdagi formulalardan topilishi mumkin.

Yuqorida keltirilgan (9.9) shart bajarilganda stansiyada burchak o'lchashlarni tenglashtirishdan olingan vazn birligining o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng

$$\mu = \sqrt{\frac{\frac{P_i}{k_i} [g_{ji}^2]}{\sum_{i=1}^r (k_i - 1) - (n-1)}}. \quad (9.12)$$

Tenglangan yo'nalishning o'rta kvadratik xatosi quyida-giga teng

$$M_H = \sqrt{\frac{[g_{ji}^2]}{\left[ \sum_{i=1}^r (k_i - 1) - (n-1) \right] nt}}. \quad (9.13)$$

Agar har bir guruh bir xil adadli yo'nalishlardan tashkil topgan bo'lsa ( $k_i = k = \text{const}$ )  $\mu$  va  $M_H$  formulalar soddaroq ko'rinishda bo'ladi, yani

$$\mu = \sqrt{\frac{P[g_{ji}^2]}{(n-1)(nt-k)}}; \quad (9.14)$$

$$M_n = \sqrt{\frac{k[\mathcal{G}_{j,i}^2]}{nt(n-1)(nt-k)}} \quad (9.15)$$

Berilgan (9.12-9.15) formulalardagi o'lchangan va tenglangan miqdorlar orasidagi farq  $v_{j,i} = (j,1), -[j,1]$  hamma guruhlardagi yo'nalishlarni burchaklar imkonli kombinasyalariga ajratishdan hosil bo'lgan hamma burchaklar (9.3) uchun hisoblanadi.

Masalan, guruhdagi uchta yo'nalishlardan 1.2; 1.3 va 2.3 hisoblanadi va ularning har biri uchun ayirmalar  $\mathcal{G}_{12}$ ,  $\mathcal{G}_{13}$  va  $\mathcal{G}_{23}$  topiladi.

Gorizontal yo'nalishlar va burchaklarni yuqori aniqlikda o'lchashning asosiy prinsiplari.

Har bir punktda teng aniq yo'nalishlarni olish va o'lchashda yuqori aniq natijalarga erishish uchun har bir yo'nalish va burchakni yuqori aniqlikda o'lchashni qat'iy bir xil, eng mukammal dasturda va o'lchash natijalariga tashqi muhit ta'siri eng kam bo'ladigan sutka vaqtida, yani kuzatishlarni "foydali" vaqtida bajarish kerak bo'ldi.

Punktdagi kuzatishlarni qo'yidagi talablarga rioya qilgan holda bajarish kerak bo'ladi:

- har bir yo'nalish limbning butun aylanasi bo'yicha teng taqsimlangan har xil diametrlarida o'lchanishi kerak;
- har bir yarim priyomda har bir kuzatiladigan yo'nalish bo'yicha o'lchash operatsiyalarini to'la bir xil bajarilishi ta'minlanishi kerak;
- yo'nalishlar har bir priyomda priyomlar uchun belgilangan o'rtacha vaqtga nisbatan simmetrik o'lchanish kerak;
- har bir punktda barcha yo'nalish va burchaklar havo izotermiyasi oniga nisbatan simmetrik o'lchanishi kerak (ertalabki va kechki kuzatishlarda).

### 9.3. Doiraviy priyom usuli

Punktdagi kuzatish natijalarini teng aniq yo'nalishlar bitta qatori ko'rinishida olish imkonini beradigan burchak o'lchashni eng sodda usuli bu yo'nalishlarni doiraviy priyomlarda o'lchash usulidir.

Bu usulni mohiyati quyidagilardan iborat. Limbning qo'zg'almas holatida teodolit alidadasini bo'shatib soat mili yo'li bo'yicha aylantirib qarash trubasini birinchi, ikkinchi, uchinchi va h.k. punktlarga va yakunida oxirgi punktga qaratiladi; bunda har bir punktga qaratilganda limbdan sanoqlar olinadi. Bu o'lchashlarni jami birinchi yarim priyomni tashkil etadi. Shundan keyin trubani zenit orqali o'tkazib va alidadani soat mili

yo'liga qarshi yo'nalish bo'yicha aylantirib trubani yana o'sha punktlarga faqat teskari kema-ketlikda qaratiladi: oxirgi punktga, oxirgi punktdan bitta oldingisiga va h.k., oxirida birinchi punktga qaratiladi va shu bilan ikkinchi yarim priyom yakunlanadi. Ikkala yarim priyomlar bitta priyomni tashkil qiladi va priyomlar soni tenglangan yo'nalishlarni zarur vazniga qarab belgilanadi. Agarda har bir yarim priyom oxirida trubani boshlang'ich (birinchi) punktga qayta qaratib limb bo'yicha yana sanoq olinsa, yani ufq yopilsa, yo'nalishlarni bunday o'lchash usuliga **doiraviy priyomlar usuli** deyiladi.

Doiraviy priyomlar usuli 1816 yilda buyuk rus geodezisti va astronomi akademik V.Ya.Struve tomonidan taklif etilgan. Bu usul jahonni deyarli hamma davlatlarida tarqalgan. MDH davlatlarida u 2-4 klass davlat geodezik tarmoqlarini qurishda qo'llanadi.

### **Triangulyatsiya punktida kuzatish tartibi va dasturi**

Birigada tayyorgarlik ishlari majmuasini bajaradi, geodezik belgi (piramida yoki signal) ni ko'zdan kechiradi, zarur bo'lsa kichik ta'mirlash ishlarini bajaradi; burchak o'lchash natijalarini punkt markaziga bog'lash uchun uni yer ostidagi markagacha kavlab ochiladi; geodezik signalga teodolit va kerakli anjomlarni ko'tariladi; teodolitni quyosh nuridan saqlash uchun palatka yoki brezet o'rnatiladi. Kuzatuvchi geodezik belgini sinchiklab qarab chiqib teodolit o'rnatiladigan stolni mustahkamligiga va signalni ichki piramidasi, ko'targich stolcha, hech qayerida pol va narvonga tegib turmaganiga ishonch hosil qilishi kerak. Aniqlangan kamchiliklarni kuzatuvchi bartaraf qilishi kerak.

Stolcha markazida nuqtani belgilab, uni ustiga teodolit o'rnatiladi. Agarda teodolit komplektida markazlash plitasi bo'lsa avval nuqta ustiga u o'rnatiladi, keyin teodolit plitaga mahkamlanadi. Kuzatishga o'tishdan avval kuzatuvchi geodezik tarmoq chizmasiga asosan joydagi kuzatiladigan punktlarga teodolit trubasidan qarab chiqib gorizontal va vertikal doiralardan 1' aniqlikda olingan sanoqlarni yozib oladi. Keyin limbni o'rnatish jadvalini tuzishi kerak, bu jadval burchak o'lchashni dasturi hisoblanadi.

Teodolit signal stoliga o'lchashlarni boshlashdash 40 minut avval o'rnatiladi va sinchiklab tekishiriladi. Kuzatiladigan silindrik nishonlarni tasviri yaxshi, sokin yoki yengil tebranayotgan ( $\pm 2''$ ) holati tushishi bilan gorizontal yo'nalishlarni kuzatishga o'tiladi.

Yo'nalishlarni doiraviy priyomlar usulida o'lchashda quyidagi talablarga rioya qilinadi:

- birinchi yarim priyomda alidada faqat soat mili yo'li bo'yicha aylantiriladi, ikkinchi yarim priyomda, truba zenit orqali aylantirilgandan keyin faqat teskari yo'nalishda;

- birinchi yarim priyomda iplar to'rining markazi predmetdan ozroq o'tkaziladi, ikkinchisida ozroq yetkazilmaydi. Bu qarash trubasini nishonga aniq qaratishda yo'llovchi vintini, soat milining yo'li bo'yicha burash maqsadida qilinadi;

- har bir yarim priyomni boshlashdan oldin alidadani ushbu priyomda aylantirish yuli bo'yicha bir necha marta bo'sh aylantiriladi;

- tekshirish trubasi bilan ta'minlangan teodolitlar bilan kuzatishda o'lchash tartibi quyidagi bilan to'ldiriladi. Har bir kuzatish bosh truba okulyar mikrometr bissektorini predmetga (punktga) uch marta qartish, birdaniga tekshirish trubasi okulyar mikrometrini ham 1 km chamasi oraliqda o'rnatilgan marka yoki yaqinroq joylashgan va aniq ko'rinadigan geodezik belgiga uch marotaba qaratishdan iborat;

- turli priyomlarda o'lchanadigan yo'nalishlarni mustaqilligini ta'minlash va o'rta natijaga limb diametrlari xatosi ta'sirini kamaytirish uchun, priyomlar orsida limb quyidagi burchakka o'zgartib olinadi

$$\delta = (180^\circ / m) + i, \quad (9.16)$$

bu yerda  $m$  - priyomlar soni,  $i$  - limb bo'lagining qiymati.

Yo'nalishlar 2 klass punktlarida 12-15 ta, 3 klass punktlarida - 9 ta, 4 klass punktlarida esa - 6 ta priyomlarda o'lchanadi.

Uchlangan yo'nalishlar qiymatiga quyidagi tuzatmalar kiritiladi: ufq yopilmagani uchun, ren uchun ( $r > 0,5''$  bo'lganda), teodolit vertikal o'qining qiyaligi uchun (vizir nurining og'ish burchagi  $1^\circ$  dan oshganda).

Burchak o'lchash natijalarini nazorat qilish har bir yarim priyomda boshlang'ich yo'nalishga qarab priyom boshida va oxirida olingan natijalarni (sanoqlarni) tengligi bo'yicha, priyomlarda esa har bir priyomda nolga keltirib hisoblangan, bir xil yo'nalishlar qiymatlarini tengligi bo'yicha amalga oshiriladi.

Masalan, 2 - 4 klass triangulyatsiyasida yarim priyom boshida va oxirida boshlang'ich yo'nalishni kuzatish natijalari (sanoqlar) orasidagi farq 705, 71 teodolitlar uchun  $5''$ , 72 uchun esa  $6''$  dan oshmasligi kerak; alohida priyomlardagi nolga keltirilgan yo'nalishlar farqi esa tegishli 4'' va  $5''$  dan.

Quyida gorizontal yo'nalishlarni o'lchash jurnalining shakli 13-jadvalda keltirilgan.



Teodolit T1 №27200

Punkt "Jar"

Sana 15.05.12

Vaqt 17s.00 d.

Tasvir aniq

Priyom I

 $t = +24^{\circ}$ 

Ob-havo: ochiq, shabada

Ko'rinish: qoniqarli

| Yo'nalish  | Doira | Limbdan sanoq | Mikrometrdan sanoq |       | $\frac{a_1 + a_2}{2}$ | $2c$ | $\frac{D' + D''}{2}$ | Nolga keltirilgan yo'nalishlar |
|------------|-------|---------------|--------------------|-------|-----------------------|------|----------------------|--------------------------------|
|            |       |               | $a_1$              | $a_2$ |                       |      |                      |                                |
| 1          | 2     | 3             | 4                  | 5     | 6                     | 7    | 8                    | 9                              |
| "Bol-ta"   | DCh   | 0°00'         | 40,2"              | 40,4" | 40,3"                 | -    | 0°00'42,8            | 0°00'00"                       |
|            | DO'   | 180 00        | 45,3               | 45,1  | 45,2                  | 4,9" | -                    |                                |
|            | DCh   | 63 16         | 26,2               | 25,8  | 26,0                  |      | 0,0                  | 63 15 44,0                     |
| "Qip-chaq" | DO'   | 243 16        | 27,4               | 28,2  | 27,8                  | -1,8 | 63 16                |                                |
|            | DCh   | 109 48        | 04,6               | 05,0  | 04,8                  |      | 26,9                 | 109 47 24,1                    |
|            | DO'   | 289 48        | 09,7               | 09,1  | 09,4                  | -4,6 | -0,1                 |                                |
| "Qoras-u"  | DCh   | 186 35        | 27,2               | 27,8  | 27,5                  |      | 109 48               | 186 34 47,2                    |
|            | DO'   | 6 35          | 32,7               | 33,5  | 33,1                  | -5,6 | 07,1                 |                                |
|            | DCh   | 0 00          | 41,1               | 41,8  | 41,4                  |      | -0,2                 |                                |
| "Bu-loq"   | DO'   | 180 00        | 44,8               | 45,3  | 45,0                  | -3,6 | 186 35               |                                |
|            |       |               |                    |       |                       |      | 30,3                 |                                |
|            |       |               |                    |       |                       |      | -0,3                 |                                |
| "Bol-ta"   |       |               |                    |       |                       |      | 0 00 43,2            |                                |
|            |       |               |                    |       |                       |      | -0,4                 |                                |

Ufq yopilmasligi:  $\Delta_{\mu x} = +1,1''$ ;  $\Delta_{\mu y} = -0,2''$ .

$$\Delta_{\mu p} = \frac{1,1'' - 0,2''}{2} = +0,4''; \sigma = -\frac{0,4''}{4} = -0,1''.$$

$$2c = 3,8''.$$

Jurnalni ishlab chiqishda 4 va 5 ustunlari bo'yicha mikrometr sanoqlari o'rtachasi topilib 6 ustunga yoziladi. Keyingi, 7 ustunda har bir yo'nalish DCh va DO' sanoqlarining o'rtachasi bo'yicha 2s qiymati  $2c = DCh - DO'$  hisoblanib yoziladi.

Har bir yo'nalishga DCh va DO' sanoqlarning o'rtachasi  $(DCh + DO')/2$  olinib 8 ustunga yoziladi, bunda gradus qiymatlari faqat DCh bo'yicha olinadi.

Quyidagi formula  $\sigma_k = (-\Delta_{\mu} / n)(k-1)$  bo'yicha har bir yo'nalishga tuzatma topiladi; bunda  $\sigma_k$  - yo'nalish uchun tuzatma;  $n$  - kuzatilgan yo'nalishlar soni;  $k$  - kuzatilgan yo'nalishning tartib raqami.

Jurnalda yozilgan raqamlarni o'chirib qayta yozish, ustidan yozib tuzatishga yo'l qo'yilmaydi.

Birinchi yarim priyom oxirida ufq yopilmasligi va  $2s$  qiymati to'la priyom o'rtasida ularning yo'l qo'yarli chekidan oshib ketsa kuzatish to'xtatiladi va priyom qayta bajariladi.

### Stansiyada o'lchangan natijalarni tenglash va aniqqligini baholash

Har bir priyomda avval ikki yarim priyomlarda o'lchangan yo'nalishlar qiymatlari o'rtachasi topiladi; keyin "ufq yopilmagani" xatosi teskari ishorasi bilan hamma yo'nalishlarga, ularni nomeriga proporsional ravishda taqsimlanadi, keyin esa hamma yo'nalishlar boshlang'ichga uni  $0^{\circ}00'00,00''$  ga teng deb qabul qilib keltiriladi. Stansiyada tenglangan yo'nalishlar, aniqrog'i burchaklar  $[j.l]$  (boshlang'ich yo'nalishdan hisoblanadigan)  $m$  priyomlardagi o'lchashlar o'rtachasi sifatida topiladi

$$[l.j] = \frac{1}{m} \sum l.j, \quad (9.17)$$

Boshqa har qanday juft yo'nalishlar  $j$  va  $l$  tashkil qilgan tenglangan burchak  $[j.l]$  boshlang'ich yo'nalishdan hisoblanadigan tenglangan yo'nalishlar, aniqrog'i burchaklar, farqi sifatida topiladi:

$$[j.l] = [l.l] - [l.j]. \quad (9.18)$$

Tenglangan yo'nalish vazni  $P$  (9.9) formulaga asosan  $P_i = m$ ,  $k_i = n$  va  $i = 1$  bo'lganda qo'yidagiga teng

$$P = nt \frac{P_i}{k_i} = m, \quad (9.19)$$

ya'ni yo'nalishlarni doiraviy priyomlarda o'lchashda tenglangan yo'nalish vaznini o'lchash priyomlari soniga teng deb qabul qilinadi.

Bunda vazn birliigi o'rta kvadratik xotasi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\mu = \sqrt{\frac{n \sum [g_{l,j}^2] - \sum [g_{l,j}]^2}{n(n-1)(m-1)}}, \quad (9.20)$$

bu yerda

$$v_{l,j} = l.j - [l.j]$$

-  $m$  priyomda o'lchangan yo'nalishlarni ularning o'rtacha qiymatidan farqi;  $n$  - yo'nalishlar soni.

Amalda (9.20) aniq formula o'rniga ko'pincha Peters taqribiy formulasi qo'llanadi

$$\mu = \frac{1,25}{\sqrt{m(m-1)}} \frac{\sum |g_{i,j}|}{n} = k \frac{\sum |g_{i,j}|}{n}, \quad (9.21)$$

bu yerda  $\sum |g_{i,j}|$  - priyomlarda o'lchangan yo'nalishlar qiymatlarini, ularning o'rtachasidan farqining absolyut qiymatlari yig'indisi;  $m$  - priyomlar soni;  $n$  - yo'nalishlar soni. Har xil priyomlar soni uchun (9.21) formuladagi  $k$  qiymatlari quyidagilarga teng:

|     |      |   |      |      |
|-----|------|---|------|------|
| $m$ | 6    | 9 | 12   | 15   |
| $k$ | 0,23 |   | 0,15 | 0,11 |
|     |      |   | 0,08 |      |

Tenglangan yo'nalishlarning o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng,

$$M_H = \frac{\mu}{\sqrt{m}} \quad (9.22)$$

bu yerda  $m$  - o'lchash priyomlari soni; tenglangan burchak o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng  $M_y = M_H \sqrt{2}$ .

Quyidagi formula bo'yicha  $q$  nomerli yo'nalish tenglangan qiymatining o'rta kvadratik xatosi hisoblanadi.

$$M_q = \sqrt{\frac{(n-2)[g_q^2] - [g_{i,k}^2]}{m(m-1)(n-1)(n-2)}}, \quad (9.23)$$

bu yerda  $m$  - priyomlar soni;  $n$ -yo'nalishlar soni  $g_{q,i} = q.i - [q.i]$ ;  $g_{i,k} = i.k - [i.k]$ .

O'rta kvadratik xatosi topishlishi kerak bo'lgan yo'nalish nomeri  $q$  bo'lsin. Stansiyadagi barcha burchaklar  $j.i$  ni ikki guruhga bo'lamiz: bitta guruhga  $q$  - yo'nalish qatnashib tashkil qilgan burchaklar kirsin, ularni  $q.i$  bilan belgilaymiz; ikkinchi guruhga  $q$  yo'nalish kirmagan, qolgan hamma burchaklar, ularni  $i.k$  orqali belgilaymiz. Shu belgilarni qabul qilib yuqoridagi (9.23) formula bo'yicha hohlagan tenglangan yo'nalishni o'rta kvadratik xatosi topiladi.

### Stansiyada burchak o'lchashni matematik ishlash

Priyomlarda o'lchangan natijalar jadvali tuziladi (14- jadval); keyin boshlang'ich yo'nalishga keltirilgan har bir yo'nalish, ya'ni  $i.j$  burchaklar uchun o'rtacha chiqariladi va u tenglangan burchak  $[i.j]$  deb qabul qilinadi. Keyin aniqligini baholashga o'tiladi. Burchaklar  $i.j$  uchun priyomlardagi o'rtachadan og'ishi  $g_{i,j} = i.j - [i.j]$  hisoblanadi; boshqa

hamma burchaklar  $j.l=1.l-1.j$  uchun esa  $\vartheta_{j,l} = v_{1,l} - v_{1,j}$  formula bo'yicha og'ish  $\vartheta_{j,l}$ , hamda aniqlikni yuqorida keltirilgan formulalar bilan baholash uchun boshqa qiymatlar hisoblanadi.

Yakuniy vazn birligining o'rta kvadratik xotasi topiladi, u olingan misolda quyidagiga teng:

$$\mu = \sqrt{\frac{n \sum [\vartheta_{1,j}^2] - \sum [\vartheta_{1,j}]^2}{n(n-1)(m-1)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 78,50 - 146,50}{4 \cdot 3 \cdot 11}} = 1,13'',$$

hamda punkt uchun tenglangan yo'nalish o'rta kvadratik xatosini punkt uchun o'rtachasi topiladi

$$M_H = \frac{\mu}{\sqrt{m}} = \frac{1,13}{\sqrt{12}} = 0,33''.$$

Yuqoridagi qiymatlar quyida keltirilgan 14-jadvaldan topilgan.

14- jadval

| Qabul<br>nomer<br>i           | 1.2                                                       |                    | 1.3     |                   | 1.4         |                   | $\vartheta_{2,3}$ | $\vartheta_{2,4}$ | $\vartheta_{3,4}$  | $[v_{1,j}]$ |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------|---------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------|
|                               | 63°1<br>5'                                                | $\vartheta_{1,2}$  | 109°47' | $\vartheta_{1,3}$ | 186°<br>34' | $\vartheta_{1,4}$ |                   |                   |                    |             |
| 1                             | 44,0"                                                     | -1,32"             | 24,1"   | -0,12"            | 47,2        | -1,86"            | +1,20"            | -0,54"            | -                  | -3,30"      |
| 2                             | 45,8                                                      | +0,4               | 26,7    | +2,48             | "           | +2,44             | +2,00             | +1,9              | 1,74"              | +5,40       |
| 3                             | 44,3                                                      | 8                  | 22,4    | -1,82             | 51,5        | +1,04             | -0,80             | 6                 | -0,04              | -1,80       |
| 4                             | 43,0                                                      | -1,02              | 24,8    | +0,58             | 50,1        | -3,16             | +2,90             | +2,0              | +2,86              | -4,90       |
| 5                             | 46,7                                                      | -2,32              | 27,3    | +3,08             | 45,9        | +1,74             | +1,70             | 6                 | -3,74              | +6,20       |
| 6                             | 44,0                                                      | +1,3               | 22,5    | -1,72             | 50,8        | -0,86             | -0,40             | -0,84             | -1,34              | -3,90       |
| 7                             | 44,6                                                      | 8                  | 23,9    | -0,32             | 48,2        | +0,34             | +0,40             | +0,3              | +0,86              | -0,70       |
| 8                             | 46,0                                                      | -1,32              | 23,0    | -1,22             | 49,4        | -0,86             | -1,90             | 6                 | +0,66              | -1,40       |
| 9                             | 46,4                                                      | -0,72              | 23,3    | -0,92             | 48,2        | +0,64             | -2,00             | +0,4              | +0,36              | +0,80       |
| 10                            | 47,8                                                      | +0,6               | 25,4    | +1,18             | 49,7        | +0,84             | -1,30             | 6                 | +1,56              | +4,50       |
| 11                            | 44,9                                                      | 8                  | 24,0    | -0,22             | 49,9        | +1,14             | +0,2              | +1,0              | -0,34              | +0,50       |
| 12                            | 46,4                                                      | +1,0               | 23,2    | -1,02             | 50,2        | -1,46             | -2,10             | 6                 | +1,36              | -1,40       |
|                               |                                                           | 8                  |         |                   | 47,6        |                   |                   | -1,54             | -0,44              |             |
|                               |                                                           | +2,4               |         |                   |             |                   |                   | -0,44             |                    |             |
|                               |                                                           | 8                  |         |                   |             |                   |                   | -1,64             |                    |             |
|                               |                                                           | -0,42              |         |                   |             |                   |                   | +1,5              |                    |             |
|                               |                                                           | +1,0               |         |                   |             |                   |                   | 6                 |                    |             |
|                               |                                                           | 8                  |         |                   |             |                   |                   | -2,54             |                    |             |
| O'rta-<br>cha<br>nazo-<br>rat | 45,32<br>$\sum \vartheta$<br>6<br>[ $\vartheta_{1,j}^2$ ] | +0,0<br>6<br>21,68 | 24,22   | -0,04<br>27,18    | 49,0<br>6   | -0,02<br>29,65    | -0,10<br>31,45    | -0,08<br>24,69    | +0,0<br>2<br>32,89 |             |

$$\sum |g_{i,j}| = 45,36; \quad \sum [g_{i,j}] = 78,50; \quad \sum [g_{i,j}]^2 = 146,50.$$

Yuqoridagi jadvalda 2 klass triangulyatsiya punktida o'lchangan yo'nalishlarni tenglash berilgan; bunda boshlang'ich yo'nalish 0°00'00" ga teng; misol [17] dan olingan.

Navbatda tenglangan yo'nalishlar jadvali tuziladi va (9.23) formula bo'yicha ular har birining o'rta kvadratik xatosi  $M_q$  topiladi (15-jadval).

Hisoblangan  $M_q$  va  $M_H$  xatolar qiymatlarini to'g'riligi tekshiriladi, bunda quyidagi tenglikdan foydalanadi

$$\sum_{q=1}^n M_q = n M_H^2. \quad (9.24)$$

Doiraviy priyomlar usuli quyidagi muhim afzalliklarga ega:

- burchaklarni o'lchashni juda sodda dasturi bir xil vazndagi tenglangan yo'nalishlarni olish imkonini beradi;

- har bir yo'nalishni ko'p sonli priyomlarda bevosita o'lash imkoni (2 klass triangulyatsiya punktida  $m=12-15$ ). Buning natijasida o'lchashlarda ishonchli natijalar olinadi va o'lchangan yo'nalishlardagi yo'l qo'yilgan xatolar oson topilib bir vaqtda tuzatib boriladi;

- limb diametri sistematik xatosini priyomlardagi o'lchash natijalari o'rtachasiga ta'siri sezilarli kamayadi.

15-jadval

| Yo'nalish<br>$q$ | Tenglangan<br>yo'nalish | $[v_{q,1}^2]$ | $[v_{i,k}^2]$ | $M_q$ |
|------------------|-------------------------|---------------|---------------|-------|
| 1                | 0°00'00"                | 78,51         | 89,03         | 0,29" |
| 2                | 63 15 45,32             | 77,82         | 89,72         | 0,29" |
| 3                | 109 47 24,22            | 91,92         | 76,02         | 0,37" |
| 4                | 186 34 49,06            | 87,23         | 80,31         | 0,34" |

$$\sum M_q^2 = 0,42.$$

Usulni kamchiliklariga quyidagilar kiradi:

- punktda o'lchanadigan yo'nalishlar soni ko'p bo'lsa bitta priyomni bajarishga nisbatan ko'p vaqt talab qilinadi. Kuzatish qancha uzoq davom etsa shunchalik xatoliklar ta'siri oshadi;

- bir vaqttni o'zida hamma kuzatiladigan yo'nalishlar bo'yicha ko'rinish yaxshi bo'lishi kerak, bu esa har doim bo'lavermaydi. Kuzatish davrida ko'rinishi yaxshi bo'lmagan yo'nalishlar qoldiriladi, keyin ularni bitta yoki ikkita qo'shni va boshlang'ich yo'nalishlar bilan o'lchanadi, bu esa kuzatish dasturini buzishga va tenglangan yo'nalishlarni tengmas aniqlikka olib keladi.

Punktdagi boshlang'ich yo'nalish, boshqalariga qaraganda bir muncha aniqroq qiymatga ega bo'ladi.

#### 9.4. Barcha kombinatsiyalarda burchak o'lchash (Shreyber) usuli

Bu usulni mohiyati punktda burchaklarni barcha yo'nalishlardan tuziladigan turli juftlangan barcha kombinatsiyalarda o'lchashdan iborat.

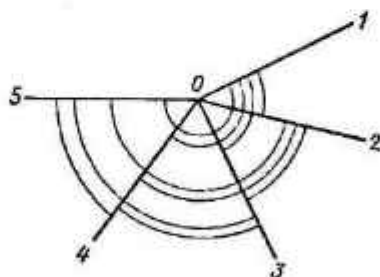
Punktda yo'nalishlar soni  $n$  ta bo'lganda quyidagi burchaklar o'lchanadi:

$$\left. \begin{array}{ccccccc} 1.2 & 1.3 & 1.4 & \dots & 1.n, \\ & 2.3 & 2.4 & \dots & 2.n, \\ & & 3.4 & \dots & 3.n, \\ & & & \dots & \dots, \\ & & & & n-1.n, \end{array} \right\} \quad (9.25)$$

Bunday burchaklarni soni  $n$  2 tadan birikmaga teng, ya'ni

$$r = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}. \quad (9.26)$$

Masalan, 5 ta yo'nalishli punktda 10ta burchak o'lchanadi, 9.1 shakl



9.1 – shakl. 5 ta yo'nalishli punktda barcha kombinatsiyalarda burchak o'lchash sxemasi.

Stansiyada tenglangan yo'nalishlarning vazni (9.5) formulaga asosan quyidagiga teng

$$P = mn, \quad (9.27)$$

bu yerda  $m$ -har bir burchakni o'lchash priyomlari soni,  $n$  - punktdagi yo'nalishlar soni; tenglangan burchakning vazni tenglangan yo'nalish vaznining yarimiga teng, ya'ni

$$P_{\text{тенг.}} = mn/2, \quad (9.28)$$

Bir xil klassdagi punktlarda tenglangan yo'nalishlar vazni, ularni soni turli bo'lishiga qaramay, bir xil bo'lishi uchun Shreyber birinchi qilib  $mn$  ko'paytmasi hamma punktlarda doimiy qiymatga teng bo'lishi talabini qo'ydi, ya'ni  $P = mn = \text{const}$ .

Ushbu usul 1 va 2 klass triangulyatsiyasi va poligonometriyasida qo'llanadi. Tenglangan yo'nalishlar vazni  $P = mn$  quyidagilarga teng qabul qilinadi:

triangulyatsiya:

1-klass . . . . . 35 - 36;

2-klass . . . . . 21 - 25;

poligonometriya:

1-klass . . . . . 48;

2-klass . . . . . 36.

Burchaklarni bir-biriga bog'liq bo'lmagan tartibda o'lchashni va limb diametrlari xatosi ta'sirini kamaytirishni ta'minlash maqsadida Shreyber ikkinchi talabni shakllantirdi: har bir yo'nalishni imkoni boricha limbning bitta holatida bir marotaba, o'lchash kerak.

Bu talab limb o'rni o'zgartirishni kerakli sistemasini qo'lashda bajarilishi mumkin. Limbning ixtiyoriy holatida bir-biriga bog'liq bo'lmagan diametrlarida  $n$  ta juft burchaklar  $n/2$ ,  $n$  ta toq burchaklar esa  $(n-1)/2$  marta o'lchanishi mumkin.

Jami bo'lib punktda  $r = n(n-1)/2$  ta burchaklar o'lchanadi. Bunday burchaklar har bir guruhida bir-biriga bog'liq bo'lmagan o'lchashlarni ta'minlash uchun, bir guruhdan ikkinchisiga o'tishda limbni burchaklar soni  $n$  juft bo'lsa

$$\frac{n(n-1)}{2} : \frac{n}{2} = n-1, \quad (9.29)$$

$n$  toq bo'lsa

$$\frac{n(n-1)}{2} : \frac{n-1}{2} = n$$

marta o'zgartirib olish kerak bo'ladi.

Har bir burchak  $m$  ta priyomda o'lchanishi va priyomlar orasida limbni  $\delta = (180/m) + i$  burchakka o'zgartirib olish kerakligi uchun bir-biriga yondosh bo'lmagan burchaklar bir guruhini o'lchashda boshqa guruhga o'tishda limbni o'zgartirish burchagi  $\sigma$  quyidagicha hisoblanadi:

burchaklar soni  $n$  juft bo'lsa



$$\sigma = \frac{\delta}{n-1} + i, \quad (9.30)$$

burchaklar soni  $n$  toq bo'lsa

$$\sigma = \frac{\delta}{n} + i.$$

Bu formulalarda limb kichik bo'lagining qiymati  $i$  limb diametri qisqa davriy xatolari ta'sirini kamaytirish maqsadida olinadi.

Limbni o'rnatish jadvalini, masalan,  $n=4$ ,  $mn=24$ ,  $i=10'$  bo'lganda, hisoblashni ko'rib chiqamiz, 16-jadval. Bosh yo'nalishdan o'lchanmaydigan burchaklar  $j.l$  uchun limbni jadval bo'yicha o'rnatish qiymati o'miga ishchi deb ataladigan qiymatga o'tish kerak bo'ladi. Buning uchun jadval bo'yicha limbni har bir o'rnatish qiymatiga boshlang'ich yo'nalish bilan o'lchanadigan  $j.l$  burchakni chap yo'nalishi orasidagi  $l'$  aniqlikda o'lchangan burchak  $l.j$  burchak qo'shiladi. Topilgan qiymatlar limb bo'lagi  $i$  qoldiqsiz bo'ladigan songacha yaxlitlanadi.

Hisoblash natijasi quyidagi 16-jadvalda berilgan.

16-jadval

| Burchak | Priyomlar |        |        |        |         |         |
|---------|-----------|--------|--------|--------|---------|---------|
|         | I         | II     | III    | IV     | V       | VI      |
| 1.2     | 0°00'     | 30°10' | 60°20' | 90°30' | 120°40' | 150°50' |
| 1.3     | 10 10     | 40 20  | 70 30  | 100 40 | 130 50  | 161 00  |
| 1.4     | 20 20     | 50 30  | 80 40  | 110 50 | 141 00  | 170 10  |
| 2.3     | 20 20     | 50 30  | 80 40  | 110 50 | 141 00  | 170 10  |
| 2.4     | 10 10     | 40 20  | 70 30  | 100 40 | 130 50  | 161 00  |
| 3.4     | 0 00      | 30 10  | 60 20  | 90 30  | 120 40  | 150 50  |

**Alohida burchakni o'lchash uslubi.** Har bir burchak limbning bitta o'rnatilishida ikki yarim priyomlarda o'lchanadi. Birinchi yarim priyomda aniqlanayotgan burchak o'lchanadi, ikkinchi yarim priyomda esa shu burchakni 360°ga to'ldiruvchisi. Har ikkala yarim priyomlarda alidada bir xil yo'nalish bo'yicha aylantiriladi. Priyomdan priyomga o'tishda esa alidada oldingisiga nisbatan teskari yo'nalishda aylantiriladi. O'lchanadigan bitta punktdagi hamma burchaklar turli sharoitlarda, ya'ni kech (ertalab) ki vaqt davomida hamma burchaklar ushbu punktda avval

bitta priyomda, keyin shu burchaklar ikkinchi priyomda, uchinchi priyomda va h.k. o'lchab chiqilishi kerak.

Ushbu usulda yuqoridagi 9.1 shaklda ko'rsatilgan burchaklar quyidagicha o'lchanadi. Qarash trubasining bissektori chap yo'nalishning vizirlash nishoniga qaratiladi. Optik mikrometr va limbda dastur bo'yicha hisoblangan sanoq qo'yiladi (2-3 aniqlikda). Alidada bo'shatiladi va u soat yo'liga qarshi yo'nalishda 30-40°ga aylantiriladi. Teskari yo'nalishda (soat yo'li bo'yicha) alidada aylantirilib truba o'lchanadigan burchakning chap yo'nalishiga (9.1-shaklda 1-punkt) qo'lda qaratiladi va alidada mahkamlanadi. Alidadaning yo'naltirish vinti bilan vizirlash nishoni truba bissektoriga kiritiladi. Okulyar mikrometrning bissektori uch marotaba vizirlash nishoniga qaratiladi (*T05*, *T1* teodolitlarda) va har cafar okulyar mikrometri shkalasidan sanoq olinadi. Limbning qarama-qarshi shtrixlari ikki marotaba tutashtirilib (*OT-02M* va *T2* teodolitlarda) har birida optik mikrometrdan sanoq olinadi (birinchi tutashtirishda limbdan ham sanoq olinadi). Alidada bo'shatilib u soat yo'li bo'yicha qo'l bilan aylantirilib truba o'lchanayotgan burchakning o'ng yo'nalishiga qaratiladi va alidada mahkamlanadi. Alidada yo'naltirish vinti bilan vizirlash nishoni trubaning bissektoriga kiritiladi va okulyar mikrometri, limbdan sanoqlar olinadi (*OT-02M* va *T2* da optik mikrometrdan sanoq olinadi). Shu bilan birinchi yarim priyom tugaydi.

Truba zenit orqali aylantirilib (ikkinchi yarim priyom) alidada 180°ga o'zgartiriladi. Bissektor o'ng yo'nalishni vizirlash nishoniga qaratiladi, birinchi yarim priyomdagi amallar va sanoq olishlar takrorlanadi. Alidada bo'shatilib soat yo'li bo'yicha o'lchanayotgan burchakni 360°ga to'ldiradigan burchak qiymatiga aylantiriladi va oldingi yo'nalish bo'yicha bajarilgan amallar va sanoqlar takrorlanadi va shu bilan ushbu burchakni bitta priyomda o'lchash yakunlanadi.

Limb qarama-qarshi shtrixlarini tutashtirishda optik mikrometr bo'yicha olingan sanoqlar farqi *OT-02M* teodoliti uchun 2,5" va *T2* uchun 4" dan oshmasligi kerak.

Okulyar mikrometri barabani bo'yicha olingan sanoqlarni o'zgarishi uni bitta bo'lagidan (1") oshmasligi kerak.

Punktdagi o'lchash dasturining yarimini alidadani soat yo'li bo'yicha aylantirib, ikkinchi qismini soat yo'liga teskari aylantirib bajariladi. Buning uchun priyomdan priyomga o'tishda alidadani aylantirish yo'nalishini o'zgartirish tavsiya etiladi. Bitta burchakni ketma-ket bir nechta priyomda o'lchashga yo'l qo'yilmaydi.

Quyidagi 17-jadvalda burchaklarni barcha kombinatsiyalarda o'lchash jurnalining shakli keltirilgan.

17 - jadval

**Barcha kombinatsiyalarda burchak o'lchash journali**

Teodolit T1

Ob-havo: ochiq

Sana 10.05.06 y.

Shamol: Jshq, sekin

$t=+26^{\circ}$

Ko'rinish: yaxshi

Vaqt 18<sup>00</sup>-18<sup>10</sup>

Tasvir: aniq

| Burchak, priyom | Doira | Yoʻnalish<br>nomeri,<br>vizir<br>noshoni | Sanoqlar           |                  | Yarim priyomlardagi<br>qiymatlar |              | Burchakning<br>oʻrtac<br>ha<br>qiyma<br>ti |
|-----------------|-------|------------------------------------------|--------------------|------------------|----------------------------------|--------------|--------------------------------------------|
|                 |       |                                          | Limb<br>shtrixlari | Shkala           | Yoʻnalishlar                     | Burchaklar   |                                            |
| 1-3<br>III      | DCh   | 1 v.n.                                   | 53°15'             | 1°19,4"<br>19,8" | 16°19,6"                         | 151°11'05,2" | 151°11'04,4<br>"                           |
|                 |       | 3 v.n.                                   | 204°25'            | 2°24,6"<br>25,0" | 27°24,8"                         |              |                                            |
|                 | DO'   | 3 v.n.                                   | 24°25'             | 2°24,2"<br>23,8" | 27°24,0"                         | 151°11'03,5" |                                            |
|                 |       | 1 v.n.                                   | 233°15'            | 1°20,2"<br>20,8" | 16°20,5"                         |              |                                            |

$$DCh - DO' = +1,7''$$

O'lchangan hamma burchaklar teng vaznlarga ega bo'ladi. Lekin har bir burchak, bevosita o'lchangan qiymatidan tashqari boshqa o'lchangan burchaklarning ayirmasi yoki yig'indisidan topilishi mumkin. Masalan, burchak

$$(1.2) = (1.3) - (2.3) = (1.4 - 2.4), (9.1\text{-shakl}),$$

$$\text{burchak } (1.3) = (1.2) + (2.3) = (1.4 - 3.4) \text{ va h.k.}$$

Punktda  $n$  ta yo'nalish bo'lsa ikkita burchaklar ayirmasi yoki yig'indisiday bevosita o'lchangan burchak qiymatlari  $n-2$  tasini hosil qilinishi mumkin. Burchakni bevosita o'lchangan qiymati, uni boshqa qiymatlariga qaraganda aniqroq bo'ladi; bundan tashqari hamma qiymatlari o'zaro teng bo'lmaydi. Shu sababli o'lchashlar yakunlangandan keyin burchaklarni tenglash kerak bo'ladi, ya'ni har bir burchak uchun bitta yakuniy qiymat topilishi kerak bo'ladi.

**Burchaklarni stansiyada tenglash va aniqligini baholash.** Dastlab  $m$  priyomlardan har bir burchakning o'rtacha qiymati topiladi

$$j.l = \frac{1}{m} \sum (j.l)_i, \quad (9.31)$$

bunda priyomlarda topilgan qiymatlarning farqi belgilangan cheklardan oshmagan bo'lishi kerak.

Priyomlardagi burchaklar qiymatlari o'rtachasidan foydalanib stansiyadagi tenglangan burchaklar topiladi

$$\left. \begin{aligned} [1.2] &= \frac{2 \cdot 1.2 + (1.3 - 2.3) + \dots + (1.n - 2.n)}{n}, \\ [1.3] &= \frac{2 \cdot 1.3 + (1.2 + 2.3) + \dots + (1.n - 3.n)}{n}, \\ &\dots \dots \dots \\ [1.n] &= \frac{2 \cdot 1.n + (1.2 - 2.n) + \dots + (1.n - 1 + n - 1.n)}{n}, \end{aligned} \right\} \quad (9.32)$$

bu yerda  $n$  - punktdagi yo'nalishlar soni.

Yuqoridagi (9.32) formulalardan ko'rinishicha har qanday tenglangan burchak  $[j.l]$  vaznli o'rtacha sifatida topiladi: bevosita o'lchangan burchakka 2 ga teng vazn, tegishli qo'sh burchaklar kombinatsiyalaridan topilgan qiymatlarga esa vazn 1 ga teng deb olinadi.

Tenglangan yo'nalishlar 1, 2, 3, ...,  $n$  tegishli raqamli qiymatlarni oladi:  $0^{\circ}00'00''$ ,  $[1.2]$ ,  $[1.3]$ , ...,  $[1.n]$ .

Vazn birligining o'rta kvadratik xatosi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\mu = \sqrt{\frac{2m \sum \vartheta^2}{(n-1)(n-2)}}, \quad (9.33)$$

bu yerda  $v = j.l - [j.l]$  - burchaklarni o'lchangan (priyomlardan o'rtachasi) va tenglangan qiymatlarining farqi,  $m$  - priyomlar soni;  $n$  - yo'nalishlar soni.

Tenglangan yo'nalishlar o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng

$$M_H = \frac{\mu}{\sqrt{mn}} = \sqrt{\frac{2 \sum \vartheta^2}{n(n-1)(n-2)}}, \quad (9.34)$$

tenglangan burchaklarning o'rta kvadratik xatosi esa

$$M_n = \frac{\mu}{\sqrt{mn/2}} = \sqrt{\frac{4 \sum \vartheta^2}{n(n-1)(n-2)}}. \quad (9.35)$$

To'rtta yo'nalishli punktda burchak o'lchash natijalarini ishlab chiqishga misol ko'rib chiqamiz. Hisoblashlar quyidagi tartibda olib boriladi:

1. O'lchashlar natijalari yoziladi

| Burcha<br>klar | Priyomlar o'rtachasi |
|----------------|----------------------|
| 1.2            | 61°18'48,57"         |
| 1.3            | 117°27'18,04"        |
| 1.4            | 175°49'02,59"        |
| 2.3            | 56°08'28,36"         |
| 2.4            | 114°30'13,39"        |
| 3.4            | 58°21'45,02"         |

2. Tenglangan burchaklar hisoblanadi (18-jadval).

18-jadval

| 1.2         | 1.3    | 1.4   | 2.3    | 2.4    | 3.4    |
|-------------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 48,57"      | 18,04" | 2,59" | 28,36" | 13,39" | 45,02" |
| 48,57"      | 18,04" | 2,59" | 28,36" | 13,39" | 45,02" |
| 49,68"      | 16,23" | 1,96" | 29,47" | 14,02" | 44,55" |
| 49,20"      | 17,57" | 3,06" | 28,37" | 13,38" | 45,03" |
| O'rtacha    | 17,64  | 2,55  | 28,64  | 13,54  | 44,90  |
| 49,00       | +0,40  | +0,04 | -0,28  | -0,15  | +0,12  |
| $s = -0,43$ |        |       |        |        |        |

$$\Sigma s^2 = 0,4618.$$

3. Tenglangan yo'nalishlar jadvali tuziladi (19-jadval).

19-jadval

| Yo'nalish<br>N | Tenglangan<br>yo'nalishlar | Yo'nalishlar<br>vazni |
|----------------|----------------------------|-----------------------|
| 1              | 0°0'00"                    | $n = 4$               |
| 2              | 61 18 49,00                | $m = 9$               |
| 3              | 117 27 17,64               | $P = mn = 36$         |
| 4              | 175 49 02,55               |                       |

4. Vazn birligining o'rta kvadratik xatosi hisoblanadi

$$\mu = \sqrt{\frac{2m \Sigma s^2}{(n-1)(n-2)}} = \sqrt{\frac{18 \cdot 0,4618}{3 \cdot 2}} = 1,18".$$

5. Tenglangan burchak o'rta kvadratik xatosi hisoblanadi

$$M_m = \frac{\mu}{\sqrt{mn/2}} = \frac{1,18}{\sqrt{18}} = 0,28".$$

Barcha kombinatsiyalarda burchak o'lchash usuli quyidagi afzalliklarga ega.

1. Stansiyada o'lchangan burchaklarni tenglash natijasi teng aniq o'lchashlar qatorini tashkil qiladi.

2. Burchaklarni hohlangan ketma-ketlikda o'lchash mumkin, bunda kuzatish uchun qulay ko'rinish sharoitini tanlab va o'lchashlarni yuqori aniqlikda ta'minlash mumkin.

3. Bitta priyomga sarflanadigan vaqtni qisqartish (2-4 daqiqa) asosida har bir burchak geodezik signalni va tashqi muhitni bir xil ustuvor holatida o'lchanishi va aniq natijaga erishishi ta'minlanadi.

4. Limb doirasini ko'p marotaba o'zgartib olish sababli o'lchashlar natijasiga limb diametri xatolarining ta'siri kamaytiriladi.

Usulni kamchiliklari: punktda yo'nalishlar soni  $n$ , oshishi bilan priyomlar soni  $m$  keskin kamayib ketishi (bunda priyomlarda o'lchangan burchak o'rtacha qiymatining aniqligi pasayib ketadi; o'lchangan burchaklar sonini ko'payib ketishi sababli o'lchashlar hajmini oshishi va boshqalar.

#### 9.5. Kombinatsiyalarda burchaklarni o'lchashning o'zgartirilgan usuli

Punktlardan kuzatiladigan yo'nalishlarning soni ko'payganda burchak o'lchash asosiy usullarini kamchiliklari namoyon bo'lib qoladi. Shuning uchun 2-klass triangulyatsiyasida yo'nallishlar soni ko'p bo'lgan punktlarda boshqa, bunday holatlar uchun maqsadga muvofiq bo'lgan, usullarni qo'llash kerak bo'ladi. Bunday usullardan biri A.F.Tomilin tomonidan taklif etilgan va 2-klass yoppasiga muttasil uzluksiz quriladigan triangulyatsiya tarmog'ida qo'llanadigan usuldir.

Bu usulda  $n$  ta yo'nalishli punktda burchaklar ikki guruhga bo'linib o'lchanadi:

$$\left. \begin{array}{ccccccc} 1.2 & 2.3 & 3.4 & \dots & n.1 \\ 1.3 & 2.4 & 3.5 & \dots & n.2. \end{array} \right\} \quad (9.36)$$

ya'ni qo'shni yo'nalishlar orasidagi burchaklar va ikki qo'shni burchaklar yig'indisidan iborat burchaklar guruhlari; bunda jami burchaklar soni  $2n$  ni tashkil qiladi.

Har bir burchak barcha kombinatsiyalarda burchak o'lchash usuliga o'xshash limbning har bir qismida o'lchanadi. Burchak o'lchash priyomlarining soni bir xil punktdagi yo'nalishlar sonidan qat'iy nazar, 5 yoki 6 ta olinadi.

Bu usulda burchaklar to'la o'lchanmaydi. O'lchanadigan burchaklarning soni  $\Delta r = n(n-1)/2 - 2n = n(n-5)/2$  punktda yo'nalishlar oshishi bilan ko'payadi:

|            |   |   |   |    |    |
|------------|---|---|---|----|----|
| $n$        | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  |
| $\Delta r$ | 0 | 3 | 7 | 12 | 18 |

Beshta yo'nalishli punktda Shreyber usuliga o'xshash hamma burchaklar o'lchanadi (9.25).  $n \geq 6$  bo'lganda burchaklar to'la (hammasi) o'lchanmasligi sababli stansiyada tenglangan burchaklar va yo'nalishlar vazni turli bo'ladi. Tenglangan burchaklar vazni  $n=7+9$  bo'lganda bir biridan bir yarim marotaba farqlanishi mumkin, bu esa ushbu usulni kamchiligidir.

Burchaklar punktda to'la o'lchanmagani sababli o'lchangan burchaklarga tuzatmalar hisoblash formulalari murakkablashadi va amalda qo'llashga noqulaylik tug'diradi. Bu usulni afzalligi punktdagi yo'nalishlar  $n=7+9$  bo'lsa priyomlar soni 5-6 tani tashkil qiladi, ya'ni Shreyber usuliga nisbatan bunda priyomlar soni oshgani uchun bevosita o'lchangan burchaklar aniqligi yuqori bo'ladi.

## 9.6. To'la bo'lmagan priyomlar usuli

Ushbu usul Yu.A. Aladjalov usuli deyilib, unda berilgan punktdagi yo'nalishlar har birida uchtdan yo'nalishlar bo'lgan guruhlar bo'linadi. Guruhlar shunday tanlanadiki bunda o'lchashlar natijalari bo'yicha  $n$  ta juftlangan yo'nalishlarni ikkitasidan hosil bo'ladigan hamma burchaklarni hisoblash mumkin bo'lsin. Har bir guruh mustaqil yo'nalishlar usulida (ufqni yopmasdan) kuzatiladi.

Guruxda uchtdan yo'nalish olib punktdagi hama kuzatishlarni to'la bajarish mumkin, agarda yo'nalishlar soni toq bo'lib, barcha kombinatsiyalarda o'lchash uchun usuli hisoblangan burchaklar soni esa uchga bo'linsa, ya'ni punktda 7, 9 va 13 ta yo'nalishlar bo'lsa.

Masalan, 7 ta yo'nalishi bo'lgan punktda quyidagi guruhlar o'lchanadi: 1.2.3, 2.4.5, 3.4.6, 5.6.1, 6.7.2 va 4.7.1. Agarda punktda 8, 10, 11, 12 ta yo'nalishlar bo'lsa o'lchash dasturiga, uchtdan yo'nalishli guruhlardan tashqari, uchtdan yo'nalishlardan kombinatsiya tuzishda foydalanmagan alohida burchaklar kiritiladi. Alohida burchaklar  $m$  ta priyomda o'lchanadi, bu yerda  $m$  - barcha kombinatsiyalarda o'lchash usulida burchaklarni o'lchash priyomlari soni. Uchtdan yo'nalishli guruhlar  $3/2m$  priyomlarda o'lchanadi.



O'Ichangan yo'nalishlar mustaqilligini ta'minlash va birdaniga limb diametri xatolarining ta'sirni kamaytirish maqsadida priyomlar orasida limb doirasi quyidagi burchakka o'zgartib boriladi  $\delta = (180^\circ / m) + i$ , bitta guruh yo'nalishlaridan ikkinchisiga o'tishda esa  $\sigma = (\delta / r) + r$  burchakka o'zgartiriladi, bu yerda  $m$  - priyomlar soni,  $r$  - kuzatish dasturidagi yo'nalishlar guruhlarining soni,  $i$  - limbning kichik bo'lagi qiymati. Tenglangan yo'nalishlar vazni quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$P = 2mn / k, \quad (9.37)$$

bu yerda  $m$  - yo'nalishlar va alohida burchaklarni o'Ichashda priyomlar soni;  $n$  - punktdagi yo'nalishlar soni;  $k$  - guruhdagi yo'nalishlar soni ( $k=3$ ); burchaklar uchun  $k=2$ .

**Stansiyada tenglash va aniqlikni baholash.** Dastlab guruhlarda  $m$  ta priyomda o'Ichangan yo'nalishlar va alohida burchaklar qiymatlarining o'rtachasi hisoblanadi. Keyin, bu hisoblangan o'rtacha qiymatlardan foydalanib uchta yo'nalishlardan iborat har bir guruhdan uchtdan chiqariladigan hamma burchaklar (9.25) hisoblanadi. Bu burchaklarni bevosita o'Ichangan burchaklar deb hisoblab (9.32) formulalar bo'yicha ularni tenglangan qiymatlari burchaklar  $[l, j]$  hisoblanadi.

Tenglangan yo'nalishlarning o'rta kvadratik xatosi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$M = \sqrt{\frac{3 \sum g^2}{n(n-1)(n-3) + rn}}, \quad (9.38)$$

bu yerda  $g = j.l - [j, l]$  - priyomlardan o'rtacha qiymatlar bilan burchaklarning tenglangan qiymatlari orasidagi farq;  $n$  - punktdagi yo'nalishlar soni  $r$  - kuzatishlar dasturidagi alohida burchaklar soni.

Ushbu usulni ko'yidagi afzalliklari bor:

- stansiyada o'Ichangan burchaklarning tenglangan natijalari teng aniq yo'nalishlar bir qatorini tashkil qiladi;
- punktdagi ishlarining hajmi burchaklarni barcha kombinatsiyalarda o'Ichashga karaganda 20-25% gacha kam;
- turli yo'nalishlar bo'yicha ko'rinish sharoiti o'zgaruvchan bo'lganda bu usul ushbu vaqtda ko'rinish yaxshi bo'lgan yo'nalishlarni o'Ichash imkoniyatini beradi.

Usulni kamchiliklariga quyidagilar kiradi:

- uchta yo'nalishlardan iborat guruhlarini tashkil qilishni ma'lum tartibi yo'q, bu esa punktda burchaklarni o'Ichashda noqulaylik tug'diradi;
- punktda yo'nalishlar soni  $n=8$  bo'lganda kuzatish dasturi katta miqdordagi alohida burchaklarning o'Ichashni talab etadi, bu esa

kuzatishlar aniqligini oshirish va mehnat sarfini kamaytirishga imkon bermaydi;

- kuzatishlar dasturi bir tamonlama ta'sir etadigan hatoliklar ta'sirini kamaytirishni ko'zda tutmaydi.

### 9.7. Yo'nalishlarning simmetirik kombinatsiyalar usuli

O'lchashlar natijalariga bir tomonlama va sistematik ta'sir etuvchi xatolar, masalan, teodolit alidadasini aylantirganda ko'targich vintlar lyuftidan kelib chiquvchi xato ta'sirini kamaytirish maqsadida kuzatishlar dasturida mumkin qadar ko'proq bir-birini  $360^\circ$  ga to'ldiruvchi burchaklarni o'lchashni ko'zda tutish kerak bo'ladi.

Gauss tamonidan birinchi marta taklif etilgan bu talabni qondirish har bir yo'nalishni dastur bo'yicha simmetrik kuzatishga va shu bilan aniqlikni oshirishga olib keladi.

Shu maqsadda V.N.Ganshin burchaklar o'lchashni sikllar usuli dasturini taklif etdi. Bunda  $n=3\div 6$  bo'lganda kuzatish dasturini hamma guruhida har bir yo'nalish boshlang'ich, o'rta va oxirgi bo'ladi va shu bilan kuzatishlar simmetriyasi ta'min etiladi.

Ko'pchilik hollarda guruhlar yagona qoida asosida tashkil qilinadi:  $i$ ,  $i+1$ ,  $i+3$  va  $h,k$ , bu yerda  $i$  - punktdagi yo'nalish nomeri. Ushbu hususiyatga ko'ra nafaqat o'lchanishi zarur bo'lgan burchaklar  $\alpha = j, l$ , balkim ularni  $360^\circ$  ga to'ldiruvchi burchaklar ham o'lchanadi va shu asosda tenglangan burchaklarni hisoblash bilan bir tamonlama ta'sir etuvchi o'lchash xatolari kamaytiriladi. Bundan tashqari osongina eslab qoladigan kuzatishlar dasturi ishda qulaylik to'g'diradi. Agar  $n=8$  bo'lsa uchta yo'nalishlardan iborat guruhlar qo'shimcha faqat to'rtta burchak o'lchanadi, Aladjalov dasturidagi 7 ta burchak o'rniga.

Yo'nalishlarning har bir guruhi doiraviy priyomlar usuli uslubida o'lchanadi, faqat bu yerda ufq yopilmaydi. Agarda  $n=8$  bo'lsa qo'shimcha burchaklar xuddi Shreyber usuliga o'xshash o'lchanadi. Yo'nalishlarni o'lchashda ular bir-biriga bog'lanmasligi uchun limb priyomlar orasida  $\delta = (180^\circ / m) + i$  burchakka, yo'nalishlar guruhlar orasida  $\sigma = (\delta / r) + r$  ga o'zgartib olinadi; bu yerda  $m$  - priyomlar soni;  $r$  - yo'nalish guruhlar soni;  $i$  - limb kichik bo'lagning qiymati.

Yo'nalishlar har bir guruhidagi o'lchash priyomlarining soni quyidagi formula bo'yicha topiladi

$$m = \frac{kP}{2nt}, \quad (9.39)$$

bu yerda  $k$  - guruhdagi yo'nalishlar soni (ayrim burchak uchun  $k=2$ );  $P$  - tenglangan yo'nalishning berilgan vazni;  $n$  - punktdagi yo'nalishlar soni;  $t$  - har bir burchak  $m$  ta priyomlarda o'lchanadigan turli guruhlar soni;  $t > 1$ , ya'ni  $n=3+6$  bo'lganda har bir burchakni o'lchash priyomlari soni,  $m'=mt$  ga teng bo'ladi.

Stansiyadagi kuzatishlarni ishlab chiqish quyidagicha bajariladi:

- har bir guruh yo'nalishlari priyomlaridan o'rtachasi, hamda burchaklar priyomlari o'rtachasi chiqariladi ( $n=8$  bo'lsa);

- uchta yo'nalishdan iborat guruhda har uchchala burchaklar qiymati hisoblanadi, bu burchaklar yo'nalishlarini qo'sh juftlanishi hosil bo'ladi;

- (9.25) formuladan foydalanib stansiyada  $n$  ta yo'nalishlarni 2 tadan birikmadan tashkil topgan burchaklarni hisoblangan qiymatlaridan foydalanib stansiyadagi tenglangan burchaklar qiymati (9.32) formula bo'yicha aniqlanadi (aynan barcha kombinatsiyalarda burchaklarni o'lchash usuliga o'xshash). Tenglangan yo'nalishning vazni quyidagi formuladan topiladi

$$P = 2mnt / k, \quad (9.40)$$

bu yerda  $m$  - o'lchash priyomlari soni;  $n$  - yo'nalishlar soni;  $t$  - kuzatish dasturida ko'rsatilgan har bir burchakni takrorlanishi soni;  $k$  - guruhdagi yo'nalishlar soni (ayrim burchak uchun  $k=2$ ).

Tenglangan yo'nalishni o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng

$$M = \sqrt{\frac{k[s_{j,t}^2]}{nt(n-1)(nt-k)}},$$

bu yerda  $s_{j,t} = j.t - [j.t]$  guruhlarda  $m$  priyomda o'lchangan burchaklar  $j.t$  bilan ularning tenglangan qiymatlari  $[j.t]$  orasidagi farq.  $t > 1$ , ya'ni  $n=3+6$  bo'lganda  $s_{j,t}$  farqlar burchaklar sonidan  $t$  marta ko'p bo'ladi;  $k=3$ ;  $n$  - punktdagi yo'nalishlar soni.

## 9.8. Orientir punktlarni bog'lash

Har bir belgida orientir punktlarga bo'lgan yo'nalishlar triangulyatsiya tarmog'ining yo'nalishlari bilan bog'lanishi kerak. Buning uchun tarmoq tomonlari va orientir punktlar (ORP) orasidagi burchaklar qiymati  $\pm 2,5''$  oshmagan o'rta kvadratik xato bilan o'lchanishi kerak.

ORP alohida dasturda o'lanadi. Dasturga tarmoqning ikkita yo'nalishi kuzatuvchining tanlashi asosida kiritiladi. Ulardan biri boshlang'ich yo'nalish bo'lsa maqsadga muvofiq bo'ladi. ORP doiraviy priyomlar usulida uchta to'la priyomda kuzatiladi, kuzatishlar tarmoqni kuzatgan asboblarda bajariladi.

Priyomlarda topilgan yo'nalishlar farqi 6"dan oshmasligi kerak. ORPni kuzatishda punktlar orasidagi masofalari bilan orientir punktlar masofasining farqi trubani fokuslashini o'zgartishni talab qiladi. Bunda tarmoq yo'nalishlarini shunday tanlash kerakki, ularga ORPni bog'lashda truba fokuslashini ikki martadan ortiqqa o'zgartish talab qilinmasin. ORPga yo'nalishni o'lchashdan oldin belgilash stolbi olinib tuproq ostidagi marka ochiladi. Bu markaga trubani vizirlash uchun uch xil usul qo'llanishi mumkin.

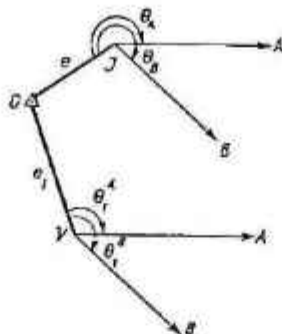
1. Agar belgi baland bo'lib ORP gacha masofa yaqin, (250-350 m), bo'lsa tuproq belgiga qarab ochiladi va ORP markasi ustiga uchiga nina sanchilgan qalam tikka qilib o'rnatiladi (agarda maxsus vizirlash nishoni qo'l ostida bo'lmasa).

2. ORP markasining ustiga sinchiklab tekshirilgan optik sentrir markazlashtiriladi.

3. ORP markazi ustiga markazlashtiruvchi stol yoki menzula o'rnatilib uni taxtasi gorizontal holga keltiriladi. ORP markasining markazini teodolit bilan uchta stansiyada turib menzula taxtasi sirtiga proeksiyalanadi. Bunda taxtada chizilgan proeksiyalash tekisliklari bitta nuqtada kesib o'tishi kerak va bu nuqta markaning markazi bo'ladi. Taxtadagi bu nuqtada vizirlash nishoni yoki qalam vertikal o'rnatiladi.

## 9.9 Keltirish elementlarini aniqlash

Burchaklarni o'lchashda har bir punktda uni tashqi belgisi bo'lmish signal stolida o'rnatilgan teodolitning aylanish o'qi  $J$  va vizirlash silindrinig simmetriya o'q  $V$  punkt markazi  $O$  dan (9.2-shakl) o'tuvchi bitta shovun chizig'ida joylashishi kerak. Amalda esa bu shart bajarilmaydi. Shuning uchun punktda kuzatishlarni boshlashdan avval va ularni tugatgandan keyin teodolitni markazlash elementlari ( $e$ , 0) va vizirlash silindrinig reduksiya elementlari ( $e_1$ , 0<sub>1</sub>), ularga keltirish elementlari deyiladi, aniqlanadi, keyin esa o'lchangan yo'nalishlar uchun markazlash va reduksiya tuzatmalari hisoblanadi.

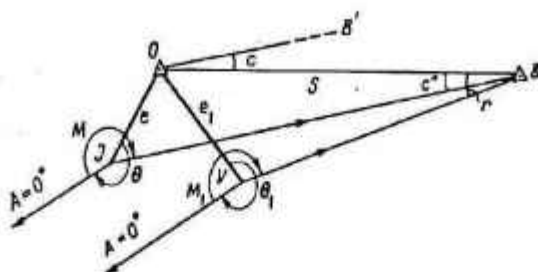


9.2 — shakl. Triangulyatsiya punktida keltirish elementlari.

Keltirish elementlarini aniqlash uchun punkt markazining ustida yengil menzula taxtasi yoki kichik stol oʻrnatiladi, taxta ustiga markazlash varagʻi mahkamlanadi va gorizontal holatga keltiriladi. Keyin signal balandligidan taxminan 2 marotaba kattaroq masofada oʻrnatilgan qoʻshimcha teodolit asbobi yordamida markazlash varagʻiga signalda oʻrnatilgan teodolit aylanish oʻqi hamda vizirlash silindrining oʻqi proektsiyalanadi. Proektsiyalash azimut boʻyicha har  $120^\circ$  burchak orasida uch marotaba oʻrnatilgan teodolit bilan amalga oshiriladi (har bir nuqtada  $IV$  va  $IV$  holatlarda). Xuddi shunga oʻxshash uchta nuqtadan turib markazlash varagʻiga punkt markazi ham proektsiyalanadi. Bunda xatolar uchburchaklari hosil boʻladi, ularning tomonlari uzunligi quyidagilardan oshmasligi kerak: punkt markazini proektsiyalashda 3 mm, teodolit aylanish oʻqini proektsiyalashda 5 mm va vizirlash silindri oʻqini proektsiyalashda 10 mm dan. Ushbu shartlar taʼminlansa aniqlanishi kerak boʻlgan nuqtalar shu uchburchaklar ichida joylashgan boʻladi.

Teodolit va vizirlash silindri joylashgan nuqtalar  $J$  va  $V$  dan boshlangʻich punkt  $A$  va yana biron-boshqa punkt  $B$  larga qarab yoʻnalishlar chiziladi,  $J$  va  $V$  nuqtalarni  $O$  nuqtasi bilan tutashtirilib markazlashni chiziq elementi  $e = OJ$  va reduksiyani chiziq elementi  $e_1 = OV$  qiymatlari oddiy chizgʻich bilan 1 mm aniqlikda oʻlchab olinadi.  $J$  va  $V$  nuqtalarda  $e$  va  $e_1$  chiziq elementlarni  $A, B, \dots$  punktlarga qarab yoʻnalishlarga nisbatan orientirirish burchaklari  $\theta(\theta_A, \theta_B)$  va  $\theta_1(\theta_1^A, \theta_1^B)$  geodezik transportir bilan  $15'$  aniqlikda oʻlchab olinadi.  $\theta$  va  $\theta_1$  burchaklar punkt markaziga boʻlgan yoʻnalishlardan boshlab soat milining yoʻli boʻyicha hisoblab olinadi. Bundan tashqari transportir bilan

markazlash varag'ida  $A$  va  $B$  punktlariga qarab chizilgan yo'nalishlar orasidagi burchak o'lchanib, uni joyda o'lchangan qiymati bilan solishtirib ko'riladi. Ularning farqi  $1^\circ$  dan oshmasligi kerak



9.3 – rasm. Teodolitni markazlashtirish va vizir nishoning reduksiyalasiga yo'nalishga tuzatmalar.

Agarda keltirish chiziq elementlari Yo'riqnomada ko'rsatilgan qiymatdan katta bo'lsa ( $e \leq 5$  sm,  $e_1 \leq 10$  sm) ular analitik usulda aniqlanadi.

Markazi  $O$  nuqtada joylashgan punktda burchaklar o'lchashda teodolit  $J$  nuqtada va vizirlash silindri  $V$  nuqtada joylashgan bo'lsin, 9.4-shakl.  $J$  nuqtasidan boshlang'ich punkt  $A$  ga qarab  $JA=O^\circ$  yo'nalishni, boshqa punkt  $B$  ga qarab  $JB$  yo'nalish o'tkazamiz;  $V$  nuqtasidan yana o'sha  $A$  va  $B$  punktlarga qarab  $VA$  va  $VB$  yo'nalishlar o'tkazamiz. Punktda turib boshlang'ich punktdan o'lchangan yo'nalish  $M$  bilan belgilaymiz.  $O$  punktdagi markazlash elementlari  $e$ ,  $\theta$ , reduksiya elementlari esa  $e_1$ ,  $\theta_1$  bo'lsin.  $O$  nuqtadan  $JB$  yo'nalishiga parallel bo'lgan  $OB'$  yo'nalishni o'tkazamiz. Shunda  $c''$  burchagi ( $c'' = \angle B'OB$ )  $O$  va  $B$  punktlarining markazi orasidagi topilishi kerak bo'lgan  $OB$  yunalishni olish uchun  $JB$  yunalishga kiritiladigan markazlash uchun tuzatmaga teng.  $O$  va  $B$  nuqtalaridagi  $c''$  burchaklari o'zaro teng.  $JOB$  uchburchakni yechib, unda  $O$  va  $B$  punktlar orasidagi masofa  $S = OB$ ,  $JOB$  burchak  $[(M + \theta) - 360^\circ]$  ga teng, quyidagini topamiz

$$\frac{e}{s} = \frac{\sin c}{\sin[(M + \theta) - 360^\circ]} \quad (9.41)$$

Burchak  $c$  juda kichik bo'lgani uchun o'lchangan yo'nalishga teodolitni markazlash xatosi uchun kiritiladigan tuzatmani hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin

$$c = \frac{e \sin(M + \theta)}{s} \rho'' \quad (9.42)$$

Vizirlash nishoni  $V$  punkt markazi ustida joylashmagani sababli  $V$  punktida o'lchangan yo'nalish  $BV$  ga vizirlash nishoni  $V$  ni reduksiyasiga tuzatma  $r = \angle OBV$  bilan tuzatish kerak bo'ladi.  $OVB$  uchburchagini yechib, unda  $S = OB$ , burchak  $OVB$  esa  $(M_1 + \theta_1) - 360$  ga teng bo'lganidan kichik burchak  $r$ , ya'ni  $BV$  yo'nalishiga vizirlash nishoni reduksiyasi uchun tuzatmani qo'ydagi formuladan topish mumkin

$$r = \frac{e_1 \sin(M_1 + \theta_1)}{s} \rho'' \quad (9.43)$$

Shuni takidlash kerakki teodolitni  $O$  punktida markazlash hatosi uchun tuzatmalar undan o'lchangan yo'nalishlarga, vizirlash nishoni reduksiyasi uchun tuzatmalar esa ularga teskari yo'nalishlarga (ya'ni  $AV$ ,  $BV$ , yo'nalishlarga) o'z ishorasi bilan beriladi, chunki  $A$ ,  $B$ , punktlarida vizirlash  $O$  punktining markaziga emas, balkim u bilan tutashmaydigan  $V$  vizirlash nishoniga bajariladi.

Tuzatmalar  $s$  va  $r$  1-2 klass triangulatsiyasida  $0,001''$ , 3-4 klasslar uchun esa  $0,01''$  gacha aniqlikda hisoblanadi.

### Dala sharoitida burchaklarni o'lchashni nazorati.

Punktlar markaziga keltirilgan yo'nalishlardan (markazlash va reduksiya uchun tuzatmalar kiritilgandan keyin) foydalanib o'lchovchi dala sharoitida qo'yidagilarni hisoblaydi: yopilgan uchburchaklarda o'lchangan burchaklar bog'lanmasligini xatosini, qutbiy shartlarning ozod hadlarini va o'lchangan burchaklar o'rta kvadratik hatosini. Bunda topilgan xatolar qiymatini ularni yo'l qo'yarli cheki bilan solishtiriladi. Agar yo'l qo'ylmaydigan hatolar kelib chiqsa o'sha punktlarda kuzatishlar qayta takrorlanadi.



## IV-BO'LIM. YUQORI ANIQLIKDAGI GEOMETRIK VA TRIGONOMETRIK NIVELIRLASH

### 10-BOB. DAVLAT NIVELIRLASH TARMOQLARI

#### 10.1. Nivelirlash tarmoqlari va ularning ahamiyati

Nivelir tarmoqlari davlat va soha (marksheyderlik, qurilish va boshqalar) tarmoqlariga bo'linadi. Davlat nivelirlash tarmog'i deganda davlat butun hududida joylashtirilgan va joyda ishonchli mahkamlangan, balandliklari esa hisoblash boshi (noli) deb qabul qilingan boshlang'ich punktdan bir sistemada aniqlangan geodezik punktlar (reperlar) sistemasi tushiniladi.

Davlat nivelir tarmog'i «umumdan ayrimga» o'tish prinsipida qurilib, to'rtta klassga bo'linadi: I, II, III va IV. I klass nivelirlash tarmog'i davlat hududidagi bosh balandlik asosi bo'lib, eng yuqori aniqlikda, yuqori aniqlikdagi asboblardan bilan va mukammal yuqori aniq nivelirlash usullarida, gravimetrik s'yomkani bajarish bilan bir vaqtda quriladi. II-klass nivelirlash tarmog'i davlat yuqori aniqlikdagi tarmog'ini zichlash uchun quriladi va aniq tarmoqlar qatoriga kiradi. II-klass nivelirlash tarmog'i asosida avval III va keyin IV-klass nivelirlash tarmog'lari quriladi.

I va II-klass davlat nivelirlash tarmoqlari eng aniq hisoblanib, birinchi navbatda butun davlat hududida balandliklar yagona sistemasini tarqatish maqsadida kerak bo'ladi. Ular ilmiy maqsadlar uchun ham qo'llanadi. Yuqori aniqlikdagi nivelirlash usuli bilan hal etiladigan ilmiy muammo va vazifalarga birinchi navbatda quyidagilar kiradi:

- Yerning fizik sirti, shakli va tashqi gravitatsiya maydonini batafsil o'rganish;
- dengiz va okeanlarni o'rta sathiy yuzalarining balandliklari farqlari va qiyaliklarni aniqlash;
- Yer qobig'i yirik bloklarning asriy ko'tarilishi;
- Yer osti massalarini surilishidan sodir bo'ladigan Yerning sathiy yuzalari deformatsiyasini aniqlash;
- Yer sirtining zamonaviy vertikal xarakatini o'rganish, shu jumladan seysmoaktiv hududlarda yirik zilzilar alomatlarini qidirish va kelgusida bashorat qilish;

- yirik shaharlar hududlarini mikroseysmik rayonlash, bosh planlarini tuzish uchun zarur bo'lgan hamda binolarni ishonchli konstruksiyalarini va qavatlarini tanlash va boshqa maqsadlarda.

Yuqori aniqlikdagi I va II-klass nivelirlash o'rganilayotgan ob'ektlar va tabiat hodisalarini yer sirtining nuqtalari balandliklari farqi ko'rinishida va bu balandliklarni vaqt o'tishi bilan o'zgarib borishi haqida eng aniq miqdoriy ma'lumotlar beradi.

Yerning qobig'i vaqt o'tishi bilan asta-sekin ko'tarilish va tushishni kechirib boradi, bunda turli fizik-geografik hududlarda tezligi har hil bo'ladi. Yer qobig'ining vertikal harakati tufayli nivelir reper va markalarini balandliklari o'zgaradi, o'zgarish turli joylarda turli qiymatga ega bo'ladi. Shu sabablarga ko'ra nivelir tarmog'ining aniqligi vaqt o'tishi bilan asta sekin pasayib boradi, ya'ni tarmoq "eskiradi".

Nivelir tarmog'ini aniqligi yo'l qo'yarli darajadan pasayib ketmasligini ta'minlash uchun nivelirlashni davriy, ma'lum vaqt oralig'ida, takrorlab turish talab etiladi.

Davlat nivelir tarmog'ida takroriy I va II-klass nivelirlashni o'rta har 25 yilda bajarib turiladi. Seysmoaktiv hududlarda takroriy nivelirlash boshqalarga qaraganda qisqaroq vaqtlarda takrorlab turiladi.

I va II-klass nivelirlash tarmoqlari topografik s'ymkalarini balandlik asosini qurish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Bundan tashqari ular joydagi nuqtalar balandligini turli injenerlik maqsadlar uchun aniqlashni ta'minlaydi.

Alohida guruxga yirik shaharlarda, geodinamik poligonlarda va qurilish maydonchalarida quriladigan yuqori aniqlikdagi nivelir tarmoqlari kiritish kerak bo'ladi. Bunday nivelir tarmoqlarini hamma turlari, maxsus maqsadi va barpo etilish tartibi bilan o'zini xususiyatiga ega. Bu nivelir tarmoqlari davlat balandlik tarmoqlariga bog'lanadi.

## **10.2. Zamonaviy davlat nivelir tarmog'i**

Hozirgi kungacha davlat nivelir tarmog'i I, II, III va IV-klass tarmoqlariga bo'linadi. Bosh balandlik asosi bo'lib I va II-klass nivelir tarmog'lari xizmat qiladi. I va II-klass nivelir yo'llari imkoni boricha temir yo'llar va avtomobil yo'llari bo'ylab o'tkaziladi. Ular yo'q joylarda esa daryo va kanallar sohili bo'ylab, so'qmoq yo'llar yoqalab o'tkaziladi. Hamma hollarda nivelirlash yo'llari ushbu hududdagi qulay bo'lgan tuproq sharoitiga ega, kichik nishablikli iloji boricha unchalik baland past bo'lmagan joydan o'tishi maqsadga muvofiq.

I-klass nivelir tarmog'i yopiq poligonlar ko'rinishida yoki katta uzunlikdagi yakka chiziqlar ko'rinishida quriladi. II-klass nivelir tarmog'i I-klass nivelir chiziqlariga tayanadi va yopiq poligonlar shaklida qurilib, ularning perimetri 400 dan 800 km gacha, o'zlashtirilmagan hududlarda esa 1000 dan 2000 km gacha yetadi.

III va IV-klass nivelir tarmoqlari yuqori klass poligonlari ichida alohida yo'llar hamda tugun nuqtali yo'llar sistemasi ko'rinishida o'tkaziladi. III-klass tarmoqlari poligonlarining perimetri 150 km dan oshmasligi kerak. IV-klass poligonlari perimetri va alohida nivelir yo'llarining uzunligi 50 km dan oshmasligi kerak. Hamma klassdagi nivelir yo'llari trassa bo'yicha 5 km dan katta bo'lmagan oraliqda doimiy belgilar (reperlar yoki devoriy markalar) bilan maxkamlanadi. Noqulay sharoitli bo'lgan joylarda belgilar orasi 6-7 km gacha yetkazilishi mumkin. I va II-klass nivelir yo'llarida har 50-60 km da fundamental reperlar o'rnatiladi, ulardan 50-150 m masofada oddiy yo'ldosh reperlari o'rnatiladi. Fundamental reperlar shuningdek I va II-klass yo'llarini tugun punktlarida, dengiz sathini o'lchash stansiyalari yonida va daryo (ko'l) suv o'lchash postlari oldida olinadi.

I, II va III-klass nivelir tarmoqlarida har bir yo'l to'g'ri va teskari yo'nalishlarida nivelirlanadi. I va II-klass nivelir yo'llari yoqalab, tog'li hududlarda hatto III-klass nivelir yo'llari yoqalab maxsus dastur asosida o'lchangan nisbiy balandliklarga tuzatmalar hisoblab, normal balandliklar sistemasiga o'tish uchun og'irlik kuchi o'lchanadi.

I, II, III va IV-klass poligonlari va yo'llari bo'yicha bog'lanmasliklar mos ravishda quyidagilardan oshmasligi kerak  $3\sqrt{L}$ , mm;  $5\sqrt{L}$  mm;  $10\sqrt{L}$  mm va  $20\sqrt{L}$  mm; bu yerda  $L$  poligon perimetri, yoki nivelir yo'lining uzunligi, km da. Vaqt o'tishi bilan I va II-klass nivelir tarmog'ini aniqligiga va punktlari zichligiga talab oshib boradi. Shuning uchun bu tarmoq butun davlat hududida to'xtovsiz rivojlanib va modernizatsiyalanib boradi. 70- yillar o'rtasida sobiq Ittifoq (hozirgi MDH) hududi I, II-klass nivelir tarmoqlari bilan turli zichlikda qoplangan, shundan I-klass nivelir yo'llarining umumiy uzunligi 70 ming km ni, II-klass —360 ming km ni tashkil qilgan. Bunday o'ta katta va aniq nivelir tarmog'ini tenglash uchun, u ikkita blokga: «G'arb» va «Sharq» bloklarga bo'linib, ularning chegarasi Arxangel'sk-Qozon- Orol dengizi- Ars I-klass yo'li bo'yicha o'tgan edi.

G'arbiy blok korellata usuli, sharqiy blok esa parametrik usulda tenglangan. Hisoblashlar quruqlik bilan gidrostatik nivelirlash usulida 5 km nivelir yo'lga 0,8 mm aniqlikda bog'langan, Kronshtadt futshtokining nolidan olingan normal balandliklar sistemasida bajarilgan.

Har bir blokda I va II-klass nivelir yo'llari birgalikda, ularning quyidagi formulalar bo'yicha hisoblangan vaznlarni hisobga olgan holda tenglangan

I-klass yo'llari uchun

$$P = 1/3L;$$

II-klass yo'llari uchun

$$p = 1/L,$$

bu yerda  $L$  – nivelir yo'lining uzunligi, km da. Tenglashga poligonlardagi bog'lanmaslik xatosi quyidagi talablarga javob bergan nivelir yo'llari kiritilgan:

I-klass uchun

$$\omega_{\text{sek.m}} = 3\sqrt{L}, \text{ MM};$$

«G'arb» bloki bo'yicha II-klass uchun

$$\omega_{\text{sek.m}} = 5\sqrt{L}, \text{ MM};$$

«Sharq» bloki bo'yicha II-klass uchun

$$\omega_{\text{sek.m}} = 6\sqrt{L}, \text{ MM};$$

I va II-klass nivelir yo'llaridan tashkil bo'lgan (qo'shma) poligonlar uchun chekli bog'lanmasliklar quyidagi formulalar bo'yicha hisoblangan

«G'arb» bloki uchun

$$\omega_{\text{sek.m}} = \sqrt{9L_I + 25L_{II}}$$

«Sharq» bloki uchun

$$\omega_{\text{sek.m}} = \sqrt{9L_I + 36L_{II}}.$$

Tenglanadigan I va II-klass nivelir tarmog'i (har ikkala bloklar) turli perimetrdagi 500 tadan ortiqroq poligonlardan iborat edi.

Tenglashlar natijasidan 1 km nivelir yo'lga quyidagi o'rta kvadratik xotolar olindi.

| Bloklar | I-klass | II-klass |
|---------|---------|----------|
| «G'arb» | 1,6 mm  | 2,7 mm   |
| «Sharq» | 2,1 mm  | 3,6 mm.  |

Shuningdek Kronshtadt futshtoki noliga nisbatan turli joylardagi reperlarning tenglangan balandliklarini aniqlash o'rta kvadratik xotolari ham hisoblab topiladi.

1977 yil I va II-klass nivelir tayanch tarmog'ining blandliklar katalogi tuzildi, katalogdan ko'rinadiki, kronshtadt futshtokidan eng uzoq

joylashgan punktlarininng (reperlarini) balandliklari atigi 15 sm o'rta kvadratik xatolik bilan aniqlandi, bu esa katta aniqlikni tashkil etadi.

Davlat I va II-klass nivelir yo'llarini yanada aniq va zich yo'llar bilan rivojlantirishi istiqboli saqlanib qoladi, chunki nivelir pligonlari perimetrlari katta bo'lgan yerlarda yer qobig'ining hozirgi zamon siljishini aniq o'rganish masalasi qiyinlashadi.

Yer qobig'ining hozirgi zamon vertikal xarakatini hisobga olib yuqori aniqlikdagi nivelirlash natijalarini ma'lum epoxaga keltirish muammosi hozirda xal qilinib qolmoqda.

## **II-BOB. NIVELIRLASH YO'LLARINI LOYIHALASH, REKOGNOSSIROVKA QILISH VA JOYDA MAXKAMLASH**

### **II.1. I va II klass nivelirlash yo'llarini loyihalash**

Nivelirlash tarmoqlari boshqa geodezik tarmoqlar kabi ishlab chiqilgan va tasdiklangan texnik loyihaga muvofik barpo etiladi. Texnik loyihada nivelirlash tarmoqlarining chizmasi va barpo etish dasturi ishlab chiqiladi, unda ish bajariladigan hududning fizik-geografik va iqlimiy xususiyati, gruntning muzlash va erish chuqurligi, reperlar balandligini hisoblash uchun boshlangich ma'lumotlar, oldin o'rnatilgan va yangidan loyihalanayotgan reperlarning soni va tiplari, oldin bajarilgan nivelirlash ishlari va ularning loyihalanayotgani bilan bog'lanishi loyihalanayotgan I va II-klass nivelirlash yo'llari bo'ylab gravimetrik aniqlashlar to'g'risida ma'lumotlar keltiriladi. I va II-klass takroriy nivelirlashda o'zgarish va qo'shimchalar kiritishni asoslovchi ma'lumotlar keltiriladi; undan tashqari nivelirlash usullari va asboblari, nivelirlash natijalarini matematik kayta ishlash va aniqligini baholash usullari, ishlarni tashkil etish texnika xavfsizligi va mehnat muxofazasi bo'yicha tadbirlar belgilanadi va xarajatlar smetasi tuziladi.

Nivelirlash tarmoqining sxemasi 1:100000-1:300000 masshtablardagi kartalarda ishlab chiqiladi. Loyihaning detallari, zarur paytda, yirikroq, masshtabdagi kartalarda aniqlanadi.

Turli klassdagi nivelirlash yo'llari ketma-ketlikda loyihalanadi: dastlab I-klass, II-klass keyin III va IV-klass.

Texnik loyihani tuzishda har bir loyihalanayotgan nivelirlash yo'li, joyda mavjud nivelir yo'li bilan bog'lanishi shart.

Har bir loyihalanayotgan nivelirlash yo'lining boshi va oxiri o'zidan yuqori yoki shu klassdagi mavjud nivelirlash yo'llari bilan mustahkam bog'lanishi kerak.

Loyihalanayotgan va mavjud I va II-klass nivelirlash yo'llarining o'zaro bog'lanishi mavjud nivelir yo'lining bitta reperini loyihalanayotgan nivelirlash yo'lga kiritish va ushbu repenga tutashuvchi nivelirlash yo'lining bir seksiyasini nazorat nivelirlab chiqish orqali ta'minlanadi.

Loyihalanayotgan nivelirlash yo'lida joylashgan barcha klass aniqlikdagi mavjud reperlari (devoriy markalar) shu yo'lga kiritiladi. Loyihalanayotgan nivelirlash yo'li yaqinida joylashgan oldingi nivelirlash reperlari, ulardan loyihalanayotgan nivelirlash yo'llarining ikkita reperiga alohida yo'l o'tkazish bilan bog'lanadi.

Nivelirlash yo'llarini o'zaro tutashib hosil qiluvchi har bir tugun nuqta chizmasi alohida yirik masshtabda tuziladi, unda tugun nuqtada bog'lanuvchi barcha nivelirlash yo'llarining yo'nalishi, hamda loyihalananayotgan nivelirlash yo'li yoki nazorat nivelirlash yo'lga kiritilishi kerak bo'lgan mavjud reperlar ko'rsatiladi.

## **11.2. I va II-klass nivelirlash yo'llarini rekognossirovka qilish**

Nivelirlash tarmog'i texnik loyahasini amalga oshirishning birinchi bosqichlaridan biri bu joylarda nivelirlash yo'llarini rekognossirovka qilish hisoblanadi. Rekognossirovka qilishning vazifasiga quyidagilar kiradi:

- joyda loyihalangan nivelirlash yo'llarini va ular tugun nuqtalarini eng ishonchli variantini tanlash;

- joyda reperlarni o'rnatish joyini aniqlash va belgilash;

- iqlimiy sharoitlarga hamda ish hududini relefi va gruntiga bog'liq holda nivelirlash reperlarining turlarini tanlash;

- nivelirlash tarmog'ini barpo etish bo'yicha ishni tashkil etish va amalga oshirish uchun zaruriy ma'lumotlarni yig'ish;

- nivelirlash tarmog'i chizmasini va smeta xarajatlarini aniqlash;

Yangi reperlarni o'rnatish o'rni joydagi orientirlar, hamda xarakterli konturlar yaqinida tanlanadi, bu esa reperlarni keyinchalik topishni osonlashtiradi va aerofotos'yomkada ularni aniqlash oson bo'ladi.

Asosan fundamental reperlarni o'rnatish uchun joy tanlash murakkablik tug'diradi. Bunda gruntning xarakteri va gidrologiyasi 4-5 metrgacha chuqurlikda hisobga olinadi.

Devoriy reperlar mustahkam toshli, gishtli, betonli va temir beton bino va inshootlar devorlariga o'rnatiladi.

Reperlarni o'rnatish uchun joy tanlash paytida rekognossirovkachi nivelirlash yo'lining afzal va qulay yo'nalishini belgilashni ta'minlaydi, ya'ni imkoni boricha tog' yonbag'irlarini, baland tepaliklarni, yumshoq tuproqli joylarni, botqoqlik va ekinzorlarni aylanib o'tish variantini aniqlaydi.

Rekognossirovka natijasida quyidagilar olinadi:

- 1:100000 va 1:300000 masshtabli kartada tuzilgan nivelirlash yo'nalishi va reperlarning joylashish chizmasi;

- mavjud va loyihalangan nivelirlash yo'llar tutashgan nuqtalarini aniqlashtirilgan chizmasi;

- suv to'siqlari orqali nivelirlash yo'lining aniqlashtirilgan chizmasi;



-reperlar o'rnatish joylarning abrisi, yo'qolgan yoki topilgan nivelirlash belgilarining dalolatnomalari;

-I-klass nivelirlash reperlarini o'rnatish joyining geologik tekshiruv materiallari;

- texnika xavfsizligi va mehnat muxofazasi bo'yicha talablarni hisobga olgan holda nivelirlash ishlarini tashkil etish bo'yicha tavsiyalari bilan tushuntirish matni.

### 11.3. Nivelirlash yo'llarini joyda mahkamlash

Nivelirlash tarmog'i punktlarini o'rni joylarda reperlar bilan maxkamlanadi. Joyda nivelirlash tarmog'i uzoq muddat davomida yuqori aniqlikni saqlanishini ta'minlash uchun har bir alohida o'rnatilgan reper fizik-geografik va iqlimiy sharoitlaridan qattiq nazar gruntida mustahkam o'rnatilgan bo'lishi lozim.

Gruntga o'rnatilgan reperga ko'taruvchi (yuqoriga yo'nalgan) va qarshilik (pastga yo'nalgan) kuchlar ta'sir etadi. Reper holatining o'zgarmasligini ta'minlash maqsadida bu ikki kuch bir-biriga teng bo'lishi lozim. Bu kuchlarning mikdori ko'plab faktorlarga bog'liq bo'ladi: gruntning turi, fizik-mexanik xususiyati, namligi, muzlash va erish chuqurligi va boshqalarga.

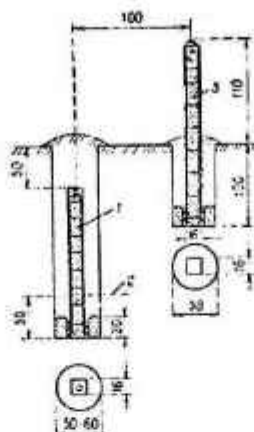
Reperlarning konstruksiyasi ishlab chiqilgan va ularning 11 ta tipii qabul qilingan.

Reperlar gruntga o'rnatilishi mustahkamligi bo'yicha oddiy va fundamental reperlarga bo'linadi. Oddiy reperlar nivelirlash yo'llarida har 5-7 km dan o'rnatiladi, I va II-klass nivelirlash yo'llarida (qo'shimcha) har 50-60 km dan fundamental reperlar o'rnatiladi.

Konstruksiyasi va o'rnatish joyi bo'yicha nivelirlash reperlari- grunt, qoya va devoriy reperlarga bo'linadi. Masalan, 5 tipdagi grunt reper (11.1-shakl) mavsumiy muzlash gruntlarida I-IV-klass nivelirlash yo'llarida va janubiy hududlarda I va II-klass nivelirlash yo'llarida o'rnatiladi.

Fundamental reperlar mavsumiy muzlaydigan gruntlar uchun 11.2-shaklda keltirilgan o'lchamlardagi elementlardan tashkil topadi.

Qabul qilingan II tipdagi nivelir reperlarining tavsifi va chizmalari, ularni tayyorlash, joyda o'rnatish va rasmiylashtirilishi "Sentri reper gosudarstvennoy geodezicheskoy seti" ("Davlat geodezik tarmoqlar markazlari va reperlari") yo'riqnomasida beriladi.

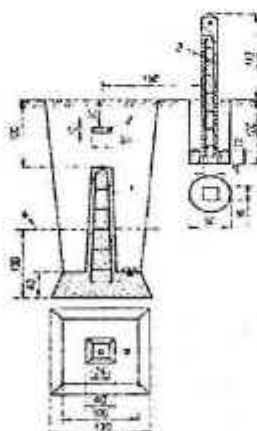


11.1-shakl. Grunt reperi (Tip.5)

1- marka va yakor qurilmali temir-beton piloni;

2-muzlash (muz erish) chegarasi;

3-tanituvchi (topish) belgi



11.2-shakl. Fundamental reperi

1) To'rtqirrali kesik temir-beton peramida

2) Tanitsh belgisi

3) Tanituvchi temir beton ustuni

4) Grunt erishini eng pastki chegarasi

#### 11.4. Nivelirlash yo'llarini gravimetrik ta'minlash

Nivelirlash tarmoqlarida reperlar balandligi Boltiq dengizi sathiy yuzasiga nisbatan normal balandlik sistemasida hisoblanadi (Kranshtadt Futshtoki nolidan). Bu balandlik sistemasiga o'tish uchun I va II klass nivelirlashda reperlar orasidagi nisbiy balandliklarga (tog'li rayonlarda III klass nivelirlashda) quyidagi formula yordamida hisoblanilgan tuzatmalar kiritiladi

$$f_{ik} = -\frac{1}{\gamma_m}(\gamma_{ok} - \gamma_{oi})H_m + \frac{1}{\gamma_m}(g - \gamma_n)h_{ik},$$

bu yerda  $\gamma_n$  - normal og'irlik kuchining taqribiy qiymati u 980000 m Gal. ga teng;

$\gamma_{oi}$  va  $\gamma_{ok}$  - qabul qilingan ellipsoidni  $i$  va  $k$  nuqtalardagi normal og'irlik kuchilari;

$H_m$  -  $i$  va  $k$  nuqtalardagi normal balandliklarning o'rtacha qiymati;

$g$  - og'irlik kuchining o'lchangan qiymati;

$\gamma$  - normal og'irlik kuchining qiymati;

$(g - \gamma)_m$  -  $i$  va  $k$  nuqtalardagi anomal og'irlik kuchlarining o'rtachasi;

$h_{ik}$  -  $i$  va  $k$  nuqtalari orasidagi o'lchangan nisbiy balandlik.

Yonma-yon joylashgan gravimetrik punktlar orasidagi masofa  $S$ , joyning qiyaligiga bog'liq holda aniqlanadi [21].

Tog'li hududlarda qo'shimcha gravimetrik aniqlashlar bajariladi: I va II klass nivelirlash yo'llaridagi barcha reperlarda, relefni asosiy o'zgarish joylarida, nivelir yo'llarini burilish joylarida. Nishabligi 0,04 dan 0,03 gacha bo'lgan joylarda I va II klass nivelir yo'llarini o'tkazishda  $f$  tuzatma qiymatlari nivelir yo'lini har bir reperida bajariladigan gravimetrik aniqlashlardan yoki gravimetrik s'yomka batafsil kartasidan olinadi.

Gravimetrik aniqlashlar bajariladigan nuqtalar nivelir tarmog'larini loyihalash jarayonida kartada belgilab olinadi.

Normal balandlik sistemasiga o'tish uchun  $f$  tuzatmalar dastlabki hisoblash bosqichida hisoblanadi va ularni hisobga olgan holda nisbiy balandliklar vedomosti tuziladi.

## 12-BOB. YUQORI ANIQLIKDAGI NIVELIRLAR VA INVAR REYKALAR

### 12.1. Yuqori aniqlikdagi nivelirlar va invar reykalarga bo'lgan asosiy talablar

Yuqori aniqlikdagi nivelirlashda nisbiy balandliklar hozirgi vaqtda 1km ikkilangan (to'g'ri va teskari) yo'lda 0,3-0,5mm tasodifiy, 0,03-0,05 mm sistematik o'rta kvadratik xatolar bilan aniqlanishi lozim. Bunday yuqori aniqlikda o'lchashni ta'minlash uchun tegishli aniqlikdagi nivelir va reykalarni hamda kuzatishlar va o'lchash natijasini qayta ishlashning eng takomillashgan usullarini qo'llash zarur, ya'ni barcha turdagi xatoliklar manbalari, shu jumladan shaxsiy, asbob va tashqi muhit, ayniqsa kattaligidan qat'iy nazar sistematik xatolar ta'sirini to'la kamaytirishga olib keluvchi usullarin qo'llash kerak bo'ladi.

Nivelirlash paytida xar bir stansiyada reykanan sanoq olishda vizir nuri gorizontal holatda bo'lishi lozim. Vizir nurini gorizontal holatga keltirish adilak yoki kompensator yordamida  $m$  o'rta kvadratik xato bilan amalga oshiriladi. Bu xatoning chekli mikdorini va unga to'g'ri keluvchi qarash trubasining kattalashtirishi va adilak bo'lagining qiymatini hisoblaymiz. Faraz qilaylik silindrik adilak o'qi va qarash trubasining vizir o'qining o'zaro parallellik sharti bajarilgan va nivelirdan reykgacha bo'lgan masofa 50 metrga teng.

Aytaylik 1km nivelirlash yo'lida to'g'ri va teskari yo'llardan o'rtacha nisbiy balandlikni aniqlashning o'rnatilgan o'rta kvadratik xatosi quyidagi minimal qiymatga teng bo'lsin

$$m_{ho'r} = 0,25 \text{ mm/km.}$$

Bundan faqat to'g'ri yoki teskari yo'ldan nisbiy balandligini aniqlash xatosi quyidagidan oshmaydi

$$m_{nTo'} = m_{ho'r} \sqrt{2} = 0,35 \text{ mm/km}$$

Tekis joy sharoitda 1 km uzunlikdagi yo'lni nivelirlashda nivelirdan reykgacha masofa 50 m bo'lganda o'lchashni 10 ta nivelirlash stansiyalaridan bajarish mumkin. Buni hisobga olgan holda xar bir alohida stansiyada nisbiy balandlikni aniqlashni chekli o'rta kvadratik xatosi quyidagidan katta bo'lmasligi kerak

$$m_{hcT} = \frac{m_{nTo'}}{\sqrt{10}} = \frac{0,35}{\sqrt{10}} = 0,11 \text{ mm}$$

Nuqtalar orasida nisbiy balandlikni stansiyada ikki marotaba (reykaning asosiy va qo'shimcha shkalasi bo'yicha) «orqaga qarash minus oldinga qarash» qoidasiga binoan aniqlanadi

$$h_{cr} = O_p - O_{n.},$$

bundan so'ng nisbiy balandlikning ikkita qiymatlaridan o'rtachasi topiladi.

Har bir reykaqa qarash xatoligini bir xil va teng  $m$  qarash deb qabul qilib stansiyadagi nisbiy balandlikni aniqlash o'rtacha kvadratik xatosini qarash xatosi orqali ifodalaymiz

$$m_{hct} = m_{qar} \sqrt{2}.$$

Bu tenglik nisbiy balandlikni faqat reykaning asosiy shkalasi yoki faqat qo'shimcha shkalasi bo'yicha hisoblansa xam o'zgarmas bo'lib koladi. Agar  $m_{kr}$  malum bo'lsa reykaning 1 ta shkalasi bo'yicha qarash o'rtacha kvadratik xatosini topish mumkin

$$m_{qar} = \frac{m_{hct}}{\sqrt{2}} = \frac{0,11}{\sqrt{2}} = 0,08 \text{ mm}.$$

Qarash xatoligi 3 ta tashkil etuvchidan hosil bo'ladi. Reyka bo'yicha sanoq olishdan oldin, adilak pufakchasi qarama-qarshi uchlarning tasviri birlashtiriladi ( $m_{br}$  xatolik bilan), bu elevatsion vint yordamida nivelirning qarash turbasini qiyalash yo'li bilan bajariladi. So'ngra mikrometr bissektorini reykaqa ( $m_{to'g'}$  xatolik bilan) to'g'rlanadi va mikrometr shkalasi bo'yicha sanoq olinadi ( $m_0$  xatolik bilan). Sanoq olish xatoligi boshqa xatolardan kichik ( $m_0 = 0,1 \mu = 0,005 \text{ mm}$ , bu yerda  $\mu$  - mikrometr shkalasi bo'lak qiymati), uni hisobga olmaslik mumkin. Shunda qarash xatoligi uchun quyidagini olamiz

$$m_K^2 = m_{br}^2 + m_{to'g'}^2.$$

Qarash xatoligi vizir nurini gorizontallash xatosi  $m_r$  dan kichik yoki teng bo'lishi, yani  $m_K \leq m_G$  shartini qo'yib teng ta'sir etish prinsipiga binoan quyidagiga ega bo'lamiz

$$m_{\delta p} = m_{to'g'} = m_G.$$

Bu tenglamani hisobga olib

$$m_K = m_G \sqrt{2},$$

bundan topamiz

$$m_G = \frac{m_K}{\sqrt{2}} = \frac{0,08}{\sqrt{2}} = 0,06 \text{ mm}.$$

Olingan xatolikning mikdori  $m_r = 0,06 \text{ mm}$  nivelir va reyka orasidagi qabul qilingan  $d = 50 \text{ m}$  masofaga to'g'ri keladi. Bu xatolikni burchak

o'lchovida ifodalab, nivelir adilagi yoki kompensatori yordamida amalga oshiriladigan vizir nurini gorizontallashtirish o'rta kvadratik xatosi miqdorini topamiz

$$m_g = \frac{m}{d} \rho = \frac{0,06 \cdot 2 \cdot 10^5}{50000} \leq 0,23''.$$

Bu miqdorni boshlangich deb qabul qilib, talab qilingan adilak bo'lak qiymati va nivelir qarash trubasining zaruriy kattalashtirish darajasini hisoblaymiz.

Adilak pufakchasini ko'z bilan ilg'ab olish mumkin bo'lgan siljishi  $\tau/10$ ni tashkil etadi, bu yerda  $\tau$ -adilak bo'lagining qiymati (2 mm ga teng). Yuqori aniqlikdagi nivelirlarda adilak pufakchasining qarama-qarshi uchlarning tasvirini birlashtirishga imkon beruvchi optik sistemalardan foydalaniladi, bunda adilak pufakchasini nol-punktga keltirish xatoligi 4-5 marotaba kamayadi (o'rtacha 4,5 marta) va quyidagiga teng bo'ladi

$$m_{\tau} = \frac{\tau}{10 \cdot 4,5} = \tau / 45$$

Bundan olamiz

$$\tau'' = 45 m_{\tau}$$

Vizir nurini gorizontallashtirish o'rnatilgan xatosini  $m_{\tau}$  o'rniga qo'yib  $m_{\tau} = m_g = 0,23''$ , adilak bo'lagining izlanayotgan qiymatini topamiz

$$\tau = 45 \cdot 0,23 = 10''.$$

Nivelir qarash trubasining kerakli kattalashtirishini quyidagi tarzda hisoblaymiz.

Malumki yaxshi ob-xavo sharoitida mikrometr bissektorini reykaning shtrixiga to'g'irlash o'rta kvadratik xatosi nivelirdan reyka gacha bo'lgan  $d$  masofaga, ko'zning chekli ajrata olish qobiliyatiga  $P_r$  va nivelir ko'rish trubasining kattalashtirishi  $g$  ga bog'liq. Berilgan  $d$  masofada bu bog'liqlik quyidagi formula bilan hisoblanadi

$$m_{\tau \text{ rkr}} = \frac{P_r}{g}$$

Ko'zning chekli ajrata olish kobiliyati  $P_r = 10''$  deb [22],  $d = 50 \text{ m}$  masofa uchun yuqorida olingan to'g'irlash xatosining qiymati  $m_{\tau \text{ rkr}} = m_{\tau} = 0,23''$  uchun reyka gacha masofa 50 metrdan oshmasa nivelir qarash trubasining talab etilgan kattalashtirish darajasini hisoblaymiz, u quyidagiga teng

$$g = \frac{P_r}{m_{\text{TYPE}}} = \frac{10}{0.23} = 43^{\circ}$$

Yuqorida bajarilgan hisoblar taqribiy hisoblanadi lekin amaliyot bilan yaxshi muvofiqlashadi. Bu hisoblar ko'rsatishicha yuqori aniqlikda nivelirlashga mo'ljallangan nivelirlar qarash trubasining kattalashtirish darajasi 40' dan kichik adilak bo'lagining qiymati 2 mm ga 10" dan katta bo'lmasligi kerak va vizir nurini gorizontallash 0,2" o'rta kvadratik xatolikda ta'minlanishi kerak.

Nivelir aniq adilakdan tashqari, xuddi shunday aniqlikda qarash trubasini qiyaligini amalga oshirishga imkon beruvchi, yuqori sifatli elevatsion vintga ega bo'lishi lozim. Reykadan 0,1mm aniqlikda sanoq olishda reyka bo'lagining kasr qismini baxolash uchun nivelirning tegishli aniqlikdagi optik mikrometri xizmat qiladi. Shuni inobatga olish kerak-ki, yuqori aniqlikdagi nivelirlash ishlari turli fizik-geografik, hamda

-30dan +50°s gacha xaroratli iqlim sharoitlarda bajariladi. Shuning uchun yuqori aniqlikdagi nivelirlar xaroratning barcha diapazonida, aniqlikni sezilarli darajada pasaytirmay ishlashi lozim. Shu tufayli, nivelir xaroratning 1° ga o'zgarishida adilak o'qi va qarash trubasi vizir o'qining i burchagi o'zgarishi 0,5" dan oshmasligi talabi quyiladi. Nivelir bilan ishlashda qulaylik tug'dirish uchun iplar to'ri, adilak pufakchasi qarama-qarshi uchlarining va optik mikrometr shkalasi ta'siri qarash trubasi maydonida joylashishi lozim. Nivelirning og'irligi nisbatan kichik bo'lish lozim. Shu bir-biriga zid barcha talablarni hisobga olib, zamonaviy yuqori aniqlikdagi nivelirlar ishlab chiqilmokda.

### Invar reykalalar

Nivelir reykalari nisbiy balandliklarini aniqlashda uzunlikning ishchi o'lchovi hisoblanadi, shuning uchun ular yuqori aniqlikda tayyorlanishi, bo'laklari esa o'ta yuqori aniqlikda tushurilishi lozim. Reykalar uzoq vaqt davomida -30°S dan + 50° S gacha iqlim va turli fizik-geografik sharoitda foydalanishda metrli va xoxlagan boshqa bo'laklarining qiymati o'zgarmas bo'lishi lozim. Shuning uchun reykaning butun uzunligi va bo'lingan bo'laklari uzunligi havo harorati o'zgarishiga bog'liq kichik o'zgarishni ta'minlash uchun reykaning bo'laklarga bo'lingan ishchi qismi uzayish koeffitsienti kichik  $(2-2,5) \times 10^{-4}$  bo'lgan invardan tayyorlanadi. Yoz paytida tog'li hududlarda yuqori aniq o'lchashlarni bajarishda orqadagi va oldingi reykalalar invar polosalari haroratining farqi 10°S va undan ortiqni tashkil qilishi mumkin, reykalalar haroratini aniqlash uchun hamda o'lchash



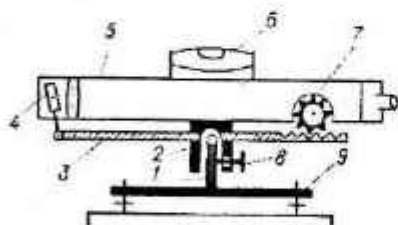
natijalariga tegishli tuzatmalarni hisoblash uchun reykarlar termodatchiklar bilan ta'minlanishi kerak. Reykarlar metrli intervallariga, kerak bo'lganda desimetrli intervallariga tuzatmalar topish maqsadida reykarlar statsionar komparatorlarda etolanlanishi lozim, umuman olganda reyka shkalasining har bir alohida shtrixi holatiga tuzatma aniqlash va hisobga olish to'g'ri bo'lar edi. Nivelirlar kabi reykarlar bilan ishlash juda katta e'tiborni talab etadi. Yuqori aniqlikda o'lchashlarni ta'minlash uchun reykarlar nivelir bilan birga sistematik ravishda tadqiqotlardan o'tkazib borilishi lozim.

## 12.2. Yuqori aniqlikdagi nivelirlarning geometrik chizmasi va asosiy qismlari

Yuqori aniqlikdagi nivelirlarning quyidagi turlari ishlab chiqilgan:

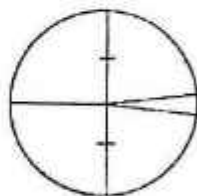
1. Qarash trubasida adilakga ega bo'lgan nivelirlar;
2. Qiyalik burchagi kompensatoriga ega bo'lgan nivelirlar;
3. Raqamli nivelirlar.

Yuqori aniqlikdagi nivelirlar quyidagi asosiy qismlardan tashkil topadi (12.1-shakl): o'kiy sistema, qarash trubasi, aniq adilak yoki uni almashtiruvchi qarash trubasini qiya burchakli kompensatori, sanoq qurilmasi.



12.1-shakl. Yuqori aniqlikdagi nivelirning geometrik sxemasi:

1 - vertikal o'q; 2 - vtulka; 3 - ruchag; 4 - yassi plastina; 5 - ko'rish trubasi; 6 - aniq adilak; 7 - o'lchov shesternya; 8 - elevatsion vint; 9 - taglik



12.2-shakl. Yuqori aniqlikdagi nivelirni trubasining iplar to'ri

*O'qiy sistema* nivelirning tagligi 9 bilan mustahkam birlashtirilgan vertikal o'q 1 va nivelirning qarash trubasi bilan birlashtirilgan vtulka 2 dan tashkil topgan. Nivelirning tagligiga, vertikal o'qni vertikal holatga keltirishga xizmat qiladigan va bo'lak qiymati 8' ga teng doiraviy adilak maxkamlangan. Qarash trubasida adilak o'rnatilgan yuqori aniqlikdagi nivelirlarning o'kiy sistemasi, nivelir qarash trubasini nafaqat vertikal o'q atrofida aylanishini, balkim elevatsiya vinti 8 yordamida adilak pufakchasini o'rta keltirishda qarash trubasini gorizontga nisbatan vertikal tekislikda uncha katta bo'lmagan burchakga qiyalatish imkonini beradi.

*Qarash trubkasi* to'g'ri, markaziy. Uning asosiy kismlari: obektiv, okulyar, fokuslovchi linza va iplar turi hisoblanadi. Iplar turi bissektorining o'ngismi (12.2-shakl) o'tkir burchak ko'rinishga ega, uning bissektisasi bissektorning chap kismida joylashgan gorizontallarning davomi hisoblanadi.

*Nivelir qarash trubasidagi aniq adilak*, hamda truba qiyalik burchak kompensatori truba vizir o'qini gorizontall holatga keltirish uchun xizmat qiladi. Kompensatorsiz yuqori aniqlikdagi nivelirlar, uchlari kavsharlangan shisha trubkali konaktli adilakka ega, adilak ampulasi to'ldiruvchi bilan temir g'ilof ichiga joylashtiriladi. Bunday adilak xarorat -20°s dan +50°s gacha o'zgargandan ham barcha ishchi diopazon bo'yicha trubaning qiyalanishiga o'ta sezgirlikni ta'minlaydi, bu esa juda muhim. Adilak o'qini trubaning vizir o'qiga parallel o'rnatish uchun tug'rilovchi vint bilan ta'minlangan. Adilak pufakchasini o'rta keltirish uchun, truba vizir o'qining gorizontall holatida elevatsiya vinti yordamida pufakcha qarama-qarshi uchlarning tasviri birlashguncha nivelir trubasi qiyalantiriladi.

Yuqori aniqlikdagi nivelirning sanoq olish qurilmasi optik mikrometrdan iborat bo'lib, obektiv oldiga yoki trubaning ichiga o'rnatilgan yassi parallel plastinkadan (12.3-shaklga karang) iborat o'lchovchi shesternya golovka bilan birlashtirilgan, uning shkalasi 100 bo'lakga bo'lingan bo'lib, xar biri reykaning bitta bo'lagiga to'g'ri keladi, ya'ni 5mm; richagning, bir tomoni sharmir tarzida yassi parallel plastinka bilan o'langan, ikkinchi tomoni esa o'lchovchi shesternya ssepleniyasiga kiruvchi tishli ko'rinishga ega. Optik mikrometarning turli tuzilish sxemasi bo'lishi mumkin.

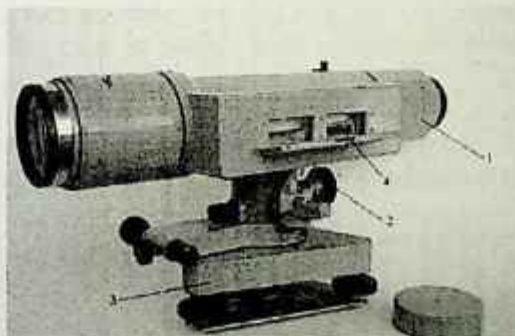
Reykadan sanoq olishda (12.3-shakl) elevatsiya vinti yordamida nivelir kontaktli adilak pufakchasi uchlarning tasviri birlashtirilib nivelir trubasi qiyalantiriladi.



Asbobsozlarning izlanishlari yuqori aniqlikdagi yanada takomillashgan konstruksiyadagi I va II-klass nivelirlash uchun muljanlangan H1 (12.4-shakl) va N-2 nivelirlarni ishlab chikishi ta'minlanadi.

20-jadval

| Parametrlar                                                                                     | H-05 | H-05K |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|
| 1km ikkilangan yo'l nisbiy balandligini o'rta kvadratik xatosi, mm,                             | 0,5  | 0,5   |
| Stansiyada nisbiy balandlikni aniqlash o'rta kvadratik xatosi, reykalargacha bo'lgan masofalar: |      |       |
| 30 metr                                                                                         | 0,15 | 0,15  |
| 50 metr                                                                                         | 0,20 | 0,20  |
| Qarash trubasining kattalashtirish kamida, karra                                                | 40   | 40    |
| Adilak bo'lagining qiymati 2 mm ga                                                              |      |       |
| Trubadagi (sekundda)                                                                            | 10±1 | -     |
| O'rnatuvchi (minutda)                                                                           | 5±1  | 5±1   |
| Sanoq olish mikrometr shkalasi bo'lagining qiymati, mm                                          | 0,05 | 0,05  |
| Vizirlashning eng qisqa masofasi, m                                                             | 5    | 5     |
| Kompensatorning ishlash diapazoni, minut                                                        | -    | ± 8   |
| Vizir nurining o'zi o'rnatish xatosi, sekund                                                    | -    | 0,2   |
| Nivelir o'qini 1' ga qiyalaganda kompensatorni ishlashidagi sistematik xatolik, (sekund)        | -    | 0,05  |
| Kompensator sistemasining tebranishini to'xtash vaqti, sekund                                   | -    | 2     |



12.4-shakl. H1 niveliri: 1-nivelirning qarash trubasi; 2-elevatsion vint; 3-ko'tarish vintlariga ega bo'lgan; 4-kontaktli adilak.

H1-nivelirining konstruksiyasini ishlab chikuvda asos qilib HB tipdagi nivelir qabul kilingan. Shuning uchun ushbu niveliming optik sxemasi NB tipdagi nivelir sxemasidan prinsipial ravishda fark kilmaydi. Yassi parallel plastinka bunda ham trubaning ichida joylashgan. H1 niveliri uzining texnik tavsifi bo'yicha (12.2-jadval) NB niveliridan yuqori sifatli optikasi, prizma blok kontakli adilak va qarash trubasi havo xaroratining birdaniga o'zgarishidan ximoyalovchi (qoplama) bilan ta'minlangani bilan farq qiladi. Kojux nivelir ichidagi barcha uzellarning xaroratini tenglashtirib turadi. Shu tufayli adilak o'qi bilan trubani vizir o'qi orasidagi i burchakni o'zgarishi tekis va mikdori jihatidan kichik bo'ladi, bu esa nivelirlash natijalarining aniqligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Ushbu niveliming eng muxim afzaliklaridan biri optik mikrometr bo'lagining qiymati nivelir va reyka orasidagi masofaga bog'liq bo'lmaydi, chunki yassi parallel plastinka truba ichida birlashuvchi nurlar to'plamida joylashadi va xarorat ta'siridan kam o'zgaradi.

Nivelir trubasida bo'lak qiymati 2 millimetrga 10" ga teng bo'lgan silindrik kontakli kompensirlovchi adilak o'rnatilgan.

21-jadval

| Texnik tavsifi                                                     | H1<br>(Ros<br>siya) | H-05<br>(Ros<br>siya) | Ni004<br>(Germ<br>aniya) | He-2<br>(Ros<br>siya) | Ni002<br>(Germ<br>aniya) | Ni007<br>(Germ<br>aniya) |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Qarash trubasining kattalashtirishi,<br>karra                      | 45                  | 42                    | 44                       | 45                    | 40                       | 31.5                     |
| Ob'ektiv bo'sh teshigining<br>diametri, mm                         | 60                  | 52                    | 56                       | 50                    | 55                       | 40                       |
| Vizirlashning eng kiska masofasi, metr<br>nasadkali                | 4.2                 | 1.0                   | 3.0                      | 4.5                   | 1.5                      | 2.2                      |
| Dalnomer ko'effitsienti                                            | 100                 | 100                   | 100                      | 100                   | 100                      | 100                      |
| Dalnomer doimiysi, metr                                            | 0.35                | 0.00                  | 0.00                     | 0.00                  | 0.37                     | 0.00                     |
| 2 mm ga adilak bo'lagining qiymati:<br>trubadagi, sekund           | 10                  | 10                    | 10                       |                       |                          |                          |
| o'rnatigich, minut                                                 | 2                   | 5                     | 2                        | 5                     | 8                        | 8                        |
| Mikrometr shkalasi bo'lagining<br>qiymati, mm                      | 0.05                | 0.05                  | 0.05                     | -                     | 0.05                     | 0.05                     |
| Kompensatorni ishlash diapazoni,<br>minut                          | -                   | -                     | -                        | 10                    | 10                       | 10                       |
| Nivelir trubasining qiyaligiga<br>kompensatorming sezgirligi, sek. | -                   | -                     | -                        | 0.3                   | 0.05                     | 0.15                     |
| Nivelir qutisiz massasi, kg                                        | 6.9                 | 5.6                   | 6.2                      | 7.0                   | 6.5                      | 3.9                      |



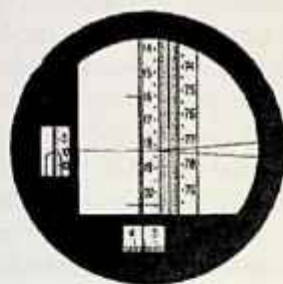
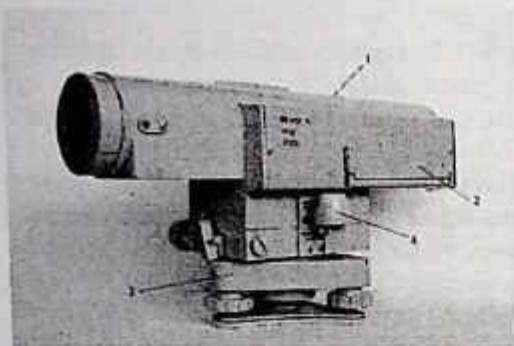
Nivelirning xarorati  $1^{\circ}S$  ga o'zgarganda adilak pufakchasining uzunligi 0,1-0,2 mm dan ortiq o'zgarmaydi. Nivelir elevatsion va azimut bo'yicha yo'naltiruvchi vintlarga ega; I-klass nivelirlashga mo'ljallangan.

*Yuqori aniqlikdagi nivelir H-05 (12.5-shakl)* H-2 nivelir bazasida ishlab chiqilgan. Nivelir  $42^{\circ}$  karra kattalashtiruvchi apoxromatik qarash trubasiga (12.6-shakl) ega; trubaning ob'ektivi oldida qo'ndiriladigan linza1, optik klin 2 va yassi parallel plastinka 3 joylashgan. Nivelirning optik sxemasi silindrik kontakli adilak pufakchasi uchlarining tasvirini, hamda sanoq olish shkalasi tasvirini truba kurish maydoniga uzatadi (12.5,b-shakl). Optik klin i burchagi qiymatini, uni trubani vizir o'qi atrofida aylantirib, o'zgartirish imkonini beradi. Qarash trubasiga, tasvirni uzatuvchi prizma bloki va kontakli adilak issikdan ximoyalovchi g'ilovga joylashtirilgan, shu tufayli nivelir xaroratini  $1^{\circ}S$  ga o'zgarganida i burchakning o'zgarish  $0,5''$  dan oshmaydi.

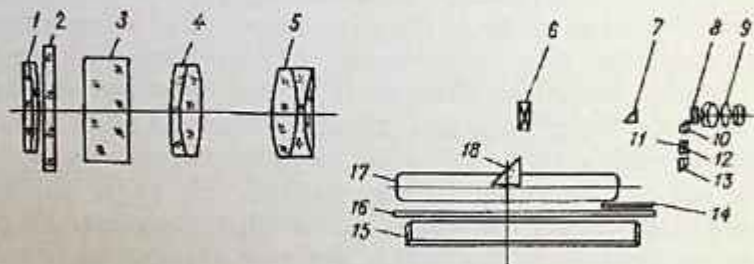
H-05 niveliri ishlashga kulay, I va II-klass nivelirlashda natijalarning yuqori aniqligini ta'minlaydi (12.2- jadvalga karang).

Yuqori aniqlikdagi nivelir *Ni 004* (Germaniya) « Karl seyss» yuqori texnik ko'rsatgichlari bilan xarakterlanadi. U I va II-klass nivelirlashda keng qo'llaniladi. Nivelirning barcha asosiy qismlari, qarash trubasi, bilan birga, kompensirlangan ampulali kontakli silindrik adilak optik mikrometrli, yassi parallel plastinkali, ximoyalovchi oyna va truba ob'ektivi orasida joylashgan, issiqdan ximoyalovchi po'lat g'ilofga joylashtirilgan. Nivelirning asosiy afzaliklaridan biri nivelir xarorati  $1^{\circ}S$  ga o'zgarganda i burchakni o'zgarishi  $0,5''$  dan oshmaydi. Trubani ko'rish maydoniga iplar turi, adilak pufakchasi uchlarini tasviri va optik mikrometr sanoq olish shkalasini tasviri uzatiladi, bu esa nivelir bilan ishlashda qulaylik to'g'iradi.

Nivelirdan reykgagacha bo'lgan turli masofalarda bissektorni shtrixga to'g'rilash aniqligini oshirish uchun iplar to'ri turli burchakli ikkita xarakatlanadigan bissektorga ega – bittasi ko'rish maydonining o'ng qismida 20 metrdan katta masafalar uchun, boshqasi (katta burchakli) ko'rish maydonining chap qismida 20 metrdan kichik masofalar uchun.



12.5-shakl. H-05 niveliri (a): 1-issikdan ximoyalovchi g'ilofda joylashgan ko'rish trubasi; 2- kontakli adillak; 3-nivelir tagligi; 4- o'rnatgich adillak; (b)trubaning ko'rish maydoni



12.6-shakl. H-05 nivelirining optik sxemasi;

1- qo'ndiriladigan linza; 2 -optik klin; 3- yassi parallel plastinka; 4-5 -ob'ektiv linzasi; 6- fokuslovchi linza; 7- optik mikrometrning uzatuvchi linzasi ; 8- iplar turi; 9- okulyar; 10-13 va 18- okulyar kurish maydoniga adillak pufakchasi uchlarining tasvirini uzatuvchi optik sistema; 14- optik mikrometr shkalasi; 15- yoritish oynasi; 16- 17- silindrik adillakning ximoya oynasi.

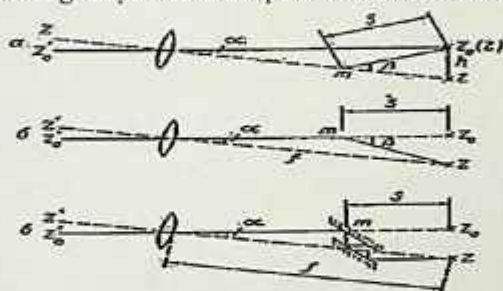
## 12.4. Yuqori aniqlikdagi kompensatorli nivelirlar

Geodezik o'lchash jarayonini avtomatizatsiyalashtirish tufayli vizir chiziqni o'zi o'rnatuvchi nivelirlar keng tarqalmoqda, ularda adillak o'rni trubaning vizir o'qini avtomatik bir lahza ichida yuqori aniqlik bilan gorizontol holatga keltiruvchi qiyalik burchak kompensatoridan foydalaniladi. Buning natijasida stansiyada o'lchash unumdorligi sezilarli darajada oshadi.



Hozirgi vaqta turli shkaladagi kompensatorli nivelirlar chiqarilmoqda. Ularning ko'pchiligi o'ta yuqori aniqligi, kompaktligi va qarash trubasini qiyalik burchagini kompensatsiyalash usulining originalligi bilan farqlanadi. Kompensatorlarda sezuvchan element sifatida mayatnikli sistema, adilak va gidrostatik qurilmalar qo'llaniladi. Eng ko'p tarqalgani vizir o'qi yo'nalishini o'zgartiruvchi mayatnikli kompensatorlardir.

Qarash trubasining qiyalik burchagini kompensatsiyalashning asosiy usullarini ko'rib chiqamiz. Aytaylik trubaning  $Z'Z$  vizir o'qi  $Z_0Z$ , gorizontal yo'nalish bilan kichik  $\alpha$  burchak hosil kiladi (12.7-shakl), iplar to'rining kesishishi  $Z$  nuqtada joylashadi. Qarash trubasi vizir o'qini qiyalik burchagi  $\alpha$  uchta usul bilan kompensatsiyalanishi mumkin; 1) iplar turini  $Z$  holatida  $Z_0$  holatiga siljitish (12.7a-shakl); 2) gorizontal nur yo'nalishini  $m$  nuqtasida o'zgartib, uni surilgan iplar to'ri kesishgan nuqtasi  $Z$  dan o'tkazish (12.7,b-shakl); 3) gorizontal nurni  $Z_0Z$  qiymatga parallel surib uni surilgan iplar to'ri nuqtasi  $Z$  dan o'tkazish (12.7,b-shakl).



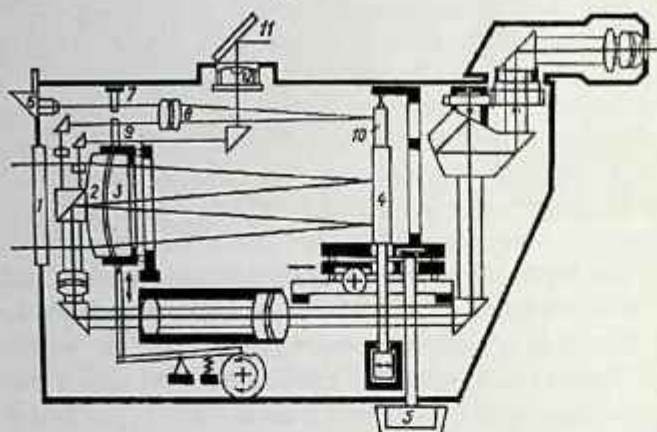
12.7-shakl. Qarash trubasi qiyalik burchagini kompensatsiyalash

Barcha kompensatorlarni qarash trubasi vizir o'qi qiyalik burchagini kompensatsiyalash usulidan qat'iy nazar uchta tipga ajratish mumkin; 1) iplar turi xarakatlanadigan kompensatorlar; 2) vizir nurini buruvchi kompensatorlar 3) vizir nurini parallel siljitadigan kompensatorlar. Birinchi ikkita tipdagi kompensatorlar quyidagi tenglikni qanoatlantirishi lozim

$$f\alpha = s\beta,$$

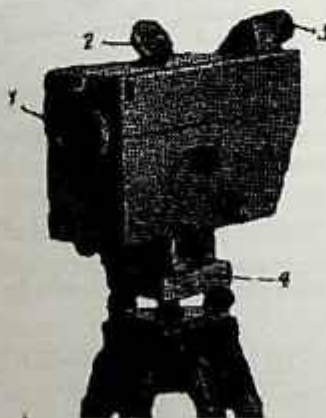
bu yerda  $f$ - ob'ektivning fokus masofasi,  $\alpha$ -qarash trubasining qiyaligi,  $s$ - nurni burilish  $m$  nuqtasidan iplar turigacha bo'lgan masofa, iplar turini ushlab turuvchi fizik mayatnik richagining uzunligi;  $\beta$ - richak qiyaligi. Nisbat kompensatorni burchakli kattalashtirishi deyiladi.

$$f/s = \beta/\alpha = K$$



12.9-shakl. Ni 002 kompensatorli nivelirning optik sxemasi:

1-klin shaklidagi ximoya oynasi; 2-iplar to'ri; 3-ob'ektiv; 4- kompensator oynasi; 5-kompensator pereklyuchateli; 6-yorituvchi prizma; 7-mikrometrning qattiq indeksi; 8-ob'ektiv; 9-optik mikrometr shkalasi; 10-ko'zgu; 11-12 o'rnatish adilagining ko'zgusi.



12.8-shakl. Kompensatorli nivelir Ni 002

1- ob'ektiv; 2- o'rnatuvchi adilakning ko'zgusi; 3- okulyar; 4- nivelir tagligi.

Uchinchi tip kompensatori, nurlarni o'ziga o'zi parallel siljitadigan kompensator bo'lib, u quyidagi tenglamani qanoatlantirishi lozim.

$$f\alpha = vs\alpha \quad \text{yoki} \quad f = vs,$$

bu yerda  $v$  - vizir nurini qaytarish soniga bog'liq koeffitsient;  $s$  - fizik mayatniki richagining uzunligi.

*Ni 002* kompensatorli niveliri 12.8-shakl «Karl seys Yena» firmasi tomonidan ishlab chikilgan bo'lib, yuqori texnik – iktisodiy ko'rsatgichlari bilan tavsiflanadi (21-jadval) va I–II-klass nivelirlashda keng foydalaniladi. Nivelir kompensatori ko'zgu shaklida tayyorlangan bo'lib, u nivelir trubasi ob'ektiv bosh nuqtasidan  $f/2$  masofada joylashadi. Kompensatorni kattalashtirish burchak koeffitsienti 1 ga teng. Nivelir qarash trubasini ob'ektiv ikki komponentlidir. Oldingi komponentda iplar to'g'ri o'rnatilgan. Ob'ektiv oldida optik klin ko'rinishida tayyorlangan ximoya oynasi joylashgan.

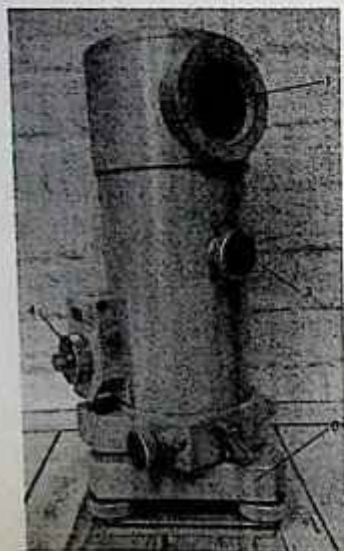
Nivelir trubasi qiyaligini kam yoki ortiqcha kompensatsiyalash tufayli xatolik ta'sirini kamaytirish uchun kompensatorni kuzgu bilan  $180^\circ$  ga buralishga imkon beruvchi pereklyuchatelga ega. Reykaning asosiy shkalasi bo'yicha kompensator ko'zqusining bir holatida (kompensatorni  $180^\circ$  ga burashdan keyin) sanoq olinadi. Trubaning ko'rish maydoniga iplar to'ri, optik mikrometr shkalasi va o'rnatgich (doiraviy) adilak tasviri uzatiladi.

Vizir nuri 0,5" dan ko'p bo'lmagan o'rta kvadratik xatolik bilan (0,5 sekunda) deyarli laxzada gorizontol holatiga keltiriladi. Nivelir  $-20^\circ$ s dan  $+50^\circ$ s gacha xarorata ishlaydi. Nivelir bilan ishlash qulayligi uchun trubaning fakuslovchi linzasi, optik mikrometr va trubani azimutal surish vinti nivelirning ikkita tomonida joylashgan va ikkita golovkaga ega. Bundan tashqari, nivelir korpusini yuqori devoriga joylashtirilgan truba okulyari azimut bo'yicha  $0^\circ$  dan  $240^\circ$  gacha buralishi mumkin, bu esa nivelir trubasini navbatma-navbat reykaning biridan boshqasiga kuzatuvchining o'rni o'zgartirmasdan to'g'rilash imkonini beradi.

Kompensatorli *Ni 007* niveliri (12.10-shakl) periskop shaklga ega. U xuddi *Ni 002* kabi yuqori texnik-iktisodiy ko'rsatgichlarga ega (12.2-jadvalga karang) va II, III va IV-klass nivelirlash uchun mo'ljallangan. Nivelirning optik sxemasiga muvofiq, (12.11-shakl) vizir nurini himoya oynasi, penta prizma orqali o'tadi va ob'ektivga yo'naladi. Pentoprizmadan II-klass nivelirlashda optik mikrometr sifatida foydalaniladi, u gorizontol nurni balandlik bo'yicha maksimal  $5+0,5$  mm ga siljitadi. III va IV-klass nivelirlashda pentoprizma arretir yordamida qo'zg'almas qilib maxkamlanadi va santimetr bo'lakli shashkali reykanan

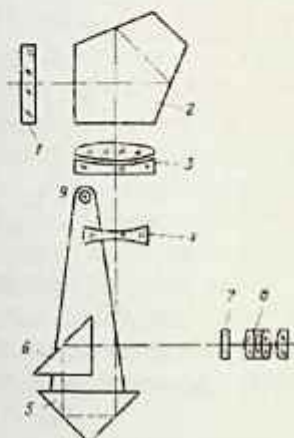


foydalaniladi. Iplar turi va fokuslovchi linza orasida ob'ektiv bosh orqa nuqtasi bilan birlashgan richak nuqtasida metall lentaga osilgan kompensator – to'g'ri burchakli prizma joylashadi. Mayatnikali osma richagini uzunligi, ya'ni osilish nuqtasidan prizma yuzasigacha bo'lgan masofa  $S=f/2$  kattalikka teng deb qabul kilingan, bu yerda  $S$  – ob'ektivning fokus masofasi.



12.10-shakl. Kompensatorli Ni007 nivelir;

1- truba ob'ektivi; 2- sanoq olish qurilmasining golovkasi; 3- nivelir tagligi; 4 – truba okulyari;



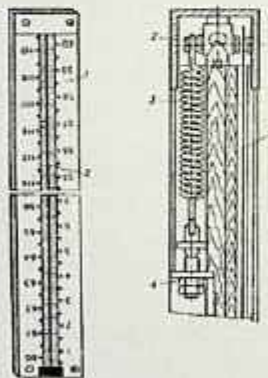
12.11-shakl. Ni007 Nivelirining optik sxemasi:

1-ximoya oynasi 2-pentaprizma; 3 va 4- ob'ektiv linzalari; 5- kompensator; 6-to'g'ri burchakli prizma; 7-iplar to'ri; 8- okulyar; 9-kompensatorni osish nuqtasi.

Nivelirni vertikal o'qi kichik  $\alpha$  burchakga qiyalanganda trubani iplar turi  $h=f\alpha$  mikdorga pastga tushadi, prizma ham pastga egiladi va bundan tashqari gorizont tekisligida vizir nuri yo'nalishi bo'yicha  $x=sa$  miqdorga siljiydi; vizir nuri esa uni prizmadan chiqishida  $2x$  ga, ya'ni uni ikkilangan qiymatiga siljiydi. Nivelir qiyalik burchagini kompensatsiyalashni asosiy sharti  $f_x = 2x = h$  tenglikka rioya qilinishi hisoblanadi.  $x=sa$  bo'lganda  $s=f/2$  ni hosil qilamiz. Ni 007 nivelirida bu shart bajarilgan. Shuning uchun qarash trubasining chiqishidagi vizir nuri hamma vaqt gorizont bo'ladi.

Nivelir vertikal o'qining qiyalik burchagi  $10'$  dan oshmasligi lozim. Vizir chizig'ining gorizontol holatda o'rnatish aniqligi nivelirni qiyalik burchagiga bog'liq holda  $0,5''$  dan  $1''$  gacha o'zgarishi mumkin. II-klass nivelirlashda nivelirdan reytagacha bo'lgan masofa 35 metrdan ko'p bo'lmasligi tavsiya etiladi, chunki nivelir trubasining kattalashtirish darajasi unchalik yuqori emas ( $35'$ ) vizir nurini gorizontallashtirish aniqligi esa ancha kichik.

**Dempirlash.** Kompensatorli nivelirni shtativga o'rnatgandan so'ng kompensatorning chayqaluvchi elementlarining tebranishi shu onda (lahzada) to'xtashi lozim. Buning uchun maxsus qurilmadan-dempirdan foydalaniladi, u bu tebranishni «o'chiradi». Dempirlar turli tipda bo'ladi: xavoli, suyuqlikli, magnitli va x.k. Mayatnikli tipdagi kompensatorlarda asosan xavoli dempirdan foydalaniladi u silindrsimon bo'lib uning ichida porshen bimalol xarakatlanadigan. Silindrni chap va o'ng qismida mayatnikli sistema siljiganda navbati bilan xavo bosimini oshirish va pasaytirish uchun porshen va silindr devori orasidagi masofa yetarlicha kichik bo'lishi lozim, bu esa o'z navbatida mayatnik tebranishini to'htatadi (so'ndiradi).



12.12 – shakl. Invarli nivelir reykas. 1-yog'och g'iloq, 2-bo'lakli invar lenta.

12.13 – shakl. Invar lentani taranglatuvchi qurilma.

## 12.5. Nivelirlash invar reykalari

H-05, H-3, H-10 nivelirlari bilan ishlatish uchun ularga mos ravishdan RN-05, RN-3, RN-10 reykalari ishlab chiqiladi. RN-05 reykasini yuqori aniqlikdagi nivelirlashda ishlatiladi. Bu reykadani foydalanib 1 km ikkilangan yo'lga 0.5 mm aniqlikni taminlash mumkin.

RN-05 reyka (12.12-shakl) uzunligi 3080 mm, eni 85 mm, qalinligi 40 mm bo'lgan qog'oz korpusga ega. Reykani yuzi tomonida chuqurligi 6-8 mm bo'lgan bo'ylama ariqchasimon o'yiqlik qilingan bo'lib, uning ichiga bo'laklar tushirilgan invar lenta joylashtirilgan. Invar lenta uzunligi 3000

mm, eni 25 mm, qalinligi 0,6 mm. Lentani pastki uchi, (12.13-shakl) reyka po'lat poynaka (tavoniga) mahkamlanadi, yuqori uchi po'lat richagga 2-ulanagan, uning ikkinchi tomoniga purjina 3 mahkamlangan. Purjining ikkinchi uchi orqa tomonida reyka korpusiga mahkamlangan; 4-gaykani

burash bilan invar lentani tortilishini (taranglik xolatini) boshqarish mumkin, u doimiy bo'lib 200N ga teng bo'lishi kerak. Invar lentaga ikkita shkala tushirilgan (12.12-shakl): asosiy shkala shng tomonda, chap tomonda qo'shimcha shkala. Har ikki shkalada 5 mm oraliqda shtrixlar chizilgan. Shtrix qalinligi 1 mm, uzunligi 6 mm. Bir shkala ikkinchisiga nisbatan yarim bo'lakka yani 2,5 mm ga siljirilgan. Asosiy shkalada bo'laklar 0 dan 60 gacha nomerlab yozilgan, ko'pincha shkala 60 dan 119 gacha nomerlab yozilgan, ular yarim ditsemetrni ifodalaydi. Asosiy shkalani nol reyka tavonidan hisoblanadi. Asosiy va qo'shimcha shkalalardan olingan sanoqlarning farqi doimiy kattalik bo'lib, 59.25 yarim diyemetrga teng.

Reyka orqa tomonida qaytarib qo'yiladigan dastasi (ushlagich) va bo'lak qiymati 2mm ga 10' bo'lgan doiraviy adilaki bor. Reykadan sanoq olishda u kostlga (mahsus temir qoziqcha) tik (vertikal) o'rnatiladi va bu xolatda tirgagich yordamida ushlab turiladi.

Reykani tayoyrlashga katta talablar qo'yiladi: Reyka tavonini shkala o'qiga perpendikulyar emasligini reyka holatini balandlik bo'yicha 0,08 mm dan ortiqqa o'zgartirmasligi kerak. Shkala nolini tavonga to'g'ri kelishining xatoligi 0,10 mm dan oshmasligi kerak. Reyka o'rta qismida uning bukilishi 3 mm dan oshmasligi kerak. Invar lentasining  $1^{\circ} S$  da chiziqli kengayish koeffitsinti 2,5 mkm dan oshmasligi kerak. Reykani olib yurishda unga tasir etuvchi turli xildagi mexanik tasirlarga turg'un bo'lishi kerak.

Shkala bo'lak qiymatlari 5 mm dan 0,05 mm ga farq qilishi mumkin. Butun shkala bo'yicha metr bo'laklarining xatosi 0,1 mm dan katta bo'lmasligi kerak. Reyka komplektidagi reyka juftini metrini o'rtacha uzunliklar faqi ularni naminalidan 0,15 mm dan, tog'li joylarda ishlaganda 0,05 mm dan farq qilmasligi kerak.

Dala ishlarini boshlagandan oldin va ishlar tugatilgandan so'ng reykarlar MK-1 komporatorida etalonlashtiriladi (tekshiriladi). Etalonlashtirish natijasida reyka asosiy shkalasini 10-30; 30-50; qo'shimcha shkalaning 70-90; 90-110 yarim ditsemetrlar oralig'idagi metr bo'laklarning uzunligi 0,01 mm xatolik bilan aniqlanadi.

Dala ishlari olib borilayotgan davrga; bo'laklarni metr intervallarida uzunligi o'zgarmas ekanligi nazorat lineykasi yordamida xos ikki oyda tekshirib turiladi, agarda o'zgarish 0,1 mm kaattaga farq qilsa etalonlashtirish MK-1 komporatorida amalga oshiriladi; yilda bir matrda shu komporotorda nazorat lineykasi etalonlashtiriladi.

Ya'ni reykalarda asosiy shkalani 02-10, 10+30, 30-50; 50-58, yordamga shkalani 60-70, 70-90; 90-110, 110-118 desimetr bo'laklarining xatoligi nazorat lineykasi yordamida aniqlanadi, bu xatolik I klass nivelirlashda 0,10 mm, dan II-klass nivelirlashda 0,20 mm dan oshmasligi kerak.

Dala ishlariga chiqishdan oldin invar lentasini tarangligini (tortilganlik darajasi), tekshiriladi, ekazamenatorda adilak bo'lak qiymati aniqlanadi; reyka egikligi va reyka o'qiga tavon tekisligini perpendekulyarligi tekshiriladi; shkala nolini tavon tekisligiga to'g'ri kelishi, reyka komplektini nollar farqi aniqlanadi.

Dala ishlari olib borilayotgan davrda har kuni ertalabki va kechki kuzatishlardan oldin reyka adilagini to'g'ri o'rnatilgani tekshirib ko'riladi; ikki haftada bir marta reyka egikligi aniqlanadi, xar ikki oyda shkalani metr intervallari uzunligi nazorat lineykasi bilan tekshirib turiladi.

Reykani egikligini aniqlash uchun reyka yon tomoni bilan gorizantal xolatda qo'yiladi, reyka uchlari orasida ingichka ip tortiladi, iplar invar reyka orasidagi oralik (tirgish)  $a_1$ ,  $a_2$  va  $a_3$  masofalar mos ravishda reykaning 02, 30, 50 bo'laklarida o'lchanadi. O'lchangan masofalardan reykaning egikligi hisoblanadi

$$f = a_2 - \frac{1}{2}(a_1 + a_3),$$

bu qiymat 3 mm dan katta bo'lmasligi kerak. Dala ishlari jarayonida reykaning egikligi 3 mm oshgan bo'lsa, u ishdan bo'sh vaqtda (tanafuslarda) tirgakka yon tomoni bilan yotqizib qo'yiladi, bunda u o'zini og'irligi bilan to'g'irlanadi.

Zamonaviy raqamli nivelirlar bilan I va II-klass nivelirlashni bajarishda Nedo yuqori aniq invar reykasini qo'llanadi. Reykaga shtrixlar aniq tushirilgan yuzi maxsus lak bilan qopldangan. Shtrixlarni tushirish aniqligi  $\pm 0,005$  mm ga teng. Reyka uzunligi 3 metrli bo'lib, korpusi aluminiy eritmasidan yasalgan va sirti anodlangan. Reykada doiraviy adilak o'rnatilgan.



## **13- BOB. YUQORI ANIQLIKDAGI NIVELIRLARNI TADQIQ QILISH**

### **13.1. Silindrik adilakli nivelirlarni tadqiq qilish dasturi**

Nivelir zavoddan olinganida yoki uni kapital tamirlashdan keyin laboratoriya sharoitida quyidagi tadqiqqlari bajariladi.

1. Qarash trubasining optik va o'lchash tavsiflarini tadqiq qilish, shu jumladan trubaning optik sistemasini markazlashtirish va yig'ish sifatini aniqlash; xromatik va sferik aberratsiyalari, yorug'lik o'tkazuvchanligi va yorug'lik tarqatuvchanligini aniqlash; trubani aniqlik kuchini, kattalashtirishi va ko'rish maydonini aniqlash; iplar to'rining parallaksi va vizirlash eng kichik masofasini aniqlash; mikrometr bissektorini reyka shtrixiga qaratish o'rta kvadratik xatosini hisoblash.

2. silindirik adilakni tadqiq qilish: uni bo'lak qiymatini aniqlash bilan birga, adilak pufakchasining uchlari tasvirini tutashtirish o'rta kvadratik xatosini aniqlash, hamda adilak ampulasi ichki sirtini tayyorlash sifatini tadqiq qilishdan iborat.

3. Doiraviy adilak bo'lak qiymatini aniqlash.

4. Optik mikrometr ishini tadqiq qilish va sanoq shkalasining bo'lak qiymatini aniqlash. Bo'lak qiymatini shkalani turli qismlarida, reykgacha masofani turli qiymatlarida va nivelir haroratini o'zgarishi tufayli kelib chiqadigan o'zgarishlarni aniqlash.

5. Truba fokuslovchi vintini to'g'ri yurishini tadqiq qilish.

6. Dalnomer koeffitsienti va iplar asimmetriyasini aniqlash.

7. Elevatsiya vintini ishlashini tekshirish va uning aylanish qiymatini aniqlash.

8. Nivelir haroratini o'zgarishi tufayli silindrik adilak o'qi bilan truba vizir o'qi orasidagi burchak o'zgarishini tadqiq qilish.

Dala ishlari boshlanishidan avval va dala ishlari davomida yuqori aniqlikdagi nivelirlarni qisqartirilgan dasturi bo'yicha tadqiq qilinadi, bu esa nivelir holatini sistematik ravishda kuzatib borish va uni texnik talablarga javob berishini nazorat qilishga imkon beradi.

### **13.2. Yuqori aniqlikdagi nivelirlar kontaktli adilagini tadqiq qilish**

Kontaktli adilak nivelir asbobining eng mas'ul qismlaridan biri bo'lib, nivelirlash natijasining aniqligi adilakni qanchalik sifatli va aniq qilib

tayyorlanganligiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun yuqori aniq nivelirni adilagi sinchiklab tadqiq qilinadi. Buning uchun adilak bo'lagining o'rta qiymati aniqlanadi; adilak nay shishasi ichki sirtining tayyorlanish sifati tadqiqlanib, uning egriligi, demak anomal bulak qiymatiga ega qismi aniqlanadi; adilak pufakchasi uchlarini tutashtirish o'rta kvadratik xatosi aniqlanadi.

**Adilak bo'lagining qiymatini ekzamenatorda aniqlash.** Yuqori aniq nivelirlarning adilagini ekzamenatorda tadqiqi, teodolit adilagini tadqiq qilishdagi tayyorgarliklarni ko'rish bilan boshlanadi. Ekzamentor harorati barqaror binodagi temir-beton yoki g'ishtdan qilingan ustunda o'rnatiladi. Nivelir ekzamenator ustiga tadqiqlarni boshlashdan 2-3 soat oldin qo'yiladi. Ekzamenator yoniga bo'lak qiymati  $0,2 - 0,5^{\circ}S$  bo'lgan termometr o'rnatiladi. Tadqiqlar davrida harorot  $2^{\circ}S$  dan ortiqqa o'zgarsa natijalar notug'ri deb hisoblanib tadqiqlar qayta takrorlanadi.

Tadqiqlar dasturi o'lchashlarni ikki priyomini o'z ichiga oladi, har bir priyom esa to'g'ri va teskari yo'llardan iborat. Tadqiqlarni boshlashdan avval ekzamenator o'lchash vintining qayta o'rnatish soni  $t$  aniqlanadi, bunda adilak pufakchasini shkalani bir uchidan ikkinchi uchigacha (ikkala chetidan 1-2 bo'lak bundan mustasno) surilishi soni  $6 - 8$  bo'lakdan kam bo'lmasin.

Birinchi yarim priyomda nivelir ob'ektivi bilan ekzamenator vintiga qarab qo'yiladi. O'lchash vintini ichkariga burab, uni shkalasida nol sanog'i qo'yiladi. Nivelir elevatsiya vintini burab adilak pufakchasining chap uchi (trubaning qarash maydonidagi tasvirga qarab) 1-2 bo'laklarga teng sonoq bilan tutashtiriladi. Bir daqiqa o'tib, pufakcha muvozanatga kelgandan keyin birinchi bir juft ( $ch, o'$ ) sanoqlar pufakchani uchlar bo'yicha olinadi va ular yozib qo'yladi. Keyin o'lchash vintini faqat ichkariga qarab burab uni xisoblangan  $t$  qiymatlarga kema-ket qo'yib har safar bir daqiqadan keyin pufakchani uchlar bo'yicha sanoqlar olib boriladi. Nayshishaning boshi va oxiri uchlaridagi 1-2 bo'laklar foydalanilmaydi.

Teskari yo'lga o'tishdan oldin o'lchash vintini ichkariga qarab burab nivelir, yana  $20-30''$  ga og'diriladi, keyin esa vintni teskariga, yani tashqari tomonga (chiqishga) burab  $t$  ning to'g'ri yo'ldagi oxirgi qiymatiga keltiriladi. Bir daqiqa vaqt o'tgach pufakcha uchlaridan sanoqlar olinib yoziladi. Ekzamenator vintini faqat tashqariga (chiqishga) qarab burab ketma - ket uning shkalasini to'g'ri yo'nalishdagi sanoqlarga qo'yib har safar bir daqiqadan keyin pufakcha uchlaridan sanoqlar olinadi. Shu bilan

birinchi priyom yakunlanadi. O'lchashlar dasturi qat'iy simmetirik bo'lishi uchun ikkinchi priyom qo'yidagicha bajarilishi kerak.

Ekzamenator o'lchash vintini ichkariga burab  $180^\circ$  ga aylantirib uning shkalasida bo'lak qiymati 90 qo'yiladi (shkala  $180$  bo'lakka bo'lingan). Nivelir trubasini ham  $180^\circ$  ga aylantirib okulyari egzamenator vintiga qaratib qo'yiladi. Nivelir elevatsiya vinti bilan pufakchaning chap uchi shkalaning oxirida birinchi priyomining to'g'ri yo'lda bo'lgan oxirgi sanoqqa yaqinroq qiymatga qo'yiladi. Shu bilan tayyorgarlik jarayoni yaakunlanadi.

Ikkinchi priyomda o'lchash vintini soat strelkasi yo'l bo'yicha burab dastlab nivelir og'ishini  $20-30''$  ga oshiriladi. Keyin shu vint bilan amal qilib, vintni faqat tashqari (chiqish) ga burab shkalasida 90 bo'lakka teng sanoq qo'yiladi, bir daqiqa o'tgach pufakchaning uchlaridan sanoqlar olinadi. Birinchi o'rnatishdan ikkinchisiga o'tishda vint to'g'ri yo'l uchun hisoblangan  $i$  qiymatiga o'zgartirib bir daqiqadan so'ng pufakcha uchlaridan sanoqlar olinib boriladi. To'g'ri va teskari yo'llardagi qolgan hamma amallar birinchi priyomdagiga o'xshash bo'ladi, faqat bunda to'g'ri yo'lda egzamenator vintini tashqariga (chiqishga), teskari yo'lda esa ichkariga qarab buraladi.

O'lchashlarni ishlab chiqish qo'yidagicha bajariladi. Ekzamenator vintini har bir  $i$  sonli o'rnatilishda adilak pufakchasining uzunligi hisoblanadi va uning o'zgarishiga qarab o'lchashlarni to'g'riligi baholanadi: qabuldagi eng katta va eng kichik qiymatlar ( $ch + o'$ ) orasidagi farq  $0,5$  bo'lakdan oshmasligi kerak. Keyin egzamenator vintini har bir o'rnatilishi uchun adilak pufakchasini nol punktiga nisbatan o'rni ayirma ko'rinishda  $i_s = (\bar{y} - u) i$  hisoblanadi. Adilak pufakchasining bitta o'rnatishdan navbatdagiga o'tishda surilishi qo'yidagicha topiladi  $r_i = l_i - l_{i+1}$ . Ekzamenator vintini bir xil qiymatga o'rnatish o'rtachasi priyomdagi to'g'ri va teskari yo'llardan quyidagicha hisoblandi  $r_m = (r_{moy} + r_{mec}) / 2$ .

Keyin, har ikkala priyomlardan olingan  $g_m$  qiymatlarining o'rtachasi  $r_{sp} = (\sum r_m) / n$ , hamda  $\delta = r_m - r_{sp}$  topilib, ularning qiymati bo'yicha nayshisha ichki sirtining tayyorlash sifati baholanadi ( $\delta$  qiymati adilak bir bo'lagining yarmidan oshmasligi kerak).

Priyomlardagi  $r_m$  qiymatlardan foydalanib, adilak nayshishasining turli qismlari uchun bo'lak qiymat  $r'$  qo'yidagicha hisoblanadi

$$\tau' = \frac{2t\mu}{r_m}, \quad (13.1)$$

bu yerda  $t$ -ekzamenator vintini o'rnatishi kerak bo'lgan bo'laklar soni;  $\mu$  - bu vint boshi (galovkasi) bir bo'lganligining qiymati ( $\mu=1''$ ). Hisoblangan  $\tau'$  qiymatlari bo'yicha adlak shkalasini turli qismlarida bo'lak qiymatini o'zgarishi haqida xulosa qilinadi.

O'rtacha butun adlak uchun bo'lak qiymati qo'yidagiga teng

$$\tau = \frac{1}{n} \sum \tau', \quad (13.2)$$

bu yerda  $n$  -  $\tau'$  qiymatlarining soni

Ayirma  $v = \tau' - \tau$  qiymatlarini hisoblab chiqib, ular orqali adlak bo'lak qiymati o'rtachasini aniqlashni o'rta kvadratik xatosi topiladi

$$m_r = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}. \quad (13.3)$$

**Adilak pufakchasining uchlarini tutashtirish o'rta kvadratik xatosini aniqlash.** Tadqiqlar ekzamenatorida bajariladi. Nivelir ekzamenatorning gorizontal maydonchasiga okulyari bilan o'lchash vinti tamoniga qaratib o'rnatiladi va keyin esa silindrik adilak pufakchasi o'rta qismga taqriban keltiriladi. Tadqiqlar dasturi 5 ta priyomlarda o'lchashdan tashkil topadi, har bir priyom esa to'g'ri va teskari yo'llarda bajariladi. To'g'ri yo'lda ekzamenator o'lchash vintini ichkari burab pufakcha uchlarining tasviri tutashtiriladi va 5-10 soniya o'tgandan keyin, agar pufakcha uchlarining holati o'zgarmasa, ekzamenator o'lchash vintining shkalasi bo'yicha sanoq olinadi. Agar pufakchaning uchlari ozroq surilib qolsa ular vintni ichkariga burab qayta tutashtiriladi va sanoq olinadi. Keyin, ekzamenator o'lchash vintini tashqariga burab pufakcha uchlarining tasviri bir-birdan 5-8 bulakka suriladi; so'ng vintni ichkari tamon burab pufakcha uchlari aniq tutashtiriladi va vint shkalasi buycha sanoq olinadi.

To'g'ri yo'lda ekzamenator vintini ichkari tamonga qarab burab pufakcha uchlari 10 marta aniq tutashtirilib har safar o'lchash vintining shkalasi bo'yicha sanoqlar olinadi. Teskari yo'l aynan shunga o'xshash bajariladi, faqat bunda pufakcha uchlarining tasviri vintni tashqariga burash bilan tutashtiriladi. To'g'ri yo'ldagiga uxshash 10 marta tasvir tutashtirilib shuncha marta sanoqlar olinadi.

Bajarilgan tadqiqqlar va ularni ishlab chiqish natijalari 22-jadvalda keltirilgan.

22-jadval

| Tartib № | Vintning shkalasi bo'yicha sanoqlar |        |                           |        |
|----------|-------------------------------------|--------|---------------------------|--------|
|          | Ichkariga burashda                  | $v_1$  | Tashqariga burashda       | $v_2$  |
| 1        | 21,4"                               | +0,26" | 21,8"                     | +0,45" |
| 2        | 21,3                                | +0,16  | 21,2                      | -0,15  |
| 3        | 21,3                                | +0,16  | 21,4                      | +0,05  |
| 4        | 20,7                                | -0,44  | 21,5                      | +0,15  |
| 5        | 21,3                                | +0,16  | 21,2                      | -0,15  |
| 6        | 20,7                                | -0,44  | 21,1                      | -0,25  |
| 7        | 20,8                                | -0,34  | 21,3                      | -0,05  |
| 8        | 21,0                                | -0,14  | 21,3                      | -0,05  |
| 9        | 21,6                                | +0,46  | 21,4                      | +0,05  |
| 10       | 21,3                                | +0,16  | 21,3                      | +0,05  |
| o'rtacha | 21,14"                              | 0,00   | 21,35"                    | 0,00   |
|          | $m'_{\text{vint}} = 0,32"$          |        | $m_{\text{vint}} = 0,20"$ |        |

Har bir yarim priyomda pufakcha uchlari tasvirini tutashtirish o'rta kvadratik xatosi qo'yidagicha hisoblanadi

$$m_{\text{vint}} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}, \quad (13.4)$$

bu yerda  $v$  - yarim priyomidagi sanoqlar o'rta arifmetik qiymatini ekzamenator vinti shkalasidan olingan har bir sanoqdan farqi;  $n$  -  $v$  qiymatlari soni.

O'lchashlarning 5 ta priyomida 5 tadan  $m'_{\text{vint}}$  qiymatlari, ekzamenator vintini ichkariga va tashqariga burash uchun olinadi. Adilak yaxshi sifatli bo'lganda va sinchiklab o'tkazilgan tadqiqda  $m'_{\text{vint}}$  qiymati 0,20 - 0,35" dan oshmaydi. Beshta priyomlarni to'g'ri va teskari yo'llari uchun o'rtakvadratik xato qo'yidagi formuladan topiladi

$$m_{\text{vint}} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum m'^2_{\text{vint}}}, \quad (13.5)$$

bu yerda  $k$  -  $m'_{\text{vint}}$  qiymatlari soni.

Bu formuladan topilgan (5 ta priyomlar natijasidan)  $m_{\text{vint}}$  qiymati yuqori aniq nivelirlar uchun 0,3" dan oshmasligi kerak, bu esa reykgagacha

masofa 50 m bo'lganda reykanidan olinadigan sanoqqa 0,08 mm xatolik beradi.

### 13.3. Optik mikrometr ishlashini tadqiq etish

Optik mikrometr sanoq olish shkalasining bo'lak qiymati uning mo'ljallangan qiymatidan farq qilishi va bu farq shkalaning turli qismlarida turlicha qiymatga ega bo'lishi mumkin; u havo haroratini hamda nivelirdan reykalgacha masofalarni o'zgarishidan kelib chiqadi.

Bundan tashqari optik mikrometrni bo'sh yurishi holati mavjud, u nivelirlash jarayonida xatolik manbaasi hisoblanadi va inobatga olinishi kerak.

Optik mikrometrning bo'lak qiymati laboratoriya hamda dala sharoitida aniqlanishi mumkin. Laboratoriya sharoitida aniqlashda bo'lak qiymatlari 0,7 - 1 mm dan qilib aniq tushirilgan maxsus shkaladan foydalanadi, bunda shtrixlar yo'g'onligi 0,1 mm qilinadi. Tadqiqni boshlashdan oldin bu shkala asbob mikroskopida komporlanadi. Qo'shni shtrixlarning o'qilari orasidagi masofa 0,007 mm dan kam bo'lmagan aniqlikda topiladi.

Nivelir va shkala vertikal qilib o'rnatilgan taklik mustahkam asosda bir-biridan  $l=7 - 10$  m masofada o'rnatiladi. Tadqiqlar dasturi oltita priyomlardan tashkil topadi. Priyomlar orasida nivelir balandligi ko'targich vintlar yordamida yoki shkala balandligi 0,8 - 1 mm ga o'zgartirib olinadi. Keyingi har bir priyomda shkalaning boshlang'ich shtrixi boshqa bo'lishi shart, har bir priyomdan oldin havo harorati o'lchab olinadi.

O'lchashlar priyomi to'g'ri va teskari yo'llardan tashkil topadi (23-jadval). To'g'ri yo'lda adalak pufakchasi uchlarining tasviri sinchiklab tutashtiriladi va mikrometr golovkasini ichkariga (soat yo'li bo'yicha) burab mikrometrning bissektori shkalaning 7-8 ta shtrixlariga ketma-ket qaratiladi. Bunda mikrometr bo'yicha sanoqlar 0 dan 100 bo'lakgacha o'zgaradi. O'lchash jarayonida pufakcha uchlarining tasviri tutashgan holda qolishi kuzatib boriladi, aks holda o'lchashlar qayta takrorlanadi. Teskari yo'lda mikrometr golovkasi teskari yo'nalishda (chiqishga) buraladi va bissektor to'g'ri yo'lda kuzatilgan shtrixlarga ketma-ket qaratiladi, bunda kuzatish oxirgi shtrixdan boshlab birinchisiga qarab olib boriladi.

Mikrometrni tadqiq etish natijalari 23-jadvalda keltirilgan.

Yuqori aniq nivelir;  $l=10$  m;  $t=+18,5^{\circ}\text{S}$

| Q<br>a-<br>bu<br>l | Shka-<br>-la<br>shtri-<br>xi-<br>ning<br>nom-<br>eri | Mirometrdan sanoqlar           |                                |                | Ichka-<br>riga va<br>tashqar<br>iga bu-<br>rash-<br>dagi<br>sanoq-<br>lar<br>ayir-<br>masi | Shkala<br>shtrixlarning<br>orasidagi interval,<br>mm |                                          | Bo'la<br>k<br>qiy-<br>m<br>ati $\tau$<br>$=a/c$ ,<br>mm |
|--------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                    |                                                      | Ichka-<br>riga<br>burash<br>da | Tashqar<br>iga<br>burashd<br>a | o'rtach<br>asi |                                                                                            | Kompo-<br>rir-<br>lashdan<br>, $a$                   | Mikro-<br>metrda<br>o'lchash<br>dan. $s$ |                                                         |
| 1                  | 19,5                                                 | 3,2                            | 3,2                            | 3,20           | 0,0                                                                                        |                                                      |                                          |                                                         |
| 2                  | 19,4                                                 | 17,4                           | 17,1                           | 17,25          | +0,3                                                                                       | 0,730                                                | 14,05                                    | 0,052                                                   |
| 3                  | 19,3                                                 | 32,0                           | 31,2                           | 31,60          | +0,8                                                                                       | 0,729                                                | 14,35                                    | 0                                                       |
| 4                  | 19,2                                                 | 46,7                           | 46,1                           | 46,40          | +0,6                                                                                       | 0,736                                                | 14,80                                    | 0,050                                                   |
| 5                  | 19,1                                                 | 61,4                           | 61,1                           | 61,25          | +0,3                                                                                       | 0,731                                                | 14,85                                    | 8                                                       |
| 6                  | 19,0                                                 | 76,1                           | 75,6                           | 75,85          | +0,5                                                                                       | 0,720                                                | 14,60                                    | 0,049                                                   |
| 7                  | 18,9                                                 | 90,7                           | 90,4                           | 90,55          | +0,3                                                                                       | 0,751                                                | 14,70                                    | 7                                                       |
| 8                  | 18,8                                                 | 104,7                          | 104,6                          | 104,65         | +0,1                                                                                       | 0,723                                                | 14,10                                    | 0,049                                                   |
|                    |                                                      |                                |                                |                |                                                                                            |                                                      |                                          | 2                                                       |
|                    |                                                      |                                |                                |                |                                                                                            |                                                      |                                          | 0,049                                                   |
|                    |                                                      |                                |                                |                |                                                                                            |                                                      |                                          | 3                                                       |
|                    |                                                      |                                |                                |                |                                                                                            |                                                      |                                          | 0,051                                                   |
|                    |                                                      |                                |                                |                |                                                                                            |                                                      |                                          | 1                                                       |
|                    |                                                      |                                |                                |                |                                                                                            |                                                      |                                          | 0,051                                                   |
|                    |                                                      |                                |                                |                |                                                                                            |                                                      |                                          | 3                                                       |
|                    |                                                      |                                |                                | o'rtach<br>a   | +0,4                                                                                       |                                                      |                                          | 0,050                                                   |
|                    |                                                      |                                |                                |                |                                                                                            |                                                      |                                          | 5                                                       |

Keyingi priyomlar ham yuqorida ko'rsatilgan birichi priyomga o'xshash bajariladi va natijalar ishlab chiqiladi. Agarda mikrometr shkalasining bulak qiymati  $\tau$  shkalaning turli qismlarida o'rtacha qiymatidan 0,0025 mm dan ko'pga farq qilsa nivelir zavodga qaytariladi.

Mikrometr bo'lak qiymatini havo harorati va reykgagacha masofa o'zgarishiga bog'liq o'zgarishini dala sharoitida tadqiq qilish uchun bo'laklari bir-biriga nisbatan 1 mm ga surilgan yuqori aniqlikdagi ikkita tutash shkalalar tushirilgan reykgacha qo'llanadi. Har ikkala shkalalarda qalinligi 1 mm bo'lgan shtrixlar 2 mm li oraliqdan tushiriladi. Tadqiqlar boshida va oxirida skala bo'laklari 0,01 mm aniqlikda tekshirib ko'riladi.



Tadqiqqlar tekis joyda reykgagacha bo'lgan 30; 50; 70 m masofalarda havoning turli haroratlarda, masalan, 5; 15 va 25°S, yani nivelirlashni konkret sharoitida havo haroratini o'zgarishi mumkin bo'lgan qiymatlarida bajariladi. Dala tadqiqqlari bosqichma-bosqich dala ishlarining fasllarida (erta bahorda, yoz boshlanishida va h.k.) bajarilishi mumkin. Tadqiqqlarni bulutli kunlarda, kuzatiladigan shkala bo'laklarining tinch yoki yengil tebranma tasvirida bajarish maqsadga muvofiq.

Nivelirdan reykgagacha bo'lgan har bir masofa uchun (30, 50 va 70 m) mikrometr bo'lak qiymati yuqorida keltirilgan laboratoriya sharoitida kuzatish uslubi va ishlar hajmida aniqlanadi, faqat dala sharoitida aniq bo'lakli boshqa shkala qo'llaniladi. Har bir qabulning boshida va oxirida havo harorati 0,1°S aniqlik bilan o'lchab boriladi.

Mikrometr bo'lak qiymatini dala sharoitida aniqlash bo'yicha misol qo'yidagi 24-jadvalda berilgan.

Nivelir H1 №00415

24-jadval

| Sana     | Havo harorati, °S | Mikrometr bo'lak qiymati, mm quyidagi masofalarda, m |        |        | O'rtacha $\tau$ qiymat, mm |
|----------|-------------------|------------------------------------------------------|--------|--------|----------------------------|
|          |                   | 30                                                   | 50     | 70     |                            |
| 25.05    | +8,1              | 0,0500                                               | 0,0509 | 0,0518 | 0,0509                     |
| 3.7      | +15,8             | 0,0511                                               | 0,0519 | 0,0541 | 0,0524                     |
| 1.08     | +25,3             | 0,0514                                               | 0,0518 | 0,0528 | 0,0520                     |
| o'rtacha | +16,4             | 0,0508                                               | 0,0515 | 0,0529 | 0,0518                     |

Keltirilgan jadvaldan ko'rinishicha mikrometr bo'lak qiymati havo harorati o'zgarishiga bog'liq emas. Lekin nivelirdan reykgagacha bo'lgan masofaga bog'liqligi aniq ko'rinib turibdi.

Bu bog'liqlikni qo'yidagi empirik formula bilan ifodalash mumkin  $\Delta\tau = 0,0508 + 0,0003(l - 30)$ , bu yerda  $30 \leq l \leq 70$  m.

Yuqoridagi jadvaldan optik mikrometr shkalasining bo'lak qiymati qo'yidagi formula bo'icha hisoblanadi.

$$\tau = \frac{l_{mm}}{l_{m.b.}}, \quad (13.6)$$

bu yerda  $l_{mm}$  - komporlangan shkala ikki qo'shni bo'laklarining oralig'i, mm;  $l_{m.b.}$  - o'sha shkalaning bo'laklari oralig'i bo'lib, optik mikrometr bo'laklarida ifodalangan.

Optik mikrometrni bo'sh yurishi (myortvy xod) yassi parallel plastinka bilan sonoq shkalasi richagi birlashgan joyida zazor (tirqish) juda

kichik bo'lgan taqdirda ham paydo bo'ladi. Bunday bo'sh yurish borligini aniqlash uchun harakatsiz turgan shkala bitta shtrixga mikrometr bissektorini mikrometr burchagini (galovkasini) "ichkarisi" va "tashqarisi" burash qaratib olingan sanoqlar farqlari ishorasini doimiyligi ko'rsatadi.

23-jadvalda keltirilgan misolda ichkariga va tashqariga burashdagi sanoqlar farqining ishorasi bar xil-musbat bo'lib, o'rtacha farqi sanoq bo'lagini 0,4 ga teng. Demak bu nivelirni mikrometrida bo'sh yurish (mertvy xod) bor, u vaqt o'tishi bilan yassiparallel plastinka bilan sanoq olish shkalasi richagi birlashgan joyda ishqalanib yeyilishi oqibatida modul bo'yicha ortib baraveradi.

Yassi parallel plastinkasi bo'lgan barcha nivelirlarda bo'sh yurishini tadqiq etish maqsadga muvofiq hisoblanadi. bu ishni bajarish dasturi quyidagicha bo'lishi mumkin: mikrometr shkalasini 10, 30, 50, 70, va 90 bo'laklar qo'yib, mikrometr galovkasini (buragichini) burab bissektorni 10 martadan 5-10 metr masofagada o'rnatilgan yaxshim ko'rinadigan shkala shtrixiga qaratiladi. So'ngra ichkariga va tashqariga burashlarda farqlari o'rtacha qiymati topiladi, bu bo'sh yurish kattalikni va ishorasini ko'rsatadi. Bo'sh yurish mikrometr sanoq shkalasi bo'lagini yarmiga teng yoki undan katta bo'lsa, u xolda reykanadan sanoq olishda bissektori reyka shtrixiga to'g'irlangandan so'ng mikrometr galovkasini(burchagini) "ichkariga" burab sanoq olish zarur. Mikrometr bo'sh yurishi bor yoki yo'qligidan qattiy nazar mikrometrdan sanoq olishda bu qoidaga amal qilish maqsadga muvofiq, aks xolda nivelirlash natijasiga bo'sh yurish xatolik ta'sir etadi.

### **13.4. Nivelir elevatsiya vintining ishlashini va trubaning fokuslovchi linzasini to'g'ri yurishini tadqiq qilish**

*Elevatsiya* vintining ishlashini tadqiq qilish vazifasiga vintni burashda nivelir trubasini bir tekis og'ishini hamda vint bir marta to'la aylanishi burchak qiymatini aniqlash kiradi. Tadqiq qilish ekzamenatorda amalga oshiriladi. Tayyorgarlik ishlari aynan silindrik adalak tadqiq qilishdagi ishlarga o'xshash bo'ladi. Agar elevatsiya vintida to'la aylanish sonini ko'rsatkichi bo'lmasa aylanish sonini aniqlash maqsadida unga shtrixlar tushiriladi.

Tadqiq ishlarining dasturi ikki priyomlardan tashkil topadi, har bir priyom esa to'g'ri va teskari yo'llardan iborat bo'ladi.

Elevatsiya vintining ishlashi qoniqarli hisoblanadi, agarda vint to'la aylanishining qiymati uni o'rta qismida 60-180° oraliqda bo'lsa, uni

ichkariga va tashqariga to'la bir burashdagi qiymati bir-biridan  $10''$  dan ko'pga farq qilmasa. Agar bu farq katta bo'lsa vintning qaytargich prujinasi nosozligini yoki trubani qiya holatga keltirish mexanizmini notug'ri yig'ilganini ko'rsatadi. Bunday kamchiliklar dalaga chiqishdan oldin ustaxonada tuzatilishi kerak.

#### **Trubaning fokuslovchi linzasini to'g'ri yurishini tadqiq qilish.**

Bu tadqiq ishlaridagi yelkalar farqi katta bo'lgan xollarda nivelirlash bajarilishi kerak bo'lganda, masalan suv to'siqlaridan nivelirlab o'tish kerak bo'lganda sinchiklab bajarilishi zarur bo'ladi.

Joydagi ixtiyoriy  $O$  nuqtada nivelir kostili qoqilib undan radiusi 50 m ga teng bo'lgan aylanani  $1/4$  qismi joyda chiziladi. Bu aylanang qismida har 10 m oraliqda  $A, 1, 2, \dots, 7$  lar bilan belgilanadigan kostillar (temir qoziq) qoqib chiqiladi.

Birinchi marotaba nivelir  $O$  nuqtasida o'rnatilib aylanadagi 1 nuqta bilan keyingilari orasidagi nisbiy balandliklar reykani asosiy va qo'shimcha shkalalari bo'yicha ikki marotaba o'lchab aniqlanadi (bunda reyka ketma-ket 1, 2, ..., 7 nuqtalarda o'rnatiladi kuzatish to'g'ri va teskari yo'nalishlar bo'yicha bajariladi).

Ikkinchi marotaba nivelir aylana  $A$  nuqtasida o'rnatilib reyka ketma-ket 1, 2, 3, ..., 7 nuqtalarida qo'yilib niverlanadi. Bunda ham niverlash to'g'ri va teskari yo'nalishlarda bajariladi. Bunday priyomlar soni uchtdan kam bo'lmasligi kerak.  $O$  nuqtasidan nivelirlashda barcha nuqtalarda o'rnatilgan reykalalar qarash trubasining fokusi o'zgartirilmay qaratiladi, chunki vizirlash nurining uzunligi hamma nuqtalargacha bir xil.  $A$  nuqtasidan turib nivelirlashda esa vizir nurining uzunligi 1, 2, 3, ..., 7 nuqtalargacha turli bo'lgani sababli fokuslovchi linza holatini o'zgartishga to'g'ri keladi. Birinchi va ikkinchi holdagi nivelirlashlardan topilgan nuqtalar orasidagi nisbiy balandliklarning o'zaro farqi fokuslash linzasining noto'g'ri yurishini ko'rsatadi.

### **13.5. Kompensatorli nivelirlarni tadqiq qilish**

Kompensatorli nivelirlarning to'la dastur asosida tadqiq qilish ularni qarab chiqish va tekshirishlarini bajarishdan tashqari qarash trubasining optik va o'lchash tavsiflari, doiraviy adlakning bo'lak qiymati, optik mikrometrining ishlashi, dalnomer koeffitsientini aniqlash, fokuslash linzasini to'g'ri yurishi sinashlarini bajarishni o'z ichiga oladi. Bu tadqiqqlar ham aynan silindrik adlakli nivelirlarga o'xshash bajariladi. Bundan tashqari kompensatorli nivelirlarda adlak pufakchasini nol –

punktga keltirish sezgirligi, kompensatorni ishlash diapazonini aniqlash, nivelir trubasining turli darajadagi og'ishida vizir nurini o'z-o'zidan bir xil gorizontal holatga kelishi aniqligi, kompensator ishidagi sistematik xato va kompensator osma sistemasi tebranishini to'la to'xtash vaqti tadqiq etiladi.

**O'rnatish adilagi sezgirligini tadqiq qilish.** Adilak ampulasi ichki sirtini tayyorlash va silliqlash xatosi tufayli pufakchani o'rtaga keltirishda ishqalanish ta'sirida adilak vertikal o'qining haqiqiy yo'nalishi, demak, nivelir aylanish o'qining vertikaligi haqida to'g'ri tasavvur hosil qilish qiyin bo'ladi.

Tadqiq vazifasiga pufakchani nol – punktdagi sezgirligini aniqlash va shu bilan nivelir asbobini yuqori aniq nivelirlashga yaroqliligini aniqlash kiradi.

Tadqiq ekzamenatorida bajariladi. Ish boshlashdan avval nivelirni doiraviy adilagi tekshiriladi va sozlanadi. Ekzamenatorida nivelir qarash trubasining okulyari ekzamenator o'lchash vinti tomoniga qaratib o'rnatiladi va ishchi holatga keltiriladi. Vint shkalasida sanoq nolga yaqin qilib qo'yiladi.

O'lchashlar to'rtta priyomda bajariladi: birinchi priyom nivelir trubasining boshlang'ich orientiri  $A=0^\circ$ , ikkinchisi –  $A=90^\circ$ , uchinchi va to'rtinchi priyomlar tegishli  $A=180^\circ$  va  $A=270^\circ$  ga teng qilib bajariladi.

Boshlang'ich orientir yo'nalishga, masalan, truba okulyari ekzamenator vintiga qarab o'rnatilishini qabul qilish ( $A=0^\circ$ ) mumkin; bu holatda ekzamenator vintini tashqari (chiqish) tomonga burab nivelir 3-4'ga qiyalanadi, keyin vintni ichkari (kirishga) qarab burab nivelir o'rnatish adilagining pufakchasi markazga keltiriladi va ekzamenator o'lchash vinti shkalasi bo'yicha sanoq olinadi.

Bu operatsiya trubaning ushbu orientirlangan holatida 10 marta takrorlanadi. O'nta sanoqlardan o'rtachasi chiqariladi va ular har birini o'rtacha qiymatdan farqlari va ularning kvadratlari yig'indisi  $\sum v_0^2$  hisoblanadi, bu yerda nol indeksi truba orientirlanishini (misol,  $A=0^\circ$ ) bildiradi.

Keyingi o'lchashlarning har bir priyomi aynan shunday bajariladi, bunda birinchi va uchinchi qabullarda ( $A=0^\circ$  va  $A=180^\circ$ ) adilak pufakchasini aniq o'rtaga keltirish ekzamenator o'lchash vintini ichkariga burab bajariladi; ikkinchi va to'rtinchi qabullarda esa ( $A=90^\circ$  va  $A=270^\circ$ ) vint tashqari (chiqishga) qarab buraladi.

Barcha o'lchashlar va hisoblashlar natijasida tegishli to'rtta, o'rtacha qiymatlardan farqlar kvadratlarning yig'indilari:  $\sum v_0^2$ ;  $\sum v_{90}^2$ ;  $\sum v_{180}^2$  va  $\sum v_{270}^2$  topiladi. Bu qiymatlar orqali o'rnatish adilagi pufakchasining nol –

punktdagi sezgirli o'rta kvadratik xatosi hisoblanadi; shu orqali nivelir o'qining vertikal holatga keltirish xatosi baholanadi.

Bunda quyidagi formuladan foydalanadi

$$m_{ypm} = \sqrt{\frac{\sum \sum v^2}{k(n-1)}}, \quad (13.7)$$

bu yerda  $k$  - priyomlar soni;  $n$  - har bir priyomda pufakchani markazga keltirish soni.

Bu xatolik kiymati 1 va 2 klass niverlerlash uchun olingan niverlirlarda tegishli 0,5' va 1' dan oshmasligi zarur. Bu talabga javob bermaydigan adlaklar boshqasiga almashtirilishi kerak buladi.

**Kompensator ishlash diapozonini aniqlash.** Turli yo'nalishlarda nivelir aylanish o'qi og'ish burchagining chekli kattaliklarda, kompensator sistematik hatolar ta'sirisiz vizir uqini gorizantal holatga keltira olishini qo'yidagicha aniqlash mumkin. Nivelir ekzamenator tekisligiga shunday qo'yiladiki uning vertikal o'qi mumkin qadar ekzamenator aylanish o'qiga yaqin joylashsin, truba esa ob'ektivi bialan uning o'lchash vintiga qarab tursin; o'lchash vinti shkalasida sanoq nol bo'lakka qo'yiladi. Trubaning ob'ektivi oldida avtokollimator o'rnatiladi, agar u bo'lmasa ob'ektivdan bir necha metr masofada millimetr bo'lakli reykachga o'rnatiladi. Nivelir va ekzamenator o'rnatish adlaklarining pufakchalari o'rtaga keltiriladi. Keyin ekzamenator o'lchash vintini burab 0, 2', 4', 6' qiymatlar katmaketligigada nivelirga musbat og'ishi beriladi yaniy o'ektiv bilan yuqoriga qaratiladi va ekzamenatorni har bir holatida kollimator (reykachga) bo'yicha sanoqlar belgilanadi, sanoqlar ekzamenator bir holatdan ikkinchisiga o'tishda sezilarli bo'lmagan kichik va bir xil miqdorga o'zgaradi. Og'dirish kollimator bo'yicha sanoq keskin o'zgargunga qadar davom ettiriladi, bu esa kompensatorni ishlashdan to'xtaganini bildiradi.

Ekzamenator vintining shkalasidan olingan og'ish burchagini chekli qiymati aniqlanadi. Bunday o'lchashlar 2-3 marotaba bajariladi va topilgan qiymatlardan og'ish burchagining o'rtacha chekli qiymati chiqariladi va undan 2' ayrib tashlab nivelir vizir o'qini bo'ylama musbat og'ishidagi (truba ob'ektivi bilan yuqoriga qaratilganda) kompensator ishlashini qoniqarli burchagi aniqlanadi.

Aynan shunday yo'lda nivelir vizir o'qiga bo'yma manfiy og'ish beriladi (truba ob'ektivi pastga qatoridagi) kompensator ishlashini qoniqarli burchagi aniqlanadi.

Kompensatorni ishlash chegaralarini nivelirni yonga og'dirgan holati uchun aniqlash o'sha uslubda, ekzamenatorni o'sha holatlarida bajariladi.

Nivelir o'qini har xil yo'nalishlarda og'ishida kompensatorni ishlashi chekli burchagi 1 va 2-klass nivelirlashni bajarish uchun mo'ljallangan nivelirlarda 8'dan kam bo'lmashligi kerak.

**Kompensator osma sistemasi tebranishini so'nishi vaqtini aniqlash.**

Kompensatorni sezgir elementini dempersalanish sifati nivelirlash aniqligi va mahnat unumdorligiga katta tasir ko'rsatadi. Kompensator osma sistemasining tebranishning to'xtamasligi sababli reyktan sanoq olish imkoniyati bo'lmaydigan xatolar ham uchray turishi mumkin. Bunday xollarda dempsirlanish sifati tadqiq etish zarurati tug'iladi. Laboratoriya sharoitida kompensator osma sistemasi tebranishni so'nish vaqtini sekundomer yordamida o'lchash mumkin bo'ladi. Mahsus elektron qurilmadan foydalanib, tebranishdan so'nishga bo'lgan vaqtini aniq o'lchash mumkin. Yuqori aniq nivelirlarda kompensatorni sezgir elementini tebranishining so'nish vaqti 2 sekunddan oshmasligi kerak.

### **13.6. Nivelir vizir nurini o'zi o'rnatish xatosini aniqlash**

Yuqori aniq kompensatorli nivelirlarga qo'yiladigan bosh shartlardan biri nivelir o'qi 1' burchak qiymatiga og'ishida vizir nurni avtomatik ravishda gorizontol holatga kelishini tasodifiy o'rta kvadratik xatosi  $m_n$  ni 0,2"dan va sistematik xatosi  $\sigma_n$  ni 0,05"dan oshmasligini ta'minlashdir. Ushbu shartni bajarilishini, ya'ni bu xatoliklarni amaldagi qiymati o'lchash vintining bo'lak qiymati  $\mu=1''$ ga teng ekzamenatorida nivelirni tadqiq qilib topiladi. Qo'shimcha o'lchash vositalari sifatida AK-0,25 yoki AK-0,5 tipidagi avtokollimatoridan foydalanadi. Avtokollimator bo'lmagan taqdirda 3-5 mm oraliqdan shtrix tushirilgan reykachadan foylanish mumkin.

Nivelir ekzamenator tekisligida shunday o'rnatiladiki, uning kompensatori ekzamenator aylanish o'qi ustiga to'g'ri kelsin, truba okulyari esa ekzamenator o'lchash vintiga qaragan bo'lsin. Ekzamenator o'lchash vinti shkalasi bo'yicha sanoq nolga keltiriladi. Truba ob'ektivi oldida bitta o'q bo'yicha avtokollimator o'rnatiladi. Ekzamenator tekisligini, nivelir trubasini va avtokollimator trubasini o'rnatish adillaklari yordamida gorizontol holatga keltiriladi.

Avtokollimator bo'lmagan taqdirda nivelir trubasi ob'ektivi bilan ekzamenator o'lchash vinti tomonga qaratib qo'yib uning vizir nuri stvorida 4-5 m masofada (mumkin qadar uzoqroqda) bo'laklarga bo'lingan reykacha devorda tik o'rnatiladi.



O'lchash quyidagi tartibda bajariladi. O'lchash vintini ichkariga burab ekzamenator, demak u bilan birga nivelir kompensatorni ishlash burchagini chekli qiymatiga yaqin burchakka  $\alpha_{chekli}$  og'diriladi. Keyin vint teskari tomonga buralib (chiqish tomonga)  $\alpha_{chekli}=11\div12'$  da birin-ketin nivelir o'qi  $10'$ ;  $8'$ ;  $6'$ ;  $4'$ ;  $2'$ ;  $0'$ ;  $-2'$ ;  $-4'$ ;  $-6'$ ;  $-8'$ ;  $-10'$  burchak qiymatlariga og'diriladi va har bir  $i$  nomerli o'rnatishda avtokollimator bo'yicha (yoki reykachaga bo'yicha)  $a_i$  sanoq belgilanadi. Har bir sanoq aniqligini oshirish uchun uni bissektorni 3-5 marta qaratishdan o'rtacha qiymati chiqarib olinadi. Ko'rsatilgan amallar birinchi priyomni to'g'ri yo'lini tashkil qiladi.

Teskari yo'lga o'tishda nivelir o'qi qiyaligini dastlab oshiriladi ( $20-30'$ ga), keyin ekzamenator o'lchash vintini kirish tomonga burab nivelirga to'g'ri yo'ldagiga o'xshab og'ishlar beriladi, bunda faqat teskari yo'nalishda, ya'ni minus ishoradan plyus ishoraga qarab. Teskari yo'lda har bir  $i$  nomerli o'rnatishda  $a_i$  sanoqlar avtokollimator (reykachaga) bo'yicha olinadi. Shu bilan o'lchashlarni birinchi priyomi yakunlanadi. Nivelir o'qini bo'yiga qarab og'ishida bunday priyomlardan ikkitasi bajariladi.

Nivelir o'qini ko'ndalang yo'nalishda og'ishida o'lchashlar ekzamenatorni o'sha o'rnatishlarida ( $+10'$  dan  $-10'$  gacha va teskari yo'nalishda  $-10'$  dan  $+10'$  gacha) oldingiga o'xshash ikki priyomda bajariladi. Bu priyomlardan oldin nivelir trubasini  $90^\circ$  azimut bo'yicha burab o'z navbatida avtokollimator yoki reykachaga ko'chirib o'rnatiladi va undan nivelir o'qigacha bo'lgan masofa o'lchanadi.

Har bir priyomdagi o'lchashlar alohida-alohida ishlab chiqiladi. Nivelir o'qini og'dirishda to'g'ri va teskari yo'nalishlar bo'yicha o'rtacha sanoq  $a_i = 1/2(a_i' + a_i'')$ , hamda bu sanoqlar farqi  $d_i = a_i' - a_i''$  hisoblanadi.

Avtokollimator yordamida kuzatishda kompensatorni ishlashi hamma diapazoni uchun vizir nurini o'zi gorizontol holatga kelishini tasodifiy o'rta kvadratik xatosi quyidagi formula bo'yicha topiladi

$$m_k = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}}, \quad (13.8)$$

bu yerda  $n$  - hamma priyomlar bo'yicha  $d_i$  farqlari soni.

Bu xatolikni qiymati  $0,2''$ dan oshmasligi kerak. Reykachani kuzatishda (13.8) formula bo'yicha xatolikni ikkita qiymati:  $m_k'$  - dastlabki ikkita priyomlar natijalari bo'yicha (reykachagacha masofa  $s_1$  bo'lganda), mm;  $m_k''$  - keyingi ikkita priyomlar natijalar bo'yicha



(reykachagicha masofa  $s_2$  bo'lganda), mm hisoblanadi. Hamma priyomlar natijalari bo'yicha xatolik  $m_k$  qiymati (burchak sekund o'lchamida) quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi.

$$m_k = \frac{\rho''}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{m'_k}{s_1}\right)^2 + \left(\frac{m''_k}{s_2}\right)^2} \quad (13.9)$$

Misol tariqasida Ni007 niveliri vizir nurining o'zi gorizontal holga kelishi o'rta kvadratik xatosini aniqlash natijalari quyidagi 25-jadvalda keltirilgan.

25-jadval

| Og'dirish<br>$\alpha_i$ | To'g'ri yo'l<br>$a'_i$ | Teskari yo'l<br>$a''_i$ | O'rtacha<br>$a = \frac{1}{2}(a' + a'')$ | Farqi $d = a'' - a'$ |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| +10°                    | 4,10"                  | 4,20"                   | 4,15"                                   | +0,10"               |
| +8°                     | 4,30"                  | 4,15"                   | 4,22"                                   | -0,15"               |
| +6°                     | 4,15"                  | 4,25"                   | 4,20"                                   | +0,10"               |
| +4°                     | 4,05"                  | 4,15"                   | 4,10"                                   | +0,10"               |
| +2°                     | 3,80"                  | 4,00"                   | 3,90"                                   | +0,20"               |
| 0                       | 3,90"                  | 3,90"                   | 3,90"                                   | 0,00"                |
| -2°                     | 3,80"                  | 4,00"                   | 3,90"                                   | +0,20"               |
| -4°                     | 3,80"                  | 3,90"                   | 3,85"                                   | +0,10"               |
| -6°                     | 3,85"                  | 3,80"                   | 3,82"                                   | -0,05"               |
| -8°                     | 3,75"                  | 3,65"                   | 3,70"                                   | -0,10"               |
| -10                     | 3,60"                  | 3,60"                   | 3,60"                                   | 0,00"                |
| o'rtacha                | 3,91                   | 3,96                    | 3,94                                    | $\sum d^2 = 0,165$   |

$$m_k = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}} = \sqrt{\frac{0,165}{22}} = 0,09''$$

Avtokollimatore bitta priyomda o'lchashni natijasi bo'yicha  $m_k = 0,09''$  aniqlangan, hamma priyomlar natijalari bo'yicha esa -  $m_k = 0,11''$

### 13.7. Kompensator ishlashini sistematik xatosini aniqlash

Kompensatorni tayyorlash va yig'ish xatolari ta'siri natijasida kompensatorni burchak surilishini (stabilizatsiya koeffitsienti) hisoblab chiqarilgan qiymatiga qaraganda bir muncha farq qilishi mumkin. Bu esa vizirlash nurini gorizontal holga kelishida sistematik  $m_\alpha$  xatolikka olib keladi, uning qiymati quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$m_{\alpha} = \alpha \sigma_k, \quad (13.10)$$

bu yerda  $\alpha$  - nivelir o'qini og'ish burchagi, min. o'lchamida;  $\sigma_k$  - nivelir o'qini bir minut burchak qiymatiga og'ishida kompensator ishlashini sistematik xatosi, sekund burchak qiymatida.

Sistematik xato  $\sigma_k$  mumkin qadar kichik bo'lishi ( $\sigma_k \leq 0,05''$ ) kerak va uni vaqt-vaqti bilan maxsus tadqiqatlar asosida aniqlab turiladi.

Sistematik xato  $\sigma_k$  qiymatini vizir nurini o'zi gorizontal holatga kelishini sistematik xatosi  $m_k$  ni aniqlash uchun bajarilgan o'lchashlar natijasini (25-jadval) ishlab chiqib topiladi.

Agar nivelir (aniqrog'i, kompensatorni osma sistemasi) ekzamenator aylanish o'qi ustida o'rnatilmagan bo'lsa, ya'ni undan  $l$  masofa uzoqlikda o'rnatilgan bo'lsa, ekzamenatorni  $\alpha$  burchagiga og'dirganda nivelir iplar to'riga qaratilgan avtokollimator shkalasi bo'yicha sanoq o'zgarib boradi. Nivelirni bunday o'rnatilishida sanoqlarni o'zgarishi ikkita sababdan nivelir gorizonti balandligini quyidagi qiymatga o'zgarishi sababli

$$\Delta = \frac{\alpha}{\rho} l, \quad (13.11)$$

bu yerda  $\alpha$  - ekzamenatorni og'ish burchagi;  $\rho'' = 206265''$  va truba vizir nurini gorizontal xolga keltirish xatosi  $m_{\alpha} = \alpha \sigma_k$  sababli.

Nivelirni ekzamenator tekisligida noto'g'ri o'rnatishdan kelib chiqadigan xatolik  $\Delta$  (mm) katta qiymatni tashkil qiladi, 26-jadval. Lekin uni ta'sirini nivelirni ekzamenator aylanish o'qi ustida o'rnatish bilan nolga keltirish mumkin, chunki  $l=0$  bo'lganda (13.11) formuladan ko'rinishicha  $\Delta=0$  bo'ladi.

Vizir nurini o'zi gorizontal holga kelishi xatosini aniqlashda (13.4-jadvalga qaralsin)  $Ni007$  niveliri ekzamenator aylanishi o'qi ustida o'rnatilgan edi ( $l=0$ ). Shu sababli  $a'$  va  $a''$  sanoqlarni sistematik kamayishi (oshishi) ekzamenator og'ish burchagi  $\alpha_i$  ni o'zgarishi bilan bog'liq va u vizir nurni gorizontal holatga keltirish xatosi ta'sirida kelib chiqadi.

Ekzamenator tekisligi og'ish burchagining qiymati  $\alpha$  ma'lum bo'lgani tufayli kompensatorni ishlashidagi sistematik xato  $\sigma_k$  ni quyidagi formuladan topish mumkin

$$\sigma_{k(i)} = \frac{a_i - a_0}{\alpha_i}, \quad (13.12)$$

bu yerda  $a_0$  - nivelir o'qi vertikal turganida avtokollimatordan olingan sanoqlar o'rtachasi;  $a_i$  - xuddi o'shanda sanoqlar o'rtachasi, faqat nivelir o'qi  $\alpha_i$  burchakka qiya turganda.

Yuqoridagi formula bo'yicha nivelir har bir qiya burchagi  $\alpha_i$  uchun  $\sigma_{k(i)}$  qiymati hisoblanadi va keyin ular orqali bu xatolikni o'rtacha qiymati  $\sigma_k$  topiladi.

$$\sigma_k = \frac{1}{n} \sum \sigma_{k(i)}, \quad (13.13)$$

bu yerda  $n$  - nivelir o'qini qiyalik holatlari (musbat va manfiy ishorali) soni (27-jadvalga qaralsin). Kuzatishlar (o'lchashlar) to'rtta priyomda bajariladi. Nivelir o'qini har bir qiyalik qiymati  $\alpha_i$  da to'rtta qabullarda olingan sanoqlar o'rtachasi  $a_i$  (27-jadval) kompensatorni ishlashi sistematik xatosi  $\sigma_k$  ni hisoblash uchun foydalanadi.

26-jadval

| Qiyalik<br>burchagi<br>$\alpha'$ | $l_i$ masofa (mm) dagi $\Delta_i$ xatoliklar (mm) |      |      |      |      |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                  | 0                                                 | 100  | 200  | 300  | 400  |
| 0                                | 0,00                                              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2                                | 0,00                                              | 0,06 | 0,12 | 0,17 | 0,23 |
| 4                                | 0,00                                              | 0,12 | 0,23 | 0,35 | 0,46 |
| 6                                | 0,00                                              | 0,17 | 0,35 | 0,52 | 0,70 |
| 8                                | 0,00                                              | 0,23 | 0,46 | 0,69 | 0,93 |
| 10                               | 0,00                                              | 0,29 | 0,58 | 0,87 | 1,16 |

$\sigma_k$  qiymati nivelir o'qini  $l'$  qiymatga og'ishiga to'g'ri keladi. Quyidagi 27-jadvalda keltirilgan  $a_0$  sanoq olingan hamma  $a_i$  sanoqlar arifmetik o'rta qiymat sifatida topiladi, ya'ni  $a_0 = \frac{1}{n} \sum a_i = 3,92''$ . Chunki xuddi shu qiymat nivelir o'qini qat'iyon vertikal holatiga to'g'ri keladi (ya'ni  $\alpha = 0$ ).

27-jadval

| Qiyshayishi<br>$\alpha_i$ | $a_i$ | $a_i - a_0$ | $\sigma_{k_i} = \frac{a_i - a_0}{\alpha_i}$ | $v$     | $v^2$    |
|---------------------------|-------|-------------|---------------------------------------------|---------|----------|
| +10'                      | 4,24" | +0,32"      | +0,032"                                     | +0,004" | 0,000016 |
| +8                        | 4,16  | +0,24       | +0,030                                      | +0,002  | 0,000004 |
| +6                        | 4,14  | +0,22       | +0,037                                      | +0,009  | 0,000081 |
| +4                        | 4,04  | +0,12       | +0,030                                      | +0,002  | 0,000004 |

|                     |      |                       |        |                       |          |
|---------------------|------|-----------------------|--------|-----------------------|----------|
| +2                  | 3,94 | +0,02                 | +0,010 | -0,018                | 0,000032 |
| 0                   | 3,85 | -0,07                 | -      | -                     | -        |
| -2                  | 3,86 | -0,06                 | +0,030 | +0,002                | 0,000004 |
| -4                  | 3,82 | -0,10                 | +0,025 | -0,003                | 0,000009 |
| -6                  | 3,78 | -0,14                 | +0,023 | -0,005                | 0,000025 |
| -8                  | 3,68 | -0,24                 | +0,030 | +0,002                | 0,000004 |
| -10                 | 3,61 | -0,31                 | +0,31  | +0,003                | 0,000009 |
| $\alpha_0 = 3,92''$ |      | $\sigma_k = +0.028''$ |        | $\sum v^2 = +0,00048$ |          |

$$\sigma_k = \frac{1}{n} \Sigma \Delta \sigma_{ki} = 0,028''$$

$$m_\sigma = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}} = 0,003''.$$

Haqiqatda nivelir o'qi qat'iy vertikal holatda bo'lganida uni har xil tomonlarga bir xil qiymatdagi burchaklarga  $+\alpha$  va  $-\alpha$  og'dirilsa qiymati bo'yicha bir xil, ishoralari bo'yicha esa har xil og'ish qiymatlarini ( $a_i - a_0$ ), o'lchashlar aniqligi chegarasida bo'lishi quyidagi 28-jadvaldan ko'rinib turibdi. Bundan  $+\alpha$  va  $-\alpha$  burchaklardagi har bir juft sanoqlardan o'rtacha qiymatlari

$$a_\alpha = \frac{a_{+\alpha} + a_{-\alpha}}{2}$$

bir xil bo'lishi kerak, chunki, ular nivelir o'qi vertikal holatini aniqlaydi va shuning uchun o'rtacha sanoqqa teng bo'lishi kerak, ya'ni  $a_\alpha = 3,92''$  o'miga sanoq  $a'_0 = 3,85''$  olinsa (27-jadvalga qaralsin), bunda nivelir o'qini hamma  $+\alpha$  va  $-\alpha$  burchaklarga og'ishlari ( $a_i - a_0$ ) juftli simmetrik bo'lmaydi, masalan,  $\alpha = \pm 10'$  bo'lganda quyidagilarni olamiz  $\Delta_{+10} = +0,39''$  va  $\Delta_{-10} = -0,24''$ . Buning sababi nivelir o'qini o'rnatish adilak bilan aniq vertikal holatga keltirilmaganidadir. Adilak bo'lak qiymati  $r = 8'$  bo'lganda va adilak pufakchasini nol punktga keltirish bilan nivelir o'qini vertikal holatga o'rnatish xatosi  $0,2r = 1,6'$  ni tashkil qiladi.

Bu xatolik asl qiymatini sanoqlar  $a_i$  va nivelir o'qini og'ishi  $\alpha$ , qiymatlarini interpolyatsiya qilib aniqlash mumkin (27-jadval). Sanoq  $a_0 = 3,92''$  ga nivelir o'qini og'ish burchagi  $\alpha_0 = 1,56'$  to'g'ri keladi. Bu esa nivelir o'qini vertikal holatga keltirishdagi nomaqbul xatolik bo'lib, nivelirlashda u yaxshi natijaga olib kelmaydi.

| O'lchashlar dasturi             | Nivelir o'qini juft og'dirishdagi $\alpha$ qiymati |            |            |            |            |          |
|---------------------------------|----------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                 | +10'<br>-10'                                       | +8'<br>-8' | +6'<br>-6' | +4'<br>-4' | +2'<br>-2' | o'rtacha |
| Bitta priyom<br>(25-jadvaldan)  | 3,88                                               | 3,96       | 4,01       | 3,92       | 3,90       | 3,93     |
| To'rtta qabul<br>(27-jadvaldan) | 3,92                                               | 3,92       | 3,96       | 3,93       | 3,90       | 3,92     |

Nivelir o'qini musbat va manfiy qiymatli burchaklar  $\alpha$  ga og'dirishdagi sistematik xatolar  $\sigma_k$  qiymatlarini o'zaro o'xshashligi (yaqinligi) kompensatorni hamma ishchi diapazonlarda qoniqarli ishlashini va tavsiya etilgan xatolikni aniqlash ushbu uslubini to'g'riligini tasdiqlaydi.

### 13.8. Nivelir haroratini o'zgarishida qarash trubasining vizir o'qi holatining barqaror emasligini aniqlash

Yuqori aniq nivelirlash odatda ertalabki va kechki soatlarda bajariladi. Sutkaning ushbu vaqtlari uchun yozning bulutsiz issiq kunlarida havo haroratini keskin o'zgarishi xarakterli. Haroratni keskin o'zgarishidan nivelir deformatsiyalanadi, bu esa o'z navbatida silindrik adilak o'qi bilan trubaning vizir o'qi orasidagi  $i$  burchagini o'zgarishiga olib keladi. Shuning uchun harorat o'zgarganda  $i$  burchagi o'zgarishi qiymatini kamaytirish maqsadida qarash trubasi, silindrik adilak va sanoq olish moslamasini issiqlikdan saqlaydigan metall korpus ichiga joylashtiriladi. Hozirgi zamon yuqori aniq silindrik adilakli nivelirlarda haroratni 1°S ga o'zgarishida  $i$  burchagining o'zgarishi 0,5" dan oshmasligi kerak. Silindrik adilak o'qi bilan trubaning vizir o'qi orasidagi  $i$  burchagini amaldagi o'zgarishi nivelimi termokamerada tadqiq qilishdan aniqlanadi (ham musbat va ham manfiy haroratlarda uchun).

Tadqiq qilinadigan nivelir kuzatish uchun oynachaga ega termokamerada mustahkam o'matkichda joylashtiriladi. Termokamera haroratni -30 dan +50°S ga o'zgartiradigan moslama bilan hamda termometr va havo chiqarish oynachasi bilan ta'minlangan bo'lishi kerak. O'lchashlar uchun avtokollimator yoki reykachadan foydalanadi. Haroratni har 8 - 10° ga o'zgarishi bilan reykachadan yoki avtokollimator shkalasidan sanoqlar olinadi va birdaniga termometr ko'rsatgichi ham yozib boriladi.

Xaroratni  $1^{\circ}S$  ga o'zgarishi bilan  $i$  burchagini o'zgarishi qiymati quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\delta_i = \frac{\Delta h \cdot \rho}{s \cdot \Delta T}, \quad (13.14)$$

bu yerda  $\Delta h$  - haroratni  $\Delta T$  gradusga o'zgarishida reykachadan olingan sanoqni o'zgarishi (mm);  $s$  - nivelirdan reykachagacha masofa (mm);  $\rho = 206265''$ .

Olingan natijalardan  $\delta_i$  uchun o'rtacha qiymat hisoblanadi va u  $1^{\circ}S$  uchun  $0,5''$  dan oshmasligi kerak.

# 14-BOB. YUQORI ANIQLIKDA GEOMETRIK NIVELIRLASHDA XATOLAR MANBAI VA ULAR TA'SIRINI KAMAYTIRISH USULLARI

## 14.1. Geometrik nivelirlashda shaxsiy xatolik

Geometrik nivelirlashda o'lchashlar xatolari kelib chiqishi uch guruhga bo'linadi: shaxsiy, asbob xatolari va tashqi muxit ta'siri xatolari; bu xatolar o'z navbatida tasodifiy va sistematik xatolarga bo'linadi. Yuqori aniq nivelirlashda eng xavfli va yo'qotilishi qiyin xato bu tasodifiy xatolar hisoblanadi. Katta uzunlidagi nivelir yo'llarida (yuzlab va minglab kilometr) hatto kichik qiymatli sistematik xato ketma-ket yig'ilib borib nivelirlash natijasini sezilarli o'zgartirishi mumkin. Shuning uchun yuqori aniqlikda nivelirlashda sistematik xatolar turli manbaalarini sinchiklab aniqlash va ular qiymati qanchalik kichik bo'lishiga qaramay ular ta'sirini keskin kamaytirish choralarini ta'minlash lozim. Lekin o'lchashlar tasodifiy xatolarining ta'siri ham minimumga yetkazilishi kerak.

Nivelirda o'lchashni shaxsiy xatosi asbob-kuzatuvchi o'lchash sistemasini mukammal ishlamasligidan kelib chiqadi. Shaxsiy xatoliklarga pufakcha uchlari tasvirini tutashtirishni tasodifiy xatosi  $m_{tul}$ , mikrometr bissektorini reyka shtrixiga qaratish xatosi  $m_{qar}$ , va truba mikrometri shkalasidan nivelir reykalari bo'yicha sanoqlar olishdagi xato  $m_{san}$  kiritilishi mumkin. Bu xatolarni qo'shma ta'siri qarash xatosi  $m_{qarash}$  deb belgilansa u quyidagiga teng

$$m_{qarash}^2 = m_{tul}^2 + m_{qar}^2 + m_{san}^2 \quad (14.1)$$

Adilak pufakchasi uchlari tasvirini tutashtirish xatosi  $m_{tul}$  ko'zni ko'rish aniqligiga, adilak bo'lak qiymatiga, adilak nayshishasining ichki sirtini siliqlash sifatiga va boshqalarga bog'liq. Hozirgi zamon yuqori aniqlikdagi nivelirlarda tasvirni tutashtirish xatosi  $m_{tul}$  ni qiymati  $0,3''$  dan oshmaydi, nivelirdan reykaqacha masofa 50 m bo'lganda reykanan sanoq olish  $m_{san}$  xatosi 0,07 mm ga teng.

Bessektorni reyka shtrixiga qaratish xatosi  $m_{qar}$  quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin

$$m_{qar} = P_2 / v = 10'' / v, \quad (14.2)$$

bu yerda  $P_2 = 10''$  - ko'zni ko'rish chekli aniqligi;  $v$  - trubani kattalashtirishi. Agarda  $v = 40\times$  bo'lsa qaratish aniqligi  $m_{qar} = 0,25''$  ga teng, bunda reykaqacha masofa 50 m ga teng bo'lsa qaratish xatosi  $m_{qar} = 0,06$  mm bo'ladi. Qaratish xatosining qiymati trubaning iplar to'ri ko'rinishiga ham bog'liq. Qaratish aniqligini oshirish uchun siljiydigan o'tkir burchak



ko'rinishidagi iplar to'ri bissektori qo'llanadi va bu bissektorga reykanan sanoq olishda reyka shtrixi kiritiladi. Qaratish xatosining qiymati reyka shtrixlarini tebranishi amplitudasiga bog'liq, shuning uchun yuqori aniqlikdagi nivelirlash tasvirini tinch yoki kichik tebranishi paytida bajarilishi kerak, bunda reykalaridan ishonchli sanoqlar olish mumkin bo'ladi.

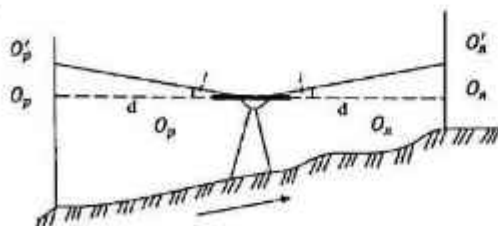
Trubaning optik mikrometri shkalasidan sanoq olish xatosi  $m_{san}$  shkalani 0,2 bo'lagidan oshmaydi va shkala bo'lagining qiymati 0,05 mm bo'lganda reykadan sanoq olish xatosi 0,01 mm ni tashkil qiladi. Kompensatorli nivelirlardan foydalanishda trubaning vizir o'qi kompensator yordamida avtomatik ravishda o'zi gorizontal holatga keladi. Shuning uchun bu holatda  $m_{qarash}$  xatosi (14.1) formuladagiga qaraganda faqat ikkita tashkil qiluvchilardan iborat bo'ladi, ya'ni

$$m_{qarash}^2 = m_{qar.}^2 + m_{san.}^2 \quad (14.3)$$

Geometrik nivelirlashda qaratishni sistematik xatolari, masalan, stansiyada bitta reykani shtrixlari quyosh nurlari bilan yoritilgan, ikkinchi reyka shtrixlari esa soyada bo'lsa, kelib chiqadi. Bu xatoliklar qiymati bo'yicha kichik va yetarli darajada tadqiq etilmagan.

## 14.2. Geometrik nivelirlashda asbob xatoliklari

Asbobning jiddiy xatolari qatoriga qarash trubasi vizir o'qini kontaktli adilak o'qi bilan parallel emaslik xatosini kiritish mumkin. Faraz qilaylik bu o'qlar orasidagi  $i$  burchak vertikal tekislikda doimiy qiymatga ega bo'lsin ( $i = const$ );  $O'_p$  va  $O'_s$   $i \neq 0$  dagi orqadagi va oldingi reykalaridan sanoqlar,  $O_p$  va  $O_s$  esa  $i = 0$  bo'lgandagi tegishli sanoqlar bo'lsin (14.1-shakl).



14.1-shakl. Reykadan olingan sanoqlarga  $i$  burchak ta'sirining sxemasi

Bu holda

$$O_p = O'_p - d_{o_p} \operatorname{tg} i; \quad O_s = O'_s - d_{o_s} \operatorname{tg} i$$

va shuning uchun  $i$  burchagini o'zgarishi xatosidan stansiyadagi ozod  $h$  qiymati quyidagiga teng bo'ladi

$$h = (O_p - O_s) = (O'_p - O'_s) - \operatorname{tg} i (d_{o_p} - d_{o_s}). \quad (14.4)$$

Reperlar orasidagi nisbiy balandlik  $\Delta H$  ni quyidagi yig'indi ko'rinishida topamiz

$$\Delta H = \sum h = \sum (O'_p - O'_s) - \operatorname{tg} i \sum (d_{o_p} - d_{o_s}). \quad (14.5)$$

Bu formuladagi ikkinchi had  $i$  burchagining ta'siri uchun nisbiy balandlikka tuzatmadan iborat. Masofalar bir xil (teng) bo'lganda,  $d_{o_p} = d_{o_s}$ , bu tuzatma kerak bo'lmaydi. Shuning uchun nivelirlash o'rtadan turib bajariladi va nivelirdan reykalargacha masofalar farqi ( $d_{o_p} = d_{o_s}$ ) har bir stansiyada va ularni yig'indisi qo'shni reperlar orasida belgilangan cheklardan oshmasligi ta'minlanishi kerak. Masalan, 1-klass nivelirlashda har bir stansiyada ( $d_{o_p} - d_{o_s}$ )  $\leq 0,5$  m, seksiyada (ikki qo'shni reperlar orasida) bu ayirmalarni yig'indisi 1 m dan oshmasligi kerak. Burchak  $i$  qiymati 10° dan oshmasligi kerak.

Nivelirlash jarayonida havo haroratini o'zgarishi bilan  $i$  burchagining qiymati o'zgarib boradi. Shuning uchun hatto o'rtadan nivelirlashda o'lchash natijalarini  $i$  burchagi o'zgarishining ta'siridan to'la ozod qilib bo'lmaydi. Shuning uchun stansiyadagi kuzatishlarni vaqt bo'yicha qat'iy simmetrik dastur asosida bajarish kerak bo'ladi:

$O_p O_s O_p O_s$  va  $O_s O_p O_s O_p$  (bu yerda  $O_p$  va  $O_s$  orqadagi va oldingi reykalardan sanoqlar); to'g'ri va teskari yo'llarni nivelirlashda birini ertalab, ikkinchisini esa kechqurun bajarish kerak, ya'ni havo harorati o'zgarishi qiymatlarini qarama-qarshi ishoralarida, demak, kuzatishlar  $i$  burchagi qiymatini sutkadagi o'sha soatlar davomida turli ishora bilan o'zgarishda bajarilgan bo'ladi; nivelir quyosh nuridan zont yordamida saqlanishi kerak; har safar kuzatishlarni boshlashdan avval nivelir soyada shatativda 45 daqiqa davomida saqlanishi kerak, bunda nivelir harorati atrof muhit haroratiga tenglashadi.

Optik mikrometrni bo'sh yurishi (myortvy xod) yassi parallel plastinka bilan sonoq shkalasi richagi birlashgan joyida juda kichik bo'lmasa ham zazor (tirqish) bo'lgan taqdirda paydo bo'ladi. Bunday bo'sh yurish borligini aniqlash uchun harakatsiz turgan shkalaga mikrometr bissektorini

bir shtrixga qaratishda mikrometr burchagiga (galovkasini) "ichkarisi" va "tashqarisi" burash orqali olingan sanoqlar farqi bir bo'lishini ko'rsatadi.

13.2 jadvalda keltirilgan misolda ichkariga va tashqariga burashdagi sanoqlar farqining ishorasi bar xil-musbat bo'lib, o'rtacha farqi sanoq bo'lagini 0,4 ga teng. Demak bu nivelirni mikrometrda bo'sh yurish (m.x) bor, u vaqt o'tishi bilan yassiparallel plastinka bilan sanoq olish shkalasi richagi birlashgan joyda ishqalanish natijasida yeyilishi oqibatida modul bo'yicha ortib baraveradi.

Yassiparallel plastinkasi bo'lgan barcha nivelirlarda bo'sh yurishini tadqiq etish maqsadga muvofiq hisoblanadi. bu ishini bajarish dasturi quyidagicha bo'lishi mumkin: mikrometr shkalasini 10, 30, 50, 70, va 90 bo'laklar qo'yib, mikrometr galovkasini (buragichini) burab bissektorni 10 martadan 5-10 metr masofagacha o'rnatilgan yaxshim ko'rinadigan shkala shtrixiga qaratamiz. So'ngra ichkariga va tashqariga burashlar farqini o'rtacha qiymatni topsak bu bo'sh yurish kattalikni va ishorasini ko'rsatadi. Bo'sh yurish mikrometr sanoq shkalasi bo'lagini yarmiga teng yoki undan katta bo'lsa, u xolda reykanadan sanoq olishda bissektori reyka shtrixiga to'g'irlangandan so'ng mikrometr galovkasini (burchagini) "ichkariga" burab so'ngra sanoq olish zarur. Mikrometr bo'sh yurishi bor yoki yo'qligidan qattiy nazar mikrometrdan sanoq olishda bu qoidaga amal qilish maqsadga muvofiq, aks xolda nivelirlarda bo'sh yurish natijasidagi xatolik mavjud bo'ladi.

Nivelirni gorizontal holga keltirishda adilak pufakchasi muddatdan oldin to'xtab qolishidan sodir bo'ladigan xatolik. Bu xatolik adilak nayshishasining ichki devorlariga uni to'ldiruvchi suyuqlikni yopishib qolishidan kelib chiqadi. Bu xatolik miqdori kichik, lekin u sistematik ravishda ta'sir etadi. Uning ta'sirini kamaytirish uchun adilak pufakchasi uchlarining tasvirini har doim bir xil usulda tutashtirilishi, elevatsiya vinti golovkasining oxirgi harakatida faqat ichkariga qarab (kirishga) buralishi kerak. Shunda stansiyada hisoblangan nisbiy balandlik qiymati ushbu xatolikdan ozod bo'ladi.

**Optik mikrometrni bo'sh yurishdan (mertviy xod) sodir bo'ladigan xatolik.** Agarda optik mikrometrda bo'sh yurish yo'l mavjud bo'lsa uning golovkasini ichkariga (kirishga) va tashqariga (chiqishga) burab bissektorni reykaning bitta shtrixiga tutashtirib mikrometr shkalasidan olingan sanoqlar bir-biriga teng bo'lmaydi. Bu xatolik ta'sirini yo'qotish uchun bissektorni reyka shtrixiga tutashtirishdagi oxirgi harakat mikrometr golovkasini ichkariga qarab burash bilan yakunlanishi

kerak. Shunda orqadagi va oldingi reykalardan olingan sanoqlar ayirmasi orqali topilgan nisbiy balandlik bu xatodan ozod bo'ladi.

**Mikrometr sanoq olish shkalasining amaldagi bo'lak qiymatini uning loyiha (nominal) qiymatidan farq qilishidan sodir bo'ladigan xatolik.** Bu shkala bo'lagining loyiha qiymati  $\mu = 0,05 \text{ mm}$  ga teng bo'ladi. Nivelirlash bo'yicha Yo'riqnomaga asosan shkala bo'lagining amaldagi qiymati bilan loyiha qiymati orasidagi farq  $\Delta\mu = 0,0025 \text{ mm}$  gacha yo'l qo'yiladi. Nivelirlashda shunday holatlar ham uchraydiki, unda bissektorni orqadagi va oldingi reykalarga qaratib mikrometr shkalasidan olingan sanoqlar ayirmasi bu shkalani 99 bo'lagini tashkil qilishi mumkin. Bu esa  $\Delta\mu_{\max} = 0,0025 \text{ mm}$  bo'lganda nisbiy balandlikda maksimal xatolik  $\Delta h_{\max} = 99 \times 0,0025 = 0,25 \text{ mm}$  ni berishi mumkin. Bu xatolikni har bir stansiyadagi o'rtacha qiymati 2-3 barobar kam bo'ladi. va uni tasodifiy xarakterga ega bo'lishiga qaramay ta'sirini hisobga olmasdan bo'lmaydi. Mikrometr bo'lak qiymatini aniq qiymatini topib, o'lchash jarayonida uni o'zgarishini inobatga olib borish zarur yoki bo'lmasam mikrometr shkalasi bo'lak qiymatini zavod sharoitida sinchiklab to'g'rilab olish kerak.

**Nivelir asbobining konstruktiv kamchiliklaridan kelib chiqadigan xatolar.** Ayrim nivelirlarda trubani gorizontaal aylanish o'qi (elevatsiya vintini burab truba bu o'q atrofida vertikal tekislik bo'yicha aylantiriladi) nivelirni vertikal o'kidani  $l$  masofada joylashgan bo'ladi. Nivelir vertikal o'kini shovun chizig'iga nisbatan  $\beta$  burchakka og'ishidan (doiraviy adilakni sozlashdagi aniqsizlik va adilak pufakchasini markazga keltirish xatosi ta'sirida) orqadagi va oldingi reykalarni kuzatishdagi vizirurning balandligi quyidagi qiymatga o'zgaradi

$$\Delta h = 2l \sin \beta. \quad (14.6)$$

$\beta$  burchagining qiymati doiraviy adilak bo'lak qiymati  $r$  ga bog'liq va uni eng kabi bilan  $\beta_1 = 0,2r$  va eng ko'pi bilan  $\beta_2 = r$  ga teng deb priyomqilish mumkin. Masalan  $N_1 004$  nivelirda  $l = 60 \text{ mm}$  va  $r = 2'$ . Shunda nivelir o'qini vertikal o'rnatishni yuqorida olingan ikkita qiymatlari ( $\beta_1 = 0,4'$  va  $\beta_2 = 2'$ ) uchun stansiyada nisbiy balandlikni aniqlash xatosi tegishlicha  $\Delta h_1 = 0,01 \text{ mm}$  va  $\Delta h_2 = 0,05 \text{ mm}$  ga teng bo'ladi. Bu xatolik qiymatini kamaytirish uchun nivelir vertikal o'qini vertikal holatga  $\beta = 0,5'$  dan oshmaydigan xatolik bilan keltirish zarur ( $l = 50 - 60 \text{ mm}$  uchun).

**Quyosh tomonga adilak pufakchasini sinishi tasiridagi xatolik.**  
Zont bilan himoyalanmagan nivelirni quyosh tomonga buraganda quyoshli

tomondagi ko'targich vaqt uzayadi, natijada ko'rish trubasi og'adi, adilak pufakchasi quyosh tomonga siljiydi. Buning tasirida sistematik xatolik kelib chiqadi, bu xatolikni ishorasi quyosh yo'nalishi bilan nivelir yo'li yo'nalishi orasidagi burchakka bog'liq. Bu xatolikni nivelirlashga tasirini kamaytirish uchun stansiyada va stansiyadan-stansiyagacha o'tishda nivelirni quyosh nurlarini tushishidan himoyalash kerak.

**Kompensatorli nivelirlar uchun quyidagi asbob xatolari tegishli bo'ladi:**

**Vizir nurini o'z-o'zidan bitta holatga kelish xatosi  $m_k$ .** Bu xato tasodifiy xarakterga ega bo'lib uning qiymati kompensatorni sezgirlikiga bog'liq. Yuqori aniq nivelirlarda bu xatoning qiymati 0,2" dan oshmasligi kerak.

**Kompensatorni ishlashi sistematik xatosi  $\sigma_k$ .** Bu xato nivelir o'kini vertikal holatdan og'ishini sistematik ravishda kompensatsiya-masligi yoki kompensatsiyadan oshirib yuborishi mumkin. Natijada nivelir trubasining vizir o'qi gorizontal holatga qisman sistematik xato bilan keltiriladi. Yuqori aniq nivelirlarda kompensatorni ishlashi sistematik xatosi nivelir o'qini vertikallikdan 1' ga og'ishida 0,05" dan oshmasligi kerak.

**Vizir nurni (gorizontal holga keltirishni) gorizontallash sistematik xatosi  $m_r$ .** Ushbu xato kompensatorli nivelirlar bilan nivelirlash aniqligini chegaralab qo'yadi. Kompensator ishlashini sistematik xatosi  $\sigma_r$  ma'lum bo'lganda  $m_r$  qiymati quyidagi formula bo'yicha topiladi

$$m_r = \alpha \sigma_k, \quad (14.7)$$

bu yerda  $\alpha$  - nivelir aylanishi o'qini bo'ylama qiyaligi (minutda). Bu xatoni bitta stansiyadagi nisbiy balandlikka ta'siri (mm da) ikkiga oshadi va u quyidagicha topiladi

$$m_h = \frac{2\alpha\sigma_k}{\rho''} S, \quad (14.8)$$

bu yerda  $\rho'' = 206265''$ ;  $S$  - nivelirdan reytagacha masofa (mm). Quyidagi qiymatlarni:  $S = 50$  m va  $\sigma_k = 0,05''$  qabul qilib (14.8) formuladan nivelir o'qini vertikalidan turli  $\alpha$  burchaklarga og'ishida har bir stansiyada nisbiy balandlikni o'lchash sistematik xatosi  $m_k$  ni quyidagi 29-jadvaldagi qiymatlarini topamiz:

| $\alpha$ , minut | $m_h$ , mm | $\alpha$ , minut | $m_h$ , mm |
|------------------|------------|------------------|------------|
| 0                | 0,00       | 4                | 0,10       |
| 1                | 0,02       | 5                | 0,12       |
| 2                | 0,05       | 6                | 0,15       |
| 3                | 0,08       | 7                | 0,18       |

Har bir stansiyada nisbiy balandlikni aniqlashni  $m_h$  sistematik xatosi qiymati 0,005 mm dan yoki 1 km nivelir yo'li uchun 0,05 mm dan oshmasligi talab qilinadi. Buning uchun nivelir vertikal o'qini vertikal holatga keltirish xatosi  $\alpha \leq 0.02'$  shartini ta'minlash kerak. Lekin bu shartni amalga oshirish imkoni bo'lmaydi, chunki hozirgi zamon kompensatorli nivelirlar bo'lak qiymati  $r=8'$  teng sezgirligi past adilaklarga ega. Amalda adilakni sozlashni qoldiq xatosi uni 0,2 bo'lak qiymatini, xuddi shuncha qiymatni adilak pufakchasini o'rta qatiga keltirish xatosi tashkil qilsa, ularni qo'shma ta'sirida nivelir o'qini vertikal holatga keltirish xatosi  $\alpha=0,4r$  ga teng, yoki  $r=8'$  uchun xatolik  $\alpha=3'$  bo'ladi. Bundan ko'rinishicha agar  $\alpha=3'$ ,  $S=50$  m va  $\sigma_t=0,05''$  bo'lganda bu sistematik xato qiymati stansiyada  $m_h=0,08$  mm yoki 1 km nivelir yo'li uchun 0,8 mm ni tashkil qilishi mumkin.

Nisbiy balandliklarni o'lchash aniqligiga vizir nurini gorizontal holga keltirish sistematik xatosi ta'sirini kamaytirish uchun kompensator ishlashini sistematik xatosi  $\sigma_t$  chekini kamaytirib,  $\sigma_t \leq 0,03''$  ( $\sigma_t \leq 0,05''$  o'miga) bilan chegaralash kerak, hamda kompensatorli nivelirlarga bo'lak qiymati  $r \leq 2-3'$  bo'lgan doiraviy adilaklar o'rnatish kerak.

Kompensatorli nivelirlarda issiqlik ta'siridan kelib chiqadigan xatolik adilakli nivelirlarga qaraganda ancha kichik, shuning uchun ayrim xollarda ular bilan zontsiz ishlash mumkin.

### 14.3. Invar reyka xatolarining ta'siri

**Invar reykalari bo'laklarining xatosi.** Invar reykalari shkalalaridagi shtrixlar maxsus tayyorlangan namuna shkalalardan fotografik nusxa olish yo'li yoki sinchiklab tayyorlangan shkalalarni qog'ozdagi trafareti yordamida tushiriladi. Har ikkala bu usullar bir xil kamchilikka ega: shtrixlarni imkon qadar yuqori aniqlikda tushirishni ta'minlay olmaydi. Yo'riqnoma [6] talabiga binoan reyka eng kichik bo'lagining (5 mm) xatosi 0,05 mm, reyka metr bo'lagining xatosi esa 0,10 mm dan oshmasligi kerak.



Reyka shkalasi  $i$  nomerli shtrixining aniq o'qimi uni nol bo'lagi bilan ushbu shtrix orasidagi  $l_i$  masofa bilan belgilanadi. Shtrixning amaldagi o'qimi  $l'_i$  masofa bilan belgilanadi. Quyidagi farq  $\Delta_i = l_i - l'_i$  shtrixni tushirish xatosiga tuzatma hisoblanadi. Amalda  $l_i$  qiymati ma'lum bo'lib  $l'_i$  qiymatini kompensatorda aniqlab reykaning har bir shtrixi uchun tuzatma  $\Delta_i$  ni olish mumkin. Reykani ikkala shkalalaridagi shtrixlar har 5 mm dan tushirilgan. Reykani umumiy uzunligi 3000 mm bo'lgani uchun shtrixlar soni 600 taga teng. Demak reykani asosiy va qo'shimcha shkalalari uchun komparatorlarda o'lchash orqali 1200 ta tuzatma  $\Delta_i$  ni aniqlashga to'g'ri keladi, bu esa ancha qiyin masala. Shuning uchun reyka shkalalarini har bir  $i$  shtrixi uchun tuzatma  $\Delta_i$  hisoblanmaydi hamda ularni nisbiy balandliklarni aniqlashda hisobga olinmaydi.

Reyka shtrixlarini tushirish xatosi uchun nisbiy balandliklarni tuzatish taqribiy ravishda yechiladi. Bu maqsadda reykani har bir shkalasida bir biriga tutashgan metrga teng oraliqlar komparatorlarda o'lchanadi va birinchi reyka metr bo'lagining o'rtacha qiymati  $l'_1$  hisoblanadi. Aynan shu yo'l bilan ikkinchi reyka metr bo'lagining o'rtacha qiymati  $l'_2$  aniqlanadi. Keyin reykalar komplekti metr bo'lagining o'rtacha qiymati  $l' = \frac{1}{2}(l'_1 + l'_2)$  va tuzatma  $\varepsilon = l - l'$ , nominal metr qiymati ( $l = 1000$  mm) bilan metr bo'lagining amaldagi o'rtacha qiymati  $l'$  farqi topiladi.

Tuzatma  $\varepsilon$  (mm da) reperlar orasida o'lchangan nisbiy balandlik qiymatini har bir metruga to'g'ri keladi. Shuning uchun reykalar metr bo'lagi o'rtacha qiymatini uni nominal qiymatidan farqi uchun nisbiy balandlik  $h$  (m da) ga tuzatma quyidagicha topiladi

$$\delta h_{(uv)} = \varepsilon h. \quad (14.9)$$

Tuzatma  $\delta h$  ni aniqlashni o'rta kvadratik xatosi quyidagi formuladan aniqlanadi

$$m_{\delta h} = \sqrt{m_{\varepsilon}^2 h^2 + m_h^2 \varepsilon^2}. \quad (14.10)$$

Ushbu formulaga asosan aytish mumkinki 1 klass nivelirlashda reykalar komplekti o'rtacha metruga tuzatma  $\varepsilon$  ni 4-5 mkm o'rta kvadratik xato bilan etalonlashdan aniqlash kerak bo'ladi. Hozirda invar reykalarni etalonlash MK-1 tipdagi komparatorlarda  $m_{\varepsilon} = 0,01 - 0,02$  mm ga teng o'rta kvadratik xato bilan amalga oshiriladi, bu esa kerakli aniqlikdan 2-4 marotaba pastdir. Shuning uchun reykalarni etalonlashni interferensiyani prinsipidagi komparatorlarda bajarish kerak bo'ladi.



**Reykalar noli balandligini teng emasligi va asosiy shkalalar nolini reykarlar to'voni tekisligi bilan to'g'ri kelmasligi xatosi.** Agarda nivelirlashda reperlar orasidagi stansiyalar soni juft bo'lsa, bu xatolar ta'siri to'la tugatiladi. Bunda boshlang'ich va oxirgi reperlarda bir reyka o'rnatiladi va nisbiy balandlik hisoblashda sanoqlar ayirmasi  $O_p - O_s$  dan bu xatolar qisqarib ketadi.

**Reyka tovonini mukammal tayyorlanmaganligi xatosi.** Agar tovon sirti tekislikni tashkil qilmasa yoki invar polosasi tekisligiga perpendikulyar bo'lmasa reykarlar nollari balandligi teng emasligi xatosiga o'xshash xatolik paydo bo'ladi. Bunday paytda reykalarga maxsus tovon takligi kiydiriladi, qo'shni nivelimayotgan reperlar orasidagi stansiyalar sonini juft qilib olinadi.

**Reykani vertikal holatda o'rnatish xatosi.** Kostilda (metall qozoq) o'rnatilgan reykaning bo'lak qiymati  $\tau = 10'$  ga teng doiraviy adilak yordamida vertikal holatga keltiriladi va shu holatda ikkita suyanchiqlar tirgagich yordamida ushlab turiladi. Reyka vertikal xolatidan  $\alpha$  burchakka og'ganida undan olinadigan sanoq xatosi  $\varepsilon$  qiymatini hisoblaymiz. Bunda  $\alpha = \tau/2$  bo'lsin

$$\varepsilon = l - l \cos \alpha \approx \frac{1}{2} l \alpha^2, \quad (14.11)$$

bu yerda burchak  $\alpha$  radian qiymatida olinadi;  $l$  - reykaning olinadigan maksimal sanoq.  $l_{\max} = 3000$  mm va  $\alpha = 5'/\rho'$  deb olib  $\varepsilon_{\max} = 0,004$  mm ni topamiz.

**Reykani egilishi xatosi.** Reykani egilishi uni yog'ochdan yasalgan tanasidagi namlikni ko'p o'zgarishidan yoki reykaning noto'g'ri saqlashdan kelib chiqadi va uning ta'sirida reyka uzunligi o'zgaradi. Reykani egilishi strelasi  $f = 3$  mm bo'lganda uning uzunligi 0,01 m ga,  $f = 5$  mm da -0,02 m ga qisqaradi. Reykani to'g'rilash (yozish) va shu bilan egilish strelasi xatosini kamaytirish maqsadida dala sharoitida sistematik ravishda egilish strelasining qiymati aniqlab boriladi va bu qiymat  $f = 5$  mm teng bo'lganda reykaning uchlari tayanchlarga shunday qo'yiladiki o'z og'irligi ta'sirida egilishi yo'qolsin.

**Harorat ta'sirining xatosi.** Agarda reyka etalonlangan bo'lsa, ya'ni uning metr bo'laklari  $T_0$  haroratda aniqlangan bo'lsa, nivelirlash esa  $T_1$  haroratda bajarilgan bo'lsa stansiyada o'lchangan nisbiy balandlik quyidagi tuzatma bilan tuzatilishi kerak

$$\delta_i = \alpha_1(T'_n - T_s)O_p - \alpha_2(T''_n - T_s)O_s, \quad (14.12)$$

bu yerda  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  orqadagi va oldingi reykalari invar polosalarini chiziqli kengayishi koeffitsienti;  $T'_n$  va  $T''_n$  - stansiyada nisbiy balandlikni aniqlash vaqtidagi ular harorati;  $O_p$  va  $O_s$  orqadagi va oldingi reykalardan tegishli sanoqlar (m). Reykalarning invar polosalari harorati maxsus termodatchiklar yordamida o'lchanishi kerak, chunki quyoshli kunda havo harorati bilan reyka invar polosasi harorati orasidagi farq 10-15° gacha yetadi.

Qo'shni reperlar orasida o'lchangan nisbiy balandlik  $h$  ga kuzatish davomida haroratni o'zgarishi uchun tuzatma qiymatini taqribiy hisoblashda quyidagi formuladan foydalanish mumkin

$$\delta_{ht} = \alpha(t_H - t_e)h, \quad (14.13)$$

bu yerda  $\alpha$  - bir juft reykalari uchun chiziqli kengayishni o'rtacha qiymati;  $t_H$  - butun seksiyani nivelirlashda reyakalarni o'rtacha harorati;  $h$  - seksiyadagi nisbiy balandlik (m). Agarda  $\alpha = 2 \times 10^{-6}$ ;  $t_H - t_e = +8^\circ \text{ S}$ ;  $h = 200 \text{ m}$  bo'lsa (14.13) formuladan topamiz  $\delta h = +3,2 \text{ mm}$ . Bu esa reyakalarni harorati o'zgarishidan kelib chiqadigan xatolik qiymati, ayniqsa tog'li hududlar uchun, u hisobga olinmasa natijalar ancha katta xatolikda kelib chiqishi mumkin.

**Reyka invar lentasini tortish kuchlari turlicha bo'lishidan kelib chiqadigan xatoliklar.** Invar lentani tortish kuchini o'zgarishi uni uzunligini o'zgarishiga olib keladi, bu esa o'z navbatida sistematik xatoni keltirib chiqaradi. Bu xatolikni kelib chiqmasligi uchun har yili dala ishlarini boshlashdan oldin dinometr yordamida invar lentani tortilganini tekshirib turish va uni  $R = 20 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$  xolatda bo'lishini taminlash zarur. Lentani tortilganlik xolatini reyka orqasidagi tuzatish gaykasi yordamida ta'minlanadi.

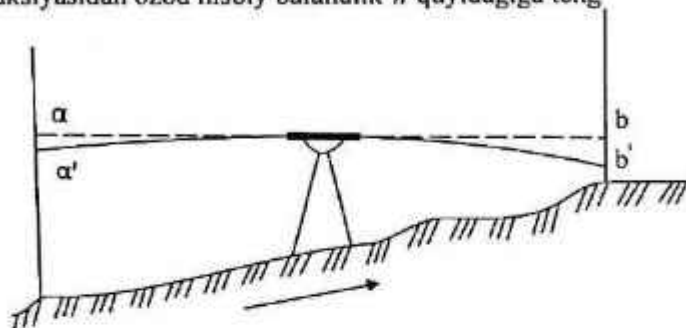
#### 14.4. Tashqi muhit ta'siri. Nivelir refraksiyasi

Tashqi muhit ta'siri sababli kelib chiqadigan xatolar guruhiga quyidagilar kiradi: nivelir refraksiyasi, kostil (temir qoziq) va shtativni vertikal bo'yicha siljishi, yer sirtini gidrotermik harakati, yer pustlog'ining oqim harakati, yer qobig'ini asta-sekin ko'tarilishi yoki pasayishi, reperlarni bo'rtib chiqishi yoki cho'kishidan kelib chiqadigan xatolar.

**Nivelir refraksiyasi.** Geometrik nivelirlash jarayoni atmosferani eng pastki, 3 metrli qatlamida o'tadi, bu qatlamda esa kuzatishlarga qaraganda harorat tez o'zgarish xususiyatiga ega. Vizir nurining yo'lida

balandlik bo'yicha xarorat gradienti qancha katta bo'lsa, boshqa shart-sharoitlarni bir xil bo'lishidan qat'iy nazar refraksiya ta'siri shuncha kattadir.

Vertikal refraksiyaning ta'sirida vizirlash nuri egiladi (14.2-shakl) va reykalardan  $a$  va  $b$  sanoqlar o'rniga  $a'$  va  $b'$  sanoqlari olinadi. Nivelir refraksiyasidan ozod nisbiy balandlik  $h$  quyidagiga teng



14.2-shakl. Reykadan olingan sanoqqa nivelirlash refraksiyasining ta'sir sxemasi

$$h = a - b = (a' - b') + (aa' - bb') = h' + \delta h, \quad (14.14)$$

bu yerda  $h' = a' - b'$  - o'lchangan nisbiy balandlik;  $\delta h = aa' - bb'$  - refraksiya uchun tuzatma. Quyoshli issiq kunda vizir nurini tuproq qatlami ustidan yaqin o'tganida va nivelirdan reykalargacha masofa nisbatan katta bo'lganda, nivelir refraksiyasi nivelirlash natijasini keskin o'zgartiradi, ayniqsa katta cho'ziq qiyaliklarda. Shuning uchun amaliyotda refraksiya ta'siridan xatolikni aniqlash va uni o'lchangan natijadan chiqarib tashlash ahamiyati katta.

Hozirgi kunda nivelir refraksiyasi uchun nisbiy balandlikka tuzatma hisoblashni, nivelir va reyka atrofidagi meteorologik elementlar hamda ular gradientlarini o'lchash natijalaridan fodalanib, juda ko'p formulalari mavjud. Lekin bu formulalar ishonchli biron-bir natijani olish imkonini bermaydi, chunki nivelirlash ishlari juda xilma-xil fizik-geografik hamda iqlim sharoitlarda bajariladi. Ko'pchilik formulalarda qatnashadigan ko'paytiruvchi had  $R/T^2 \approx 0,009$  amalda numi butun yo'lida har bir belgilangan vaqt uchun doimiy. Shuning uchun bosim  $P$  va harorat  $T = 273,16 + T^\circ S$  ni nur balandligida nivelir trubasi yaqinida o'lchansa kifoya. Eng qiyini reykalardan sanoq olish daqiqasida nurning butun yo'lidagi havo harorati gradientlarini aniqlashdir. Ular noaniq bo'ladi,

chunki ularni o'lashni imkoni yo'q. Bu qiymatlarni nurni butun yo'lida bilmay turib refraksiya uchun tuzatmani aniq hisoblab bo'lmaydi.

Masalani murakkablashishi yana shundaki havoni 3 metrli quyi qatlamida, nivelirlash bajariladigan qatlamda, harorat gradienti fazoviy va vaqtga bog'liq holda uzluksiz o'zgarib turadi.

Fizikadan ma'lumki havo qatlami yer sirtiga qancha yaqin bo'lsa haroratni vertikal gradienti qiymati shuncha katta o'tadi. Qiyalik bo'yicha nivelirlashda orqadagi va oldingi reykalardan nivelirgacha borayotgan nurlar yer sirtidan turli balandlikda o'tadi. Harorat gradienti o'zining moduli bo'yicha yerdan balandroqda, pastroqqa qaraganda kichik bo'lishi uchun qiyalik bo'yicha nivelirlashda vizir nuri yerdan baland o'tgan reykadan nur yerga yaqin o'tgan reykaga o'tishda harorat gradienti moduli oshib boradi. Demak, nisbatan pastdan o'tayotgan nur balandroqdan o'tayotgan nurga qaraganda har doim ko'proq egiladi. Boshqacha qilib aytganda qiyalik bo'yicha nivelirlashda refraksiyani ta'siri sistematik xato xarakteriga ega bo'ladi. Bunda refraksiya xatosi nivelirdan yuqorida joylashgan reyka bo'yicha olingan sanoqqa ko'proq ta'sir qiladi.

Nivelirlash tekis joyda bajarilsa refraksiyani xatosi tasodifiy bo'ladi. Bajarilgan ko'pgina tadqiqotlarning natijalari bo'yicha aniqlanishicha nivelirdan reykagacha masofa 50 m va nurni yer sirtidan balandligi 0,3 m bo'lganda refraksiya uchun nisbiy balandlikka tuzatma  $\delta h$  moduli bo'yicha 0,75 mm, nur balandligi 0,5 m bo'lganda 0,25 mm va balandlik 0,8 m da esa modul atigi 0,06 mm ga teng bo'lgan.

Nivelir refraksiyasi xatoligi sutka davomida o'zgaruvchan bo'ladi. Bu xatolik kunning yarmi atrofida eng katta qiymatga, ertalabki va kechqurungi izotermiya vaqtida esa eng kichik, yoki nolga yaqin qiymatga ega bo'ladi. Boshqa shartlar bir xil bo'lishida refraksiya xatosi vizir nurining uzunligiga bog'liq: nur qancha uzun bo'lsa refraksiya xatosi shuncha katta va aksincha.

Refraksiya nazariyasiga hamda amaliyot tajribalari natijalariga asoslanib yuqori aniq nivelirlash natijalariga refraksiya xatosi ta'sirini kamaytirish uchun quyidagi ko'rsatmalarni tavsiya etish mumkin.

1. Nivelirdan reykalargacha vizir nuri normal uzunligini mehnat unumdorligini ta'minlaydigan darajagacha qisqartish. Nivelirlashdagi hamma omillarni hisobga olib I klass nivelirlashda vizir nurining normal uzunligi 50 m, II klass nivelirlash uchun 65 m qabul qilingan.

2. Vizirlash nurining tuproq qoplamasi sirtidan balandligi 0,8 m dan kam bo'lmasligi kerak, aks holda nivelirlashni hatto qulay vaqti uchun, refraksiya xatosi  $S = 50$  m da 0,5 mm va  $S = 65$  m da 0,8 mm tashkil qiladi.

3. Refraksiya sistematik xatosining qiymati nivelirlash vaqtiga va havo sharoitiga bog'liq. Yuqori aniq nivelirlashni kuzatishlar uchun eng qulay vaqtda, havo haroratining gradienti, shu bilan birga nivelir refraksiyasi nol yoki unga yaqin bo'lganda bajarish kerak. Ertalab kuzatishlarni Quyosh chiqqandan keyin yarim soat o'tib, kechqurun esa taqriban mahalliy soat 17 larda (yoz kunlari uchun) boshlash kerak. Ertalabki hamda kechqurungi kuzatishlar tasvimi xiralashib tebrana boshlashida to'xtatilishi kerak. Bulutli va salqin havoda havo haroratining vertikal gradienti kichik bo'ladi, shuning uchun refraksiya ta'siri ham kam, demak nivelirlash vaqtining davomiyligi oshadi.

4. Nivelirlashni to'g'ri va teskari yo'llari sutkani turli vaqtlarida o'tkazilishi kerak (masalan, birinchisi ertalab, ikkinchisi kechqurun). Bunda bir xil nuqtalar orasidagi nisbiy balandliklar to'g'ri va teskari nivelirlashda turli vaqtlarda (ertalab va kechqurun) nivelirlanishi zarur.

#### **14.5. Kostillar hamda shtativni vertikal siljishi**

Yuqori aniq nivelirlash tajribasidan ma'lumki nivelir reykalari o'rnatiladigan baarmoqlar va kostillar, hamda shtativ gruntida vertikal siljishi xususiyatiga ega, buning oqibatida nivelirlash natijalarida sistematik xatolar kelib chiqadi.

Maxsus bajarilgan tadqiqot ishlarining natijalari quyidagi xulosalarga asos bo'ldi.

1. Nivelir kostillari o'z og'irligi ta'sirida har doim cho'kadi, bunga kostil ustiga qo'yiladigan reyka massasi hamda uni reyka tutuvchini bosishi ham sabab bo'ladi.

2. Kostilni tez va intensiv cho'kishi unga reyka qo'yilgandan so'ng dastlabki 10-20 sekund davomida sodir bo'ladi; keyin cho'kish sekinlashadi, lekin 1-2 daqiqa davomida sezilarli qoladi. Kostilni holati 4-5 daqiqadan keyin barqaror holatga keladi.

3. Reyka olingandan keyin kostil gruntan siqib chiqariladi. Zich gruntlarda u to'la dastlabki holatga qaytadi.

4. Reyka qayta qo'yilganda kostil birinchi marta qaraganda 2-3 marotaba kamroq cho'kadi. Keyingi reyka qo'yilganda kostil o'z holatini o'zgartirmaydi.

5. Shtativ, odatda, nivelir bilan ishlash davrida gruntan siqib chiqariladi, bunda uning oyoqlari gruntga qanchalik qattiq bosib kiritilgan bo'lsa ular shuncha siqib chiqariladi. Bu hodisaga shtativ yaqinida kuzatuvchini ko'p yurishi ham sabab bo'ladi.

6. Birinchi 5 minut davomida shtativni vertikal siljishi vaqtga proporsional ravishda sodir bo'ladi, keyin u sekinlashadi va 10-15 minutdan keyin to'xtaydi.

Kostil va shtativning vertikal siljishi yuqori aniq nivelirlashda sistematik xatolar manbaalaridan biri hisoblanadi. Bu xatolar ta'sirini kamaytirish maqsadida quyidagi tavsiyalarni amalga oshirish kerak bo'ladi.

1. Nivelirlash trassasini shunday tanlash kerakki, mumkin qadar u o'rta zichlikdagi gruntlardan (avtomobil shossesi yoki temir yo'l chetidan, yaxshi grunt yo'llardan va h.k.) o'tsin.

2. Nivelirlashning to'g'ri va teskari yo'llari bir joydan va mumkin qadar bir xil o'tish nuqtalari bo'yicha o'tishi kerak. To'g'ri va teskari yo'llarda stansiyalar soni juft va bir-biriga teng bo'lishi kerak.

3. Chap va o'ng nivelirlash chiziqlarining kostillari bir-biriga 0,5 m dan yaqin o'rnatilmasligi kerak. Shtativ oyoqlarini gruntga qattiq bosib kiritmaslik kerak. Kostil va shtativni 0,5 m dan kam bo'lmagan masofadan aylanib o'tish kerak.

4. Har bir stansiyada kuzatishlarni qat'iy simmetrik dastur bo'yicha bajarilishi kerak, toq stansiyalarda kuzatishni orqadagi reykadan boshlab, juftlarda esa oldingi reykadan boshlab bajarish kerak yoki aksincha.

5. Reykadan sanoqni uni kostilga o'rnatgandan 0,5 minutdan keyin olish kerak. Reyka va kostilga qattiq bosish kerak emas.

6. Yuqori aniq nivelirlashda boshmoqni kostil o'rniga ishlatish mumkin emas, chunki u gruntga kostilga nisbatatan ko'proq siljiydi.

#### **14.6. Yer sirtining gidrotermik harakati**

Yilning qish faslida grunt maksimum chuqurlikda muzlaydi, yer osti suvlari sathi esa mumkin qadar pastga tushadi. Bahorda qorlarni intensiv erishidan keyin suv toshqinlari davrida yer osti suvlari sathi ko'tariladi. Bahor tugab qor erishi va suv toshqinlari to'xtaydi, yer osti suvlarining sathi pastga tusha boshlaydi. Grunt zichlanib asta-sekin cho'ka boshlaydi. Yoz yaqinlashishi bilan yer sirti intensiv qiziy boshlaydi, gidrotermik harakat asta-sekin kamayadi va yozning boshlarida ular to'la tuxtaydi. Kuzning oxirida intensiv yog'ingarchilikdan so'ng yer osti suvlari sathi yana ko'tariladi. Sovuq tushgandan sung yer sirti muzlay boshlaydi va asta-sekin ostki qatlamga o'tib gruntni ko'tarilishi sodir bo'ladi.

Shunday qilib yer sirtining gidrotermik harakati mavsumiy xarakterga ega. Nivelir replarlari gruntning yuqori qatlamida o'rnatilishi sababli ular



ham gidrotermik harakatga berilib balandlik bo'yicha mavsumiy o'zgarib boradi. Gidrotermik harakatlarning kattaliklar turli joyda turlicha bo'ladi.

Gidrotermik harakatni yuqori aniq nivelirlashga ta'sirini kamaytirish uchun: nivelir reperlarini baland joylarda o'rnatish; nivelirlashni gidrotermik harakatni eng kuchaygan davrida (bahor va kuzda) bajarmaslik; nivelirlash to'g'ri va teskari yo'llarini «sakkizlik» shaklida o'tkazishni ta'minlash kerak, bunda gidrotermik harakatning ta'siri tasodifiy xarakterga ega bo'ladi.

**Quyosh va oy ta'sirida nisbiy balandlikni o'zgarishi.**  $G$  masofada joylashgan  $M$  massaga ega bo'lgan samoviy joyni tortish kuchi ta'sirida Yer satxida shovunni og'ishiga olib keladi, bu ta'sir quyidagi formula bilan ifodalanadi

$$U = \frac{3a^2 M}{2r^3 E} \sin 2z,$$

Bu yerda  $a$ -radiusi,  $E$ -uning massasi,  $z$  samoviy jism zenit masofasi. Shovunni og'ishiga Yerga eng yaqin bo'lgan samoviy jisimlardan Oy va Quyoshning ma'siri katta.  $a$ ,  $M$ ,  $r$  va  $E$  larning mos qiymatlarini qo'yib Oy va Quyoshning ma'sirida shovunning abeamot og'ishini (sekund burchak) topamiz

$$U_C = 0,0166 \sin 2z_C;$$

$$U_\odot = 0,0078 \sin 2z_\odot.$$

Oy va quyosh ta'sirida yer qobig'ini ko'tarishni shovun og'ishini 1,188 marta kamaytiradi, shu sababli uni amaldagi kattaligi quyidagicha teng bo'ladi

$$\delta h_C = 0,068 s m 27_C \cos(A_C - A) mm/km;$$

$$\delta h_\odot = 0,032 s m 27_\odot \cos(A_\odot - A) mm/km,$$

Bu yerda  $A_C$  va  $A_\odot$ - Quyosh azimutlari sferik astronomiya formulalardan foydalanib aniqlanadi.

Oy va Quyosh zenit masofasi va azimutdagi sutka va yil davomida to'htovsiz o'zgarib turadi, o'z navbatida nisbiy balandlikka kiritiladigan  $\delta h$  ham o'zgarib turadi. Tuzatmalar yig'indisi  $0,1 mm/km$  dan katta bo'lmaydi. Shu sababli bu tuzatma alohmda xolatlarda, juda katta aniqlik talab etiladigan ishlarda misol uchun yer qobig'ini xarakati o'rganiladigan geodinamik poligonlarda va boshqa xollarda hisobga olinadi.



#### **14.7. Yuqori aniqlikda nivelirlash natijalariga tektonik va boshqa hodisalar ta'siri**

Yer po'stlog'ining tektonik sekin ko'tarilishi va pasayishi deyarli uni hamma qismlarida bo'lib turadi, bunda uning tezligi turli joylarda turlicha. Masalan, Sharqiy Yevropada bu tezlik  $\pm 1-4$  mm/yiliga, Kavkazda 15-20 mm/yiliga yetib boradi. To'g'ri va teskari nivelirlash natijalariga bu harakat deyarli ta'sir etmaydi, chunki nivelirlash qisqa vaqt davom etadi.

Lekin tektonik harakatlar qiymati kichik bo'lishiga qaramay oradan ko'p vaqt o'tishi bilan nivelir tarmog'i reperlarining balandligini o'zgarishiga olib keladi. Masalan, ikkita qo'shni regionda yer qobig'ining ko'tarilish (pasayishi) turli qiymatlarni  $+0,8$  mm/yiliga va  $+3,5$  mm/yiliga tashkil qilsa orada 20 yil o'tgandan keyin bu yerdagi nivelirlash reperlarining balandligi bir-biriga nisbatan 54 mm ga o'zgarishi mumkin. Bu harakatlar nivelir poligonlaridagi xatoliklarga ham ta'sir etadi. Shuning uchun nivelir tarmog'i aniqligini har bir o'lchash davri talabi darajasida ta'minlash uchun ushbu tarmoqda nivelirlashni qayta, masalan, har 25 yilda takrorlab turish kerak bo'ladi.

**Yerning sathiy yuzasi egriligini o'zgarishidan nisbiy balandliklarni o'zgarishi.** Yerning sathiy yuzasi uning turli qismlarida qisman deformatsiyalanishi mumkin. Bunga sabab Yerning ichki qismida katta massalarni surilishi; kutilmaganda katta miqdordagi yog'ingarchilik bo'lib o'tishi va shu sababli yirik suv havzalarini to'lishi, hamda atmosfera bosimini o'zgarishidan bo'lishi mumkin.

Bu omillar har biri konkret hududda grivitatsiya maydonini va shu bilan birga sathiy yuza egriligini o'zgarishiga olib keladi. Natijada shovun chiziqlari yo'nalishi ushbu joylarda o'z yo'nalishini o'zgartiradi, demak nisbiy balandliklar ham bularga bog'liq holda o'zgaradi. Nisbiy balandlik kam miqdorda o'zgarsa ham yuqori aniq nivelirlashda uni ta'sirini hisobga olish kerak bo'ladi.

**Nivelir reperlarini ko'pchishi va o'tirishi.** Ayrim vaqtlarda, reperlarni o'rnatish chuqurligini tanlashda xatoga yo'l qo'yilsa, ularni o'rnatish texnologiyasi buzilsa reperlar yildan yilga asta-sekin muzlashni ko'pchish kuchi ta'sirida ko'tarila boshlaydi yoki kamdan-kam holatlarda bo'sh gruntlarda ozroq cho'kishi ro'y berishi mumkin. Bunday ta'sirga uchragan reperlar qayta nivelirlash natijasida aniqlanadi, ularni balandligi qushni reperlarga qaraganda ko'proq o'zgargan bo'ladi. Ular aniqlanib nivelirlash tarmog'idan chiqarilishi va o'rmiga hamma qoida va talablarga rioya qilib yangi reperlar o'rnatilishi kerak.

**Seysmik hududlarda reperlar balandligini bir zumda o'zgarishi.** Shunday hududlarda yer zilzilasidan keyin ko'pchilik reperlarning balandligi bir zumda o'zgaradi, bunda uning qiymati bir necha millimetrdan bir necha metrga yetishi mumkin (yer sirti cho'kishi yoki ko'tarilishi mumkin). Gazli shahrida bo'lgan zilzilada reperlar balandligi  $\pm 1$  metrgacha o'zgargan.

Bunday holatlarda nafaqat zilzila bo'lib o'tgan hududda balkim unga yaqin atrofda qo'shni reperlar orasidagi nisbiy balandliklarga ta'siri nolga teng bo'lgan xududda ham qayta nivelirlash bajariladi.

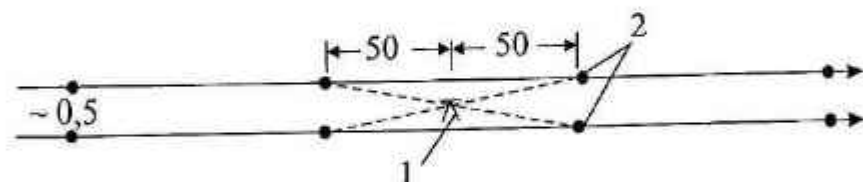
## 15-BOB. YUQORI ANIQLIKDA NIVELIRLASH USULLARI. O'LCHASH NATIJALARINI ISHLAB CHIQISH

### 15. I klass nivelirlash usuli va dasturi

Yuqori aniq nivelirlar yassi parallel plastinkali optik mikrometrga ega bo'lib, u reykalardan sanoq olishda tutashtirish usulini qo'llash imkonini beradi. Mikrometr yassi parall plastinkasini burab trubaning iplar to'ri bessektorini nivelir reykasining unga yaqin shtrixi bilan tutashtiriladi va shu tarzda reyka bo'lagining 0,01 mm qiymatigacha o'lchab uni reyka shtrxi bo'yicha sanoqqa qo'shib yoziladi.

Reykadan har bir sanoq olishdan oldin adilak pufakchasi qarama-qarshi uchlarining tasviri sinchiklab tutashtiriladi, kompensatorli nivelirni qo'llashda esa vizirlash chizig'ining holati stabil bo'lishi kuzatib boriladi.

I klass nivelirlashda qabul qilingan dasturga asosan bir vaqtda bir-biridan 0,5 metr oraliqda o'tadigan ikkita nivelirlash chiziqlari o'tkazishni ko'zda tutiladi (15.1-shakl).



15.1-shakl. I-sinf nivelirlashda stansiyada o'lchash sxemasi:

*1-nivelir; 2-nivelirlash kostillari*

Yo'l bo'yicha o'ng tomondagi chiziq o'ng chiziq, chap tomondagisi chap chiziq deyiladi. Yuqori aniqlikda nivelirlashni bajarish uchun yuqori aniq nivelir, bir juft invar reykalari, nivelir reykalarni o'rnatish uchun 4 - 5 juft dan kam bo'lmagan nivelir kostillari (temir qoziq) topografik zont va havo haroratini o'lchab borish uchun termometr kerak bo'ladi.

Kostillar gruntga juftlikda, bir-biridan 0,5 m dan kam bo'lmagan oraliqda qoqiladi, (15.1-shakl). Qo'shni juft kostillar orasidagi nivelirlash yo'li bo'yicha masofa tekis joyda 100 m gacha olinadi. Tik qiya joylarda bu masofa bir muncha qisqaradi.

Nivelirlash yo'li bo'yicha oldindan yerga bir qancha juft kostillar qoqib chiqilsa nivelirlash ishini unimdorligi oshadi, chunki kostillarni yerda o'rnatish nivelir stansiyasidagi ishlardan oldin olib boriladi.

Bundan tashqari, bunday dastur har bir stansiyada nivelirlashni ishonchli nazoratini ta'minlaydi, agarda extiyotsizlikdan birorta kostil o'midan siljitib yuborilsa orqaga faqat bitta stansiyaga qaytish kerak bo'ladi, orqadagi bir juft kostillarni quzg'almay turganiga ishonch hosil qilish va ishni davom ettirish imkonini beradi. Nivelirlash yo'llari to'g'ri va teskari yunalishlarda o'tqaziladi, unda bitta trassa bo'yicha va bir xil tipdagi o'tish nuqtalaridan o'tiladi.

Qo'shni reperlar orasidagi seksiyada to'g'ri va teskari nivelirlash yullarida stansiyalar soni bir xil va albatta juft olinishi zarur, shunda reyklar tovonlarining nollari teng emaslik xatosidan ozod bo'linadi.

Stansiyalarda shtativ tik o'rnatiladi, uning ikkita oyog'i nivelir yo'li bo'yicha, uchinchisini esa bir safar o'ng tomondan keyin esa chap tomondan ketma-ketlikda o'rnatib boriladi.

Shtativ oyoqlarini gruntga qattiq botirib kiritish tafsia etilmaydi, maxkamlash vintlari esa qattiq tortilmasligi kerak, aks xolda shtativ o'lchash jarayonida gruntan siqilib chiqadi. Vizir nurining normal uzunligi 50 m ni tashkil etadi. Nivelir o'rnatilgan joydan reyklar o'rnatiladigan kostillargacha masofa metall troscha bilan o'lchanadi. Nivelirdan reykalargacha masofalarni (yelkalarni) teng emasligi stansiyada 0,5 m dan oshmasligi kerak.

Bu masofalar farqini nivelirlash seksiyasida yig'ilib borishi ish davomida to'g'rilab boriladi va uning qiymati reperdan - repergacha 1 m dan oshmasligi kerak. Nivelirlash nurining yer sirti qoplamasidan baladligi 0,8 m dan kam bo'lmasligi kerak. Ayrim xollarda nurning uzunligi 25 m dan oshmaganda uni balandligini 0,5 m gacha kamaytirishga ruxsat etiladi.

I klass nivelirlashda stansiyadagi kuzatishlar birga qo'shish (tutashtirish) usuli bilan bajariladi, bunda toq nomerli stansiyadan juft nomerli stansiyaga, hamda to'g'ri yo'ldan teskari yo'lga o'tishda simmetrik o'lchashlar prinsipiga amal qilinadi.

$O_a'$  va  $O_q'$  lar bilan orqadagi reykanı asosiy va qo'shimcha shkalalari bo'yicha sanoqlarni,  $O_a''$  va  $O_q''$  bilan esa oldingi reykanı asosiy va qo'shimcha shkalalari bo'yicha sanoqlarni belgilaymiz.

To'g'ri nivelirlash yo'lining toq nomerli stansiyalarida kuzatishlar orqadagi reykanı sanoq olish bilan boshlanadi, juft stansiyalarda esa — oldingi reykanı boshlanadi va ishlar quyidagi dastur bo'yicha amalga oshiriladi

| Stansiya: | nivelirash<br>o'ng chizig'i | nivelirash<br>chap chizig'i |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| toq       | $O_a^p O_a^l O_q^l O_q^p$   | $O_a^p O_a^l O_q^l O_q^p$   |
| juft      | $O_a^l O_a^p O_q^p O_q^l$   | $O_a^l O_a^p O_q^p O_q^l$   |

Teskari nivelirash yo'lida toq stansiyalarda kuzatishni oldingi reykanadan boshlanadi, juftlarida orqadagidan. To'g'ri nivelirash yo'lidan teskariga o'tishda reyakalarning o'rinlari almashtiriladi.

Har bir stansiyada nivelirashni avval o'ng chiziq bo'yicha bajariladi, keyin esa chap chiziq buyicha. Mo'ljallangan joyda shtativ bilan nivelir o'rnatilib, ishchi holatga keltiriladi. Keyin kuzatuvchining ko'rsatmasiga asosan reyakachilar ehtiyokorlik bilan reyakalarni o'ng yo'ldagi kostillarga qo'yishadi va doiraviy adilak yordamida ularni vertikal holatga keltirishadi. Shu bilan stansiyadagi o'lchashlarga tayyorgarlik ishlari yakunlanadi. Kuzatishlar quyidagi tartibda bajariladi:

1) doiraviy adilak va ko'targich vintlar yordamida nivelir vertikal o'qi vertikal holatga keltiriladi;

2) nivelir trubasi orqadagi o'ng kostilda turgan reykaning asosiy shkalasiga qaratiladi; nivelir optik mikrometrini 50 sanoqqa qo'yiladi; elevatsiya vintini burab pufakchanning uchlari tasviri taqribiy tutashtiriladi va uchta iplar bo'yicha dalnomer sanoqlari olinadi;

3) elevatsiya vinti yordamida truba qiyalanadi va adilak pufakchasining uchlari tasviri aniq tutashtiriladi; mikrometr bissektori yaqin joylashgan reyka asosiy shkalasining shtrixiga qaratiladi va reykanadan hamda mikrometr shkalasidan sanoqlar olinadi;

4) truba o'ng kostilda turgan boshqa reykaning asosiy shkalasiga qaratiladi va yuqoridagi 2 va 3 bandlarda ko'rsatilgan amallar bajariladi;

5) trubani yo'naltiruvchi vinti yordamida ushbu reykani qo'shimcha shkalasiga qaratiladi va elevatsiya vintini chorak aylanishga burab truba ozroq qiyalanadi, keyin adilak pufakchasining uchlari tasviri aniq tutashtirilib reyka shkalasi va mikrometr shkalasi bo'yicha sanoqlar olinadi;

6) keyin nivelir o'z vertikal o'qi atrofida aylantirilib avvalgiday o'ng kostilda turgan oldingi reykani qo'shimcha shkalasiga qaratiladi va reyka hamda mikrometr shkalalari bo'yicha sanoqlar olinadi; shu bilan nivelirash o'ng chizig'ida ishlar yakunlanadi;

7) reyakalar chap kostillarga olib o'rnatiladi va o'lchashlar nivelirash aynan o'ng chizig'ida bajarilgan nivelirash ketma-ketligida amalga oshiriladi; shu bilan stansiyadagi kuzatishlar yakunlanadi;

8) kerakli hisoblashlar bajarilib va hamma qo'yim (dopusk)larga rioya qilinganiga ishonch hosil qilib navbatdagi stansiyaga o'tiladi. Navbatdagi stansiyaga kuzatuvchini nivelir bilan o'tish davrida oldingi reyka kostildan olib qo'yiladi, orqadagi reyka esa keyingi kostilga olib o'tiladi.

Reyka bo'yicha sanok reykani kostilga qo'yilganidan boshlab 0,5 daqiqa o'tgandan keyin va kontaktli adilak to'la muvozanatga kelgandan so'ng olinadi.

Nivelir "sakkizlik" sxema asosida, 25-30 km dan bo'laklarga bo'linib bajariladi. Ya'ni bo'lak birinchi yarim qismining seksiyalari dastlab to'g'ri yo'nalishda o'tiladi, ikkinchi qismi – teskari yo'nalishda, keyin esa aksincha. Har bir seksiyada qo'shni reperlar orasidagi to'g'ri yo'lda nivelirlash ertalab (kechqurun), orqaga qarab nivelirlashda aksincha, kechqurun (ertalab) bajarilishi kerak.

Kuzda va bulutli kunlarda bu talablarga qat'iylik qisman bo'shashtiriladi.

Kuzatishlarni boshlashdan avval shtativda o'rnatilgan nivelir soyada eng kamida 45 daqiqa saqlanadi. Stansiyadagi kuzatishlar davomida nivelir oq astarli zont bilan bir stansiyadan ikkinchisiga o'tishda esa – oq materialdan qilingan g'ilof yordamida saqlanadi quyosh nurlaridan. Har ikki stansiyadan keyin prash termometri yordamida nivelir balandligidagi havo harorati o'lchab boriladi.

Har bir stansiyadagi o'lchashlar vaqtini yozib borish tavsiya etiladi. Ertalab nivelirlash quyosh chiqqanidan so'ng yarim soatdan keyin boshlanib, 3 soat davom etadi, bunda agar reyka shtrixlari tasvirining tebranishi (siljishi) kichik va mikrometr bissektorini shtrixga ishonchili qaratish mumkin bo'lsa. Kechki kuzatishlarni quyosh botishidan chaması 5 soat chamasidan oldin boshlab, botishga 0,5 soat qolganda yakunlanadi. Ertalabki va kechki kuzatishlarni havo izotermiyasi daqiqasiga nisbatan simmekrik joylashtirishga erishish kerak.

Quyidagi holatlarda nivelirlashga ruxsat etilmaydi.

1) reyka shtrixiga mikrometr bissektorini aniq qaratishni qiyinlashtiruvchi tasvirni tebranishlarida va tasvirni "suzuvchi" holatlarida;

2) kuchli va shiddatli shimol esayotganda;

3) qisqa vaqt ichida havo haroratini keskin o'zgarib borishi davrida.

I-klass nivelirlashda har bir stansiyadagi o'lchashlar natijasi quyidagi talablarga javob berishini ham kuzatib borish talab qilinadi:

- nivelirlashni alohida o'ng va chap chiziqlari uchun reykalarni asosiy va qushimcha shkalalari bo'yicha o'lchashlardan aniqlangan nisbiy balandliklar farqi 0,5 mm dan oshmasligi kerak;

- orqadagi (oldingi) bir juft kostillar orasidagi, orqadagi va oldingi stansiyalardagi kuzatishlardan olingan, nisbiy balandliklar farqi 0,7 mm dan oshmasligi kerak. I klass nivelirlashni dasturi va uslubi turli xatoliklar manbaalari ta'sirini kamaytirish va eng aniq natijalarga erishishini ta'minlash maqsadida ishlab chiqilgan.

## 15.2. II klass nivelirlash usuli va dasturi

II klass nivelirlashni bajarish uchun aynan I klass nivelirlash uchun kerak bo'lgan nivelir va invar reykalari ishlatiladi. Reykaning metrli shkalasi va butun shkalasining xatosi 0,20 mm dan oshmasligi, tog'li hududlarda ishlashda 0,1 mm dan oshmasligi kerak. Ishga jo'nab ketishdan avval niverlir va reykalar sinashlardan o'tkazilib ishga yaroqliligi aniqlanadi.

II klass nivelirlash to'g'ri va teskari yunalishlarda bitta chiziq bo'yicha I klass nivelirlash uslubida bajariladi.

Vizir nurining normal uzunligi 65 metrni tashkil qiladi. Qiya joylar bo'ylab nivelirlashda va reperlarga yetib kelinganda nur uzunligi kamayishi mumkin. Qarash trubasining kattalashtirishi 44<sup>o</sup> dan past bo'lmagan nivelirlar bilan ishlashda kuzatish qulay sharoitlarida nur uzunligini 75 metrgacha yetkazish mumkin. *Ni007* niverlirini ishlatishda nur uzunligi 40 m dan oshmasligi kerak. Nivelirdan reykalgacha masofalar farqi bitta stansiyada 1 m dan, bu farqlarni seksiya bo'yicha yig'ilib borgan qiymati 2 metrdar oshmasligi kerak. Vizirlash nurini yer sirtidan balandligi 0,5 m dan kam bo'lmashligi, ayrim vaqtlarda nur uzunligi 30 m dan oshmaganda 0,3m gacha yo'l qo'yilishi mumkin.

Kuzatishlar tartibi qo'yidagicha: to'g'ri yo'lning toq stansiyasida: orqadagi reykaning asosiy shkalasidan sanoq; oldingi reykaning asosiy shkalasidan sanoq; oldingi reykaning qo'shimcha shkalasidan sanoq; orqadagi reykaning qo'shimcha shkalasidan sanoq.

To'g'ri yo'lning juft stansiyasida: oldingi reykaning asosiy shkalasidan sanoq; orqadagi reykaning asosiy shkalasidan sanoq; orqadagi reykaning qo'shimcha shkalasidan sanoq; oldingi reykaning qo'shimcha shkalasidan sanoq. Teskari yo'lda, aksincha, toq stansiyalarda kuzatish oldingi reykaning boshlanadi, juftlarda esa – orqadagi reykaning.



Kuzatishlarni bunday tartibi nivelirlash sisitematik xatolarini sezilarli kamaytirishni ta'minlaydi.

To'g'ri yo'lni toq stansiyasida bajariladigan ishlar mazmuni va ketma-ketligi, hamda dala jurnalini to'ldirish va uni ishlab chiqishni quyidagi misolda [2] ko'rib chiqamiz (30-jadvalda jurnalni to'ldirish tartibi qavslardagi raqamlar bilan ko'rsatilgan).

30-jadval

## II klass nivelirlash jurnalida

### yo'zish namunasi

914-grunt reperdan 948-grunt  
repergacha yo'l

Ish sharoiti; grunt – qumloq, temir  
yo'l cheti

Sana 15.05.07; ish boshlanishi 7s. 40

daqiqa, tugashi 9 s. 30 daqiqa

Tasvir aniq va tinch

| Shtativ<br>N,<br>reykal<br>ar N | Bog'las<br>h<br>chizma<br>si | Dainomer iplari<br>bo'yicha sanoqlar<br>(0,5 dm)              |                                              |                                         | Bissektor iplaridan sanoqlar (0,5 dm)                      |                               |                                                             |                                 | Nazor<br>at                       |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                                 |                              |                                                               |                                              |                                         | Asosiy shkala                                              |                               | Qo'shimcha shkala                                           |                                 |                                   |
|                                 |                              |                                                               |                                              |                                         | R                                                          | B                             | R                                                           | B                               |                                   |
| 1                               | 2                            | 3                                                             | 4                                            | 5                                       | 6                                                          | 7                             | 8                                                           | 9                               | 10                                |
| 1<br>1-2<br>t=+17<br>.          | 914-<br>grunt<br>reper       | 12,75<br>(1)<br>15,60<br>(2)<br>285<br>(21)<br>-14,98<br>(24) | 27,72(5)<br>30,59(6)<br>287(22)<br>-2/-2(23) | $O_R$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$i$ | 14,2<br>(3)<br>29,2<br>(7)<br>-15,0<br>(13)<br>-14,988(15) | 43(4)<br>31(8)<br>+12<br>(14) | 73,4<br>(11)<br>88,4<br>(9)<br>-15,0<br>(16)<br>-14,987(18) | 99(12)<br>86(10)<br>+13<br>(17) | 59,256<br>59,255<br>-1/-<br>1(19) |
| 2<br>2-1                        |                              | 15,95<br>25,96<br>1001<br>19,36                               | 35,32<br>45,32<br>1000<br>+1/-1              | $O_R$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$i$ | 21,0<br>40,3<br>-19,3<br><br>-19,373                       | 0<br>73<br>-73                | 80,2<br>99,6<br>-19,4<br><br>-19,370                        | 54<br>24<br>+30                 | 59,254<br>59,251<br>-3/-4         |
| 3<br>1-2                        |                              | 18,40<br>30,35<br>1195<br>-7,06                               | 25,46<br>37,42<br>1196<br>-1/-2              | $O_R$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$i$ | 24,4<br>31,4<br>-7,0<br><br>-7,067                         | 22<br>89<br>-67               | 83,6<br>90,7<br>-7,1<br><br>-7,069                          | 72<br>41<br>+31                 | 59,250<br>59,252<br>+2/-2         |
| 4<br>2-1                        |                              | 26,01<br>34,31<br>830<br>+6,53                                | 19,48<br>27,78<br>830<br>0/-2                | $O_R$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$i$ | 30,2<br>23,6<br>+6,6<br><br>+6,527                         | 20<br>93<br>-73               | 89,4<br>82,9<br>+6,5<br><br>+6,529                          | 71<br>42<br>+29                 | 59,251<br>59,249<br>-2/-4         |
| 5<br>1-2                        |                              | 36,32<br>49,37<br>1305<br>+18,73                              | 17,60<br>30,63<br>1303<br>+2/0               | $O_R$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$O_f$<br>$i$ | 42,8<br>24,1<br>+18,7                                      | 87<br>56<br>+31               | 102,1<br>83,4<br>+18,7                                      | 40<br>06<br>+34                 | 59,253<br>59,250<br>-3/-7         |

|                                               |       |                    |                                |                                                                      |                                                                                       |                                                                                  |                                                                  |                                                                |        |
|-----------------------------------------------|-------|--------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------|
| 6                                             | 948-  | 39,01              | 52,31                          | $O_R$                                                                | 45,2                                                                                  | 03                                                                               | 104,4                                                            | 47                                                             | 59,244 |
| 2-1                                           | grunt | 51,28              | 64,55                          | $O_L$                                                                | 58,4                                                                                  | 91                                                                               | 117,7                                                            | 36                                                             | 59,245 |
| $r=+18$                                       | reper | 1227               | 1224                           | $O_r$                                                                | -13,2                                                                                 | -88                                                                              | -13,3                                                            | +11                                                            | +1/-6  |
|                                               |       | -13,28             | +3/+3                          | $O_i$                                                                | -13,288                                                                               |                                                                                  | -13,289                                                          |                                                                |        |
|                                               |       |                    |                                | $i$                                                                  |                                                                                       |                                                                                  |                                                                  |                                                                |        |
| 914-grunt reperdan 948 repera gacha hisoblash |       |                    |                                |                                                                      |                                                                                       |                                                                                  |                                                                  |                                                                |        |
|                                               |       | 5843( $\Sigma 1$ ) | 5840( $\Sigma 2$ )<br>)+<br>+3 | $\Delta O_R$<br>$\Delta O_L$<br>$\Delta O_r$<br>$-O_i$<br>$\Delta i$ | 177,8( $\Sigma 3$ )<br>207,0( $\Sigma 7$ )<br>-<br>29,2(13)<br>-29,453( $\Sigma 15$ ) | 175( $\Sigma 4$ )<br>433( $\Sigma 8$ )<br>-<br>258(14)<br>-29,452( $\Sigma 18$ ) | 533( $\Sigma 41$ )<br>1)<br>562,7( $\Sigma 9$ )<br>-<br>29,6(16) | 383( $\Sigma 12$ )<br>235( $\Sigma 10$ )<br>+148( $\Sigma 7$ ) | -6     |

$(\Sigma 21) + (\Sigma 22) = 11683 (\frac{1}{2} \text{ mm}) = 5841,5 \text{ mm}$   $h_{o,r} = -29,455 (\frac{1}{2} \text{ dm})$

Dalnomer koeffitsienti = 100 o'Ichangan nisbiy balandlik

$h' = -29,455 (\frac{1}{2} \text{ dm}) =$

$L = 0.6 \text{ km}; n = 6 \quad -14,7275 \text{ dm} = -1,4728 \text{ m.}$

$t_{o,r} = +17,8^{\circ}$

Reykalar juftining o'rtacha uzunligiga tuzatma  $\delta_{\eta} = +0,1 \text{ mm.}$

Tuzatilgan nisbiy balandlik  $h = -1.4727 \text{ m.}$

Nivelir asbobini reykalar orasida bir xil masofada o'rnatib, qarash trubasi gorizontol holga keltiriladi, mikrometr barabani 50 sanog'iga qo'yiladi va elevatsiya vinti burab adilak pufakchasining uchlari tasviri tutashtiriladi. Orqadagi reyka asosiy shkalasidan yuqoridagi dalnomer ipi bo'yicha sanoq olinadi va u dala jurnaliga yoziladi (1); pastki dalnomer ipi bo'yicha sanoq olinadi (2). Elevatsiya vintini burab pufakchaning uchlari tasviri yana aniq tutashtiriladi va sanoq barabanini burab bissektor reyka asosiy shkalasining yaqin shtrixiga qaratiladi. Reykadan sanoq jurnalni R grafasiga yoziladi (3), barabandan sanoq esa - B grafasiga yoziladi (4). Keyin truba oldingi reykani asosiy shkalasiga qaratiladi va dalnomer ipidan sanoq (5), pastki ipdan sanoq (6) olinib, jurnalga yoziladi. Adilak pufakchasining holati aniqlab olinib bissektor asosiy shkalaning yaqin shtrixi bilan tutashtirilib reykadan sanoq (7) va barabandan sanoq (8) olinib yoziladi; truba oldingi reyka qo'shimcha shkalasiga qaratiladi va reykadan sanoq (9), barabandan sanoq (10) olinib yoziladi; shundan keyin orqadagi reykani qo'shimcha shkalasiga truba qaratilib reykadan sanoq (11) va barabandan sanoq (12) olinib jurnalga yoziladi. Shu bilan kuzatish stansiyada tugatiladi va hisoblashlarga o'tiladi. Asosiy shkalalardan dalnomer iplari bo'yicha olingan sanoqlar ayirmasi hisoblanadi, ya'ni nivelirdan orqadagi reykagacha va oldingi reykagacha masofalar

hisoblanadi:  $(21)=(2)-(1)$ ;  $(22)=(6)-(5)$ . Bu masofalar farqi hisoblanadi  $(23)=(21)-(22)$ . II klass nivelirlashda stansiyada masofalar farqi 1 m gacha yo'l qo'yiladi, ularni seksiyadagi yig'indisi to'rtlanishi 2 m gacha ruxsat etiladi.

Nazorat nisbiy balandlik o'rtachasi, dalnomer iplari bo'yicha hisoblangan nisbiy balandliklardan topildi:  $(24) = \{[(1)-(5)] + [(2)-(6)]\} : 2$ .

Stansiyadagi nisbiy balandlikni hisoblash uchun avval orqadagi va oldingi reykalarning asosiy shkalalari bo'yicha sanoqlar ayirmasi  $(13)=(3)-(7)$  va baraban bo'yicha sanoqlar ayirmasi  $(14)=(4)-(8)$  topiladi. Keyin reykalarni qo'shimcha shkalalari bo'yicha stansiyadagi nisbiy balandlik topiladi:  $(16)=(11)-(9)$  va baraban bo'yicha:  $(17)=(21)-(10)$ . Nisbiy balandlikni to'la qiymati baraban sanoqlari ayirmalarini reyka bo'yicha sanoklar ayirmasiga ishoralarini hisobga olib qo'shib yoki ayirib topiladi:  $(15)=(13)$  va  $(14)$ ;  $(18)=(16)$  va  $(17)$ . Stansiyada reykalarni asosiy va qo'shimcha shkalalari bo'yicha olingan nisbiy balandliklar ikkala qiymatlari orasidagi farq kuzatishlar va hisoblashlar nazorati bo'lib xizmat qiladi:  $(19)=(15)-(18)$ . Bu farq 0,7 mm (sanoq barabanning 14 ta bo'lagi)dan oshmasligi kerak. Nisbiy balandliklar farqining yig'indisi "nazorat" grafasiga yoziladi. Huddi shu grafaga reykalarning asosiy va qo'shimcha shkalalari tovonlarining farqi yoziladi. Masalan,  $59,256=73,499-14,243$  va  $59,255=88,486-29,231$ . Ular orasidagi farq reykalarning asosiy va qo'shimcha shkalalari bo'yicha olingan nisbiy balandliklar farqiga to'g'ri kelishi kerak. Bundan tashqari stansiyada hisoblangan nollar balandligining farqi bilan reykaning sinashda aniqlangan farqlar bir-biriga teng yoki 0,7 mm dan oshmasligi kerak.

Dala jurnalida nazorat hisoblash o'ntalik stansiyalar bo'yicha bajariladi va u quyidagidan iborat: jurnal chap qismida reykalargacha bo'lgan dalnomer masofalari yig'indisi topiladi:  $\Sigma(21)$  va  $\Sigma(22)$  va ulardan seksiya uzunligi hisoblanadi; o'ng qismida orqadagi va oldingi reykalarning asosiy va qo'shimcha shkalalari bo'yicha sanoqlar yig'indisi, bu sanoqlar ayirmalarining yig'indisi va hamma nisbiy balandliklar yig'indisi olinadi:  $\Sigma(3)$ ,  $\Sigma(4)$ ,  $\Sigma(11)$ ,  $\Sigma(12)$ ,  $\Sigma(7)$ ,  $\Sigma(8)$ ,  $\Sigma(9)$ ,  $\Sigma(10)$ ,  $\Sigma(13)$ ,  $\Sigma(14)$ ,  $\Sigma(16)$ ,  $\Sigma(17)$ ,  $\Sigma(15)$  va  $\Sigma(18)$ . Bu summalar bo'yicha o'rtacha nisbiy balandlikni hisoblash nazorat qilinadi. Reykalarni asosiy va qo'shimcha shkalalari bo'yicha seksiyadagi topilgan nisbiy balandlikning to'la qiymati quyidagicha topiladi: o'ntalik stansiyalar bo'yicha bajarilgan hisoblashlar summasi chiqariladi va o'lgan umumiy nisbiy balandlik qiymati  $\frac{1}{2} dm$  da chiqariladi. Uni  $mm$  ga o'tkaziladi va reykalarning jufti o'rtacha metri uchun

tuzatma kiritiladi va tuzatilgan umumiy nisbiy balandlik  $h$  olinadi. Seksiya uzunligi  $L$  (km) va shtativlar soni  $n$  hisoblanadi.

### 15.3. Tog'li hududlarda va yirik shaharlarda yuqori aniqlikdagi nivelirlashning xususiyatlari

Tog'li hududlarda nivelirlashning xususiyatlari. Tog'li hududlarda nuqtalar orasidagi nisbiy balandliklar qiymatlarini kattaligi, demak nivelirdan reykalargacha masofalarni qisqaligi, hamda nivelirdan orqadagi va oldingi reykalargacha boradigan nurlar balandligining keskin farqi nivelirlashning xarakterli xususiyatlari hisoblanadi. Nivelirlashni bunday sharoitida nivelir yo'lining 1 km uzunligidagi stansiyalar soni qat'iy oshadi; refraksiya xatosi tog'dan tushishda va unga chiqishda sistematik xato tusini oladi. Reykalar metrining o'rtacha qiymatini aniqlash xatosi sezilarli ta'sir etadi.

Tog'li hududlarda ishlashda reykalarni sinash va etalonlash statsionar komporatorda dala ishlaridan oldin, ishlar o'rtasida va oxrida bajarilishi kerak. Dala ishlarining mavsumi davomida har oyda bir marotaba reykalar metr bo'laklarini uzunligi nazorat chizg'ichi yordamida aniqlab borilishi kerak. Ish jarayonida reykalar komplekti metrli bo'lagining o'rtacha qiymati 0,05 mm dan ortiqqa o'zgarsa, reykalar statsionar komparatorda qo'shimcha etalonlanishi kerak. Yo'riqnoma [6] talabiga asosan reykalar komplekti metr bo'lagining o'rtacha qiymati va reykalarning alohida metr bo'laklari qiymati tog'li hududlarda ishlash uchun o'zini nominal qiymatlaridan 0,05 mm va 0,1 mm dan (tegishlicha I va II klass nivelirlashda) oshmasligi kerak.

O'lchangan nisbiy balandliklar uchun oyoqlari reykalar metri uzunligini o'zgarishi va reykalar invar polosasining o'lchashdagi va komporlashdagi, haroratlari farqi uchun tuzatmalar kiritish kerak bo'ladi. Buning uchun har bir reyka invar polosasini chiziqli kengayishini aniqlash kerak va reykalar haroratini kuzatishlar davrida o'lchab borish uchun ularda termodatchiklar o'rnatilishi kerak.

1 km yo'lda stansiyalar sonini kamaytirish uchun oyoqlari uzaytirilgan shtativlar (1,7 -1,8 m) qo'llash tavsiya etiladi va har bir stansiyada mumkin qadar katta nisbiy balandliklarni o'lchab borish kerak, bunda yer yuzidan nur balandligini belgilangan qiymatidan kam bo'lmashligini ta'minlanishi sharti bilan.

Tog'da nivelirlash trassasini shunday tanlash kerakki, bunda nishabligi 0,05 dan oshadigan seksiyalar soni maksimal kamaysin. Nivelir

yo'llarini tog'da mahkamlashda qoya reperlarga ko'proq ahamiyat beriladi. Qulay holatlarda qoya reperlar har 1–2 km da o'rnatiladi, grunt reperlar har 3–4 km, fundamental reperlar esa har 30–40 km da o'rnatiladi. Yerning chuqur yoriqlari yaqinida, yoriqlarni ikki tomonida kamida 2–3 tadan reperlar har 0,5–1,5 km da o'rnatiladi.

**Yirik shaharlarda geometrik nivelirlashning xususiyatlari.** Maydoni  $P > 1000 \text{ km}^2$  bo'lgan yirik shaharlar hududida geodezik balandlik asosi I, II, III va IV klass nivelirlash tarmog'i ko'rinishida quriladi. Maydoni  $400 \leq P \leq 1000 \text{ km}^2$  bo'lgan shaharlarda II–IV klass nivelir tarmoqlari ko'rinishida va  $P < 400 \text{ km}^2$  bo'lganda III va IV klass nivelirlash tarmog'i ko'rinishida quriladi.

I klass nivelirsh tarmog'i odatda 8 – 15 ta yopiq poligonlardan tashkil topuvchi tarmoq sifatida qo'rilib shaharni qurilgan va qurilishdan bo'sh qismlarini egallaydi. II klass nivelirlash tarmog'i I klass poligonlari ichida rivojlantiriladi. II klass nivelir tarmoqlaridagi tugun nuqtalar orasidagi eng katta masofa qurilgan hududda 15 km dan, ochiq hududda 20 km dan oshmasligi kerak; II klass poligonlari ichida III klass nivelir tarmoqlari rivojlantiriladi va ulardagi tugun nuqtalar orasidagi masofa qurilgan hududlarda 10 km gacha, ochiq joylarda 15 km gacha yo'l qo'yiladi; poligonlar perimetri tegishli 25 va 40 km gacha. Nivelir tarmoqlarini yanada zichlash IV klass nivelir yo'llarini o'tkazish yo'li bilan amalga oshiriladi. Yuqori klass reperlari orasidagi yo'llar uzunligi qurilgan hududlarda 2 km gacha, ochiq joylarda 4 km gacha yo'l qo'yiladi. IV klass tarmog'idagi poligonlar perimetri qurilgan hududlarda 8 km gacha, ochiq joylarda 12 km gacha yo'l qo'yiladi.

Shahar hududida quriladigan nivelir tarmoqlarini xarakterli xususiyati ulardagi nivelir belgilarini yer maydoni birligiga nisbatan zichligidan iborat. Bu haqdagi ma'lumot 31-jadvalda berilgan.

31-jadval

| Nivelir klasslari | Reperlar orasidagi katta masofa, km |                         |                               |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|                   | Shaharning markaziy qismida         | Shaharning chet qismida | Shaharning qurilmagan qismida |
| I – II            | 2                                   | 2                       | 3                             |
| III – IV          | 0,2 – 0,3                           | 0,8                     | 0,5 – 2                       |

Turli klasslardagi nivelir yo'llarini mahkamlash uchun har xil tipdagi nivelir belgilari qo'llanadi: devoriy markalar, qoya reperlar va grunt reperlari. Shaharni qurilgan qismida nivelirlashdan 5–7 yil ilgari qurilgan

pishiqlik, beton, temir betondan bo'lgan mustahkam bino va inshootlarda o'rnatiladigan devoriy markalar ko'proq ishlatiladi. Geodezik ishlar hududida o'rnatilgan nivelir belgilari, ularni turiga qaramasdan, shaharning har xil joylarida har xil qiymatga o'z balandligini o'zgartiradi. Buni sabablari ko'p. Ular qatorida yer osti suvlari sathining o'zgarishi, yer osti ishlarini olib borilishi va boshqalarni ko'rsatish mumkin. Shaharning butun yer osti xo'jaligi balandligi bo'yicha boshlang'ich davrda nivelirlangan nivelir tarmog'iga kiradi. Shuning uchun takror nivelirlashda boshlang'ich nivelir belgilarining balandligi o'zgargan bo'lishiga qaramay birinchi nivelirlangan davrdagi o'rtacha balandlik sistemasiga yaqin keladigan qiymatni saqlashga harakat qilinadi. Buning uchun boshlang'ich sath sifatida I-II klass davlat nivelir tarmog'ining shaharni qurilgan qismidan uzoqroqda joylashgan 4 - 5 ta reperlarini o'rtacha balandligini qabul qilish maqsadga muvofiq bo'ladi.

#### 15.4. Nivelirlash balandlik sistemalari haqida tushuncha

Faraz qilaylik boshlang'ich  $O$  nuqtasiga nisbatan  $B$  nuqtasi balandligini geometrik nivelirlash usulida aniqlash kerak bo'lsin (15.2-shakl),  $O$  nuqtasi bunda geoid sirtida olingan bo'lsin.  $O$  va  $B$  nuqtalari orasida o'tadigan nivelir trubasining vazir o'qi nivelir o'rnatilgan nuqtadan o'tadigan shovun chizig'iga perpendikulyar sathiy yuzaga o'rinma bilan tutashiriladi va o'lchashlar orqali nisbiy balandlik  $\Delta h$  topiladi.  $OB$  nivelir yo'li bo'yicha aniqlangan  $\Delta h$  qiymatlar yig'indisini olib  $O$  nuqtasiga nisbatan  $B$  nuqtasining balandligi  $H_B$  aniqlanadi, ya'ni

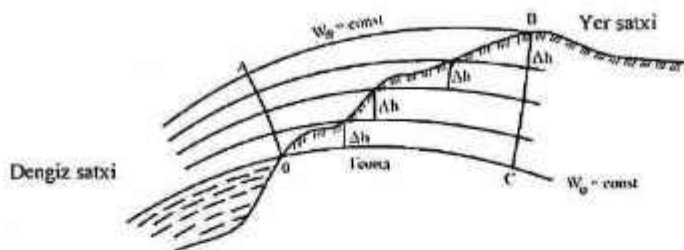
$$H_B = \sum_0^B \Delta h, \quad (15.1)$$

yoki  $\Delta h$  ni elementar qiymatlar  $dh$  lardan iborat deb qabul qilib yozamiz

$$H_B = \int_{(OB)} dh, \quad (15.2)$$

Yuqori aniqlikda nisbiy balandliklarni o'lchashda balandlik  $H_B$  qiymati talangan nivelir yo'lga bog'liq bo'ladi. Haqiqatda,  $OC$  chizig'i og'irlik kuchining potentsiali  $W_0$  ga teng, balandlik hisoblashni boshi  $O$  nuqtasidan o'tuvchi geoid sirti bo'lsin. Og'irlik kuchining potentsiali  $W_B$  ga

teng  $B$  nuqtasidan  $AB$  sathiy yuzani o'tkazamiz. Keyin  $O$  va  $B$  nuqtalaridan  $OC$  va  $AB$  sirtlarga perpendikulyar bo'lgan kuch chiziqlarini o'tkazamiz.



15.2-shakl. Yerning sathiy yuzasi va o'lchangan nisbiy balandlik

Kuch chiziqlari ekvatoridan qutblarga o'tishda og'irlik kuchini o'zgarib borishi va yer qobig'ida anomal massalar joylashgani sababli bir-biriga parallel emas to'lqinsimon chiziqlarni tashkil qiladi. Shu sababli  $OA$  va  $BC$  kesimlar (kuch chiziqlari) o'zaro teng bo'lmaydi, ya'ni ( $|OA| \neq |BC|$ ). Bu demak, agarda nivelir yo'lini  $OAB$  trassa bo'yicha o'tkazilsa  $B$  nuqtasining balandligi  $OA$  kesimga teng, ya'ni

$$H'_B = \int_{(OAB)} dh = OA,$$

nivelir yo'lini  $OCB$  trassa bo'yicha o'tkazilsa  $B$  nuqtasining balandligi  $CB$  kesimga teng, ya'ni

$$H^*_B = \int_{(OCB)} dh = CB,$$

chunki  $AB$  va  $OC$  sathiy yuzalardan yurishda nuqtalar balandligi o'zgarmaydi.

$OA$  va  $CB$  kesimlar o'zaro teng emasligi sababli (15.2-shakl)  $OAB$ ,  $OB$  va  $OCB$  trassalari bo'yicha nivelirlash natijasida  $B$  nuqtasining uch xil qiymatga teng balandligini olamiz. Nuqtaning balandlik bo'yicha bunday noaniqligiga yuqori aniqlikda nivelirlashda yo'l qo'yib bo'lmaydi. Shuning uchun geodezik aniq ishlarda nivelir balandliklarini shunday sistemalari qo'llaniladiki, ularda har qanday nuqtaning balandligi nivelirlash yo'liga bog'liq bo'lmasin.

**Ortometrik balandliklar.**  $B$  nuqtasining ortometrik balandligi (15.2-shakl)  $H^*_B = CB$  deb ushbu nuqtadan o'tuvchi kuch chizig'i bo'yicha geoiddan berilgan nuqtachaga bo'lgan masofaga aytiladi.



Ortometrik balandlik quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$H_B^g = \frac{1}{g_m} \int_0^B g dh, \quad (15.3)$$

bu yerda  $g_m$  - yer sirti bilan geoid orasidagi  $CB$  kuch chizig'i bo'yicha og'irlik kuchining o'rtacha real qiymati;  $g$  - nivelir chizig'i (yo'li) nuqtalarida o'lchangan og'irlik kuchi qiymatlari;  $dh$  - nivelir yo'li nuqtalari orasidagi elementar nisbiy balandliklar.

Geoid sirti va  $B$  nuqtasidagi og'irlik kuchining tegishli potentsiallari  $W_0$  va  $W_B$  orasidagi farq

$$\int_0^B g dh = W_0 - W_B \quad (15.4)$$

qiymatiga ushbu nuqtaning ( $B$ ) geopotensial soni (qiymati) deyiladi. Geopotensial son (potentsiallar farqi) nuqtalar orasidagi masofaga bog'liq emasligi sababli ortometrik balandliklar ham (15.3) nivelirlash yo'liga bog'liq bo'lmaydi.

O'tgan asrning taxminan 40 yillarigacha sobiq Ittifoqda ortometrik balandliklar sistemasi qo'llab kelingan. Keyin esa M.S.Molodenskiy taklifiga binoan u tomonidan ishlab chiqilgan naormal balandliklar sistemasi qabul qilingan.

**Normal balandliklar.** M.S.Molodenskiy Yer sirti bilan geoid sirti orasidagi ko'ch chizig'ining nuqtalarida og'irlik kuchini real qiymati noma'lum ekanligi sababli (15.3) formula bo'yicha ortometrik balandlik aniq qiymatini hisoblash imkoni yo'qligini isbotlab berdi. Bu kamchilikni tuzatish uchun M.S.Molodenskiy normal balandliklar sistemasini qo'llashni taklif etdi va bunda ixtiyoriy  $B$  nuqtasining normal balandligi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$H_B^v = \frac{1}{v_m} \int_0^B g dh, \quad (15.5)$$

bu yerda  $v_m$  - ellipsioddan  $H = (1/2)H_B^v$  balandlikdagi normal og'irlik kuchining qiymati bo'lib, u (1.15), (1.18) formulalar bo'yicha topiladi.

Ko'rsatilgan (1.15) formula bo'yicha normal og'irlik kuchining qiymati  $v_0$  ni elipsoid sirtida topish uchun Gelmertni quyidagi formulasi qabul qilingan

$$v_0 = 987030(1 + 0,005302 \sin^2 B - 0,000007 \sin^2 2B) \text{ mGal.}$$

Bu formula 1909 yilda siqilish koeffitsienti  $\alpha=1:298,2$  ga teng ellipsoid uchun topilgan bo'lib, Krasovskiy ellipsoidi siqilishi koeffitsienti qiymatidan juda kamga farq qiladi.

Ortometrik balandliklarga nisbatan normal balandliklar nazariy jihatdan ishonchli aniqlanadi, chunki (15.5) formuladagi normal og'irlik kuchining qiymati  $v_m$  amalda xatosiz hisoblanishi mumkin, (15.3) formuladagi  $g_m$  ni hisoblashda esa turli gipotezalardan foydalanishga to'g'ri keladi.

Topografik – geodezik va kartografik ishlar amaliyotida (15.5) formula bo'yicha hisoblanadigan normal balandliklar qabul qilingan bo'lib, ular balandligi aniqlanadigan nuqtalarda ellipsoidga normal chiziqlar bo'yicha kvazigeoid sirtidan boshlab o'lanadi.

**Dinamik balandliklar.** Bitta sathiy yuzada yotgan nuqtalar uchun  $W_B = \text{const}$ , geopotensial qiymat  $W_0 - W_B = \int_0^B g \, dh$ , ya'ni (15.3) va (15.5) formulalardagi kasr surati moduli bo'yicha o'zgarmasdir. Ekvatordan qutblarga o'tishda real  $g$  va normal  $v$  og'irlik kuchlari o'zgaradi, ya'ni (15.3) va (15.5) formulalardagi kasr maxrajilari o'zgaradi. Bu degani kenglik bo'yicha cho'zilgan katta ko'llar va suv omborlarining tinch holatdagi suvi sathi o'zining shimoliy va janubiy qismlarida har xil qiymatdagi ham normal va ham ortometrik balandliklar ega bo'ladi. Masalan, Rbinsk suv omborining shimoliy va janubiy qismdagi suv sathini normal balandliklarining farqi 8 mm, Sevan ko'li – 77 mm, Baykal ko'lida esa – 165 mm ni tashkil qiladi. Bu esa gidrotexnik va gidromeliorativ qurilish ishlarida noqulayliklarga olib keladi. Bunday vaqtda nivelir balandligi shunday sistemasi qabul kilinishi kerakki, unda suv satxining, tinch holatidagi balandligi ko'lining har xil kenglikdagi qismi uchun, o'zgarmay qolsin. Balandliklar bunday sistemasini (15.5) formuladagi kasr maxrajini normal og'irlik kuchiga teng doimiy qiymatga keltirilsa masalan,  $v_{45^\circ} - 45^\circ$  o'rta kenglikda. Shunda quyidagi formula bo'yicha hisoblanadigan dinamik balandlik sistemasi olinadi

$$H_B^d = \frac{1}{v_{45^\circ}} \int_0^B g \, dh \quad (15.6)$$

Konkret mintaqada olib borilayorgan ishlarda dinamik balandlik normal balandlikdan katta farq qilmasligi uchun (15.6) formuladagi  $v_{45^\circ}$  o'rniga mintaq (xudud) kengligi  $\varphi$  ga mos bo'lgan  $v_\varphi$  olinishi kerak.

## 15.5. Yuqori aniqlikda nivelirlash natijalarini ishlab chiqishda dastlabki hisoblashlar

Nivelirlash natijalarini matematik ishlab chiqish ikki bosqichga bo'linadi: dastlabki hisoblashlar va nivelir tarmog'ini unda kelib chiqadigan geometrik shartlar uchun tenglash. Dastlabki hisoblashlar o'z ichiga quyidagilarni oladi:

- berilgan masshtabda nivelir tarmog'i chizmasini tuzish va unda boshlang'ich hamda aniqlanadigan reperlar o'rni, ularni bog'lanishi va boshqa ma'lumotlarni ko'rsatish;

- nivelir va reykalarni tadqiq qilish materiallarini qaytadan hisoblab tekshirish;

- nivelir jurnallarida bajarilgan hisoblashlarni nazorat vedomostini tuzish;

- reykarlar o'rtacha metr bo'lagini uni nominal (loyiha) qiymatidan farqi uchun, hamda reykarlar haroratini stansiyalardagi farqi uchun tuzatmalarni hisoblash va bu tuzatmalar bilan alohida o'ng va chap nivelirlash chiziqlarini to'g'ri va teskari yo'llarida o'lchangan nisbiy balandliklarga tuzatmalar kiritish;

- normal balandliklar sistemasiga o'tish uchun o'lchangan nisbiy balandliklarga tuzatmalar hisoblash;

- reykarlar metri o'rtacha uzunligini uni nominal uzunligidan farqi uchun, normal balandliklar sistemasiga utish uchun tuzatmalar bilan tuzatilgan reperlar orasidagi o'lchangan nisbiy balandliklar yakuniy vedomostini tuzish;

- nivelirlash natijalari uchun belgilangan xatolik chegarasini nazorat qilish;

- nivelirlash aniqligini baholash bilan birga, bir kilometr nivelirlash yo'li uchun tasodifiy va sistematik xatolarni hisoblash.

**Reykarlar o'rtacha metri farqi uchun nisbiy balandliklarga tuzatmalar.** Har bir invar reykaning komparatorda etalonlashda asosiy shkalasi 10 - 30, 30 - 50 va qo'shimcha shkalasi 70 - 90, 90 - 110 shtrixlari orasini o'lchashdan bir metr uzunligi  $l_i$  ni to'rttadan qiymati topiladi. Komplektga kiradigan bir juft reykarlar uchun sakkizta uzunlik qiymatlari olinadi va o'rtacha metr uzunligi quyidagicha topiladi

$$l_s = \frac{1}{n} \sum l_i, \quad (15.7)$$

bu yerda  $n - l_1$  qiymatlar soni, keyin esa reyka metri o'rtacha uzunligini nominal qiymatdan farqi quyidagicha aniqlanadi

$$\Delta l_3 = l_3 - 1000,00 \text{ mm.} \quad (15.8)$$

Invar reykalari dala mavsumidan oldin va mavsum o'tkandan keyin etalonlanadi, tog' hududlarida nivelirlashda mavsum o'rtasida ham tekshiriladi. Agarda reyka metrining o'rtacha uzunligi birinchi etalonlash bilan keyingi etalonlash orasida 0,02 yoki 0,03 mm dan, tegishli I va II klass nivelirlash uchun ortiqqa farq qilmasa, ikkala etalonlashda olingan uzunliklar qiymatidan  $l_3$  va  $\Delta l_3$  o'rtachasi olinadi. Agarda farqlari yuqorida keltirilgan qiymatlardan oshsa farq  $\Delta l_3$  nivelirlashni o'rtacha vaqtiga interpolyatsiya qilinadi.

Reyka metri o'rtacha uzunligining farqi uchun o'lchangan nisbiy balandlikka tuzatma  $\delta h_3$  (mm) quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\delta h_3 = \Delta l_3 \cdot h', \quad (15.9)$$

bu yerda tuzatma  $\Delta l_3$  mm da ifodalangan, o'lchangan nisbiy balandlik  $h'$  esa m da. Tuzatilgan nisbiy balandlik quyidagi formuladan aniqlanadi

$$h = h' + \delta h_3. \quad (15.10)$$

**Invar reykalari harorati uchun tuzatma.** Yuqori aniqlikdagi nivelirlash ishlari havo harorati  $-20$  dan  $+50^\circ\text{S}$  oralig'ida bo'lganda bajariladi. Ochiq havoda reykalardan birini invar polosasi Quyosh bilan yoritilgan bo'lsa, ikkinchisi soya bo'lsa, ular haroratining farqi  $5^\circ\text{S}$  va undan ham oshishi mumkin. Reykani metrli bo'laklari uzunligi va tula (3 m) uzunligi komparatorda  $t_1$  haroratda o'lchanadi; stansiyadagi nisbiy balandlik esa boshqa harorat  $t_n$  da o'lchanadi.

Shu sababli o'lchangan nisbiy balandliklarni reykalarni etalonlashdagi va nivelirlashdagi haroratlari farqi uchun tuzatishga to'g'ri keladi. Quyidagi belgilarni qabul qilamiz:  $\alpha'$  va  $\alpha''$  - chiziqli kengayish koeffitsienti,  $t_n'$  va  $t_n''$  - stansiyada nivelirlashda tegishli orqadagi va oldingi reykalari invar polosalarining harorati. Shunda stansiyada o'lchangan nisbiy balandlik  $H = O_p - O_s$  uchun tuzatma quyidagi ga teng

$$\delta h_1 = \alpha'(t_n' - t_1)O_p - \alpha''(t_n'' - t_1')O_s, \quad (15.11)$$

bu yerda  $O_p$  va  $O_s$  - orqadagi va oldingi reykalardan sanoqlar (m).

Turli reykalarda invar polosalarining chiziqli kengayish koeffitsienti ancha katta qiymatga o'zgaradi -  $+0,5 \cdot 10^{-6}$  dan  $+3,5 \cdot 10^{-6}$  gacha. Shuni hisobga olib konkret har bir reyka uchun chiziqli kengayish koeffitsienti

aniqlanishi va uni nisbiy balandlikka tuzatma hisoblashda foydalanishi kerak. Reykalar invar polosalarining haroratini ularda o'rnatiladigan datchiklar bilan o'lchash kerak. Chunki havo harorati bilan quyosh nuri yoritib turgan invar polosasi harorati orasidagi farq  $10\div 15^\circ\text{S}$  gacha yetadi, shuning uchun reyka haroratini o'lchashda termometr – prashdan foydalanish tavsiya etilmaydi.

Harorat uchun tuzatmani tog'li hududlarda, hamda nishobligi 0,01 dan ortiq bo'lgan trassalar bo'yicha nivelirlashda hisobga olish kerak bo'ladi.

To'g'ri va teskari yo'llarda o'lgan nisbiy balandliklar uchun  $\delta h$ , va  $\delta h_i$  tuzatmalarni hisobga olgan holda nisbiy balandlik quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$h = h' + \delta h_s + \delta h_t. \quad (15.12)$$

**Normal balandliklar farqiga o'tish uchun tuzatmalar.** Tajribalar shuni ko'rsatadiki amalda normal balandliklar to'la qiymatini (15.5) formula bo'yicha hisoblash o'rniqa ular ortirmalarni hisoblash qulayroqdir. Shu sababli har bir  $i$  va  $k$  punktlari orasida o'lgan nisbiy balandlik  $h_{ik} = H_k - H_i$  normal balandlik farqiga o'tish tuzatmasi  $f_{ik}$  bilan tuzatiladi, u quyidagi formuladan topiladi

$$f_{ik} = -\frac{1}{v_m}(v_{0k} - v_{0i})H_m + \frac{1}{v_m}(g - v)_m h_{ik}, \quad (15.13)$$

bu yerda  $v_m$  - MDX butun hududi uchun qabul qilingan normal og'irlik kuchining qiymati bo'lib, u  $980000 \text{ mGal}$  ga teng;  $v_{0i}$  va  $v_{0k}$  - qabul qilingan ellipsoid sirtidagi  $i$  va  $k$  nuqtalarda normal og'irlik kuchining qiymatlari;  $H_m$  -  $i$  va  $k$  punktlarining normal balandliklari o'rtacha qiymati;  $g$  - o'lgan og'irlik kuchi;  $v$  - normal og'irlik kuchi;  $(g - v)_m$  -  $i$  va  $k$  punktlarlardagi og'irlik kuchi anomiyalari o'rtachasi;  $h_{ik}$  -  $i$  va  $k$  punktlari orasida o'lgan nisbiy balandlik. Tuzatma  $f$  to'g'ri va teskari yo'llar o'rtacha nisbiy balandligiga kiritiladi.

Hamma tuzatmalar bilan tuzatilgan nisbiy balandliklar yakuniy qiymatlari quyidagicha topiladi

$$h = h' + \delta h_s + \delta h_t + f. \quad (15.14)$$

**Nivelirlash natijalarini nazorat qilish.** Nivelir tarmog'ini tenglashga o'tishdan avval dastlabki hisoblashlar stadiyasida nivelirlash natijalari uchun belgilangan qo'yimlar (dopusk)ni tekshirib chiqish kerak. Bunda  $h = h' + \delta h_s + \delta h_t$  bo'yicha hisoblangan nisbiy balandlikdan foydalanadi.

I klass nivelirlashda o'lchashlar to'g'riligini nazorat qilish uchun nisbiy balandliklarni quyidagi farqlari hisoblanadi:

to'g'ri yo'lni o'ng va chap nivelirlash

$$d_1 = (h_{yuz} - h_{uan})_{to'g'ri};$$

teskari yo'lni o'ng va chap nivelirlash

$$d_2 = (h_{yuz} - h_{uan})_{mec.};$$

o'ng nivelirlashni to'g'ri va teskari yo'llari

$$d_3 = (h_{mpe} - h_{mec})_{yuz};$$

chap nivelirlashni to'g'ri va teskari yo'llari

$$d_4 = (h_{mpe} - h_{mec})_{uan};$$

chap va o'ng nivelirlashni o'rtacha natijalari

$$d_5 = \frac{1}{2}(h_{tug} + h_{mec})_{ung} - \frac{1}{2}(h_{tug} + h_{mec})_{chap};$$

to'g'ri va teskari yo'larni o'rtacha qiymatlari

$$d_6 = \frac{1}{2}(h_{yuz} + h_{uan})_{mpe} - \frac{1}{2}(h_{yuz} + h_{uan})_{mec.};$$

Ayirmalar  $d_1$ ,  $d_2$  va  $d_6$  har birining qiymati quyidagidan oshmasligi kerak

$$d_i \leq 3 \text{ mm } \sqrt{L} \quad (15.15)$$

bir kilometr nivelir yo'lida stansiyalar soni  $n < 15$  bo'lganda va  $4 \text{ mm } \sqrt{L}$   $n > 15$  bo'lganda, bu yerda  $L$  km da olinadi. Farqlar  $d_i$  ni hisoblashda  $h_{mec}$ , ishorasini aynan  $h_{mpe}$ , ishorasiga o'xshash olinadi.

Hamma farqlar  $d_i$  qiymatini har bir seksiyada hisoblashni quyidagi formula bo'yicha nazorat qilib boriladi

$$d_5 = \frac{1}{2}(d_1 - d_2); \quad d_6 = \frac{1}{2}(d_3 + d_4).$$

Yaxlitlash xatosi ta'siridan  $0,1 \text{ mm}$  gacha farq bo'lishi mumkin. II klass nivelirlashda to'g'ri va teskari yo'nalish bo'yicha nisbiy balandliklar farqi quyidagidan oshmasligi kerak  $d = 5 \text{ mm } \sqrt{L}$ , bir kilometr yo'lda stansiyalar soni  $n < 15$ ,  $d = 6 \text{ mm } \sqrt{L}$   $n > 15$  bo'lganda;  $L$  km da.

Dala jurnallarida hisoblashlarni tekshirishda vizirlash nuri uzunligi va nurni yer sirtidan balandligini qo'yimi (dopusk) tekshirib boriladi; bundan tashqari nivelirlash yelkalari tengligi ham har bir stansiya va seksiya uchun tekshiriladi. Dastlabki hisoblashlarni yakunlovchi bosqichi nivelirlash natijalari aniqligini baholashdan iborat.

## 15.6. Yuqori aniqlikdagi nivelirlash natijalarining aniqligini baholash

Yuqori aniqlikdagi nivelirlash natijalarining aniqligini baholash masalalariga ko'pchilik olimlarning ilmiy ishlari bag'ishlangan. Bu masalada fransuz olimi Lallemani 1912 yili e'lon qilgan formulari keng qo'llanib kelingan. Uzunligi  $L$  (km) bo'lgan boshlang'ich va oxirgi punktlar orasida o'tkazilgan nivelir yo'li nisbiy balandligini o'rta kvadratik xatosi quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin

$$m^2 = \eta^2 L + \sigma^2 L, \quad (15.16)$$

bu yerda  $\eta$  va  $\sigma$  - 1 km ikkilangan nivelir yo'li uchun tasodifiy va sistematik o'rta kvadratik xatolar.

O'zunligi  $L$  km ga teng ikki qo'shni reperlar orasidagi nivelir yo'li  $n$  ta har biri  $r$  km li seksiyalardan iborat bo'lsin va  $d_i$  har bir seksiyadagi to'g'ri va teskari yo'llar nisbiy balandliklarining ayirmasi bo'lsin.

Shunda (15.16) formulaga asosan yozamiz

$$\left. \begin{aligned} \eta^2 r_1 &= \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 - \sigma^2 r^2; \\ \eta^2 r_2 &= \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 - \sigma^2 r^2; \\ &\dots \dots \dots \\ \eta^2 r_n &= \left(\frac{d_n}{2}\right)^2 - \sigma^2 r^2. \end{aligned} \right\} \quad (15.17)$$

Sistematik xatolari bir-biriga o'xshash oshib boruvchi katta uzunlikdagi  $L_i$  to'g'ri va teskari nivelir yo'llaridagi nisbiy balandliklar farqini  $s_i$  bilan belgilaymiz. Bu yo'llarning bosh va oxirgi punktlari orasidagi nisbiy balandliklari farqiga sistematik xato tasodifiy xatolarga nisbatan ko'proq ta'sir etadi. Shu sababli tasodifiy xatolarni hisobga olmasak har bir yo'l  $L_i$  uchun quyidagilarni yozish mumkin



$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{s_1}{2}\right)^2 &= \sigma_1^2 L_1^2; & \sigma_1^2 &= \frac{s_1^2}{4L_1^2}; \\ \left(\frac{s_2}{2}\right)^2 &= \sigma_2^2 L_2^2; & \sigma_2^2 &= \frac{s_2^2}{4L_2^2}; \\ &\dots & \dots & \\ \left(\frac{s_n}{2}\right)^2 &= \sigma_n^2 L_n^2; & \sigma_n^2 &= \frac{s_n^2}{4L_n^2}. \end{aligned} \right\} \quad (15.18)$$

Shu yo'l bilan  $L_i$  uchastkalar uchun olingan  $\sigma_i$  xatoliklar ular uzunliklariga proporsional bo'lgan turli vaznlarga ega bo'ladi. Umumiy nivelir yo'l  $L = \sum L_i$  uchun bu xatolikni vaznli o'rta qiymati quyidagiga teng

$$\sigma^2 = \frac{1}{4 \sum L} \sum \frac{s^2}{L}. \quad (15.19)$$

$\sigma^2$  qiymatini (15.17) formulaga qo'yib  $N$  ta nivelir chiziqlarini har bir  $r$  seksiyasi uchun yozib, hamda umumiy nivelir tarmog'i uchun  $\sum r = \sum L$  ekanligini hisobga olib Lalleman formulasini keltirib chiqaramiz

$$\eta^2 = \frac{1}{4} \left[ \frac{\sum d^2}{\sum L} - \frac{\sum r^2}{(\sum L)^2} \sum \frac{s^2}{L} \right]. \quad (15.20)$$

10 tadan kam bo'lmagan yopiq poligonlardan iborat tarmoqdagi sistematik xato  $\sigma$  ni hisoblash uchun Lalleman yana quyidagi formulani taklif qildi

$$\sigma_R = \frac{1}{\sum L^2} \left[ \frac{1}{2} \sum W^2 - \eta^2 \sum L \right], \quad (15.21)$$

bu yerda  $W$  - poligonlardagi bog'lanmaslik (sathiy yuzalarni parallel emasligi uchun ortometrik tuzatmalarni hisobga olgan holda),  $\sum W$  ga teng tarmoqni o'z ichiga oluvchi tashqi poligon bog'lanmasligini birga qo'shib.

Lalleman formulasi ayrim kamchiliklarga ega, u  $\sigma$  va  $\eta$  xatoliklarni kamaytirilgan qiymatini beradi, (15.16) formula esa katta uzunlikdagi nivelir yo'llarida xatolar jamlanishi qonunlarini hisobga olmaydi va shu sababli nivelirlashni real aniqlikni tavsiflamaydi.

Lalleman formulalaridan tashqari yana ko'pgina formulalar mavjud. Lekin ular ham amalda Lalleman formulalari beradigan natijalarni beradi,

chunki ular hammasi bir xil boshlang'ich ma'lumotdan, ya'ni to'g'ri va teskari yo'llar nisbiy balandliklari farqidan foydalanadi.

I klass nivelirlashda yo'riqnoma talabiga asosan nivelirlashni 1 km uzunlikdagi yo'li uchun o'rtacha nisbiy balandlikni tasodifiy o'rta kvadratik xatosi quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi

$$\eta^2 = \frac{1}{4n} \left[ \frac{d_5^2}{r} \right] \quad (15.22)$$

va

$$\eta^2 = \frac{1}{4n} \left[ \frac{d_6^2}{r} \right], \quad (15.23)$$

II klass nivelirlashda esa:

$$\eta^2 = \frac{1}{8n} \left[ \frac{d^2}{r} \right], \quad (15.24)$$

yuqoridagi formulalarda  $n$  - har birining uzunligi  $r$  km teng bo'lgan seksiyalar soni;  $d_5$  va  $d_6$  farqlar yuqorida keltirilgan formulalar bo'yicha topiladi,  $d = h_{mgr.} - h_{mec.}$

I va II klass nivelirlashni 1 km yo'li uchun o'rtacha nisbiy balandlikni sistematik o'rta kvadratik xatosi  $\sigma$  quyidagi formuladan topiladi

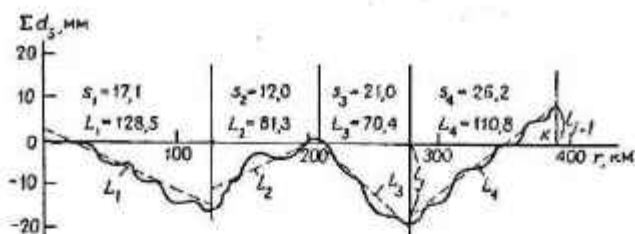
$$\sigma^2 = \frac{1}{4[L]} \left[ \frac{s_i^3}{L_i} \right], \quad (15.25)$$

bu yerda  $[L]$  - tarmoqdagi barcha nivelir yo'llari uzunligi yig'indisi;  $s_i$  va  $L_i$  quyidagi tartibda tuziladigan grafik bo'yicha aniqlanadi. Absissa o'qi bo'yicha tanlangan masshtabda  $L = \sum r_i = OK$  uzunlikni tashkil qiluvchi nivelir yo'lidagi seksiyalar uzunligi  $r_i$  (15.3-shakl), ordinata bo'yicha esa - seksiyalar bo'yicha  $d_5$  ( $d_6$ ) farqlarni yig'indisi, ya'ni

$$\Delta_1 = d_5^{(1)}; \Delta_2 = d_5^{(1)} + d_5^{(2)}; \Delta_3 = d_5^{(1)} + d_5^{(2)} + d_5^{(3)} + \dots,$$

$$\Delta_i = \sum_1^i d_5^{(i)}, (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

quyiladi.



15.3-shakl. Yuqori aniqlikda nivelirlashda sistematik xatolarni to'planish grafigi.

Grafikda hosil bo'lgan egri (to'lqinsimon) chiziqni ayirmalar  $d_5$  ( $d_6$ ) bir xil yig'ilishi bo'yicha bo'laklarga bo'lib chiqiladi va har bo'lakdagi egri chiziqlarni to'g'ri siniq chiziqlar  $L_1, L_2, \dots, L_n$  bilan almashtiriladi (approksimatsiya qilinadi), 15.3-shakldagi uziq chiziqlar. Bu grafikdan foydalanib ayrimalar  $d_5$  ( $d_6$ ) bir xil yig'ilgan bo'laklar uzunligi  $L_i$ , hamda bu chiziqlar uchlari ordinatalarining  $l$  ayirmalari  $s_i = l_{i+1} - l_i$  topiladi va ular (15.25) formulani yechishda foydalanadi.

Misol sifatida (15.22) va (15.23) formulalar bo'yicha 1 km nivelir yo'li uchun tasodifiy xatolar  $\eta$  va (15.25) formula bo'yicha sistematik  $\sigma$  xatolarni hisoblab chiqamiz (bunda 15.3-shakldan ham foydalanadi). Hisoblash [18] dan olingan quyidagi 32-jadval bajarilgan. I klass nivelirlash tarmog'ida nisbiy balandliklarni aniqligi quyidagi o'rta kvadratik xatolar bilan tavsiflanadi:  $\eta \approx 0,5 \text{ mm/km}$ ;  $\sigma \approx 0,05 \text{ mm/km}$ .

II klass uchun esa  $\eta \approx 1,2 \text{ mm/km}$ ;  $\sigma \approx 0,2 \text{ mm/km}$ .

32-jadval

| $d$   | $n$ | $\frac{1}{4n}$  | $\frac{1}{4[L]}$ | $\left[\frac{d^2}{r}\right]$ | $\left[\frac{s^2}{L}\right]$ | $\eta, \text{ mm}$ | $\sigma, \text{ mm}$ |
|-------|-----|-----------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------|
| $d_5$ | 132 | $\frac{1}{528}$ | $\frac{1}{1995}$ | 70,94                        | 8,27                         | 0,38               | 0,06                 |
| $d_6$ | 132 | $\frac{1}{528}$ | $\frac{1}{1995}$ | 131,88                       | 41,57                        | 0,50               | 0,04                 |

I km nivelir yo'li uchun tasodifiy va sistematik xatolarni qo'shma ta'siri qiymatini yopiq poligonlardagi bog'lanmasliklar bo'yicha quyidagi formuladan topish mumkin

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \frac{W^2}{P} \right]}, \quad (15.26)$$

bu yerda  $N$  - poligonlar soni (tarmoqdagi);  $W$  - poligonlardagi bog'lanmasliklar qiymati;  $P$  - poligonlar perimetri, km da. I – II klass nivelir tarmoqlarida poligonlar bog'lanmasligi bo'yicha  $\mu$  qiymati quyidagicha olingan  $\mu = 1,4 \div 1,8 \text{ mm/km}$ .

Tashqi ko'rinishdan (15.26) formula bo'yicha hisoblangan xatolik nivelirlash aniqligini baholashda ishonchli natijani beradi, chunki  $W$  bog'lanmasliklar nivelirlashdagi barcha xatolar manbaalarini ta'siridan kelib chiqqan bo'ladi. Bu amalda to'g'ri bo'lishi mumkin, agarda poligon tomonlarini nivelirlab chiqish uchun qisqa vaqt sarflanib, boshlang'ich reper balandligi nivelirlash davrida o'zgarmay qolsa.

Yakka nivelir yo'llarida (seksiyada) yo'l uzunligi  $r$  km bo'lib u to'g'ri va teskari yo'nalishlarda nivelirlangan bo'lsa 1 km yo'l uchun tasodifiy o'rta kvadratik xato  $\eta_{km}$  quyidagi formuladan topilishi mumkin

$$\eta_{km} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}$$

bu yerda  $d$  - to'g'ri va teskari nivelirlashdagi nisbiy balandliklar ayirmasi;  $n$  - seksiyalar soni.

### 15.7. I – II klass nivelirlash tarmoqlarini normal balandliklar sistemasida tenglash

O'lchashlarda xatolik muqarrarlighi sababli nivelir tarmoqlarida geometrik bog'lanmaslik kelib chiqadi va ularni tenglash talab qilinadi.

I- II klass nivelirlashni har bir  $k$  punkti uchun nivelirlash davomida o'lchangan og'irlik kuchi  $g$  orqali geopotensial sonlari

$$W_0 - W_k = \int_0^k g \, dh, \quad (15.27)$$

aniqlanadi va ularni eng kichik kvadratlar usulida tenglashdan, ular vaznini hisobga olgan holda, tuzatmalar hisoblash kerak bo'ladi. Nivelir punktlarining tenglangan geopotensial sonlarini topib, ularni normal yoki dinamik balandliklarini tegishli (15.5) va (15.6) formulalar bo'yicha hisoblash qiyin emas. Buning uchun har bir punkt uchun normal og'irlik kuchining qiymati  $v_m$  yoki  $v_{45}$  aniqlanib ushbu formulalarga qo'yilishi kerak bo'ladi.

I – II klass nivelirlash tarmoqlarini tenglash normal balandliklar sistemasida bajariladi, bunda bevosita o'lchangan qiymatlar uchun o'lchangan nisbiy balandliklar (15.14) olinadi.

**Boshlang'ich ma'lumotlarni tayyorlash.** Nivelir tarmog'ini tenglashga kirishishdan avval tarmoq chizmasini tuzib unda boshlag'ich va tugun punktlari ko'rsatiladi; boshlang'ich punktlar balandligi va (15.14) formula bo'yicha hisoblangan nisbiy balandliklar, hamda nivelir yo'llari uzunligi yoki stansiyalar soni ko'rsatilgan vedomostni tuzish kerak bo'ladi.

**O'lchangan nisbiy balandliklar vaznini aniqlash.** Aslida har bir nivelir yo'li  $L$  uchun o'lchangan nisbiy balandlik vazni quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi kerak

$$P = \frac{c}{m_L^2}, \quad (15.28)$$

bu yerda  $c$  - nivelir tarmog'i uchun doimiy qiymat,  $m_L^2$  - o'lchangan nisbiy balandlik empirik dispersiyasi (o'rta kvadratik xato). Lekin har bir nivelir yo'li uchun sistematik xato ta'sirini aniqlash imkoniyati yo'qligi uchun  $m$  ishonchli qiymatini ham topib bo'lmaydi.

Shuni hisobga olib o'lchangan nisbiy balandlik vazni quyidagi taqribiy formuladan topiladi

$$p = \frac{c}{L} \quad \text{yoki} \quad p = \frac{c}{n} \quad (15.29)$$

bu yerda  $L$  - nivelir yo'lining uzunligi, km;  $n$  - nivelir yo'lidagi stansiyalar soni.

I - II klass nivelir tarmoqlarini birgalikda tenglashda o'lchangan nisbiy balandliklar tegishli vaznlarining aniq nisbatlarini belgilash kerak bo'ladi, bunda yo'l uzunligi yoki undagi stansiyalar sonidan foydalanmaslik kerak. Buning uchun quyidagicha ish tutish mumkin.

I va II klass nivelir yo'llaridagi nisbiy balandliklarning vazni (15.29) formula bo'yicha hisoblanadi, lekin II klass yo'l uzunligi yoki undagi stansiyalari sonini I klass yo'lini ekvivalent uzunligi yoki stansiyalar soni bilan almashtiriladi, ya'ni

$$L_2 = \alpha L_{II} \quad \text{yoki} \quad n_2 = \alpha n_{II}, \quad (15.30)$$

bu yerda  $\alpha$  - ekvivalentlik koefitsienti, u quyidagiga teng

$$\alpha = V_{\text{cek}, II}^2 / V_{\text{cek}, I}^2, \quad (15.31)$$

bu yerda  $V_{\text{cek}, I}$  va  $V_{\text{cek}, II}$  - teng uzunlikdagi I va II klass nivelirlash yo'llaridagi chekli xatolar.

$$V_{\text{cek}, I} = 3 \text{ mm } \sqrt{L} \quad \text{va} \quad V_{\text{cek}, II} = 5 \text{ mm } \sqrt{L}$$

bo'lganda  $\alpha \approx 3$  topamiz.

Keltirilgan (15.30) formuladagi ekvivalentlik koeffitsienti  $\alpha$  ni aniqroq hisoblashni quyidagigicha bajarish mumkin. Bitta hududda joylashgan faqat I yoki II klass poligonlari bog'lanmasliklari  $w_I$  va  $w_{II}$  ni foydalanib 1 km yo'l uchun o'rta kvadratik xatolar tegishli qiymati topiladi

$$\mu_I = \sqrt{\frac{1}{N_I} \left[ \frac{w_I^2}{p_I} \right]}, \quad \mu_{II} = \sqrt{\frac{1}{N_{II}} \left[ \frac{w_{II}^2}{p_{II}} \right]}, \quad (15.32)$$

bu yerda  $p_I$  va  $p_{II}$  - I va II klass poligonlarining parametri, km. Har bir klass poligonlarini soni  $N=15-20$  dan kam bo'lmashligi maqsadga muvofiq.  $\mu_I$  va  $\mu_{II}$  lardan foydalanib proporsionallik koeffitsientini aniqlaymiz

$$\alpha = \frac{p_I}{p_{II}} = \frac{\mu_I}{\mu_{II}}. \quad (15.33)$$

**Nivelir tarmoqlarini parametrik usulda tenglash.** Kompyuterda nivelir tarmog'ini tenglashda parametrik usulni qo'llash maqsadga muvofiq bo'ldi. Bunda hisoblash ishlari qo'yidagi tartibda bajariladi.

**Tugun punktlar taqribiy balandliklarini hisoblash.** Tuzatmalar tenglamalaridagi ozod hadlar soni mumkin qadar kamroq bo'lishi uchun tugun punktlarning taqribiy balandligini mumkin qadar aniqroq topilishi talab qilinadi. Xar bir tugun punktning taqribiy balandligi uning hamma qiymatlaridan vaznli arifmetik o'rta  $H'_k$  sifatida balandligi ma'lum punktlardan balandlikni uzatish bilan hisoblanadi, ya'ni

$$H'_k = \frac{p H_k^0}{\Sigma p}, \quad (15.34)$$

bu yerda

$$H'_k = H'_i + h'_{ik}, \quad (15.35)$$

$p$  -  $i$  va  $k$  punktlari orasidagi nivelir yo'lining nisbiy balandligi  $h_{ik}$  vazni.

**Tuzatmalar tenglamalarini tuzish.**  $i$  va  $k$  qo'shni tugun punktlar orasida o'lgangan nisbiy balandlik  $h'_{ik}$  bo'lsin;  $v_{ik} - \Sigma p v^2 = \min$  shartiga asosan tarmoqni tenglashdan topiladigan shu nisbiy balandlikka tuzatma;  $H'_i$  va  $H'_k$  - ushbu punktlarning taqribiy balandliklari;  $x_i$  va  $x_k$  - tenglashdan ular uchun tuzatmalar.  $i$  va  $k$  punktlari balandliklari farqi uchun yuqoridagi belgilarni hisobga olib yozamiz

$$h'_{ik} + v_{ik} = (H_k^0 + x_k) - (H_i^0 + x_i) \quad (15.36)$$

bundan

$$v_{ik} = -x_i + x_k + (H_k^0 - H_i^0) - h'_{ik}, \quad (15.37)$$

Tenglama ozod hadini  $l_{ik}$  bilan belgilab

$$l_{ik} = (H_k^0 - H_i^0) - h'_{ik}, \quad (15.38)$$

(15.37) tenglamani yakuniy ko'rinishga keltiramiz

$$v_k = -x_i + x_k + l_{ik} + \dots p_k \text{ vazni bilan.} \quad (15.39)$$

(15.39) tuzatmalar tenglamasi nivelir tarmog'ini tashkil qiluvchi hamma yo'llar uchun tuziladi. Bunday tenglamalar soni nisbiy balandligi  $h_{ik}$  o'lgan chiziqlar (yo'llar) soniga teng.

Tuzatmalar tenglamasi  $v_k$  ni matritsa ko'rinishida yozamiz

$$V = AX + l, \quad (15.40)$$

bu yerda  $V$  - o'lgan nisbiy balandliklarga tuzatmalar  $v_k$  vektor - ustuni;  $X$  - tugun punktlar taqribiy balandliklari  $H_k^0$  ga tuzatmalar  $x_k$  - vektor - ustuni;  $A$  - (15.39) tuzatmalar tenglamasi koeffitsientlari matritsasi;  $l$  - ozod hadlar  $l_{ik}$  vektor - ustuni.  $P$  bilan  $V$  tuzatmalar tenglamasining diagonal matritsasi vaznlarini belgilaymiz.

**Normal tenglamalarni tuzish.** Yakuniy balandliklarni hisoblash.  $V$  tuzatmalar tenglamalaridan ular vazni  $P$  ni hisobga olib normal tenglamalar sistemasiga o'tamiz

$$NX + L = 0, \quad (15.41)$$

bu yerda

$$N = A^T P A; \quad (15.42)$$

$$L = A^T P l, \quad (15.43)$$

bu yerda  $N$  - normal tenglamalar simmetrik matritsasi koeffitsientlari;  $X$  - taqribiy balandliklar uchun aniqlanadigan tuzatmalar vektor - ustuni;  $A^T$  - tuzatmalar tenglamalarini transponirlangan matritsa koeffitsientlari;  $L$  - normal tenglamalar ozod hadlarining vektor - ustuni. Normal tenglamalarning soni tarmoqni tenglashdan balandliklari aniqlanadigan tugun punktlari soniga teng. (15.41) tenglama har ikkala qismini chapdan normal tenglamalar koeffitsienti  $N$  matritsasiga teskari  $N^{-1}$  matritsaga ko'paytirib tugun punktlar balandligiga noma'lum bo'lgan tuzatmalar  $x_k$  vektori  $X$  ni topamiz

$$X = -N^{-1}L = -QL, \quad (15.44)$$

bu yerda  $Q = N^{-1}$  vaznli koeffitsientlar matritsasi

$$N^{-1} = Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \dots & Q_{nn} \end{pmatrix}, \quad (15.45)$$



bu yerda  $n$  - tarmoqdagi tugun nuqtalar soni.

Tarmoqni tenglashdan tugun punktlarning yakuniy balandliklari quyidagi formuladan aniqlandi

$$H_k = H_k^0 + x_k, \quad (15.46)$$

bu yerda  $H_k^0$  - punktning taqribiy balandligi;  $x_k$  - tenglashdan aniqlangan tuzatma.

Nazorat maqsadida tugun punktlar yakuniy balandliklarini yana bir marotaba boshqa yo'lda aniqlash kerak. Bu maqsadda (15.39) formula bo'yicha o'lchangan nisbiy balandliklarga tuzatmalar  $v_{ik}$  hisoblanadi, keyin esa tenglangan nisbiy balandlik quyidagicha topiladi

$$h_{ik} = h'_{ik} + v_{ik}. \quad (15.47)$$

Tenglangan nisbiy balandliklardan foydalanib tugun punktlarning tenglangan balandliklarini ikkinchi marta topiladi

$$H_k = H_i + h_{ik}. \quad (15.48)$$

Bitta punktning (15.46) va (15.48) formulalar bo'yicha aniqlangan balandligining farqi yaxlitlashlar xatosidan oshmasligi kerak.  $H_i$  va  $H_k$  tenglangan balandlikka ega  $i$  va  $k$  tugun punktlari orasidagi oraliq punktlarining tenglangan balandligi  $H_j$  quyidagicha topiladi

$$H_j = H_i - \frac{s_{ij}}{s} \omega \quad (15.49)$$

yoki

$$H_j = H_i - \frac{n_{ij}}{n} \omega, \quad (15.50)$$

bu yerda  $s$  - tugun punktlar orasidagi nivelir yo'li uzunligi;  $n$  - yo'ldagi stansiyalar soni;  $s_{ij}$  va  $n_{ij}$  - balandligi topiladigan  $j$  punktni tugun punkt  $i$  dan masofasi va stansiyalar soni;  $\omega = \sum h' - (H_k - H_i)$  - nivelir yo'lidagi bog'lanmaslik.

**Tugun punktlarning tenglangan balandliklari aniqligini baholash.** Tarmoqni tenglashdan olinadigan vazn birligining o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum P v_{ik}^2}{n - k}}, \quad (15.51)$$

bu yerda  $v_{ik}$  -  $P$  vaznga ega o'lchangan nisbiy balandliklar  $h'_{ik}$  ga tuzatma;  $n$  - tarmoqdagi nivelir yo'llari soniga teng tuzatmalar soni;  $k$  - balandligi aniqlanadigan tugun punktlar soni.

Istalgan  $i$  tugun punkti tenglangan balandligi  $H_i$  ning teskari vazni vazn matritsasini tegishli diagonal elementiga teng, ya'ni

$$\frac{1}{P_i} = Q_{ii} \quad (15.52)$$

Tugun punktlar tenglangan  $H_i$  balandligining o'rta kvadratik xatosi quyidagi teng

$$m_{H_i} = \mu \sqrt{Q_{ii}}. \quad (15.53)$$

$i$  va  $k$  tugun punktlarining tenglashtirilgan balandliklari farqini topish o'rta kvadratik xatoligi quyidagi formuladan topiladi

$$m_{h_{ik}} = \mu \sqrt{Q_{ii} - 2Q_{ik} + Q_{kk}} \quad (15.54)$$

## 16-BOB. TRIGONOMETRIK NIVELIRLASH

### 16.1. Umumiy ma'lumotlar

Tekis va qisman notekis joylardagi geodezik punktlarning balandligi geometrik nivelirlashdan aniqlanadi. Tog' va tog' oldi hududlarda esa trigonometrik nivelirlash keng qo'llanadi; bunda punktlar balandliklarining farqi ular orasidagi masofalar va o'lchangan zenit masofalar  $Z$  yoki og'ish burchaklari  $v=90^\circ-Z$  dan foylanib hisoblanadi.

Trigonometrik nivelirlash usuli ko'p vaqtlardan buyon ma'lum. Bu usul mehnat unumdorligi bo'yicha ustun hisoblanadi. Lekin o'lchashlar natijalarining aniqligi bo'yicha geometrik nivelirlashdan pastda turadi. Aniqlik bo'yicha bu usulni salbiy tomoni, unga vertikal refraksiya hamda geodezik punktlarda shovun chizig'ining og'ishi xatolarini ta'siridadir, ular ayniqsa tog'li hududlarda katta qiymatlarga ega bo'ladi. Punktlar orasidagi masofalar qancha katta bo'lsa refraksiyaning ta'siri shuncha oshib boradi; shuni hisobga olib qoniqarli natijalarni olish uchun nisbiy balandliklarni mumkin qadar kaltaroq tomonlar bo'yicha aniqlash tavsiya etiladi ( $s \leq 10$  km).

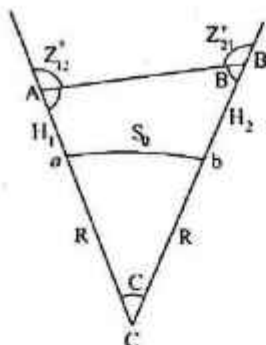
Punktlarning geodezik balandliklari ayirmasini hisoblash uchun refraksiya va shovun chizig'ining og'ishi ta'sirini nolga teng deb qabul qilib dastlabki formulalarni topamiz.

Quyidagi belgilarni kiritamiz:  $H_1 = aA$  va  $H_2 = bB - ab$  ellipsoidi sirtidan  $AC$  va  $BC$  normallar bo'yicha hisoblanadigan  $A$  va  $B$  nuqtalarning geodezik balandligi (16.1-shakl);

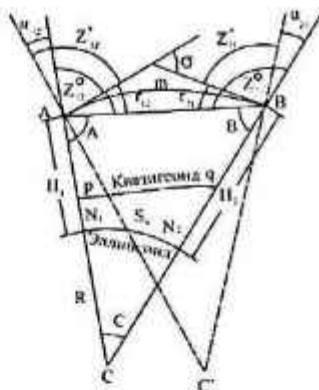
$S_0 = ab$  -  $A$  nuqtada ellipsoid  $AB$  normal qirqimining yoy uzunligi;  $R$  - ushbu qirqimning egrilik radiusi;  $z_{12}^0$  va  $z_{21}^0$  -  $A$  nuqtasidagi  $AC$  va  $B$  nuqtasidagi  $BC$  normallarga tegishli  $B$  va  $A$  nuqtalarining nazariy (geodezik) zenit masofalari.

$ABC$  uchburchagining burchaklarini  $A$ ,  $B$ ,  $C$  bilan belgilab tangenslar teoremasiga asosan yozamiz

$$\frac{BC - AC}{BC + AC} = \operatorname{tg} \frac{A - B}{2} \operatorname{ctg} \frac{A + B}{2}. \quad (16.1)$$



16.1-shakl. Пунктларнинг геодезик баландликлари ва ўзаро тескари назарий зенит масофалар



16.2-shakl. Shovun chizig'ining og'ishi refraksiya va kvazigeoid nisbiy balandligi ta'sirini hisobga olgan holda ikki tomonlama trigonometrik nivelirlash sxemasi

Masofa  $s \leq 20$  km bo'lganda  $ab$  normal qirqim yoy uzunligini katta aniqlik bilan o'rta radiusi  $R$  bo'lgan aylana yoy uzunligiga teng deb qabul qilish mumkin. Shunda quyidagilarni yozish mumkin

$$aC = bC = R; AC = R + H_1;$$

$$BC = R + H_2; A + B = 180^\circ - C.$$

Bu qiymatlarni (16.1) formulaga qo'yib topamiz

$$\frac{H_2 - H_1}{2R + (H_1 + H_2)} = \lg \frac{A - B}{2} \lg \frac{C}{2}$$

bundan

$$H_2 - H_1 = 2R \left( 1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) \lg \frac{C}{2} \lg \frac{A - B}{2}. \quad (16.2)$$

Ellipsoid qirqimi  $ab$  ni  $R$  radiusga ega aylana yoyi bilan approksimatsiya qilib ellipsoid normallari orasidagi markaziy burchakni topamiz

$$C = \frac{s_0}{R} \rho \quad (16.3)$$

$C$  burchagi kichikligini hisobga olib quyidagini yozish mumkin

$$\lg \frac{C}{2} = \frac{C}{2} + \frac{C^3}{24} = \frac{s_0}{2R} + \frac{s_0^3}{24R^3}$$

Bunda  $s_0 \leq 20$  km bo'lsa yuqoridagi  $\frac{s_0^3}{24R^3}$  hadni kichik bo'lganligi uchun hisobga olmaslik mumkin va shunda

$$\operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2} = \frac{s_0}{2R} \quad (16.4)$$

(16.4) ifodani (16.2) formulaga quyib  $s_0 \leq 20$  km uchun nuqtalar geodezik balandliklari farqi uchun boshlang'ich formulalarni olamiz

$$H_2 - H_1 = s_0 \left( 1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) \operatorname{tg} \frac{A - B}{2}$$

yoki

$$H_2 - H_1 = s \operatorname{tg} \frac{A - B}{2} \quad (16.5)$$

bu yerda

$$s = s_0 \left( 1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) \quad (16.6)$$

Yuqoridagi (16.5) formulada  $s$  -  $A$  va  $B$  nuqtalar orasidagi ellipsoid sirtidan o'rtacha balandlikka keltirilgan masofa.

$A$  va  $B$  burchaklarni ham geodezik (nazariy) zenit masofalar  $z_{12}^0$  va  $z_{21}^0$  singari o'lchash imkoni yo'q. Shu sababli ularni bevosita joyda o'lchangan zenit masofa  $z$  orqali ifodalash kerak bo'ladi. Bunda ikkita muhim holat e'tiborga olinishi kerak. Birinchidan, joyda zenit masofalarni o'lchashda teodolit vertikal o'qi  $AC$  ( $BC$ ) ellipsoid sirtiga normal chiziq bilan emas, balkim shovun chizig'i  $AS'$  ( $BC'$ ) bilan tutashadi (16.2-shakl). Keltirilgan (16.5) formulaga asosan teodolit o'qi normal chiziq  $AC$  ( $BC$ ) bilan tutashgan bo'lishi kerak. Ikkinchidan,  $A$  va  $B$  nuqtalari orasidagi yorug'lik nuri atmosfera zichligini har xil bo'lishidan  $AB$  to'g'ri chiziq bo'yicha emas, balkim murakkab egri  $AmB$  bo'yicha o'tib, ushbu nuqtalarda vatar  $AmB$  va unga o'rinnmalar orasidagi vertikal refraksiya burchaklari  $r_{12}$  va  $r_{21}$  ni hosil qiladi.

Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  nuqtalari orasidagi nisbiy balandlikni aniqlashda bir tomonli yoki ikki tomonli trigonometrik nivelirlash qo'llanadi. Birinchisida zenit masofa  $z_A$  tomonni (chiziqni) faqat bir uchida o'lchanadi, ya'ni  $A$  yoki  $B$  nuqtasida; ikkinchisida  $A$  va  $B$  nuqtalarida bir-biriga teskari zenit masofalar  $z_A$  va  $z_B$ , o'lchanadi, bunda ular odatda turli kunlarda o'lchanadi.

Quyidagi belgilarni qabul qilamiz:  $u_{12}$  va  $u_{21}$  -  $A$  va  $B$  nuqtalaridan o'tuvchi vertikal tekislikda yotuvchi va shu nuqtalardagi shovun chizig'ini og'ishi;  $z'_{12}$  va  $z'_{21}$  - punktlar markaziga keltirilgan  $A$  va  $B$  nuqtalardagi yorug'lik nuriga o'rinnmalar va shovun chiziqlari orasidagi to'g'ri va teskari

zenit masofalar;  $r_{12}$  va  $r_{21}$  - ushbu nuqtalardagi vertikal refraksiya burchaklari.

Shovun chizig'ining  $l-k$  yo'nalishidagi og'ish qiymati quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$u_{lk} = \xi_l \cos A_{lk} + \eta_l \sin A_{lk}, \quad (16.7)$$

bu yerda  $\xi$  va  $\eta$  - punktdagi meridian tekisligi va birinchi vertikalidagi shovun chizig'i og'ishini to'la qiymati  $u = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ ;  $A_{lk}$  -  $l-k$  yo'nalishi azimuti.

Vertikal refraksiya burchaklarining taqribiy qiymati quyidagi formuladan topiladi

$$r = \frac{C}{2} k = \frac{S_0 \rho}{2R} k, \quad (16.8)$$

bu yerda  $C - A$  va  $B$  nuqtalardagi ellipsoidga normalar orasidagi burchak;  $k$  - yerning sindirish koeffitsienti bo'lib, uni yer ellipsoidi radiusi  $R$  ni yorug'lik nurining egrilik radiusi  $M$  ga nisbati deb tushiniladi, bundaurning vertikal tekislikdagi traektoriyasi aylana yoyi deb olinadi (taqribiy).

## 16.2. Bir tomonlama trigonometrik nivelirlashda geodezik balandliklar farqini hisoblash

Masalan, zenit masofa  $z_{12}$  faqat  $A$  punktida o'lchangan bo'lsin,  $B$  punktda esa o'lchanmagan bo'lsin (16.2-shakl). Shaklga asosan  $ABC$  uchburchakdan geodezik balandliklar ayirmasini hisoblash formulasi uchun yozamiz

$$\left. \begin{aligned} A &= 180^\circ - z_{12}^0; \\ B &= 180^\circ - (A + C) = z_{12}^0 - C, \end{aligned} \right\} \quad (16.9)$$

bu yerda

$$z_{12}^0 = z_{12}' + r_{12} - u_{12}. \quad (16.10)$$

Zenit masofa  $z_{12}$  ni o'lchashda teodolit vertikal doirasining markazi  $A$  punktining markazidan "asbob balandligi"da ( $l_1$ ) joylashadi, qarash trubasi esa  $B$  punktiga, uni markazidan  $l_2$  balandlikda joylashgan nishonga qaratiladi. Shuning uchun punkt markaziga keltirilgan zenit masofa quyidagiga teng bo'ladi

$$z_{12}' = z_{12} + \frac{l_2 - l_1}{s} \rho \quad (16.11)$$

bu yerda  $z_{12}$  - bevosita o'lchangan zenit masofa;  $s = A$  va  $B$  punktlari orasidagi masofa;  $\rho^* = 206265''$ .

Yuqoriagi (16.10) ifodani (16.3), (16.8) va (16.11) formularni hisobga olib quyidagicha yozamiz

$$z_{12}^0 = z_{12} + \frac{sk_{12}}{2R}\rho - u_{12} + \frac{l_2 - l_1}{s}\rho \quad (16.12)$$

Navbatda (16.12) formulani (16.9) formulalarga qo'yib va (16.3) formulani hisobga olib topamiz

$$\begin{aligned} A &= 180^\circ - z_{12} - \frac{sk_{12}}{2R}\rho + u_{12} - \frac{l_2 - l_1}{s}\rho \\ B &= z_{12} + \frac{sk_{12}}{2R}\rho - \frac{s}{R}\rho - u_{12} + \frac{l_2 - l_1}{s}\rho \end{aligned} \quad (16.13)$$

(16.3) formuladagi  $s_0 = s$  deb qabul qilinsa, bunda hatto  $(H_1 + H_2)/2 = 2$  km va  $s = 10$  km bo'lganda ham,  $V$  burchagini hisoblash xatosi  $0,10''$  dan oshmaydi. Bunday kichik qiymatni hisobga olmay (16.3) formulalar asosida yozamiz

$$\frac{A-B}{2} = 90^\circ - z_{12} + s \frac{1-k_{12}}{2R}\rho + u_{12} - \frac{l_2 - l_1}{s}\rho \quad (16.14)$$

bundan topamiz

$$\operatorname{tg} \frac{A-B}{2} = \operatorname{ctg}(z_{12} - \frac{1-k_{12}}{2R}s - \frac{u_{12}}{\rho} + \frac{l_2 - l_1}{s}) \quad (16.15)$$

Bu formuladagi tuzatmalar hadlarini juda kichikligini hisobga olib yozamiz

$$\operatorname{tg} \frac{A-B}{2} = \operatorname{ctg} z_{12} + (\frac{1-k_{12}}{2R}s + \frac{u_{12}}{\rho} - \frac{l_2 - l_1}{s}) \operatorname{cosec}^2 z_{12} \quad (16.16)$$

bu formulani  $s$  ga ko'paytirib geodezik balandliklar farqini hisoblash formulasini olamiz

$$H_2 - H_1 = s \operatorname{ctg} z_{12} + (\frac{1-k_{12}}{2R}s^2 + \frac{u_{12}}{c}s - l_2 + l_1) \operatorname{cosec}^2 z_{12} \quad (16.17)$$

Geodezik tarmoqlarda zenit masofalar  $90^\circ$  dan anchaga farq qiladi. Agar  $87^\circ \leq z \leq 93^\circ$  bo'lsa yetarli aniqlikda  $\operatorname{cosec} z = 1$  ga deb qabul qilib bu hol uchun yuqoridagi formuladan yozamiz

$$H_2 - H_1 = s \operatorname{ctg} z_{12} + \frac{1-k_{12}}{2R}s^2 + \frac{u_{12}}{c}s - (l_2 - l_1) \quad (16.18)$$

Bu formuladagi ikkinchi hadni quyidagicha belgilaymiz

$$v = \frac{1-k_{12}}{2R}s^2 = \epsilon_R + \epsilon_r \quad (16.19)$$

bu nisbiy balandlikka yig'ma tuzatma bo'lib Yer egriligi uchun

$$\epsilon_R = s^2/2R \quad (16.20)$$

va refraksiya uchun

$$\epsilon_r = -k_{12}s^2/2R \quad (16.21)$$

Yuqoridagi (16.18) formuladagi uchunchi hadni



$$\varepsilon_u = u_{12}s/\rho \quad (16.22)$$

bilan belgilaymiz va u A punktidagi shovun chizig'i og'ishi uchun tuzatmani ifodalaydi.

Teskari nisbiy balandlik, ya'ni balandliklar farqi  $H_1 - H_2$  quyidagi formula bo'yicha topiladi

$$H_1 - H_2 = sctgz_{21} + \frac{1-k_{21}}{2R} s^2 + \frac{u_{21}}{\rho} s - (l_2 - l_1) \quad (16.23)$$

Vizir nurining balandligi 6 m va undan yuqori bo'lganda yerning sindirish koeffitsienti qiymati yozda, masalan, o'rtacha  $k=0,13$ ; ertalabki va kechqurungi havo izotermiyasida uni o'rtacha qiymati  $k=0,22$  ni tashkil qilganda nisbiy balandlikka yer egriligi va refraksiya uchun tuzatmalar  $\varepsilon_R$  va  $\varepsilon_r$  qiymatlari turli masofalar uchun quyidagi 33-jadvalda keltirilgan

33-jadval

| Tuzatmalar,<br>m | Tomonlar uzunligi $s$ , km |      |      |     |      |      |
|------------------|----------------------------|------|------|-----|------|------|
|                  | 1                          | 3    | 5    | 10  | 15   | 20   |
| $\varepsilon_R$  | 0,08                       | 0,71 | 1,96 | 7,8 | 17,6 | 31,4 |
| $\varepsilon_r$  |                            |      |      |     |      |      |
| $k=0,13$ da      | 0,01                       | 0,09 | 0,25 | 1,0 | 2,3  | 4,1  |
| $k=0,22$ da      | 0,02                       | 0,15 | 0,42 | 1,7 | 3,9  | 6,9  |

Trigonometrik nivelirlashga punktlardagi shovun chizig'i og'ish burchagining o'zgarishi ham katta ta'sir etadi. Bir tomonga nivelirlashda bunday xatoliklarni turli masofalar uchun qiymati quyidagi 34-jadvalda berilgan

34-jadval

| Tuzatmalar, $\varepsilon_u$<br>Og'ish, u<br>m | Tomonlar uzunligi, km |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|
|                                               | 1                     | 3    | 5    | 10   | 15   | 20   |
| 3"                                            | 0,01                  | 0,04 | 0,07 | 0,15 | 0,22 | 0,29 |
| 5                                             | 0,02                  | 0,07 | 0,12 | 0,24 | 0,36 | 0,48 |
| 15                                            | 0,07                  | 0,22 | 0,36 | 0,73 | 1,09 | 1,45 |
| 30                                            | 0,15                  | 0,44 | 0,73 | 1,45 | 2,18 | 2,91 |

Yuqoridagi jadvallar ma'lumotlaridan ko'rinishicha yer egriligi, refraksiya va shovun chizig'ining og'ishi trigonometrik nivelirlash aniqligiga jiddiy ta'sir etadi. Shuni hisobga olib aniq trigonometrik nivelirlashda, ayniqsa tomon uzunligi  $s$  katta bo'lganda, refraksiya va shovun chizig'ini og'ishi sinchiklab aniqlanishi va ular hisobga olinishi zarur.

### 16.3. Bir tomonlama trigonometrik nivelirlashda normal balandliklar farqini hisoblash

Ellipsoid sirtiga nisbatan aniqlanadigan nuqtalar geodezik balandligi geodeziyani ko'pchilik masalalarini yechish uchun qo'llanadi. Lekin topografik – geodezik, kartografik va boshqa ko'pgina ishlarni kundalik amaliyotida kvazigeoid sirtidan geometrik nivelirlash usulida aniqlanadigan nuqtalar balandligi qo'llanadi. Ular normal balandliklar deyilib oldin berilgan (15.5) formula bo'yicha hisoblanadi.

Nuqtalar normal balandliklari farqini trigonometrik nivelirlashdan ham aniqlash mumkin.  $A$  va  $B$  nuqtalar normal balandliklarining farqi tegishlicha  $H'_1 = pA$  va  $H'_2 = qB$  bo'lsin (16.2-shakl). Kvazigeoid sirti ancha murakkab, to'liqinsimon shaklga ega bo'lib yer ellipsoidi sirtiga parallel emas. Shuning uchun  $A$  va  $B$  nuqtalarida tegishlicha  $N_1 = ap$  va  $N_2 = bq$  bilan belgilangan kvazigeoidni ellipsoid sirtidan balandliklari qiymatlari bo'yicha o'zaro teng emas ( $N_1 \neq N_2$ ).

M.S.Molodenskiyning nazariyasiga asosan xar qanday nuqtaning geodezik balandligi  $H$ , uning normal balandligi  $H^*$  ga balandlik anomaliasi  $\xi$  ni qo'shib qo'yilganiga teng. Kvazigeoid balandligi  $N$  miqdoran balandlik anomaliasi  $\xi$  ga teng. Shuning uchun  $A$  va  $B$  nuqtalarning geodezik balandliklari uchun yozamiz

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= H'_1 + N_1; \\ H_2 &= H'_2 + N_2. \end{aligned} \right\} \quad (16.24)$$

Bundan normal balandliklar farqi quyidagiga teng bo'ladi

$$H'_2 - H'_1 = H_2 - H_1 - (N_2 - N_1), \quad (16.25)$$

bu yerda  $(N_2 - N_1) = A$  va  $B$  nuqtalari orasida kvazigeoid balandliklarining farqi.

Yuqoridagi (16.25) ifodaga (16.18) formuladan topiladigan  $H_2 - H_1$  qiymatni qo'yib  $87^\circ \leq z \leq 93^\circ$  qiymatlar uchun bir tomonga nivelirlashdagi normal balandliklar farqi  $H'_2 - H'_1$  ni hisoblash formulasini topamiz

$$H'_2 - H'_1 = sctgz_{12} + \frac{1-k_{12}}{2R} s^2 + \frac{u_{12}}{c} s - (N_2 - N_1) - (l_2 - l_1) \quad (16.26)$$

Triangulyatsiyani hohlagan  $s$  tomonining bosh va oxirgi nuqtalari orasidagi kvazigeoid nisbiy balandligi  $N_2 - N_1$ , masalan, astronomo-gravimetrik nivelirlash usulidan quyidagi formula bo'yicha topilishi mumkin

$$N_2 - N_1 = u_m s - \Delta E, \quad (16.27)$$

bu yerda  $u_m$  - s chizig'i yoqalab shovun chizig'ining o'rta integral qiymatlari;  $\Delta E$  - relef ta'siri uchun tuzatma, u quyidagiga teng

$$\Delta E = \int_{AB} \frac{g-v}{\rho} dH - \frac{0,0052}{\rho^*} (H_2 - H_1)(B_2 - B_1) \sin 2B_m, \quad (16.28)$$

bu yerda  $g-v$  - AB chizig'ining nuqtalarida og'irlik kuchi anomaliyasi;  $dH$  - elementar nisbiy balandlik;  $B_1$  va  $B_2$  - A va B nuqtalarining geodezik kengliklari;  $B_m = (B_1 + B_2)/2$ .  $\Delta E$  tuzatmasi va  $u_m$  qiymatlarini hisoblash uchun joyni gravimetrik s'emkasini bajarishga, hamda ayrim punktlarda astronomik kenglik va uzoqliklarni aniqlashga to'g'ri keladi.

Yuqoridagi (16.27) va (26.28) formulalarni hisobga olib (16.26) formulani quyidagicha yozish mumkin

$$H_2^y - H_1^y = sctgz_{12} + \frac{1-k_{12}}{2R} s^2 + \frac{u_{12}-u_m}{c} s - \Delta E - (l_2 - l_1) \quad (16.29)$$

A.A.Izotov va L.P.Pellinenlarni baholashicha  $(u_{12} - u_m)s/\rho$  koeffitsienti tekis va tog' hududlarida tomonlar uzunligi  $s=10$  km bo'lganda tegishli 0,08 va 0,98 m, tuzatma  $\Delta E$  esa 0,01 va 0,30 m ga teng. Bu to'g'rida to'laroq ma'lumot quyidagi 35-jadvalda beriladi

35-jadval

| T/b<br>N | Tuzatmalar                                         | Tekis hudud-<br>larda (m) | Tog' hudud-<br>larida (m) |
|----------|----------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1        | $\frac{u_{12} - u_{21}}{2\rho}$                    | 0,06                      | 0,70                      |
| 2        | $(\frac{u_{12} - u_{21}}{2} - u_m) \frac{s}{\rho}$ | 0,02                      | 0,28                      |
| 3        | $\frac{u_{12} - u_m}{\rho} s$                      | 0,08                      | 0,98                      |
| 4        | $\Delta E$                                         | 0,01                      | 0,30                      |

Normal balandliklar sistemasida teskari nisbiy balandliklar  $h_{21} = H_1^y - H_2^y$  quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$H_2^y - H_1^y = sctgz_{12} + \frac{1-k_{21}}{2R} s^2 - \frac{u_{21}}{\rho} s - (N_1 - N_2) - (l_1 - l_2) \quad (16.30)$$

Bir tomonlama nivelirlash formulalari bo'yicha hisoblangan to'g'ri va teskari nisbiy balandliklar bir-biridan mutloq qiymati bo'yicha o'zaro farq qiladi. Tog'li hududlarda trigonometrik nivelirlash chiziqlari yoqalab to'g'ri va teskari nisbiy balandliklar orasidagi sezilarli farq birinchi navbatda hisobga olinmagan shovun chizig'ining og'ish hamda yer

sindirish koeffitsientini hisoblashda qisman yo'l qo'yilgan xatolik hisobiga kelib chiqadi.

#### 16.4. Ikki tomonlama trigonometrik nivelirlashda geodezik balandliklar farqini hisoblash

Ikki tomonlama trigonometrik nivelirlashda triangulyatsiya tomonining har ikkala uchlarida qarama-qarshi zenit masofalar  $z_{12}$  va  $z_{21}$  o'lchanadi.  $A$  va  $B$  nuqtalarining geodezik balandliklari farqi hisoblash formulalarini topamiz  $ABC$  uchburchakda (16.2-shakl)  $A$  va  $B$  burchaklar uchun yozamiz

$$A = 180^\circ - z_{12}^0; \quad B = 180^\circ - z_{21}^0, \quad (16.31)$$

bu yerda nazariy zenit masofalar  $z_{12}^0$  va  $z_{21}^0$  tegishli quyidagilarga teng

$$\begin{aligned} z_{12}^0 &= z'_{12} + r_{12} - u_{12}; \\ z_{21}^0 &= z'_{21} + r_{21} + u_{21}. \end{aligned} \quad (16.32)$$

Belgilar markaziga keltirilgan zenit masofalar  $z'_i$  va  $z'_i$  ularni bevosita o'lchangan qiymatlari  $z_{12}$  va  $z_{21}$  orqali ifodalaymiz:

$$\begin{aligned} z'_{12} &= z_{12} + \frac{l_2 - l_1}{s} \rho; \\ z'_{21} &= z_{21} + \frac{l_1 - l_2}{s} \rho. \end{aligned} \quad (16.33)$$

bu yerda  $l_1$  va  $l_2$  -  $A$  punkti markaziga nisbatan teodolit va vizirlash nishoning balandligi;  $l_2$  va  $l_1$  -  $B$  punkti markaziga nisbatan o'sha qiymatlar;  $s$  - punktlar orasidagi masofa;  $\rho = 206265''$ .

(16.8) formulaga asosan refraksiya burchaklari  $r_{12}$  va  $r_{21}$  ni yer sindirish tegishli koeffitsienti orqali ifodalaymiz.  $s_0$  va  $s$  orasidagi kichik farqni hisobga olmay yetarli aniqlikda yozamiz

$$\begin{aligned} r'_{12} &= sk_{12} \rho / 2R \\ r'_{21} &= sk_{21} \rho / 2R \end{aligned} \quad (16.34)$$

$AB$  tomonning uchlarida shovun chizig'i og'ish burchaklari  $u_{12}$  va  $u_{21}$  ni (16.7) formula bo'yicha hisoblash mumkin, agarda  $\xi$  va  $\eta$  qiymatlari ma'lum bo'lsa. (16.28-16.32) ifodalarni hisobga olib burchaklar farqini topamiz

$$A - B = (z_{21} - z_{12}) + \frac{k_{21} - k_{12}}{2R} s \rho + (u_{12} + u_{21}) + \left( \frac{l_1 + l_1}{s} - \frac{l_2 + l_2}{s} \right) \rho. \quad (16.35)$$

keyin burchaklar farqi yarmi tangensini

$$tg \frac{A-B}{2} = tg \left( \frac{z_{21}-z_{12}}{2} + \frac{k_{21}-k_{12}}{4R} s + \frac{u_{12}+u_{21}}{2\rho} + \frac{l_1+l_1}{2s} - \frac{l_2+i_2}{2s} \right) \quad (16.36)$$

Qavsdagi qo'shiluvchilar, zenit masofalar ayirmasining yarmidan tashqari, juda kichik qiymatlarini tashkil qiladi. Tangensni qatorga yoyib birinchi darajali kichik qiymatlar bilan chegaralanib,  $s \leq 20$  km bo'lganda amaliy ishlar uchun yetarli, natijani  $s$  ga ko'paytirib ikki tomonlama trigonometrik nivelirlashda nuqtalar geodezik balandliklarining farqini hisoblash quyidagi formulasini topamiz

$$H_2 - H_1 = stg \frac{z_{21}-z_{12}}{2} + \left( \frac{k_{21}-k_{12}}{4R} s^2 + \frac{u_{12}+u_{21}}{2\rho} s + \frac{l_1+l_1}{2} - \frac{l_2+i_2}{2} \right) \cdot \sec^2 \frac{z_{21}-z_{12}}{2}. \quad (16.37)$$

Geodezik tarmoqlarda qarama-qarshi zenit masofalar ayirmasining yarim qiymati nisbatan kichik bo'ladi.  $z_{21}-z_{12} \leq 6^\circ$  bo'lganda quyidagini qabul qilish mumkin  $\sec^2 \frac{z_{21}-z_{12}}{2} = 1$  va shu shart bilan quyidagini yozish mumkin

$$H_2 - H_1 = Stg \frac{z_{21}-z_{12}}{2} + \frac{k_{21}-k_{12}}{4R} s^2 + \frac{u_{12}+u_{21}}{2\rho} s + \frac{l_1+l_1}{2} - \frac{l_2+i_2}{2}. \quad (16.38)$$

### 16.5. Ikki tomonlama trigonometrik nivelirlashda normal balandliklar farqini hisoblash

(16.35) formulani (16.23) ga quyib ikki tomonlama nivelirlashda normal balandliklar farqini hisoblash formulasini olamiz

$$H_2^v - H_1^v = stg \frac{z_{21}-z_{12}}{2} + \frac{k_{21}-k_{12}}{4R} s^2 + \frac{u_{12}+u_{21}}{2\rho} s - (N_2 - N_1) + \frac{l_1+l_1}{2} - \frac{l_2+i_2}{2}. \quad (16.39)$$

$N_2 - N_1$  farqni o'rniga (16.25) formuladan topiladigan uni qiymatini qo'yib yuqoridagi formulani boshqa shaklda yozamiz

$$H_2^v - H_1^v = stg \frac{z_{21}-z_{12}}{2} + \frac{k_{21}-k_{12}}{4R} s^2 + \left( \frac{u_{12}+u_{21}}{2} - u_m \right) \frac{s}{\rho} + \Delta E + \frac{l_1+l_1}{2} - \frac{l_2+i_2}{2}. \quad (16.40)$$

(16.37) formulada tuzatma

$$\left[ (u_{12} + u_{21}) / 2 - u_m \right] \frac{s}{\rho}$$

punktlar orasida shovun chizig'i og'ishini bir tekis bo'lmashligini hisobga oladi va astronomik nivelirlashga gravimetrik tuzatma nomiga ega.

Ikki tomonlama trigonometrik nivelirlashda, ayniqsa qarama-qarshi yo'nalishlar bo'yicha zenit masofani bir vaqtda o'lchaganda refraksiyani nisbiy balandlikka ta'siri bir tomonlama nivelirlashga qaraganda ancha kam, buni (16.37) va (16.27) formulalarni solishtirib ko'rish mumkin.

Shuning uchun nisbiy balandliklarni mumkin qadar aniqroq olish uchun ishlab chiqarishda ikki tomonlama trigonometrik nivelirlashni qo'llash kerak bo'ladi.

## 16.6. Yerning sindirish koeffitsientini aniqlash usullari

Yerning sindirish koeffitsientini aniqlashni turli usullari mavjud. Birinchi yaqinlashishida uning qiymati meteorologik o'lchashlar natijalari bo'yicha aniqlanishi mumkin. Koeffitsientni aniqroq qiymatini trigonometrik nivelirlash natijalarini ishlab chiqib aniqlanadi. Bu holatda o'lchangan zenit masofalardan tashqari, qo'shimcha qanday o'lchashlar ma'lumotlari borligiga qarab yerning sindirish koeffitsientini turli qiymatlarini aniqlash mumkin, masalan, uning qiymatini punktdagi har bir yo'nalish uchun, trangulyatsiya har bir tomoni uchun o'rtacha koeffitsientni topish va h.k.

**Meteorologik ma'lumotlar bo'yicha koeffitsient  $k$  ni aniqlash.** Bu metod zenit masofalarni o'lchash daqiqalarida vizir nurining yo'lining havo qatlamida sindirish ko'rsatkichini gradienti maydoni bir xilligiga asoslangan. Bu vaqtda vertikal refraksiya burchaklari quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin

$$r'' = 11,42 \frac{P}{T^2} \left( 0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) r \sin z,$$

$r$  ni yer sindirishi koeffitsienti orqali ifodalab yozamiz

$$r'' = \frac{C''}{2} k = \frac{s_0 P}{2R} k.$$

Bu formulalardagi chap va o'ng tomon qismlarini tenglashtirib va  $R=6371$  km,  $\sin z=1$  deb, topamiz

$$k = 705 \frac{P}{T^2} \left( 0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right). \quad (16.41)$$

Bosimni o'rtacha qiymati  $P=750$  mm sim.ust. va harorat  $T=288^\circ K$  bo'lganda yoz kunlari uchun quyidagini topamiz

$$k = 0,22 + 6,37 \frac{\partial T}{\partial H}. \quad (16.42)$$

(16.38) va (16.39) formulalarda vizir nurning balandligidagi haroratni vertikal gradienti grad/m ifodalangan.

Yozda, kunni o'rta soatlarida nurni tuproqdan 2 m balandligida ko'p yillik o'rtacha qiymat  $\partial T/\partial H \approx 0,0098$  grad/m; ertalabki va kechkurungi havo izotermiyasida  $\partial T/\partial H = 0$ ; tun yarimga yaqin  $\partial T/\partial H \approx 0,0080$  grad/m aniqlangan. Bu qiymatlarni hisobga olib quyidagi o'rtacha koeffitsientlar olinadi; kunning yarmi uchun  $k_s = 0,16$ , izotermiya vaqtlari uchun  $k_0 = 0,22$ , yarim tun -  $k_n = 0,27$ .

**Nuqtalar normal balandliklarining farqi, shovun chiziqlari og'ishi va kvazigeoidni nisbiy balandliklar ma'lum bo'lganda  $k$  koeffitsientini aniqlash.**  $A$  va  $B$  punktlaridagi vertikal refraksiya burchaklari  $r_{12}$  va  $r_{21}$ , 16.2-shaklga asosan tegishli quyidagilarga teng

$$\left. \begin{aligned} r_{12} &= z_{12}^0 - z_{12}' + u_{12}; \\ r_{21} &= z_{21}^0 - z_{21}' - u_{21}. \end{aligned} \right\} \quad (16.43)$$

Ta'rifiga ko'ra

$$\begin{aligned} r_{12} &= (s_0 \rho / 2R) k_{12}; \\ r_{21} &= (s_0 \rho / 2R) k_{21}, \end{aligned}$$

bo'lganini hisobga olib quyidagini olamiz

$$\left. \begin{aligned} k_{12} &= \frac{2R}{s_0 \rho} (z_{12}^0 - z_{12}' + u_{12}); \\ k_{21} &= \frac{2R}{s_0 \rho} (z_{21}^0 - z_{21}' - u_{21}). \end{aligned} \right\} \quad (16.44)$$

Nazariy zenit masofalar  $z_{12}^0$  va  $z_{21}^0$  ni hisoblaymiz. (16.24) formulaga asosan yozamiz

$$H_2 - H_1 = (H_2' - H_1') + (N_2 - N_1). \quad (16.45)$$

(16.5) ifodaga (16.9) va (16.42) qiymatlarini qo'yib topamiz

$$(H_2' - H_1') + (N_2 - N_1) = s \operatorname{ctg}(z_{12}^0 - C/2).$$

Bundan yetarli darajadagi aniqlik bilan quyidagini yozamiz

$$z_{12}^0 = \arctg \left( \frac{H_2' - H_1'}{s} + \frac{N_2 - N_1}{s} - \frac{s}{2R \sin^2 z_{12}^0} \right) \quad (16.46)$$

yoki  $87^\circ \leq z^0 \leq 93^\circ$  bo'lganda

$$z_{12}^0 = 90^\circ + \left( \frac{s_0}{2R} - \frac{H_2' - H_1'}{s} - \frac{N_2 - N_1}{s} \right) \rho, \quad (16.47)$$

bu yerda  $(H_1 + H_2)/2 \geq 2$  km bo'lganda  $s$  qiymati (16.6) formula bo'yicha hisoblanadi.

$AVS$  uchburchakdan, 16.1-shakl, yozamiz

$$z_{21}^0 = 180^\circ - z_{12}^0 + s_0 \rho / 2R. \quad (16.48)$$

(16.41) va (16.45) formulalaridagi masofa  $S$  va tomon uchun ellipsoidni o'rtacha egrilik radiusi  $R$  qiymatlarini,  $m_s = 1$  m va  $m_R = 1$  km



aniqlikda olinganda (bu aniqlikni ta'minlash qiyinlik tug'dirmaydi), amalda xatosiz deb hisoblash mumkin. Bunday holda  $k$  koeffitsientini ushbu formulalar orqali aniqlashni o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng bo'ladi

$$m_k = \frac{2R}{s_0 \rho} \sqrt{m_{\rho}^2 + m_{\rho'}^2 + m_{\rho''}^2}, \quad (16.49)$$

nazariy zenit masofani aniqlashni o'rta kvadratik xatosi esa (ellipsoid normaliga nisbatan)

$$m_{\rho} = \frac{\rho}{s} \sqrt{m_h^2 + m_{\Delta N}^2}, \quad (16.50)$$

bu yerda  $m_h$  va  $m_{\Delta N}$  - nivelir nisbiy balandligi  $h = H^0 - H_i''$  ni va kvazigeoid nisbiy balandligi  $\Delta N = (N_2 - N_1)$  ni aniqlashni o'rta kvadratik xatosi.

Nivelir nisbiy balandligini aniqlashni o'rta kvadratik xatosi yetarli aniqlikda kuyidagi formula bo'yicha topilishi mumkin

$$m_h = \mu \sqrt{L}, \quad (16.51)$$

bu yerda  $\mu$  - 1 km nivelirlash yo'lini o'rta kvadratik xatosi;  $L$  - nivelir yo'lining uzunligi (km). IV klass nivelirlash tekis va past-tepalik joylarda bajarilganda  $\mu = 8$  mm/km,  $L = 1.2$  s, tog'li hududlar uchun  $\mu = 12$  mm/km,  $L = 1.2$  s qabul qilish mumkin, bu yerda  $s$  - punktlar orasidagi tomon uzunligi.

Shovun chiziqlarini og'ishi  $u$  va kvazigeoidni nisbiy balandligi  $\Delta N$  nivelirlashda odatda noma'lum bo'ladi. Bu holatda  $m_u = u_{o'r}$  va  $\Delta N = \Delta N_{o'r}$  deb qabul qilish mumkin; bu yerda  $u_{o'r}$  va  $\Delta N_{o'r}$  - geodezik tarmoq joylashgan hudud uchun shovun chiziqlarini o'rtacha og'ishi va kvazigeoidni o'rtacha nisbiy balandligi qiymatlari. Yetarli asosda shovun chizig'ini o'rtacha og'ishi qiymatini quyidagicha qabul qilish mumkin: tekis joylarda  $u_{o'r} \approx 3''$ , past-tepa joylarda  $u_{o'r} \approx 6''$  va tog'li joylarda  $u_{o'r} \approx 15''$ . Kvazigeoid nisbiy balandligi  $s = 10$  km teng bo'lsa tekis joylarda  $\Delta N_{o'r} \approx 0,1$  m, past - baland joylarda  $\Delta N_{o'r} \approx 1,3$  m olinishi mumkin.

Yerning sindirish koeffitsienti xatosi  $m_s$  ning ta'siridan nisbiy balandliklardagi xatolar quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$m_{\Delta N(s)} = \frac{s^2}{2R} m_s. \quad (16.52)$$

(16.41) formula bo'yicha hisoblangan yerning sindirish koeffitsienti  $k$  tekis va notekis joylarda, shovun chizig'i og'ishi va kvazigeoid nisbiy balandligini hisobga olmaganda,  $s = 10$  km va  $u_{o'r} = 3-6''$  uchun  $m_k \approx 0,02-0,05$  o'rta kvadratik xato bilan aniqlanadi, bu esa nisbiy balandliklarda 0,16-0,39 m xatolikka olib keladi. Tog'li joy uchun  $u_{o'r} \approx 15''$

bo'lganda  $k$  koeffitsientini hisoblash aniqligi yetarli bo'lmaydi. Aniq trigonometrik nivelirlashlarni bajarishda  $k$  koeffitsientini aniqlash xatosini bir punktdagi yo'nalishlar uchun quyidagi darajadan oshirmay ta'minlash kerak  $m_s \leq 0,005$ ; bu esa hozircha hal etilmagan masaladir.

**O'zaro qarama-qarshi zenit masofalar bo'yicha tomon uchun o'rtacha koeffitsient  $k$  ni aniqlash.** Triangulyatsiya tomonining har ikkala uchlarida o'zaro qarama-qarshi zenit masofalar  $z_{12}$  va  $z_{21}$  o'lchangan bo'lsa, ushbu tomon uchun o'rtacha koeffitsient  $\bar{k} = (k_{12} + k_{21})/2$ , agarda  $k_{12} = k_{21}$  deb olinsa (amalda bunday holat bo'lmaydi), hisoblanishi mumkin.

(16.8) formulani hisobga olib refraksiya burchaklari uchun (16.2-shakl) yozamiz

$$\left. \begin{aligned} r_{12} &= z'_{12} - z'_{21} + u_{12} = k_{12} C/2; \\ r_{21} &= z'_{21} - z'_{12} - u_{21} = k_{21} C/2. \end{aligned} \right\} \quad (16.53)$$

Ushbu tenglamalarni hadma-had qo'shib va  $z'_{12} + z'_{21} = 180^\circ + C$  ni hisobga olib triangulyatsiya tomoni uchun to'la refraksiya burchagi  $\sigma$  ni topamiz

$$\sigma = r_{12} + r_{21} = 180^\circ + C - (z'_{12} + z'_{21}) + (u_{12} - u_{21}), \quad (16.54)$$

yoki

$$\sigma = (k_{12} + k_{21}) C/2. \quad (16.55)$$

$C = s_0 \rho / R$  bo'lgani uchun topamiz

$$\bar{k} = \frac{k_{12} + k_{21}}{2} = 1 - \frac{R}{s_0 \rho} [(z'_{12} + z'_{21}) + (u_{21} - u_{12}) - 180^\circ]. \quad (16.56)$$

$z'_{12}$  va  $z'_{21}$  larni bevosita o'lchangan zenit masofalar  $z_{12}$  va  $z_{21}$  bilan almashtirib (16.31) formulalar asosida yakuniy topamiz

$$\begin{aligned} \bar{k} &= 1 - \frac{R}{s_0 \rho} [(z_{12} + z_{21}) + (u_{21} - u_{12}) - 180^\circ] - \\ &\quad - \frac{R}{s^2} [(l_1 + l_2) - (i_1 + i_2)]. \end{aligned} \quad (16.57)$$

Trigonometrik nivelirlashda  $R$ ,  $s$ ,  $l$  va  $i$  qiymatlari yetarli aniqlikda topilishi mumkin. Shuning uchun (16.54) formula bo'yicha tomon uchun o'rtacha yerni sindirish koeffitsienti  $\bar{k}$  ni hisoblashda ular xatosini nol deb qabul qilish mumkin. Bu holatda qarama-qarshi zenit masofalarni bir vaqtda o'lchashda tomon uchun o'rtacha  $\bar{k}$  koeffitsientni aniqlashni o'rta kvadratik xatosi quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin

$$m_k = \frac{R}{s_0 \rho} \sqrt{2m_z^2 + m_{\Delta u}^2}. \quad (16.58)$$

$m_z = 1''$  va  $m_{\Delta u} = 0 \div 15''$ , punktlar orasidagi masofalar 5 va 10 km uchun xatolik quyidagi qiymatlarini olamiz:

| $m_{\Delta u}$   | 0     | 1     | 3     | 5     | 10    | 15    |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $s=5$ km, $m_k$  | 0,009 | 0,011 | 0,020 | 0,032 | 0,062 | 0,093 |
| $s=10$ km, $m_k$ | 0,004 | 0,005 | 0,010 | 0,016 | 0,032 | 0,046 |

Shunday qilib (16.54) formula bo'yicha o'rtacha koeffitsient  $\bar{k}$  ni  $m_k \leq 0,01$  o'rta kvadratik xato bilan aniqlash uchun masofalar  $s=5-10$  km bo'lganda shovun chiziqlarini o'zaro qarama-qarshi og'ishlari farqi  $\Delta u$  1-3" dan katta bo'lmagan xatolik bilan aniqlanishi kerak bo'ladi, bunda  $m_k = 1''$  deb qabul qilinadi.

**Refraksiya va shovun chiziqlari og'ishini balandlik tarmog'ini tenglashdan qo'shma aniqlash.** Trigonometrik nivelirlashda joyda bevosita o'lchangan qiymatlar bo'lib kuzatilgan nishonlarni zenit masofalari xizmat qiladi. Shuning uchun balandlik tarmog'ini  $\sum p v^2 = \min$  sharti bilan tenglash zarur, bu yerda  $v$  -  $\rho$  vaznlar bilan o'lchangan zenit masofalar uchun tuzatmalar.

Quyidagi belgilarni qabul qilamiz:  $n$  - tarmoqdagi punktlar soni;  $t$  - berilgan balandlikka ega boshlang'ich punktlar soni;  $p$  - har ikkala uchlarida o'zaro qarama - qarshi zenit masofalari o'lchangan tarmoqdagi tomonlar soni;  $m$  - shovun chiziqlarining og'ish burchaklari ma'lum punktlar soni. Tarmoqni tenglashdan topiladigan noma'lum qiymatlar soni  $q$  ni quyidagi formuladan aniqlash mumkin

$$q = (3n + p) - (2m + t). \quad (16.59)$$

Ikki tomonlama nivelirlashdagi tuzatmalar tenglamalari soni  $N$  o'lchangan zenit masofalar soniga teng, u o'z navbatida tarmoqdagi tomonlar sonini ikkilanganiga teng, ya'ni  $N=2P$ . Tarmoqda ortiqcha o'lchashlar soni quyidagicha topiladi

$$S = N - q = 2m + t + p - 3n. \quad (16.60)$$

Bu formulalar bo'yicha bajarilgan hisoblashlarni ko'rsatishicha kam miqdordagi uchburchaklardan tashkil topgan tarmoqlarda noma'lum qiymatlarni umumiy soni  $q$  o'lchangan qiymatalar umumiy soni  $N$  dan ko'p. Demak tarmoqni  $\sum p v^2 = \min$  sharti bilan tenglashni yechimi yo'q.

## 16.7. Normal refraksiya vaqti

Geodezik tarmoqlarda zenit masofalar punktlarda, gorizontali yo'nalishlarga o'xshash, birin-ketin o'lchanadi. Shu sababli triangulyatsiya har bir tomonini o'zaro qarama-qarshi zenit masofalari nafaqat sutkani turli soatlarida, balkim har xil kunlarda o'lchanishi mumkin. Umuman olganda ularni bir vaqtni o'zida o'lchash imkoni yo'q. Natijada bitta tomonni ikkala uchlaridagi refraksiya burchaklari  $r_{12}$  va  $r_{21}$  o'z qiymatlari bo'yicha bir-biridan katta farq qiladi.

(16.35) formula bo'yicha to'g'ri va teskari nisbiy balandliklar o'rtachasini hisoblab refraksiya ta'sirida quyidagi qiymatga farq qiluvchi natijani olamiz

$$\delta h = \frac{k_{21} - k_{12}}{4R} s^2 = \frac{r_{21} - r_{12}}{2\rho} s, \quad (16.61)$$

chunki refraksiya burchaklarining farqi  $\Delta r = r_{21} - r_{12}$  noma'lum va u hisobga olinmaydi. Umuman olganda  $r_{12} \neq r_{21} \neq 0$ . Shuning uchun o'lchash natijalariga refraksiya ta'sirini kamaytirish maqsadida o'zaro qarama-qarshi zenit masofalar bir vaqtni o'zida o'lchanishi kerak (amalda bu bajarilmaydi), yoki triangulyatsiya tomonlari bo'yicha refraksiya burchaklarining farqi  $\Delta r$  o'zgarimas bo'lgan sutka soatlarida bajarilishi kerak.

Refraksiyani sutka davomida o'zgarishida vertikal refraksiya eng kichik qiymatga kunni yarmida, eng katta qiymatga esa yarim tunda ega bo'ladi.

Refraksiya burchaklari va ularning farqi  $\Delta r$  ni doimiyliigi turli obi havoda, hamda har xil kunlarda ertalabki va kechqurungi havo izotermiyasi vaqtida kuzatiladi. Shu sababli ushbu vaqtlar geodezik tarmoqda zenit masofalarni o'lchashni eng qo'lay vaqti hisoblanadi. Ushbu xulosa 1837 yilda mashhur rus astronomi va geodezisti V.Ya.Struve tomonidan katta hajmidagi bajarilgan amaliy ishlar yakuni bo'yicha chiqarilgan edi.

Vizir nuri bir xil qaytarish xususiyatiga ega tekis joydan o'tishida va uni butun yo'li bo'yicha havoni izotermiyasi tushganda,  $\partial T / \partial H = 0$ , (8.16) formulaga asosan normal refraksiya quyidagiga teng bo'ladi

$$r_0 = 0,39 \frac{P}{T^2} s \sin z, \quad (16.62)$$

Yoz oylari uchun  $P=750\text{mm sm.st.}$ ,  $T=288^\circ K$  va masofa  $S$  ni km da ifodalaniib normal refraksiyani taqribiy hisoblashni soddaroq formulasini olamiz

$$r_0 = 3,53s \sin z. \quad (16.63)$$

Keltirilgan (16.62) formulani vertikal refraksiyani aniq hisoblash uchun ishlatib bo'lmaydi, chunki vizir nuri o'zini butun davomida turli yer qoplamalari havo izotermiyasi bir vaqtini o'zida tushmaydi. Taniqli rus olimlari V.Ya.Struve, N.Ya.Siniger va I.I.Pomeransevlar geodezik tarmoqlarda zenit masofalarni «normal» refraksiya vaqtida, numi butun davomida havoni izotermiyasiga yaqin holat, o'lchash zarurligi haqidagi tavsiya berishgan.

Yuqorida nomlari keltirilgan olimlar tavsiyalari qanchalik to'g'riligini konkret ikkita punktlarda olib borilgan kuzatishlar natijasi misolida ko'rish mumkin. Yo'riqnoma ko'ra "Stanovoe" punktida zenit masofa  $r_{12}$ , masalan, kechqurun soat 17,35 da, bunda refraksiya burchagi  $r_{12}=44,4''$  tashkil qiladi, "Petrovskoe" punktida esa zenit masofa  $r_{21}$  soat 11,27 da, refraksiya burchagi  $r_{21}=16,4''$  teng bo'ladi, o'lchash mumkin. Bu o'lchashlar natijalarini ishlab chiqib topilgan to'g'ri va teskari nisbiy balandliklar o'rtacha qiymati refraksiya ta'siridan quyidagi xatolik bilan topilgan bo'ladi

$$\delta h = \frac{r_{21} - r_{12}}{2\rho} S = \frac{16,4 - 44,4}{2\rho} \cdot 11918 = -0,81m.$$

Endi shu punktlarda zenit masofalarni havo izotermiyasi vaqtida kuzatilganda nisbiy balandlikni refraksiya ta'sirida qancha xatolikka ega bo'lishini hisoblab topsa bo'ladi. Kuzatishlar kuni 16 avgust uchun ertalabki  $t_0^e$  va kechqurungi  $t_0^k$  havo izotermiyasi vaqtlarini taqribiy formulalar bo'yicha hisoblab topamiz

$$t_0^e = t_{\text{max}} + x_0^e = 5,03 + 1,50 = 6,53 \text{ soat};$$

$$t_0^k = t_{\text{min}} + x_0^k = 20,08 - 1,50 = 18,58 \text{ soat}.$$

Bunda Quyoshni chiqishi va botish vaqtlari "Astronomik yilnoma"dan,  $x_0^e$  qiymatlari esa maxsus tuzilgan grafikdan olinishi mumkin.

Ulchashlar natijalaridan foydalanib chiziqli interpolatsiya orqali refraksiya normal burchaklari  $r_{12}$  va  $r_{21}$  topamiz. "Stanovoe" punktida  $t_0^e = 6,53$  uchun topamiz  $r_{12}^0 = 57,1''$ , kechqurun soat  $t_0^k = 18,58$  uchun -  $r_{12k}^0 = 53,1''$

Shunday qilib havoni izotermiyasi vaqtida bajarilgan kuzatishlar natijasi bo'yicha to'g'ri va teskari nisbiy balandliklar o'rtachasi uchun refraksiya xatosining ta'siri quyidagiga teng bo'ldi

$$\delta h_0 = \frac{r_{12}^0 - r_{21}^0}{2\rho} s = \frac{57,1 - 53,1}{2\rho} \cdot 11918 = +0,12 \text{ m.}$$

Yuqorida olngan natijalar  $\delta h = -0,81 \text{ m}$  va  $\delta h_0 = +0,12 \text{ m}$  ni o'zaro solishtirib ishonch hosil qilish mumkinki zenit masofalarni normal refraksiya vaqtida (Struve bo'yicha) kuzatilsa natijalar so'zsiz aniqroq bo'lar ekan. Trigonometrik nivelirlashdan nisbiy balandliklarni tarmoqning hama punktlarida havoning izotermiyasi vaqtida kuzatish kerak bo'ladi.

Tog'li hududlardagi kuzatishlarda vizir nurini yer sirtidan ekvivalent balandligi uchun tuzatma  $\epsilon_k$  ni hisobga olish kerak bo'ladi, uni kechqurungi kuzatishlar uchun (8.58) formuladan aniqlash mumkin.

### 16.8. Trigonometrik nivelirlash natijalarini ishlab chiqarish

**O'lchangan nisbiy balandliklar aniqligini baholash formulalari.** Bir tomonlama nivelirlashda (16.24) formula bo'yicha hisoblanadigan nisbiy balandlik  $\Delta = H_2 - H_1$  ni o'rta kvadratik xatosi quyidagi formuladan hisoblanishi mumkin

$$m_{\Delta H}^2 = m_s^2 \text{ctg}^2 z + m_z^2 s^2 / \rho^2 + m_t^2 s^4 / 4R^2 + m_u^2 s^2 / \rho^2 + m_{\Delta N}^2 + m_i^2 + m_j^2. \quad (16.64)$$

Ikki tomonlama trigonometrik nivelirlashda (16.36) formula bo'yicha hisoblanadigan to'g'ri va teskari nisbiy balandliklar o'rtacha  $\Delta H$  ni o'rta kvadratik xatosi agarda to'g'ri va teskari zenit masofalar bir vaqttni o'zida o'lchangan bo'lsa, quyidagiga teng

$$m_{\Delta H}^2 = m_s^2 g^2 \frac{z_{21}^2 - z_{12}^2}{2} + m_z^2 s^2 / \rho^2 + m_t^2 s^4 / 8R^2 + m_u^2 s^2 / 2\rho^2 + m_{\Delta N}^2 + (m_i^2 + m_j^2) / 2. \quad (16.65)$$

Yuqoridagi formulalarda:  $m_s$  - punktlar orasidagi masofalarni ( $s$ ) aniqlash o'rta kvadratik xatosi;  $m_z$  - yer sindirish koeffitsienti  $k$  ni aniqlashni o'rta kvadratik xatosi;  $m_u$  - shovun chiziqlari og'ish burchaklari  $u$  ni aniqlashni o'rta xatosi;  $m_{\Delta N}$  - punktlar orasidagi kvazigeoid nisbiy balandligini ( $\Delta N = N_2 - N_1$ ) aniqlash xatosi;  $m_i$  va  $m_j$  - teodolit balandligini va kuzatish nishonini punkt markazidan balandligini aniqlash xatolari.

(16.61) va (16.62) formulalarga kiruvchi xatolar qiymatini qabul qilib nisbiy balandlik  $\Delta H$  ni kutiladigan o'rta kvadratik xatosi qiymatini yoki

aksincha, nisbiy balandlik xatosi qiymati  $m_{\text{ni}}$  qabul qilib boshqa xatolar yo'l qo'yyarli chekini aniqlash mumkin.

**Trigonometrik nivelirlash natijalarini ishlab chiqish.** Trigonometrik nivelirlash natijalarini ishlab chiqish o'lchash jurnallarini tekshirish va o'lchangan zenit masofalarni hisoblashdan boshlanadi; balandligi va vizirlash nishoni balandliklarini o'lchash yoki hisoblashni tekshirish, hamda punktlar orasidagi masofalar  $s$  ni hisoblash tekshiriladi.

Keyin to'g'ri va teskari zenit masofalar qiymatidan foydalanib o'zaro o'xshash yer qoplamasi ustidan o'tuvchi eng uzun 10-15 ta tomonlar bo'yicha yer sindirish koeffitsienti aniqlanadi va ular o'rtachasi chiqariladi.

Ushbu koeffitsient bilan bir tomonlama nisbiy balandlik hisoblanadi, agarda shovun chizig'i og'ish burchagi va kvazigeoid balandligi ma'lum bo'lsa.

Ikki tomonlama nisbiy balandliklar vazni quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi.

$$P = \frac{100}{s_{\text{cm}}^2}. \quad (16.66)$$

Bir tomonlama nisbiy balandlik vazni uchun tegishli ikki tomonlama nisbiy balandliklar vaznini yarimi olinadi. Tenglashni qulayligi uchun har bir punktda nisbiy balandliklarni birga keltirilgan vazni  $P'$  aniqlanadi

$$P' = P/[P], \quad (16.67)$$

bu yerda  $[P]$  - punktdagi nisbiy balandliklar (16.63) vazndarining yig'indisi; bunda quyidagi nazorat bajarilishi kerak  $[P'] = 1$ .

Punktlar balandliklarini tenglash ketma-ket yaqinlashish usulida bajariladi. Birinchi yaqinlashishida balandliklari berilgan eng ko'p boshlang'ich punktlar bilan bog'langan punktdan boshlanadi.

Atrofdagi punktlarga nisbatan aniqlangan punkt balandligini o'rta kvadratik xatosi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$m = \sqrt{\frac{[P' \delta^2]}{n-1}}, \quad (16.68)$$

bu yerda  $n$ -ushbu punkt balandligini aniqlashda foydalanilgan punktlar soni.

Punkt blandligini butun hudud bo'yicha aniqlashni o'rta kvadratik xatosi quyidagi formuladan topiladi

$$M = \sqrt{\frac{\sum m^2}{k}}, \quad (16.69)$$

bu yerda  $k$  - tarmoqni tenglashdan balandliklari topilgan punktlar soni.



## V-BO'LIM. TEKISLIKDA GEODEZIK TARMOQLARNI TENGLASH

---

### 17-BOB. GEODEZIK TARMOQLARDA DASTLABKI HISOBLASHLAR

#### 17.1. Dastlabki hisoblashlar vazifasi. O'Ichangan qiymatlarni punktlar makaziga keltirish

Dastlabki hisoblashlarni yakuniy maqsadi geodezik tarmoqda o'Ichangan, punktlar markaziga keltirilgan, qabul qilingan referens – ellipsoid sirtiga, hamda tekislikka Gauss – Kryuger proeksiyasida reduksiyalangan hamma qiymatlar jamlovchi jadvallarini tuzishdan iborat. Bulardan tashqari, yana eng muhim vazifalaridan biri, bu o'Ichashlar natijalarini har tomonlama tahlil qilish va ularni mustaqil va bog'liqli shartli tenglamalar ozod hadlari bo'yicha nazorat qilishdir. Bunda ularga qo'yilgan texnik talablardan cheklanish aniqlansa tenglashni boshlashdan avval ular bartaraf etilishi kerak. Dastlabki hisoblashlarni birinchi bosqichida geodezik tarmoqning ishchi chizmasini tuzish, dala jurnallaridagi hisoblashlarni tekshirish, stansiyada o'Ichangan va tenglangan qiymatlar jamlamasi (svodka) ni tuzish, uchburchaklarni dastlabki yechish va ularni sferik ortiqchalarini hisoblash, markazlash va reduksiya uchun tuzatmalarni hisoblash, tarmoqda o'Ichangan qiymatlarni punktlar markaziga keltirish jamlama jadvallarini tuzish ishlari ko'zda tutiladi. Bulardan tashqari boshlang'ich punktlar koordinatalari va balandliklari jadvallari, Laplas punktlarida shovun chizig'ini og'ishi jadvallari, punktlar normal va geodezik balandliklari jadvallari, Laplas azimutlari va bazis tomonlari uzunligi jadvallari tuziladi.

Yer sirtidan ellipsoid sirtiga o'Ichangan yo'nalishlar, azimutlar va tomonlar uzunligini reduksiyalash ellipsoid sirtiga normal bo'yicha amalga oshiriladi. O'Ichangan yo'nalishlar va azimutlarga quyidagi tuzatmalar kiritiladi: shovun chizig'ini og'ishi uchun; kuzatilgan nishonlarni referens – ellipsoiddan balandligi uchun (1 - 2 klass triangulyatsiyasida); ellipsoid normal kesimidan geodezik chiziqqa o'tish uchun (faqat 1 klass triangulyatsiyasida). O'Ichangan tomonlarni proeksiyalashda ularni referens – ellipsoiddan balandligi uchun tuzatma hisoblanadi.

Referens – ellipsoid sirtidan tekislikka Gauss – Kryuger proeksiyasida burchaklar va chiziqlar elementlarini reduksiyalashda, yo'nalishlar va

azimutlarga geodezik chiziqlar egriligini tekislikda tasvirlash uchun tuzatmalar, o'lgangan tomonlar masshtabidagi xatolik uchun tuzatmalar hisoblanadi.

**Uchburchaklarni dastlabki yechish va sferik ortiqlikni hisoblash.** Triangulyatsiyada uchburchaklarni dastlabki yechish markazlash va reduksiya xatolari uchun tuzatmalarni hisoblash, hamda sferik ortiqlar va triangulyatsiya punktlarining dastlabki koordinatalarini hisoblash uchun tomonlar uzunligini aniqlash maqsadida bajariladi. Uchburchaklar sinuslar teoremasi bo'yicha yechiladi

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{c}{\sin C} = \frac{b}{\sin B} = q,$$

bundan  $a$  tomonni boshlang'ich deb qabul qilib, topiladi

$$b = q \sin B, \quad c = q \sin C.$$

Boshlang'ich tomon uchun bazis yoki chiqish tomonlari, hamda yuqori klass triangulyatsiya tomoni yoki oldingi tenglangan tarmoq tomoni qabul qilinadi. Uchburchaklar har biri  $1''$  gacha yaxlitlangan burchaklar qiymati bo'yicha yechiladi.

Bir vaqtda sferik ortiqlar ham quyidagi formulalarni biri bo'yicha yechiladi

$$\varepsilon'' = f \operatorname{absin} C = f \operatorname{acsin} B = f \operatorname{bcin} A,$$

bu yerda  $f = \rho / 2R_m^2$ ;  $R_m$  - geodezik tarmoq kengligidagi ellipsoid o'rtacha egrilik radiusi. 2 - 4 klass triangulyatsiyasidagi hisoblashlarda  $\varepsilon \leq 30$  km uchun  $f$  qiymati o'rtacha 0,00253, agarda uchburchaklar tomonlari va  $R_m$  qiymatlari km da ifodalangan bo'lsa. Trilateratsiyada har bir uchburchakni burchaklari hisoblanishi kerak.  $ABC$  uchburchakda o'lgangan  $a$ ,  $b$  va  $c$  tomonlar uzunligi orqali ularga qarshi joylashgan burchaklarni qiymatlari quyidagi formulalardan topilishi mumkin

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc};$$

$$\cos B = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac};$$

$$\cos C = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}.$$

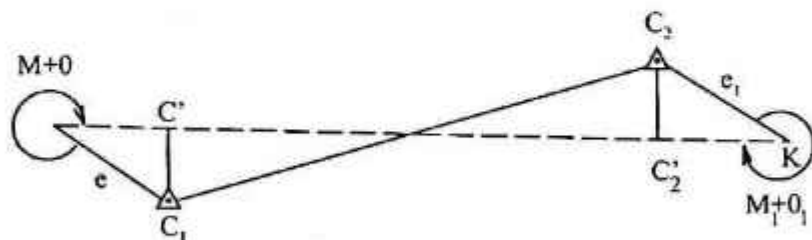
**Yo'nalishlarga markazlash va reduksiya uchun tuzatmalarni hisoblash.**  $i$  punktda o'lgangan  $M_{ik}$  yo'nalishiga teodolitni markazlash xatosi uchun tuzatma  $c_{ik}''$  va ushbu punktning vizirlash nishoni reduksiyasi

uchun tuzatma  $r_{ik}^*$  oldin keltirilgan (9.42) va (9.43) formulalar bo'yicha hisoblanadi. Ularni qo'shimcha indeks bilan quyidagicha yozamiz

$$\left. \begin{aligned} c_{ik}^* &= \frac{e \sin(M_{ik} + \theta)}{s} \rho^*, \\ r_{ik}^* &= \frac{e_1 \sin(M_{ik}' + \theta_1)}{s} \rho^*, \end{aligned} \right\} \quad (17.1)$$

bu yerda  $(e, \theta)$  va  $(e_1, \theta_1)$  -  $i$  punktdagi markazlash va reduksiya elementlari;  $M_{ik} \equiv M_{ik}'$  - ushbu punktda o'lchangan yo'nalishlar;  $s$  -  $i$  va  $k$  punktlari orasidagi masofa. Hisoblashlarda xatolikka yo'l qo'ymaslik maksadida yana bir marotaba ta'kidlash joizki, markazlash uchun tuzatma  $c_{ik}^*$  ni  $i$  punktda o'lchangan yo'nalishlar  $M_{ik}$  ga, ushbu punkt vizirlash nishoni reduksiyasi uchun tuzatma  $r_{ik}^*$  ni esa o'z ishoralari bilan boshqa punktlarda o'lchangan teskari yo'nalishlar  $M_{ik}$  ga kiritiladi.

**Elektron dalnomerlar bilan o'lchangan chiziqlarni punktlar markaziga keltirish.** Har bir o'lchangan tomonni  $D' = ik$  har ikkala uchlarida qabul qiluvchi va uzatuvchi blok (boshqaruvchi stansiya) markazlash elementlari  $(e, \theta)$  va qaytargich (boshqariladigan stansiya) reduksiya elementlari  $(e_1, \theta_1)$  ni  $c_1$  va  $c_2$  punktlar markazlariga nisbatan aniqlanadi (17.1-shakl).



17.1-shakl. O'lchangan masofalarni punktlar markaziga keltirish sxemasi

Markazlash xatosi uchun tuzatma  $\delta c = ic_1'$  va reduksiya uchun tuzatma  $\delta r = c_2'k$  ni  $e$  va  $e_1 > 1$  m bo'lganda quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi

$$\left. \begin{aligned} \delta c &= -e \cos(M + \theta) + \frac{e^2 \sin^2(M + \theta)}{2D_H' - e \cos(M + \theta)}; \\ \delta r &= -e_1 \cos(M_1 + \theta_1) + \frac{e_1^2 \sin^2(M_1 + \theta_1)}{2D_H' - e_1 \cos(M_1 + \theta_1)} \end{aligned} \right\} \quad (17.2)$$

Agar  $e$  va  $e_1 < 1$  m bo'lsa tuzatmalar quyidagi oddiyroq formulalar bo'yicha hisoblanadi

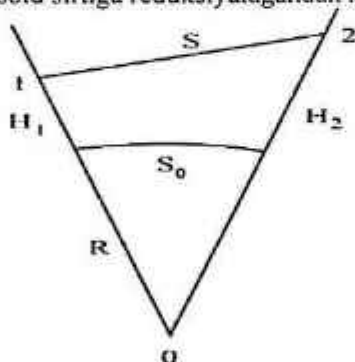
$$\left. \begin{aligned} \delta c &= -e \cos(M + \theta); \\ \delta r &= -e_1 \cos(M_1 + \theta_1). \end{aligned} \right\} \quad (17.3)$$

Punktlar markaziga keltirilgan tomonlar uzunligini quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$D_H = D'_H + \delta c + \delta r. \quad (17.4)$$

## 17.2. O'lchangan qiymatlarni yer yuzasidan referens – ellipsoid yuzasiga reduksiyalash

**O'lchangan masofalarni reduksiyalash.** Yer yuzasidagi nuqtalarni referens – ellipsoid yuzasiga unga normallar bo'yicha proeksiyalanadi. Dengiz sathidan 2 km balandlikda joylashgan 1 va 2 nuqtalar orasidagi  $s \leq 100$  km masofa elektron dalmomer bilan o'lchangan bo'lsa (17.2-shakl), uni referens – ellipsoid sirtiga reduksiyalagandan keyin quyidagi formula



17.2-shakl. O'lchangan masofalarni referens-ellipsoidga

bo'yicha hisoblanadigan  $S_0$  qiymatga ega bo'ladi

$$S_0 = \sqrt{S^2 - \Delta H^2} \left( 1 - \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) + \frac{S^3}{24R^2}, \quad (17.5)$$

bu yerda  $H_1$  va  $H_2$  - o'lchangan  $S$  chiziq uchlarining balandliklari ( $\Delta H = H_2 - H_1$ );  $R$  - ushbu chiziqni o'rtacha  $B_m$  kenglikdagi nuqtasida ellipsoid egriligi o'rta radiusi:

$$R = a \left( 1 - \frac{1}{2} e^2 \cos 2B_m \right), \quad (17.6)$$

bu yerda  $a$  - referens eddipsoid katta yarim o'qi;  $e$  - ellipsoid meridian qirgimi eksentrisiteti; Krasovskiy ellipsoidi uchun  $a=6378245$  m,  $e^2 = 0,006693422$ .

**Gorizontal yo'nalishlarni reduksiyalash.** 1. *Shovun chizig'ining og'ishi uchun tuzatmalar.* Nuqtada o'rnatilgan teodolit asbobini vertikal o'qi shovun chizig'i bo'yicha yo'naltiriladi, ushbu shovun chizig'i xuddi shu nuqtadan o'tuvchi normal chiziq bilan ustma-ust tushmaydi. Shuning uchun o'lchangan yo'nalishlar va Laplas azimutlariga  $A = \alpha - (\lambda - L) \sin \varphi$  shovun chizig'ining og'ishi uchun tuzatma  $\delta_1$  kiritiladi

$$\delta_1 = -(\xi \sin A_k - \eta_i \cos A_k) \operatorname{ctg} z_k, \quad (17.7)$$

bu yerda  $\xi_i$  va  $\eta_i$  - tegishli meridian va birinchi vertikal tekisliklaridagi shovun chizig'ini og'ishi;  $A_k$  - tuzatma hisoblanadigan yo'nalishning geodezik azimuti;  $z_k$  - kuzatilayotgan nishonning zenit masofasi. Tuzatma  $\delta_1$  o'lchanayotgan yunalishni og'ish burchagi  $1''$  yoki undan ortiq bo'lsa, hamda shovun chizig'i to'la og'ishining qiymati  $u = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$   $3''$  dan kam bo'lmasa hisoblanadi. Tekis joylarda ( $z = 90^\circ \pm 1^\circ$ ) bu tuzatmalar deyarli nolga teng. Katta uzunlikdagi 1 klass triangulyatsiyasi qatori uchun bu tuzatmalar yo'nalishlarni og'ish burchagi kichik bo'lganda ham hisobga olinishi kerak, chunki davlat hududida geoid (kvazigeoid)ni katta to'lqinlari joylashsa, tuzatmalar sistematik xarakterga ega bo'ladi va ularni ta'siri natijasida triangulyatsiya tarmog'i deformatsiyalanadi. Tog'li hududlarda shovun chizig'larini og'ish qiymati  $30-40''$  gacha yetib boradi, zenit masofalar esa  $84-96''$  tashkil etadi. Shunda misol uchun  $u=30''$ ,  $A=90''$ ,  $Z=84''$  ( $\operatorname{ctg} 84''=0,105$ ) deb qabul qilib tuzatma  $\delta_1=3,15''$  ni topamiz. Shu sababli tog'li hududlarda shovun chizig'ini og'ish burchagi uchun tuzatmalarni nafaqat 1-2 klass punktlari, balkim 3-4 klass punktlarida ham o'lchangan yo'nalishlarga kiritish kerak bo'ladi.

**Kuzatiladigan punktlar balandligi uchun tuzatmalar.** Ushbu tuzatma ellipsoid sirtidan  $H_2$  balandlikda joylashgan 1-nuqtadan o'tuvchi trubaning vizir tekisligi (17.3-shakl) shu nuqtani normal chizig'i orqali ellips sirtiga tushirilgan proeksiyasi bilan ustma-ust tutashmasligi (to'g'ri kelmasligi)dan kelib chiqadi va u quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\delta_2 = \rho \frac{H_2 e^2}{M_m 2} \cos^2 B_2 \sin 2A_{12}, \quad (17.8)$$

bu yerda  $\rho''=206265''$ ,  $H_2 = N + H_m''$  - kuzatilayotgan 2-nuqtaning referens - ellipsoid sirtiga nisbatan geodezik balandligi;  $M$  - 1 va 2 nuqtalar o'rtacha kengligida  $B_m = (B_1 + B_2)/2$  meridian ellipsi egrilik

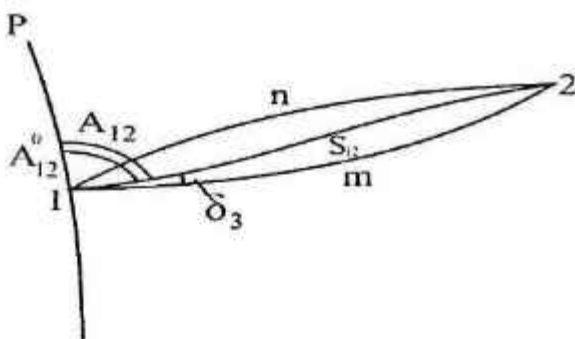
radiusi;  $e$  - meridian ellipsining eksentrisiteti;  $A_{12}$  -  $B_2$  kenglikdagi 2 - nuqtaga qarab o'tuvchi yo'nalish azimuti.

Krasovskiy ellipsoidi uchun (17.8) formula quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$\delta_2 = 0,108'' H_2 \cos^2 B_2 \sin 2A_{12}. \quad (17.9)$$

$B = 45^\circ$ ,  $\sin 2A_{12} = 1$  va  $H_1' = 200$  m,  $H_2' = 1000$  m balandliklarga ega nuqtalarni qabul qilib, ushbu nuqtalarga bo'lgan yo'nalishlarga tuzatmalar  $\delta_2$  ni quyidagi qiymatlarini topamiz  $\delta_2' = 0,008''$  va  $\delta_2'' = 0,05''$ . tog'li hududlarda  $\delta_2$  tuzatmalari 1 va 2 klass geodezik tarmoqlarni qurishda hisobga olinadi.

**Ellipsoid normal qirqimi azimutidan geodezik chiziq azimutiga o'tish uchun tuzatmalar.** Ellipsoid sirtida geodezik masalalarni yechishda to'g'ri va teskari normal qirqimlar o'rniga 1 va 2 nuqtalarni eng kalta masofa bo'yicha tutashtiruvchi geodezik chiziq  $s_{12}$  foydalanadi (17.3-shakl).



17.3-shakl. Ellipsoid normal qirqimi azimutidan geodezik chiziq azimutiga o'tish uchun tuzatmalar

Bunda normal qirqim  $1m2$  azimuti  $A_{12}'$  dan geodezik chiziq  $s_{12}$  azimutiga o'tish ehtiyoji tug'iladi  $A_{12} = A_{12}' - \delta_3$ , bu yerda  $\delta_3$  quyidagi formula orqali hisoblanadi

$$\delta_3 = -\rho \frac{e^2 s^2}{12 N_m^2} \cos^2 B_m \sin 2A_{12}, \quad (17.10)$$

bu yerda  $e$  - referens - ellipsoid meridian ellipsining eksentrisiteti;  $s$  - geodezik chiziq uzunligi (km);  $N_m$  - 1 va 2 nuqtalar o'rtacha kengligi

$B_m = (B_1 + B_2)/2$  da birinchi vertikal egrilik radiusi (km);  $A_{12}^\circ$  - to'g'ri normal qirqim azimuti.

Krasovski ellipsoidi uchun (17.10) formula quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$\delta_1 = -2,82'' \cdot 10^{-6} s^2 \cos B_m \sin A_{12}. \quad (17.11)$$

Bu tuzatmalar juda kichik. Masalan,  $s=30$  km,  $B=45^\circ$  va  $\sin 2A_{12}=1$  deb qabul qilib (17.11) formuladan topamiz  $\delta_1=0,001''$ . Shunga ko'ra bu tuzatmalar faqat 1 klass tarmoqlarida hisobga olinadi.

2 - 4 klass trangulyatsiyasida, agar u tekis hududlarda qurilsa ( $Z=90^\circ \pm 1^\circ$ ) va punktlar geodezik balandligi  $H \leq 1$  km bo'lganda  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  va  $\delta_3$  tuzatmalar burchaklarni o'lchash aniqligi  $m_\beta = 1 \div 2''$  ga qaraganda ancha kichik shunga ko'ra ularni hisobga olmaslik mumkin.

### 17.3. O'lchangan qiymatlarni ellipsoiddan tekislikka reduksiyalash

**Masofalarni reduksiyalash.** Ellipsoid sirtidagi triangulyatsiya tomoni uzunligi  $S$  bo'lsin. Ushbu tomonni Gauss - Kryuger proeksiyasida gorizont tekislikdagi uzunligi  $s$ , agarda  $S \leq 30$  km bo'lsa, yetarli aniqlikda quyidagi formulani qavs ichidagi bo'yicha hisoblanishi mumkin

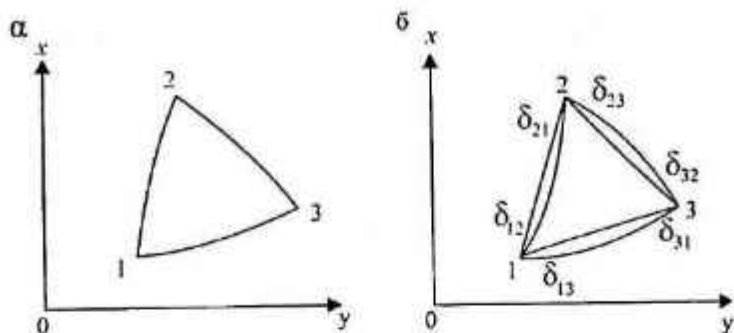
$$s = S + \Delta S = S + f' s (y_m^2 + \frac{\Delta y^2}{12}), \quad (17.12)$$

bu yerda  $f' = \frac{1}{2R_m^2}$ ;  $y_m = (y_1 + y_2)/2$ ;  $\Delta y = y_2 - y_1$ . Agarda  $30 \leq S \leq 60$

km bo'lsa yanada aniqroq hisoblash formulasi ishlatiladi; agarda  $S \leq 10$  km bo'lsa yuqoridagi (17.12) formula ikkinchi hadisiz ishlatiladi.

**Gauss - Kryuger tekislikdagi proeksiyasida geodezik chiziq egriligini tasvirlash xatosi uchun yo'nalishlarga tuzatmalar.** Gauss - Kryuger proeksiyasida uchburchaklar tomonlari tekislikda ellipsoid sirtiga o'xshash egri chiziqlar bilan tasvirlanadi (17.4-shakl). Tekislikdagi tomonlari egri chiziqlardan iborat uchburchaklarni yechish ancha murakkab. Shuni hisobga olib bunday uchburchaklar uchlari to'g'ri chiziqlar bilan tutashtirilib analitik geometriya formulalaridan foydalanib yechiladi. Bunda egri chiziqlar orasidagi burchaklardan ular uchlarni tutashtiruvchi vatarlar orasidagi burchaklarga o'tish kerak bo'ladi. Buning uchun har bir





17.4-shakl. Ellipsoiddagi (a) va Gauss-Kryuger proeksiyasi tekisligidagi (b) uchburchak

o'lchangan yo'nalish  $N_{ik}$  ga Gauss – Kryuger proeksiyasida geodezik chiziqni tekislikda tasvirlash xatosi uchun tuzatma  $\delta_{ik}$  bilan tuzatiladi.

2 - 4 klass triangulyatsiyasida to'g'ri va teskari yo'nalishlarga tuzatmalar quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi

$$\left. \begin{aligned} \delta_{12} &= \frac{1}{3} f(x_1 - x_2)(2y_1 + y_2); \\ \delta_{21} &= -\frac{1}{3} f(x_1 - x_2)(2y_2 + y_1), \end{aligned} \right\} \quad (17.12)$$

bu yerda  $f = \rho/2R^2$ ;  $x, y$  - punktlarning taqribiy koordinatalari (km). Ordinatalar  $y_1$  va  $y_2$  proeksiyani o'q meridianidan boshlab hisoblanadi[5].

1 klass triangulyasida bulardan aniqroq formulalardan foydalanadi. Burchak uchi nuqtalari 1, 2, 3 bo'lgan uchburchakda (17.4<sup>b</sup>-shakl) burchaklar uchun tuzatmalar  $\delta_i$  quyidagi ayirmalar bo'yicha topiladi

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \delta_{13} - \delta_{12}; \\ \delta_2 &= \delta_{23} - \delta_{21}; \\ \delta_3 &= \delta_{32} - \delta_{31}. \end{aligned} \right\} \quad (17.13)$$

Yunalishlar uchun tuzatmalar  $\delta_{ik}$  ni hisoblash nazorati bo'lib quyidagi hisoblanadi:  $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = -\varepsilon$ , bu yerda  $\varepsilon$  - uchburchakdagi sferik ortiqcha.

**Geodezik azimutlardan direksion burchaklarga o'tish.** Tekisikdagi 1 va 2 nuqtalarni tutashtiruvchi  $S_{12}$  vatarni direksion burchagi  $\alpha_{12}$  ellips sirtidagi ushbu nuqtalar orasidagi geodezik chiziqni berilgan  $A_{12}$  azimutidan foydalanib quyidagicha hisoblanadi

$$\alpha_{12} = A_{12} - \gamma_1 + \delta_{12}, \quad (17.14)$$

bu yerda  $\gamma_1$  - tekislikdagi 1 nuqtada meridianlar yaqinlashish burchagi;  $\delta_{12}$  - geodezik egri chiziqni tekislikda tasvirlash uchun tuzatma.

$\gamma$  qiymatini 0,01" aniqlikda quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin

$$\gamma = l \sin B + \frac{l^3}{3\rho^2} \sin B \cos^2 B (1 + 3\eta^2), \quad (17.15)$$

bu yerda  $l$  - Gauss - Kryuger proeksiyasidagi zona o'q meridiani uzoqligi  $L_0$  bilan 1 nuqta geodezik uzoqligi  $L_1$  farqi;  $B$  - 1 nuqtaning geodezik kengligi;  $\eta^2 = e'^2 \cos^2 B$ ;  $e'$  - ellipsoidning ikkinchi eksentrisiteti (Krasovskiy ellipsoidi uchun  $e'^2 = 0.006738525415$ ).

$\gamma$  qiymatini 0,01" aniqlikda quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin

$$\gamma = l \sin B + \frac{l^3}{3\rho^2} \sin B \cos^2 B, \quad (17.16)$$

0,1° aniqlikgacha esa quyidagi formuladan topiladi

$$\gamma = l \sin B.$$

Shuni aytish kerakki  $\gamma$  oldidagi ishora uzoqliklar ayirmasining ishorasiga  $l = L - L_0$  to'g'ri keladi.

**Dastlabki hisoblashlarni yakuniy bosqichi.** Yuqorida aytilgandek dastlabki hisoblashlarni yakuniy maqsadi geodezik tarmoqni tenglash uchun boshlang'ich geodezik o'lchash natijalarini tayyorlashdir. Dastlab masshtabda geodezik tarmoq chizmasi chizilib unda boshlang'ich punktlar va hamma o'lchangan yo'nalishlar, azimutlar, tomonlar uzunligi va boshqalar ko'rsatiladi. Keyin boshlang'ich punktlarning koordinatalari katalogi tuziladi. Hamda referens - ellipsoid sirtiga va Gauss - Kryuger proeksiyasida tekislikka reduksiyalangan va punktlar markaziga keltirilgan yo'nalishlar, tomonlar uzunligi, Laplas azimutlari jadvallari tuziladi. Dastlabki hisoblashlar bosqichida quyidagilar aniqlangan bo'lishi kerak: punktlarning geodezik va normal balandliklari, reduksiyalash tuzatmalarini hisoblash uchun kerakli shovun chizig'i og'ishini tashkil qiluvchilari  $\xi$  va  $\eta$ .

Dastlabki hisoblashlarni asosiy vazifalaridan biri tarmoqda bajarilgan geodezik o'lchashlar natijalari texnik talablarni qanoatlantirishini tekshirishdan iborat. Buning uchun tarmoqda hosil bo'ladigan bog'liq bo'lmagan va bog'liq shartli tenglamalar ozod hadlari hisoblanadi va ular qiymatlari belgilangan chekli qiymatlardan oshmasligi kerak. Keyin o'lchangan qiymatlarni o'rta kvadratik xatosi, hamma shartli tenglamalar

ozod hadlari qiymatlaridan foydalanib, aniqlanadi va ular belgilangan chekli qiymatlar bilan solishtiriladi.

Dastlabki hisoblarning yakuniy maqsadi qabul kilingan referens ellipsoid yuzasiga va Gauss-Kryuger proeksiyasi yuzasiga reduksiyalangan va punktlar markaziga keltirilgan geodezik tarmoqda barcha o'lgangan mikdorlarning ma'lumotlar jadvalini tuzishdan iborat. Bundan tashqari muhim masalalardan biri o'lgash natijalarini taxlil qilish va barcha mustaqil, hamda mustaqil bulmagan shartli tenglamalarning ozod xadlari bo'yicha ularni nazorat qilish hisoblanadi. Ularga qo'yilgan talablardan topilgan chetlashishlarni tenglashtirish hisoblarini boshlashdan oldin tuzatish kerak bo'ladi.

Dastlabki hisoblar geodezik tarmoqning ishchi sxemasini tuzish, dala jurnallaridagi hisoblashlarni tekshirish, stansiyada o'lgangan va tenglashtirilgan mikdorlar masshtabini tuzish, uchburchaklarni dastlabki yechish va ularning sferik ortiqchasini hisoblash, asbobni markazlashtirish tuzatmasini hisoblash va vizir nishonni reduksiyalash, tarmoqda o'lgangan mikdorlarning punktlar markaziga keltirilgan ma'lumotlar jadvalini tuzish kuzda tutiladi. Hamda boshlangich punktlar koordinatalari va balandlik jadvalini, Laplas va boshqa punktlarda shovun chizigini og'ishi jadvali, Laplas azimutlari va tomon uzunligi jadvali, normal va geodezik balandliklar jadvallari tuziladi.

Yer yuzasidan ellipsoid yuzasiga o'lgangan yo'nalishlar, azimutlar va tomonlar uzunligini reduksiyalash ungcha normallar bo'yicha bajariladi. O'lgangan yo'nalish va azimutlarga tuzatmalar kiritiladi: shovun chizigining og'ishi uchun, referens-ellipsoiddan (1-2 klass triangulyatsiyasida) kuzatiladigan nishonlar balandligi uchun, ellipsoid normal kesimidan geodezik chiziqqa o'tish uchun (faqat 1-klass triangulyatsiyasida). O'lgangan tomonlarni loyihalashda referens-ellipsoiddan ularning balandligi uchun tuzatma hisoblanadi.

Burchakli va chiziqli elementlarni referens-ellipsoid yuzasidan Gauss-Kryuger proeksiyasi yuzasiga reduksiyalashda yo'nalish va azimutlarga geodezik chiziqni tekislikda tasvirlashda egrilik uchun, o'lgangan tomonlar masshtabini buzilishi uchun tuzatma hisoblanadi.

## 18-BOB. GEODEZIK TARMOQLARNI KORRELAT USULIDA TENGLASHTIRISH

### 18.1. Umumiy holat

Geodezik tarmoqlarni barpo etishda yangidan aniqlanadigan punktlarning koordinatalarini hisoblash uchun boshlang'ich punktlar koordinatalari, tomonlar uzunligi va azimutlari, hamda uchburchaklarning o'lchangan burchaklari va tomon uzunligining zaruriy soni (har bir uchburchakda ikkita burchak va ikkita tomon) ma'lum bo'lishi lozim. Bu holatda punktlar koordinatalar nazoratsiz, katta hatolik bilan aniqlanadi. Bunda xatoliklarni aniqlash, tuzatash hamda tarmoqning u yoki bu elementini aniqligini baholashning imkoni bo'lmaydi. Bu kamchiliklarni tuzatish hamda tarmoqni barpo etish aniqligini oshirish uchun unda gorizonttal burchaklarni, tomonlar uzunligini va tomon azimutlarini ortiqcha o'lchash deb ataluvchi katta hajmdagi o'lchash ishlari bajariladi.

Yuqori klassdagi tarmoq past klassdagi bilan zichlashtirilganda (to'ldirilganda) burchak, tomon uzunliklari va tomon azimutlarini ortiqcha o'lchashdan tashqari zichlashtirish tarmog'ini tenglashtirganda o'zgartirishi mumkin bo'lmaydigan ortiqcha boshlang'ich ma'lumotlar ham paydo bo'ladi. Bunga yuqori klass tarmog'i punktlarining koordinatalari, tomonlar uzunligi va direksion burchaklari kiradi.

Geodezik tarmoqlarda ortiqcha o'lchangan miqdorlar va ortiqga boshlang'ich ma'lumotlar bo'lganda ularda paydo bo'ladigan geometrik shartlar bo'yicha tenglashtirish zarurati tug'iladi. Geodezik tarmoqlarni odatda eng kichik kvadratlari usuli bo'yicha tenglashtiriladi, bunda:

1) tarmoqdagi o'lchangan barcha miqdorlar (yo'nalishlar, azimutlar, tomonlar uzunligi va h.q.) mustaqil hisoblanadi;

2) o'lchash natijalari sistematik xatolardan ozod bo'ladi;

3) o'lchashdagi tasodifiy xatolarni matematik kutilishi nolga teng bo'lib, normal taqsimot qonuniga bo'ysinadi.

Har bir punktda burchak o'lchash natijalarining mustaqilligi, hamda priyomlardagi azimutal aniqlashlar, aniq dastur bo'yicha, priyomlar orasida limbni qayta o'rnatish bilan ta'minlanadi. Qolgan ikkita talab to'liq o'lchamda bajarilmaydi. Shuning uchun geodezik tarmoqlarni tenglashtirish matematik nuqtai nazardan mukammal bo'lishi uchun dala ishlari bosqichidayoq ikkinchi va uchinchi talablarni bajarishga qaratilgan barcha choralarni ko'rish lozim. Aks holda geodezik tarmoqni tenglashtirishda eng kichik kvadratlari usuli formal foydalanilgan bo'ladi.

Geodezik tarmoqlarni eng kichik kvadratlar usuli bilan tenglashtirishining ikkita klassik usuli mavjud; korrelata va parametrik. Matematik nuqtaiy nazardan bu usullar ekvivalent bo'lib, tarmoqni tenglashtirilgan elementlarning bir xil qiymatlarini beradi. Ammo texnik-iqtisodiy nuqtasi nazardan bu usullar muayyan sharoitga bog'liq holda bir xil hisoblash vositalaridan foydalanganda ham baravar bo'lmashligi mumkin.

Masalan, o'lchami bo'yicha katta tarmoqlar yoki boshlang'ich punktlari va diagonal yo'nalishlari ko'p bo'lgan kichik tarmoqlarni EHMda korrelata usuliga qaraganda parametrik usulda tenglashtirish maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki birinchi holatda tenglashtirish algoritmi ikkinchi holatga qaraganda oddiydir, hisoblash operatsiyalari esa bir xil, bu esa EHMda ishlashda juda muhim.

Korrelata usulida ko'plab mantiqiy (logik) operatsiyalar mavjud (shartli tenglamalarning turlari) ular sezirarli darajada EHM uchun dastur tuzishni murakkablashtiradi va tenglashtirishda katta vaqt va mehnatni talab etadi. Shuning uchun har bir muayyan holatda geodezik tarmoqlarni tenglashtirish usulin tanlashda geodezik tarmoq o'lchami va murakkabligi, hamda mavjud hisoblash vositalarini hisobga olgan holda ijodiy yondashiladi.

## 18.2. Triangulyatsiyada shartli tenglamalar soni

Triangulyatsiya tarmoqlari yo'nalishlar va burchaklar bo'yicha tenglashtiriladi. Eng kichik kvadratlar prinsipiga muvofiq tenglashtirishdan barcha o'lchangan miqdorlarga tuzatmalar aniqlash lozim. Yuqorida ta'kidlanganidek triangulyatsiyada punktlarda kuzatish natijalari yo'nalishlar qatori ko'rinishida bo'ladi. Shuning uchun triangulyatsiya va poligonometriya tarmoqlari yo'nalishlar bo'yicha tenglashtiriladi. Ayrim hollarda yo'nalishlar o'miga burchaklar tenglashtiriladi, ular yo'nalishlar farqidan topiladi va shuning uchun mustaqil bo'lmagan miqdorlar hisoblanadi. Tenglashtirish hisoblari jarayonida bu bog'liqlik hisobga olinmaydi, buning natijasida tarmoqni tenglashtirilgan elementlarida ayrim buzilishlar paydo bo'ladi, ayniqsa aniqlikni baholashda. Bu holatni yuqori aniq geodezik tarmoqlarni barpo etishda hisobga olish lozim.

Geodezik tarmoqlarni korrelata usuli bilan tenglashtirishida mustaqil shartli tenglamalar sonini va turini behato aniqlash katta ahamiyatga ega. Birorta ham mustaqil shartli tenglama o'tkazib yuborilmasligi kerak, ortiqchalari esa kiritilmasligi kerak.

Umumiy holda geodezik tarmoqlarda mustaqil bo'lmagan shartli tenglamalar soni undagi ortiqcha o'lchashlar soni bilan boshlang'ich punktlar koordinatalari yoki ular bo'yicha hisoblangan boshlang'ich (qattiq) tomonlarning uzunliklari va direksion burchaklari ko'rinishida berilgan ortiqcha boshlang'ich (qattiq) elementlar soni yig'indisiga teng.

Geodezik tarmoq faqat bitta boshlang'ich punktga ega bo'lib, kerakli miqdorda bazis tomonlar, azimutlar, gorizontal yo'nalishlar yoki tarmoqni barcha tomonlari uzunliklari o'lchangan bo'lsa, uni *nol-ozod geodezik tarmoq* deb atash qabul qilingan.

Ozod triangulyatsiya tarmog'ini  $\Sigma p v^2 = \min$  sharti ostida tenglashtirilganda to'la bajarilishi lozim bo'lgan quyidagi geometrik shartlar paydo bo'lishi mumkin: shakllar sharti (uchburchaklar yoki ko'p burchaklar), gorizont (burchaklar tenglashtirilganda), qutb, proeksiya, bazis va azimutlar (direksion burchak) shartlari.

Amaliyotda yangidan barpo etilayotgan past klassda tarmog'i yuqori klassdagi tarmoqning tomoniga yoki punktlariga tayanadi. Bu holda yuqori klassdagi tarmoq boshlang'ich punktlarning koordinatalari, boshlang'ich tomonlar uzunligi va direksion burchaklari, yangidan barpo etilaetgan tarmoqni tenglashtirganda o'zgarmas boshlang'ich ma'lumotlar sifatida qabul qilinadi.

Shunday *ozod bo'lmagan triangulyatsiya tarmog'ida* undagi o'zgarmas deb qabul qilinadigan elementlar bilan birga (punktlar koordinatasi, yuqori klass tarmog'i tomoning uzunligi va direksion burchagi) ozod tarmoqdagi kabi shartli tenglamalarning turlari paydo bo'lishidan tashqari, koordinatlar (abssissa va ordinata) sharti paydo bo'lishi mumkin.

Geodezik tarmoqlarni  $\Sigma p v^2 = \min$  sharti ostida tenglashtirganda tarmoqni barcha bevosita o'lchangan miqdorlariga: gorizontalar, tomonlar uzunligi azimutlari va x.q.larga, har bir o'lchangan miqdorning vazni hisobga olinib tuzatmalar aniqlanadi. Ozod bo'lmagan tarmoqlarda boshlang'ich koordinatalarga, uzunliklarga va direksion burchaklarga tuzatmani nolga teng deb qabul qilinadi, ya'ni u aniqlanmaydi.

Ozod va ozod bo'lmagan triangulyatsiya tarmoqlarida paydo bo'ladigan shartli tenglamalarni quyida ko'rib chiqiladi.

**Shakl sharti.** Yopiq shaklda, uning barcha burchaklari o'lchangan bo'lsa, bu burchaklarning tenglashtirilgan nazariy qiymatlari yig'indisi quyidagiga teng bo'lishi lozim

$$\sum \beta = (n-2)180^\circ, \quad (18.1)$$

bu yerda  $n$  - yopiq shaklni hosil qiluvchi, tomonlar soni.

Triangulyatsiyani tenglashtirishni ikkita holatini farqlaymiz: birinchi xolatda, tarmoq burchaklar bo'yicha tenglashtiriladi, bunga burchaklar mustaqil deb hisoblanadi, va ikkinchi xolatda tarmoq yo'nalishlar bo'yicha tenglashtiriladi.

Uchlari 1,2 va 3 bo'lgan uchburchakni (18.1-shakl) tenglashtirilgan burchaklarini rimcha I,II,III raqamlar bilan, ularning o'lchangan qiymatlarini esa 1,2,3 raqamlar bilan belgilaymiz, tenglashtirishdan burchaklarga tuzatmalarni qavsga olingan arab raqamlari bilan belgilaymiz, ya'ni burchaklarni tenglashtirishda yozamiz

$$\begin{aligned} I &= 1 + (1); \\ II &= 2 + (2); \\ III &= 3 + (3). \end{aligned} \quad (18.2)$$

Har bir uchburchakda ikkita burchak zaruriy miqdor hisoblanadi, uchinchi esa ortiqcha. Tarmoqni burchaklar bo'yicha tenglashtirishda  $I + II + III = 180^\circ$  bo'lganligi sababli shartli tenglamalar uchburchak uchun quyidagi qo'rinishda yoziladi

$$(1) + (2) + (3) + \omega = 0, \quad (18.3)$$

bu yerda ozod had

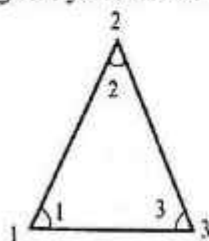
$$\omega = 1 + 2 + 3 - 180^\circ. \quad (18.4)$$

Agar burchaklar ellipsoid yuzasida berilgan bo'lsa

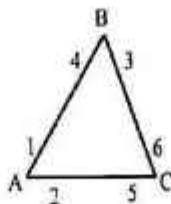
$$\omega = 1 + 2 + 3 - (180^\circ + \varepsilon), \quad (18.5)$$

bu yerda  $\varepsilon$  - uchburchakning sferik ortiqchasi

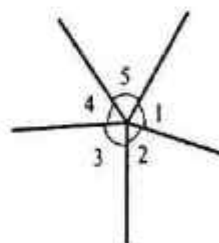
Yo'nalishlarni o'lchashda va tenglashtirishda har bir burchakni tegishli yo'nalishlar farqi bilan ifodalash lozim.



18.1-shakl. Burchaklari o'lchangan uchburchak



18.2-shakl. Yo'nalishlari o'lchangan uchburchak



18.3-shakl. Gorizontal shartini hosil qiluvchi burchaklar

Har bir punktda yo'nalishlarni soat mili yo'nalishi bo'yicha nomerlash qabul qilingan.



$ABC$  uchburchakda yo'nalishlarni o'lchab ularni tenglashtirish uchun shakl shartli tenglamasi (18.2-shakl) quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$-(1)+(2)-(3)+(4)-(5)+(6)+\omega=0, \quad (18.6)$$

bu yerda

$$\omega=[2-1]+[4-3]+[6-5]-180^{\circ}. \quad (18.7)$$

**Gorizont sharti.** Agar punktda, masalan, markaziy sistema qutbida (18.3-shakl) barcha yonma-yon joylashgan yo'nalishlar orasidagi burchaklar o'lchangan bo'lsa, ularni tenglashtirilgan qiymatlarining yig'indisi  $360^{\circ}$ ga teng bo'lish lozim. Gorizont sharti triangulyatsiyani faqat burchaklar bo'yicha tenglashtirishda paydo bo'ladi.

Bu holda gorizont sharti quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$(1)+(2)+(3)+(4)+(5)+\omega=0, \quad (18.8)$$

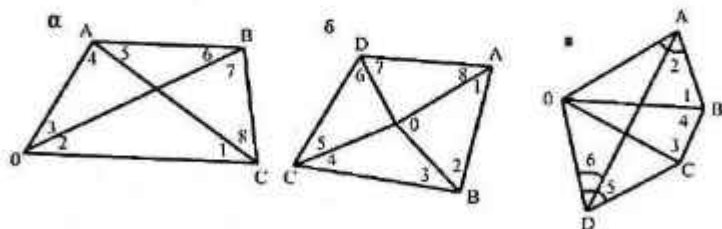
bu yerda

$$\omega=1+2+3+4+5-360^{\circ}. \quad (18.9)$$

Triangulyatsiyani yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirishda gorizont sharti paydo bo'lmaydi va u tenglashtirishga kiritilmaydi, chunki bu holda gorizont shartini ozod hadlari hamma vaqt nolga teng.

Biroq punktlarda yo'nalishlar o'lchanib, tarmoq burchaklar bo'yicha tenglashtirilsa, tenglamalar ozod hadlarining nol bo'lishiga qaramasdan gorizont shartini tuzish va hisobga olish zarur. Aks holda punktda tenglashtirilgan burchaklar yig'indisi  $360^{\circ}$ ga teng bo'lmaydi.

**Qutb sharti.** Geodezik to'rtburchakda va markaziy sistemada bitta tomon ortiqcha hisoblanadi. Shuning uchun bunday shakllarda qutb sharti paydo bo'ladi, uning mohiyati quyidagicha bo'ladi.



18.4-shakl. geodezik to'rtburchak (a) va o'lchangan burchaklari bilan markaziy sistemalar (b), (v)

Markaziy sistema (geodezik to'rtburchak)  $O$  qutbida shartli ravishda boshlang'ich deb qabul qilingan, masalan,  $OA$  tomon uzunligiga uchburchaklarni tenglangan burchaklari (yo'nalishlari) bo'yicha ketma-ket

yechish natijasida ikkinchi marta hisoblab topilgan natija teng chiqishi lozim.

Bu talab uchburchak tomonlarning nisbati orqali ifodalanishi mumkin. Geodezik to'rtburchakda (18.4,a-shakl) qutb sifatida  $O$  nuqtani qabul qilamiz. Bunda qutb sharti quyidagi tenglik ko'rinishida yoziladi

$$\frac{OA \cdot OB \cdot OC}{OB \cdot OC \cdot OA} = 1. \quad (18.10)$$

Tomonlar nisbatini uchburchakni qarama-qarshi burchaklari sinuslari nisbati bilan almashtirib (18.10) tenglama o'rimga yozamiz

$$\frac{\sin IV \sin(I + VIII) \sin IV}{\sin(IV + V) \sin VII \sin I} = 1. \quad (18.11)$$

Markaziy sistema uchun (18.4,b-shakl) qutb sifatida  $O$  nuqtani qabul qilamiz va qutb shartini oldin uchburchak tomonlarini nisbati qo'rinishida yozamiz

$$\frac{OA \cdot OB \cdot OC \cdot OD}{OB \cdot OC \cdot OD \cdot OA} = 1,$$

so'ngra qarama-qarshi burchaklarni sinuslarining nisbati ko'rinishida yozamiz

$$\frac{\sin II \sin IV \sin VI \sin VIII}{\sin I \sin III \sin V \sin VII} = 1. \quad (18.12)$$

Oldingiga o'xshash tenglashtirilgan  $X_i$  qiymatlarni o'lchangan  $x_i$  miqdorlar va  $u_i$  tuzatmalar yig'indisidan topamiz

$$X_i = x_i + u_i. \quad (18.13)$$

$X_1, X_2, \dots, X_n$  — miqdorlarni bog'lovchi shartli tenglamasini umumiy ko'rinishda yozamiz

$$F(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0. \quad (18.14)$$

$X_i$  miqdorlarni  $x_i$  va  $u_i$  yig'indilari bilan almashtiramiz. Shunda

$$F = (x_1, x_2, \dots, x_n) + \omega = 0, \quad (18.15)$$

bu yerda  $\omega$ -shartli tenglama bog'lanmasligi (ozod hadi).

(18.14) ifodani (18.13)ni hisobga olgan holda Teylor qatoriga yoyib birinchi tartibli kichiklar bilan chegaralanamiz. Natijada olamiz

$$F = (x_1 + u_1, x_2 + u_2, \dots, x_n + u_n) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) + \frac{\partial F}{\partial x_1} u_1 + \frac{\partial F}{\partial x_2} u_2 + \dots + \frac{\partial F}{\partial x_n} u_n = 0$$

yoki

$$\sum \left( \frac{\partial F}{\partial x_i} \right) u_i + \omega = 0 \quad (18.16)$$

bu yerda

$$\omega = F(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (18.17)$$

(18.16) ifoda geodezik tarmoqlarni tenglashtirishda qabul qilingan kabi, chiziqli ko'rinishiga keltirilgan shartli tenglamalarning umumiy ko'rinishidan iborat bo'ladi.

Geodezik to'rtburchakda (18.4a-shaklga qarang) (18.11) qutb shartli tenglamasini chiziqli ko'rinishiga keltirish uchun belgilaymiz

$$G = \frac{\sin IV \sin(I + VII) \sin IV}{\sin(I' + V) \sin VII \sin I}.$$

(18.16) ifodaga muvofiq har bir o'lchangan  $\beta$  burchak bo'yicha  $G$ 'dan xususiy hosila olamiz, so'ngra har bir hosilani  $\sin \beta$  ga ko'paytiramiz va bo'lamiz. Natijada tarmoqni burchaklar bo'yicha tenglashtirish holati uchun olamiz

$$\begin{aligned} & \operatorname{ctg} 6(6) + \operatorname{ctg}(1+8)(1) + \operatorname{ctg}(1+8)(8) + \operatorname{ctg} 4(4) - \operatorname{ctg}(4+5)(4) - \\ & - \operatorname{ctg}(4+5)(5) - \operatorname{ctg} 7(7) - \operatorname{ctg} 1(1) + \omega = 0, \end{aligned} \quad (18.18)$$

bu yerda tenglamaning ozod hadi quyidagiga teng

$$\omega = \left( \frac{\sin 6 \sin(1+8) \sin 4}{\sin(4+5) \sin 7 \sin 1} - 1 \right) \rho'' = \left( \frac{\Pi_1}{\Pi_2} - 1 \right) \rho = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_2} \rho''. \quad (18.19)$$

Ushbu holda  $P_1$  va  $P_2$  -burchak sinusini surat va maxrajga ko'paytmasi.

(18.18) ifodada bir xil tuzatmalarda o'xshash xadlarni keltirishni bajarib, geodezik to'rtburchakda qutb shartli tenglamasini yakuniy kurinishida yozamiz

$$\begin{aligned} & [\operatorname{ctg}(1+8) - \operatorname{ctg} 1](1) + [\operatorname{ctg} 4 - \operatorname{ctg}(4+5)](4) - \\ & - \operatorname{ctg}(4+5)(5) + \operatorname{ctg} 6(6) - \operatorname{ctg} 7(7) + \operatorname{ctg}(1+8)(8) + \omega = 0 \end{aligned} \quad (18.20)$$

Markaziy sistema uchun (18.4,b-shaklga qarang) qutb shartli tenglamasi (18.12) uni burchaklar bo'yicha tenglashtirilganda quyidagi ko'rinishida yoziladi

$$\begin{aligned} & - \operatorname{ctg} 1(1) + \operatorname{ctg} 2(2) - \operatorname{ctg} 3(3) + \operatorname{ctg} 4(4) - \operatorname{ctg} 5(5) + \\ & + \operatorname{ctg} 6(6) - \operatorname{ctg} 7(7) + \operatorname{ctg} 8(8) + \omega = 0, \end{aligned} \quad (18.21)$$

bu yerda

$$\omega = \left( \frac{\sin 2 \sin 4 \sin 6 \sin 8}{\sin 1 \sin 3 \sin 5 \sin 7} - 1 \right) \rho = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_2} \rho''. \quad (18.22)$$

Qutb shartli tenglamalari (18.18) va (18.21) triangulyatsiyani burchaklar bo'yicha tenglashtirish holatiga to'g'ri keladi. Yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirganda burchaklarga tuzatmalarni o'lchangan yo'nalishlarning tuzatmasi orqali ifodalash lozim. Masalan, agar  $\beta$  burchak 2 va 1 yo'nalishlar farqiga teng bo'lsa, ya'ni agar  $\beta = 2-1$ , unda

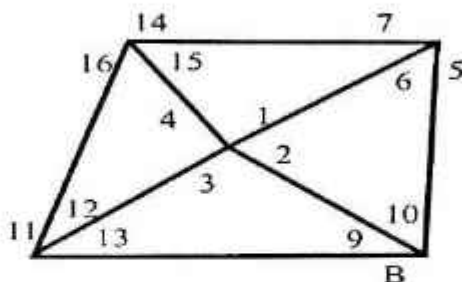
tarmoqni burchaklar bo'yicha tenglashtirishda yozamiz:  $\text{ctg} \beta(\beta)$ , tarmoqni yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirishda -  $\text{ctg}(2-1)(1) + \text{ctg}(2-1)(2)$

Markaziy sistemani (18.5-rasm.) yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirganda bir xil tuzatmalarda o'xshash hadlarni keltirilgandan so'ng qutb shartli tenglamasi quyidagi ko'rinishida yoziladi.

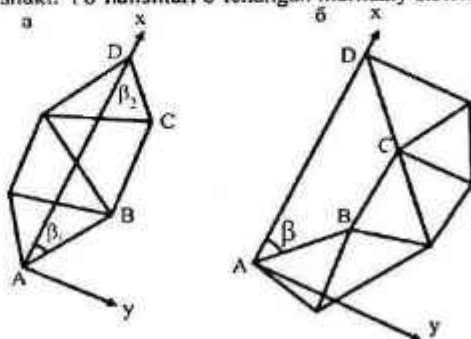
$$\begin{aligned} & \text{ctg}(6-5)(5) - [\text{ctg}(6-5)(6) + \text{ctg}(7-6)(7) + \text{ctg}(9-8)(8) + \\ & + \text{ctg}(10-9)(9) - \text{ctg}(9-8)(9) - \text{ctg}(10-9)(10) + \text{ctg}(12-11)(11) - [\text{ctg}(13-12) \\ & + \text{ctg}(12-11)(12) + \text{ctg}(13-12)(13) + \text{ctg}(15-14)(14) - [\text{ctg}(15-14) + \\ & \text{ctg}(16-15)(15) + \text{ctg}(16-15)(16) + \omega = 0. \end{aligned} \quad (18.23)$$

bu yerda

$$\omega = \left( \frac{\sin(10-9)\sin(13-12)\sin(16-15)\sin(7-6)}{\sin(6-5)\sin(9-8)\sin(12-11)\sin(15-14)} - 1 \right) \rho'' = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_2} \rho'' \quad (18.24)$$



18.5-shakl. Yo'nalishlari o'lchangan markaziy sistema



18.6-shakl. Proeksiya sharti kelib chiqadigan triangulyatsiya tarmoqlari

Shuni ta'kidlash kerakki, tarmoqni yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirishda hohlagan shartli tenglamadagi tuzatmalardagi koeffitsientlar yig'indisi nolga teng bo'lishi lozim, chunki burchaklar

tuzatmasini yo'nalish tuzatmasiga almashtirishdan so'ng ularning koeffitsientlari bir marta musbat, ikkinchi marta esa ma'nfiy ishoraga ega bo'ladi. Yo'nalishlarni tenglashtirganda hisoblashlarni oraliq nazorat qilishda bu talabdan foydalaniladi.

**Proeksiya sharti.** Ular tarmoqda, yonma-yon joylashmagan uchburchaklar uchlarini birlashtiruvchi uzun diagonal bo'lganda va unda bitta yoki ikkita ortiqcha burchak o'lchanganda paydo bo'ladi (18.6-shakl).

Boshi A nuqtada bo'lgan yordamchi koordinatalar sistemasini kiritamiz; absissa o'qini  $AD$  diagonal bo'ylab, ordinata o'qini esa unga perpendikulyar yo'naltiramiz. Proeksiya shartining mohiyati shundan iboratki  $ABCD$  yopiq konturda uni tomonlari uzunligini hohlagan yo'nalishga proeksiyasining yig'indisi nolga teng bo'lishi lozim.  $AD$  diagonal uzunligi noma'lum bo'lgani uchun, tomonlar uzunligi proeksiyalanadigan u yo'nalish  $A$  nuqtada  $AD$  tomonga perpendikulyar bilan birlashtiriladi. Oldin umumiy ko'rinishda proeksiya shartini yozamiz

$$\sum (\Delta y) + \omega = 0, \quad (18.25)$$

bu yerda

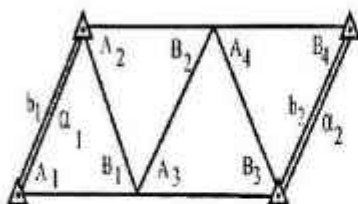
$$\omega = \Delta y'_{AB} + \Delta y'_{BC} + \Delta y'_{CD} + \Delta y'_{DA} = \sum \Delta y' \quad (18.26)$$

(18.25) ifodadagi  $(\Delta y)$  – bosh nuqta  $A$  bilan  $x, u$  shartli koordinata sistemasida hisoblangan  $\Delta y'$  orttirmaga topilgan tuzatma. Tuzatma  $\Delta y'$  o'lchangan yo'nalishlarga (burchaklarga) tuzatma orqali ifodalab shartli tenglama yakuniy ko'rinishda olinadi.

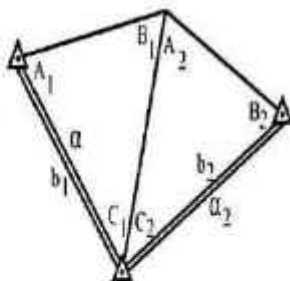
Proeksiya sharti tarmoq aniqligini oshirishga olib kelmaydi; u faqat tenglashtirish hisoblari jarayonini murakkablashtiradi. Shuning uchun geodezik tarmoqlarni loyihalashda ularda proeksiya shartini paydo bo'lmasligiga erishish kerak.

$ABCD$  shaklda (18.6,a-shakl) ikkita qo'shimcha  $\beta$  burchaklar o'lchangan. Shuning uchun unda ikkita qo'shimcha shartlar paydo bo'ladi: proeksiya va shakl sharti. Xuddi shunday shaklda (18.6,b -shakl) bitta qo'shimcha  $\beta$  burchak o'lchanganda faqat qo'shimcha proeksiya sharti paydo bo'ladi.

**Bazis sharti.** Tarmoqda ortiqcha boshlang'ich tomonlar (bevosita o'lchangan yoki boshlang'ich punktlar koordinatalari bo'yicha hisoblanilgan) bo'lganda bu shart paydo bo'ladi. Bazis shartini tuzayotganda qisqa yo'l bo'yicha eng yaqin boshlang'ich tomonlar  $b_1$  va  $b_2$  ni birlashtiruvchi tarmoqdagi uchburchaklar zanjiri belgilanadi.



18.7-shakl. Koordinatalari berilgan punktlar orasidagi uchburchaklar zanjiri



18.8-shakl Uchta boshlang'ich punktlar koordinatalari bilan berilgan mustahkam burchakka punkt o'rnatish

Boshlang'ich tomon  $b_1$  dan uchburchaklarning tenglashtirilgan burchaklari orqali hisoblagan  $b_2$  boshlang'ich tomon uzunligi uning berilgan qiymatiga teng bo'lishi lozim. Masalan, boshlang'ich punkt koordinatalari bo'yicha hisoblanilgan ikkita boshlang'ich (mustahkam)  $v_1$  va  $v_2$  tomonlar orasidagi (18.7-shakl) uchburchaklar zanjirida bazis sharti paydo bo'ladi va u quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$b_1 = \frac{\sin A_1 \sin A_2 \sin A_3 \sin A_4}{\sin B_1 \sin B_2 \sin B_3 \sin B_4} b_2 = 0. \quad (18.27)$$

Aytayliq  $A=A'+(A)$  va  $B=B'+(B)$ , bu yerda  $(A)$  va  $(B)$  -  $A'$  va  $B'$  o'lgangan burchaklarga tenglashtirishdan topilgan tuzatma (18.27) tenglamani chiziqli ko'rinishga keltirib, hosil qilamiz

$$\frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} A'_1(A_1) + \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} A'_2(A_2) + \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} A'_3(A_3) + \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} A'_4(A_4) - \frac{b'_1}{\rho} \operatorname{ctg} B'_1(B_1) \quad (18.28)$$

$$- \frac{b'_1}{\rho} \operatorname{ctg} B'_2(B_2) - \frac{b'_1}{\rho} \operatorname{ctg} B'_3(B_3) - \frac{b'_1}{\rho} \operatorname{ctg} B'_4(B_4) + \omega = 0.$$

bu yerda

$$\omega = b'_2 - b'_1, \quad b'_2 = b_1 = \frac{\sin A'_1 \sin A'_2 \sin A'_3 \sin A'_4}{\sin B'_1 \sin B'_2 \sin B'_3 \sin B'_4} b_1 \frac{P_1}{P_2} \quad (18.29)$$

Tuzatmalardagi koeffitsientlar birga yaqin qiymat bo'lishi uchun  $b_1$  va  $b_2$  tomon uzunliklari va  $\omega$  ozod had desimetrda ifodalanadi, so'ng (18.28) ifodaning ikkala qismi  $\frac{\rho}{b_1}$  ga ko'paytiriladi. Shunda bazis shartli tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\begin{aligned} & \operatorname{ctg} A'_1(A_1) + \operatorname{ctg} A'_2(A_2) + \operatorname{ctg} A'_3(A_3) + \operatorname{ctg} A'_4(A_4) - \operatorname{ctg} B'_1(B_1) \\ & - \operatorname{ctg} B'_2(B_2) - \operatorname{ctg} B'_3(B_3) - \operatorname{ctg} B'_4(B_4) + \frac{\rho}{b_2} \omega = 0. \end{aligned} \quad (18.30)$$

Punktga mustahkam burchak quyilganda, uchta boshlang'ich punktlarni berilgan koordinatalari bilan (18.8-shakl) quyidagi bazis shartini (tomon sharti) olamiz

$$b_1 = \frac{\sin A_1 \sin A_2}{\sin B_1 \sin B_2} - b_1 = 0, \quad (18.31)$$

uni (18.30) tenglamaga o'xshashligi uchun quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\operatorname{ctg} A'_1(A_1) + \operatorname{ctg} A'_2(A_2) - \operatorname{ctg} B'_1(B_1) - \operatorname{ctg} B'_2(B_2) + \frac{\rho}{b_1} \omega = 0, \quad (18.32)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} \omega &= b'_2 - b_2; \\ b'_2 &= b_1 = \frac{\sin A'_1 \sin A'_2}{\sin B'_1 \sin B'_2} b_1 \frac{P_1}{P_2}. \end{aligned} \quad (18.33)$$

Bu holda bitta yoki ikkita boshlang'ich tomonlar  $b_1$  va  $b_2$  bevosita o'Ichangan bo'lsa ularning uzunligiga tenglashtirishdan tuzatmalar ( $b_1$ ) va ( $b_2$ ) aniqlanadi, bazis shartli tenglamasi (18.30) ni ularga tegishli bo'lgan koeffitsientlar va bu tuzatmalar bilan to'ldirish lozim. Unda ikkita o'Ichangan bazis  $b_1$  va  $b_2$  tomonlarga ega tarmoq uchun (18.9-shakl.) (18.30) o'miga quyidagi ko'rinishdagi bazis shartli tenglamasini hosil qilamiz

$$\begin{aligned} & \operatorname{ctg} A'_1(A_1) + \operatorname{ctg} A'_2(A_2) + \operatorname{ctg} A'_3(A_3) + \operatorname{ctg} A'_4(A_4) - \operatorname{ctg} B'_1(B_1) \\ & - \operatorname{ctg} B'_2(B_2) - \operatorname{ctg} B'_3(B_3) - \operatorname{ctg} B'_4(B_4) + \frac{\rho}{b'_1}(b_1) - \frac{\rho}{b'_2}(b_2) + \frac{\rho}{b'_2} \omega = 0, \end{aligned} \quad (18.34)$$

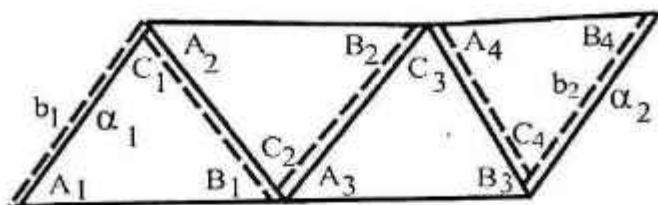
bu yerda ozod had  $\omega$  (18.29) formulaga muvofiq hisoblanadi. Triangulyatsiyani yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirganda burchaklarga tuzatmalar yo'nalishlar tuzatmasi orqali ifodalanadi.

**Direksion burchak sharti tarmoqda ortiqcha** boshlang'ich direksion burchaklar (bevosita o'Ichangan va boshlang'ich punktlar koordinatalari bo'yicha hisoblanilgan) bo'lganda paydo bo'ladi. Direksion burchak shartini tuzayotgan paytda eng qisqa yo'l bo'yicha  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  boshlang'ich direksion burchaklarni birlashtiruvchi (18.7 va 18.9-shakllar) tarmoqdagi uchburchaklar zanjiri belgilanadi.

Uchburchaklarning tenglashtirilgan burchaklari bo'yicha  $\alpha_1$  direksion burchakga nisbatan hisoblangan  $\alpha_2$  direksion burchak uning berilgan qiymatiga teng bo'lishi lozim. U holda  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  direksion burchaklar boshlang'ich punktlarning koordinatalari bilan berilgan bo'lsa (18.7-



shakl) ularning ( $\alpha_1$ ) va ( $\alpha_2$ ) tuzatmasi nolga teng bo'lishi kerak, ya'ni ushbu tenglik bajarilishi lozim



18.9-shakl. O'lchangan bazis va azimutlar orasidagi  
uchburchaklar zanjiri

18.35)

$$\alpha_2 - \alpha_1 - C_1 + C_2 - C_3 + C_4 \pm (n-1)180^\circ$$

bu yerda  $n$ - oraliq burchaklar uchi orqali o'tuvchi, uzatish chiziqlari (18.9-shakl punktir chiziq) bo'yicha direksion burchakni uzatishda qatnashuvchi oraliq burchaklar  $S$  soni.

Aytaylik  $S = S' + (S)$ , bu yerda  $(S)$ - o'lchangan  $S'$  burchaklarga tuzatmalar. Bu ifodani (18.35) tenglamaga qo'yib ko'rilayotgan (18.7-shakl) tarmoq uchun quyidagi direksion burchaklar shartii tenglamasini hosil qilamiz

$$-(C_1) + (C_2) - (C_3) + (C_4) + \omega = 0, \quad (18.36)$$

bu yerda

$$\omega = \alpha'_2 - \alpha_2 \text{ va}$$

$$\alpha'_2 = \alpha_1 - C_1 + C_2 - C_3 + C_4 \pm (n-1)180^\circ. \quad (18.37)$$

Mustahkam burchakga punkt qo'yganda (18.8-shakl) direksion burchak sharti (burchak yig'indisi) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$(C_1) + (C_2) + \omega = 0, \quad (18.38)$$

bu yerda

$$\omega = C_1 + C_2 - (\alpha_2 - \alpha_1). \quad (18.39)$$

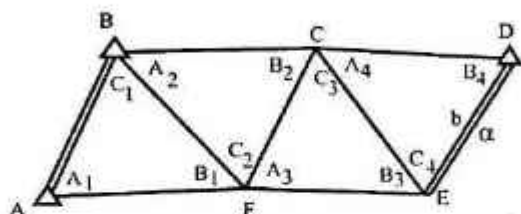
Agar  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  direksion burchaklar uchburchaklar zanjiri boshi va oxirida bevosita o'lchashdan olingan bo'lsa, ularning qiymatiga ( $\alpha_1$ ) va ( $\alpha_2$ ) tuzatmalar tarmoqni tenglashtirishdan aniqlansa, direksion burchak sharti quyidagicha bo'ladi

$$-(C_1) + (C_2) - (C_3) + (C_4) + (\alpha_1) - (\alpha_2) + \omega = 0, \quad (18.40)$$

bu yerda  $\omega$  ozod had (18.37) formula bo'yicha hisoblanadi.

Triangulyatsiyani yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirishda burchaklarga tuzatmalarni yo'nalish tuzatmalari orqali ifodalash lozim.

**Abssissalar va ordinatalar shartli tenglamalari.** Koordinatalar (abssissa va ordinata) shartli tenglamalari agar triangulyatsiya tarmog'i bir-biridan kamida ikkita aniqlanuvchi tomonlar oralab joylashgan boshlang'ich punktlar alohida guruhlar bo'lsa, paydo bo'ladi. Alohida guruhdagi boshlang'ich punktlar bitta shunday punktdan yoki bir necha yonma-yon joylashgan punktlardan tashkil topgan bo'lishi mumkin. Masalan bitta guruhdagi boshlang'ich punktlarga  $A$  va  $B$  ikkita yonma-yon joylashgan punktlar, boshqasiga esa birinchidan ikkita aniqlanuvchi  $BC$  va  $CD$  tomonlarga uzoqda joylashgan - bitta  $D$  boshlang'ich punkt (18.10-shakl) kiradi.



18.10-shakl. Uchta boshlang'ich punktlar,

Tarmoq o'lichangan tomon va azimut orasidagi uchburchaklar oraliq burchaklari uchidan o'tuvchi uzatuvchi chiziq belgilanadi va turli guruhdagi boshlang'ich punktlarning yaqin punktlarini birlashtiruvchi uchburchalar zanjiri belgilanadi. Tenglashtirilgan tarmoq quyidagi tengliklarga rioya qilinishi lozim

$$x_D = x_A + \sum_{i=1}^n \Delta x_i; \quad y_D = y_A + \sum_{i=1}^n \Delta y_i. \quad (18.41)$$

*VFSED* uzatuvchi chiziq bo'yicha uzatiladigan koordinatalar tenglashtirilgan  $\Delta x$  va  $\Delta y$  ortirmalari qiymatini yig'indi kabi faraz qilamiz

$$\Delta x = \Delta x' + (\Delta x); \quad \Delta y = \Delta y' + (\Delta y). \quad (18.42)$$

bu yerda  $\Delta x'$  va  $\Delta y'$  -  $A'B'C'$  uchburchakdagi o'lichangan burchaklardan foydalanib hisoblangan koordinatalar ortirmalari,  $(\Delta x)$ ,  $(\Delta y)$  - tarmoqni tenglashtirishdan ularning qiymatiga topilgan tuzatmalar.

Koordinatalar shartini yakuniy ko'rinishda olish uchun koordinatalar ortirmalari  $(\Delta x)$  va  $(\Delta y)$  tuzatmasini uchburchakda o'lichangan burchaklarning  $(A)$ ,  $(B)$ ,  $(C)$  tuzatmasi orqali ifodalash lozim. Bu o'zgartirishni bajarib, triangulyatsiyani burchaklar bo'yicha tenglashtirish holati uchun quyidagini hosil qilamiz:

abssissa shartli tenglamasi

$$\sum (x_n - x) \cot g A'(A) - \sum (x_n - x) \cot g B'(B) - \sum (y_n - y)(\pm C) + 206,265 \omega_n = 0; \quad (18.43)$$

ordinata shartli tenglamasi

$$\sum (y_n - y) \operatorname{ctg} A'(A) - \sum (y_n - y) \operatorname{ctg} B'(B) + \sum (x_n - x)(\pm C) + 206,265 \omega_y = 0, \quad (18.44)$$

bu yerda

$$\omega_x = x'_n - x_n; \quad \omega_y = y'_n - y_n. \quad (18.45)$$

Bu tenglamalarda :  $x_n - x$  va  $y_n - y$  - uzatuvchi chiziqli oxiridagi  $D$  punkt koordinatalari bilan (km-da), bu chiziqli boshidagi  $V$  boshlang'ich punktni, hamda uzatuvchi chiziqlidagi joriy punktlar koordinatalarining farqi;  $(A)$  va  $(B)$  - uchburchakning bog'lovchi  $A$  va  $B$  burchaklariga tuzatmalar, bunda o'lchangan  $V$  burchak boshlang'ich tomon qarshisida yotadi,  $A$  burchak esa-uchburchakni aniqlovchi tomoni qarshisida yotadi;  $(C)$  - oraliq burchak  $C$  ga tuzatma; bunda  $(C)$  tuzatma, agar  $C$  burchak uzatish chiziqlidan chap tomonda joylashsa musbat qiymatga  $(+C)$  va undan o'ng tomonda joylashgan ma'nfiiy qiymat  $(-C)$  ega bo'ladi, agarda  $B$  punktdan oxirgi  $D$  punktga bu chiziqli bo'yicha yurilsa.

$\omega_x$  va  $\omega_y$  (metrda) ozod hadlar (18.45) formula bo'yicha o'lchangan burchaklar orqali hisoblangan koordinatalar  $x'_n$ ,  $y'_n$  bilan uzatuvchi chiziqli oxirgi  $D$  punktning berilgan  $x$ ,  $y$  koordinatalarining farqlari sifatida topiladi.

### 18.3. Triangulyatsiyada mustaqil shartli tenglamalarning soni

Triangulyatsiyani burchaklar bo'yicha tenglashtirishda noma'lum  $k$  punktni aniqlash uchun  $2k$  zaruriy burchaklarni o'lchash zarur. Triangulyatsiyani yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirishda esa  $(2k+t)$  zaruriy yo'nalishlarni o'lchash lozim, bu yerda  $t$ -burchaklar o'lchangan punktlar soni. Bunda  $t \leq n$ , bu yerda  $n$ -tarmoqdagi barcha punktlar soni (boshlang'ich va aniqlanadigan).

Geodezik tarmoqdagi mustaqil shartli tenglamalarning umumiy soni  $s$  undagi ortiqcha o'lchashlar soniga teng, ya'ni tarmoqdagi barcha o'lchashlar soni va barcha aniqlanuvchi punktlar koordinatalarini hisoblash uchun zarur bo'lgan minimal o'lchashlar soning farqiga teng bo'ladi. Mustaqil shartli tenglamalarning soni  $s$  quyidagi formulalar bilan topiladi:

$$\text{triangulyatsiyani yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirganda} \\ S_H = D + k_s + k_a - (2k + t), \quad (18.46)$$

$$\text{triangulyatsiyani burchaklar bo'yicha tenglashtirganda} \\ S_b = N + k_s + k_a - 2k, \quad (18.47)$$

bu yerda  $D$ - o'lchangan yo'nalishlar soni,  $k_s$  va  $k_n$ - bevosita o'lchanilgan bazis tomonlar (koordinatalar bo'yicha hisoblanmagan) va tomonlar azimutining soni;  $k$  -aniqlanuvchi punktlar soni;  $t$  - burchak o'lchash amalga oshirilgan punktlar soni;  $N$ - tarmoqdagi o'lchangan burchaklar soni. Agar tarmoqda bazis tomon va tomon azimuti bevosita o'lchanmagan bo'lsa, unda (18.7- shaklga qarang)  $k_s = k_n = 0$  deb qabul qilinadi.

Shartli tenglamalarning soni turlari bo'yicha quyidagi tarzda aniqlanadi.

Triangulyatsiya burchaklar bo'yicha tenglashtirilganda gorizont shartining soni burchak o'lchash bajarilgan markaziy sistemadagi  $q$  qutblar soniga teng bo'ladi

$$q = N + t - D \quad (18.48)$$

Triangulyatsiya yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirilganda gorizont sharti paydo bo'lmaydi.

Tarmoq yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirilganda mustaqil shakl  $f$  shartining soni quyidagi formula bo'yicha topiladi

$$f = D - t - p + 1, \quad (18.49)$$

Tarmoq burchaklar bo'yicha tenglashtirilganda esa

$$f = N - p - q + 1, \quad (18.50)$$

bu yerda  $r$ -tarmoqdagi barcha tomonlar soni (boshlang'ich va aniqlanuvchi).

Shakl shartining soni tarmoq burchaklar yoki yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirilishiga bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun (18.49) va (18.50) formulalar bir xil natija beradi, bu esa hisoblashlarni nazorat uchun xizmat qiladi.

Qutb shartli tenglamasining soni tarmoqdagi ortiqcha tomonlar soniga teng. U quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$c = p - 2n + 3 \quad (18.51)$$

bu yerda  $p$ - tarmoqdagi barcha tomonlar soni;  $n$ - undagi barcha punktlar (boshlang'ich va aniqlanuvchi) soni. Agar tarmoqda proeksiya sharti paydo bo'lsa, u  $p$  soniga kiradi.

Bazis shartining  $r_n$  soni boshlang'ich tomonlar  $k_n$  umumiy sonidan bittaga kam bo'ladi, ya'ni u bevosita o'lchangan bazis tomonlarning  $k_s$  soni va boshlang'ich punktlar koordinatasi bo'yicha hisoblanilgan boshlang'ich  $k_b$  tomonlar sonining yig'indisiga teng, ya'ni  $k_n^* = k_s + k_b$ , bo'lganda quyidagicha ega bo'lamiz

$$r_s = k_s^* - 1 \quad (18.52)$$

Direksion burchaklar shartining soni boshlang'ich direksion burchaklarning umumiy sonidan  $k_s^*$  bittaga kam bo'ladi, ya'ni u bevosita o'lchangan azimutlar  $k_s$  soni va boshlang'ich punktlar koordinatalari bo'yicha hisoblangan tomonlar direksion burchaklarning  $k_s$  sonining yig'indisiga teng bo'ladi ya'ni  $k_s^* = k_s + k_s$  bo'lganda quyidagini hosil qilamiz

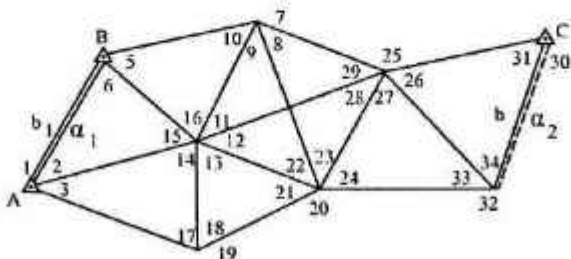
$$r_s = k_s^* - 1 \quad (18.53)$$

Absissa va ordinatlar shartining  $r_{x,y}$  soni quyidagi formula bo'yicha hisoblaniladi

$$r_{x,y} = 2(k_{x,y} - 1), \quad (18.54)$$

bu yerda  $k_{x,y}$ - triangulyatsiyani tenglashtirishdan aniqlanuvchi kamida ikkita tamonga bir-biridan uzoqda turuvchi boshlang'ich punktlar alohida guruhlarining soni.

Misol tariqasida ozod bo'lmagan triangulyatsiya tarmog'ida paydo bo'ladigan mustaqil shartli tenglamalar sonini aniqlaymiz (18.11-shakl.) Bu tarmoqda barcha punktlar soni  $n=9$ ; aniqlanadigan punktlar soni  $k=6$ ; barcha tomonlar soni  $r=17$ ; burchak o'lchash amalga oshirilgan punktlar soni,  $t=9$ ; o'lchangan yo'nalishlar  $D=34$ , bazis tomonlar  $k_s=1(b_2)$ , azimutlar  $K_s=1(\alpha_1)$ ; koordinatalar bo'yicha hisoblangan boshlang'ich tomonlar soni  $K_s=1(\alpha_1)$ ; alohida guruhdagi punktlar soni  $K_{x,y}=2$  (birinchi guruhga boshlang'ich tomon bilan bir-biri o'zaro bog'langan, yonma-yon joylashgan A va B punktlar kiradi, ikkinchi guruhga esa - C punkt kiradi).



18.11-shakl. Triangulyatsiya sxemasi

Ushbu triangulyatsiya tarmog'ida quyidagi mustaqil shartli tenglamalar paydo bo'ladi, tarmoqni yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirganda ularning soni quyidagiga teng bo'ladi:

jami

$$S_H = D + k_s + k_a - (2k + t) = 34 + 1 + 1 - (2 \cdot 6 + 9) = 15$$

Shakl tenglamalari

$$f = D - t - p + 1 = 34 - 9 - 17 + 1 = 9;$$

Qutb tenglamalari

$$s = p - 2n + 3 = 17 - 2 \cdot 9 + 3 = 2;$$

bazis tenglamalari

$$r_d = k^*_{d_1} - 1 = 1 + 1 - 1 = 1;$$

direksion burchak tenglamalari

$$r_s = k^*_{s_1} - 1 = 1 + 1 - 1 = 1;$$

absissa va ordinat tenglamalari

$$r_{x,y} = 2(k_{x,y} - 1) = 2(2 - 1) = 2.$$

Har bir geodezik to'rtburchakda uning barcha uchlarida burchaklari yoki yo'nalishlari o'lchangan bo'lsa, unda to'rtta mustaqil shart paydo bo'ladi: uchta shakl sharti va bitta qutb. Markaziy sistemada qutb sharti, gorizont sharti (burchak bo'yicha tenglashtirganda) va shakl sharti paydo bo'ladi.

Ushbu tarmoqda (18.11-shakl) mustaqil shakl sharti paydo bo'ladi: 3 ta geodezik to'rtburchakda va bittadan qolgan 6ta ustma-ust tushmaydigan uchburchaklarda.

Qutb sharti markaziy sistema va geodezik to'rt burchakda bittadan paydo bo'ladi. Bazis sharti A va B punktlarning koordinatalari bo'yicha hisoblanuvchi  $b_1$  boshlang'ich tomon va o'lchangan  $b_2$  bazis tomon orasida paydo bo'ladi. Direksion bo'rchak sharti boshlang'ich  $b_1$  tomonning berilgan  $\alpha_1$  direksion burchagi va  $b_2$  bazis tomonning o'lchangan  $\alpha_2$  direksion burchaklari orasida paydo bo'ladi. Koordinatalar sharti B va C boshlang'ich punktlar orasida paydo bo'ladi.

Ozod triangulyatsiya tarmog'ida boshlang'ich punkt koordinatalari o'zgarmas deb qabul qilinadi va aniqlanuvchi punktlar soniga kirmaydi, buni mustaqil shartli tenglamalarning umumiy sonini aniqlashda hisobga olish zarur. Ozod bo'lmagan triangulyatsiya tarmog'i har doim geodezik koordinatalari berilgan (o'zgarmas) bitta ortiq boshlang'ich punktga ega bo'ladi.

Ushbu triangulyatsiya (18.11-shakl) tarmog'ini burchaklar bo'yicha tenglashtirganda shartli tenglamalar sonini (18.47) formulaga binoan topamiz. Bunda quyidagiga ega bo'lamiz:  $N = 26, k_s = 1, k_a = 1, k = 6$ . Bu ma'lumotlarni (18.47) formulaga qo'yamiz va quyidagini hosil qilamiz  $S_y = 26 + 1 + 1 - 12 = 16$ . Triangulyatsiyani bo'rchaklar bo'yicha

tenglashtirganda mustaqil shartli tenglamalar soni uni yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirganga qaraganda ko'p bo'ladi, aynan gorizont shartining soniga. Olingan tarmoqda gorizont shartining soni  $q = N + l - D = 26 + 9 - 34 = 1$ . U markaziy sistema qutbida paydo bo'ladi. Qolgan shartlar tarmoqni yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirgandagidek bo'ladi.

#### 18.4 Trilateratsiyada shartli tenglamalar soni

Ozod va ozod bo'lmagan trilateratsiya tarmoqlarida mustaqil shartli tenglamalarning umumiy soni, unda tomonlar uzunligi va tomonlar qatorining azimutlari o'lgangan bo'lsa, quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin

$$S = N + k_n - 2k, \quad (18.55)$$

bu yerda  $N$  - o'lgangan tomonlar soni,  $k_n$  - o'lgangan azimutlar soni (o'lgangan, boshlang'ich punktlar koordinatalari bo'yicha hisoblanmagan);  $k$  - yangitdan aniqlanuvchi punktlar soni. Shuni ta'kidlash kerak, ozod trilateratsiya tarmog'idagi koordinatalari ma'lum bo'lgan boshlang'ich punkt aniqlanuvchi punktlarga tegishli bo'lmaydi.

Trilateratsiya tarmog'ida faqat bittadan shartli tenglama paydo bo'ladigan eng oddiy geometrik shakl bu geodezik to'rtburchak va markaziy sistema hisoblanadi; tomonlari o'lgangan uchburchakda shartli tenglama paydo bo'lmaydi, agar tomonlar uzunligi qo'pol xatolik bilan o'lgangan bo'lsa ham, masalan, tomonni chorak uzunligiga teng xatolikda o'lganganda ham, uchburchak hosil bo'ladi va unda hisoblangan burchaklar yig'indisi  $180^\circ$  ga teng bo'ladi.

Trilateratsiya tarmog'ida mustaqil shartli tenglamalar soni aynan shu tarmoq sxemasiga o'xshash triangulyatsiya tarmog'iga qaraganda kam bo'ladi, chunki trilateratsiyada ortiqqa o'lgangan miqdorlar soni triangulyatsiyaga qaraganda ancha kam. Masalan, burchaklari o'lgangan geodezik to'rtburchakda to'rtta mustaqil shartli tenglamalar paydo bo'ladi, o'lgangan tomonlarda esa bitta shartli tenglama paydo bo'ladi.

**Mustaqil shartli tenglamalarning turlari.** Bitta boshlang'ich punktga, uchburchak tomonlarining uzunligi va ularning ayrimlarini azimutlari o'lgangan ozod trilateratsiya tarmog'ida 3 turdagi shartli tenglamalar paydo bo'lishi mumkin: geodezik to'rtburchak sharti, markaziy sistema sharti va azimutlar (direksion burchak) sharti.

Ozod bo'lmagan trilateratsiya tarmog'ida ozod trilateratsiyadagi kabi shartli tenglamalar paydo bo'lishi mumkin: undan tashqari berilgan



koordinatalari bilan ortiqcha boshlang'ich punktlar bo'lganda koordinatalar (abssissa va ordinata) sharlari paydo bo'lishi mumkin.

Trilateratsiya to'rida shartli tenglamalarni dastlab burchak shaklida (triangulyatsiyadagi kabi) yoziladi, so'ngra burchaklar tuzatmasi (18.59) differensial formuladan foydalanib tomonlar tuzatmasi orqali ifodalanadi; so'ngra tomonlarni bir xil tuzatmalariga o'xshash xadlarni keltirish bajariladi va shartli tenglamalarning yakuniy qo'rinishi hosil qilinadi. Bunda boshlang'ich tomonlar uzunligini o'zgarmas deb qabul qilib ularga tuzatmalarni nolga teng deb olinadi.

**Tomonlar uzunligi o'lchangan geodezik to'rtburchakda shartli tenglamalar.** Bu shartning mohiyati shundan iboratki, 1,2,3,4 uchlarga ega geodezik to'rtburchakda (18.12-shakl) 1 2 3 va 1 3 4 uchburchaklarning tenglashtirilgan tomonlaridan foydalanib 1 uchda hisoblanilgan  $\alpha_1$  va  $\alpha_1$  burchaklar yig'indisi uchunchi 1 2 4 uchburchakni tenglashtirilgan tomonlari bo'yicha hisoblanilgan  $\alpha_1$  burchakga teng bo'lishi lozim, ya'ni quyidagi shartga rioya qilinishi lozim

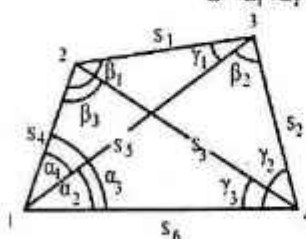
$$\alpha_1 + \alpha_1 - \alpha_1 = 0. \quad (18.56)$$

Aytaylik  $\alpha_1'$  - o'lchangan tomonlar uzunligidan foydalanib hisoblangan burchaklar,  $(\alpha)$  - esa tarmoqni tenglashtirishdan ularning qiymatlariga topilgan tuzatma. Shunda (18.56) shart quyidagi ko'rinishida yeziladi

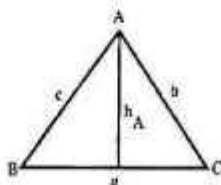
$$(\alpha_1) + (\alpha_1) - (\alpha_1) + \omega = 0, \quad (18.57)$$

bu yerda

$$\omega = \alpha_1' + \alpha_1' - \alpha_1'. \quad (18.58)$$



18.12-shakl. Tomonlari o'lchangan geodezik



18.13-shakl. Tomonlari uzunligi o'lchangan uchburchak

Tomonlari  $a, b, c$  o'lchangan  $AVS$  uchburchakda (18.13-shakl.)  $A, B, C$  burchaklarni kosinuslar teoremasidan foydalanib hisoblashimiz mumkin, unga muvofiq, masalan,  $a$  tomon uchun quyidagiga ega bo'lamiz

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bccosA,$$

bundan

$$cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

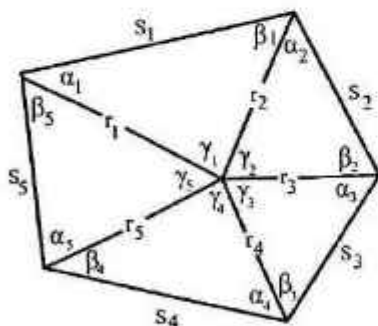
Ushbu teoremaga asosan burchaklarga tuzatmalar  $(A), (B), (C)$  va uchburchakning qarama-qarshi tomonlari uzunligiga tuzatmalar  $(a), (b), (c)$  orasidagi bog'liklikni o'rnatuvchi formulalarni olish mumkin

$$\begin{aligned}(A'') &= \frac{\rho''}{h_a} [(a) - (b) \cos C - (c) \cos B]; \\ (B'') &= \frac{\rho''}{h_b} [(b) - (a) \cos C - (c) \cos A]; \\ (C'') &= \frac{\rho''}{h_c} [(c) - (a) \cos B - (b) \cos A],\end{aligned}\quad (18.59)$$

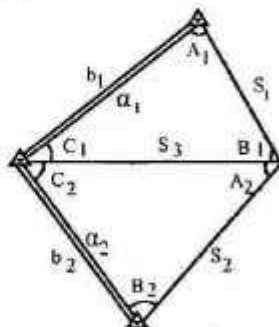
bu yerda  $\rho'' = 206265; h_j - j$  burchak uchidan uni qarshi tomoniga tushirilgan va unga tuzatma aniqlanadigan, uchburchak balandligi ( $j = A, B, C$ ).

AVS uchburchak balandliklari (18.13-shakl) uning uchlarida quyidagi formulaga asosan hisoblanadi:

$$\begin{aligned}h_A &= c \sin A = b \sin C; \\ h_B &= a \sin C = c \sin A; \\ h_C &= a \sin B = b \sin A.\end{aligned}\quad (18.60)$$



18.14-shakl. Tomonlari o'Ichangan markaziy sistema



18.15-shakl. Chiziqli kesishtirish sxemasi

Burchaklar va tomonlarni 18.12-shakldagi belgilaridan foydalanib geodezik to'rtburchakni (18.57) shartli tenglamasini (18.59) formulalar bo'yicha burchaklar tuzatmalarini tomonlar uzunliklari tuzatmalari bilan almashtirgandan so'ng o'xshash xadlarni keltirgandan so'ng yakuniy ko'rinishga keladi

$$\lambda_1(s_1) + \lambda_2(s_2) + \lambda_3(s_3) + \lambda_4(s_4) + \lambda_5(s_5) + \lambda_6(s_6) + \omega = 0, \quad (18.61)$$

bu yerda

$$\lambda_1 = \frac{\rho''}{h_{\alpha_1}}; \quad \lambda_2 = \frac{\rho''}{h_{\alpha_2}}; \quad \lambda_3 = \frac{\rho''}{h_{\alpha_3}};$$

$$\lambda_4 = + \left( \frac{\rho''}{h_{\alpha_1}} \cos \beta_1 - \frac{\rho''}{h_{\alpha_2}} \cos \beta_1 \right);$$

$$\lambda_5 = - \left( \frac{\rho''}{h_{\alpha_2}} \cos \gamma_1 + \frac{\rho''}{h_{\alpha_3}} \cos \beta_1 \right);$$

$$\lambda_6 = \left( \frac{\rho''}{h_{\alpha_3}} \cos \gamma_1 - \frac{\rho''}{h_{\alpha_1}} \cos \gamma_1 \right).$$

**Tomonlari o'lchangan markaziy sistema shartli tenglamalari.**

Bu shartning mohiyati shundan iboratki, uchburchak tomonining tenglashtirilgan uzunligidan foydalanib, markaziy sistema qutbida hisoblangan burchaklar yig'indisi  $360^\circ$  ga teng bo'lishi lozim.

Markaziy sistema uchun (18.14-shakl.) bu shartni oldin burchak shaklida yozamiz

$$(\gamma_1) + (\gamma_2) + (\gamma_3) + (\gamma_4) + (\gamma_5) + \omega = 0, \quad (18.62)$$

bu yerda

$$\omega = \Sigma \gamma_i - 360^\circ.$$

Burchaklar  $\gamma_i$  - uchburchakni o'lchangan tomonlaridan foydalanib hisoblanadi.

18.13-shaklda qabul qilingan belgilarni hisobga olgan holda (18.62) markaziy sistema sharti (18.59) formula bo'yicha burchaklar tuzatmasini tomonlar tuzatmasi bilan almashtirgandan so'ng yakuniy ko'rinish oladi

$$\lambda^0_1(s_1) + \lambda^0_2(s_2) + \lambda^0_3(s_3) + \lambda^0_4(s_4) + \lambda^0_5(s_5) + \lambda_1(r_1) + \lambda_2(r_2) + \lambda_3(r_3) + \lambda_4(r_4) + \lambda_5(r_5) + \omega = 0, \quad (18.63)$$

bu yerda

$$\lambda^0_i = \frac{\rho''}{h_{\alpha_i}}; \quad \lambda_i = \left( \frac{\cos \alpha_i}{h_{\alpha_i}} + \frac{\cos \beta_{i-1}}{h_{\alpha_{i-1}}} \right).$$

$i=1$  bo'lganda

$$\lambda_1 = - \left( \frac{\cos \alpha_1}{h_{\alpha_1}} + \frac{\cos \beta_n}{h_{\alpha_n}} \right),$$

bu yerda  $n$  - markaziy sistemadagi oxirgi uchburchakning tartib raqami (ushbu holatda  $n=5$ ).

**Direksion burchak sharti.** Bu shart tarmoqda ortiqcha direksion burchaklar, shu jumladan bevosita o'lgangan va boshlang'ich punktlar koordinatalari bo'yicha hisoblangan, bo'lganda hosil bo'ladi.

Direksion burchak shartli tenglamasi oldin burchak shaklida yoziladi, ya'ni triangulyatsiyadagi kabi. So'ngra (18.59) formula bo'yicha burchaklar tuzatmasini tomonlar tuzatmasi bilan almashtiriladi, bir xil tuzatmalardagi o'xshash hadlarni keltirish bajariladi va yakuniy ko'rinishdagi shartli tenglama hosil qilinadi.

Misol tariqasida  $\alpha$ , va  $\alpha_1$  direksion burchaklari berilgan tarmoqda (18.15-shakl) direksion burchak shartli tenglamasini tuzamiz.

Burchak shaklida bu shart quyidagi ko'rinish oladi

$$(C_1) + (C_2) + \omega = 0, \quad (18.64)$$

bu yerda

$$\omega = C_1' + C_2' - (\alpha_1 - \alpha),$$

$(C_1)$  va  $(C_2)$  -  $C_1'$  va  $C_2'$  burchaklar tuzatmalari, ular uchburchakning o'lgangan tomonlaridan foydalanib hisoblanadi.

(18.64) dagi  $(S)$  burchaklar tuzatmalarini (18.59) formulalar bo'yicha  $(C)$  tomonlar tuzatmalari bilan almashtirib, hamda  $b_1$  va  $b_2$  boshlang'ich tomonlar  $(b_1)$  va  $(b_2)$  tuzatmalarini nolga tengligini inobatga olgan holda direksion burchak shartli tenglamasini yakuniy ko'rinishda hosil qilamiz

$$\frac{\rho^*}{h_{c_1}}(S_1) + \frac{\rho^*}{h_{c_2}}(S_2) - \left( \frac{\rho^*}{h_{c_1}} \cos B_1 + \frac{\rho^*}{h_{c_2}} \cos A_2 \right) (S_3) + \omega = 0 \quad (18.65)$$

**Bazis sharti** trilateratsiya tarmoqlarida paydo bo'lmaydi, chunki uchburchakning barcha bevosita o'lgangan tomonlariga tuzatma tenglashtirishdan aniqlanadi, natijada ushbu shart avtomatik ravishda bajariladi.

**Koordinatlar sharti** (abssissalar va ordinatalar) triangulyatsiyadagi kabi, bir-biridan kamida o'lgangan ikkita tomonlardan uzoqda bo'lgan alohida gurux boshlang'ich punktlarga ega bo'lgan hollarda paydo bo'ladi. Koordinatlar sharti oldin burchak shaklida (triangulyatsiyaga o'xshab burchaklar bo'yicha) yoziladi, so'ngra esa uchburchak burchaklarini tuzatmalari tomon uzunliklari tuzatmalari orqali ifodalanadi va bu tenglamalarni yakuniy ko'rinishda olinadi.

**Mustaqil shartli tenglamalar soni.** Trilateratsiya tarmoqlarida mustaqil shartli tenglamalarni umumiy soni  $s$  (18.55) formula bo'yicha topiladi:

$$S = N + k_n - 2k.$$

Geodezik to'rtburchak va markaziy sistema shartli tenglamalarning soni birgalikda olganda to'rdagi ortiqcha tomonlar soniga teng

$$c = p - 2n + 3,$$

bu yerda  $p$  - barcha tomonlar soni (boshlang'ich va o'lchangan),  $n$  - tarmoqdagi barcha punktlar soni (boshlang'ich va aniqlanuvchi).

Direksion burchaklar  $r_g$  - sharti soni quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$r_g = k_g^* - 1,$$

bu yerda  $k_g^* = k_a + k_g$  bevosita o'lchangan azimutlar  $k_a$  soni va boshlang'ich punktlar koordinatalari bo'yicha hisoblanilgan tomon direksion burchaklar  $k_g$  sonining yig'indisiga teng.

Abssissalar va ordinatalar shartining soni  $r_{x,y}$  quyidagiga teng

$$r_{x,y} = 2(k_{x,y} - 1),$$

bu yerda  $k_{x,y}$  - bir-biridan kamida ikkita o'lchangan koordinatalar bo'yicha hisoblanmagan) tomonlarga uzoqlikda bo'lgan alohida guruh boshlang'ich punktlar soni.

### 18.5. Shartli tenglamalar ozod hadlarining chekli qiymatlarini aniqlash

Geodezik tarmoqlarni tenglashtirishga kirishishdan oldin triagulyatsiya, trilateratsiya, chiziqli-burchakli va h.q.) ulardagi o'lchashlarni sifatli bajarilganligiga va aniqligi bo'yicha ularga qo'yilagan talablarni qanoatlantirishiga ishonch hosil qilish zarur. Buning uchun barcha shartli tenglamalarning (mustaqil va mutaql bo'lmagan) ozod hadlari hisoblanadi va ularning qiymati o'rnatilgan chekli miqdorlar bilan taqqoslanadi.

Hoxlagan ko'rinishdagi shartli tenglamani umumiy ko'rinishda yozamiz

$$a_1\vartheta_1 + a_2\vartheta_2 + \dots + a_n\vartheta_n + \omega = 0. \quad (18.66)$$

Korrelat normal tenglamasini tuzamiz

$$[aa]k + \omega = 0,$$

bu yerdan topamiz

$$k = -\frac{\omega}{[aa]}.$$

Tuzatmalar  $\vartheta_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) quyidagiga teng bo'ladi

$$v_i = a_i k = -\frac{\omega}{[aa]} a_i.$$

Vazn birligining o'rta kvadratik xatosini quyidagi formula bo'yicha topamiz

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum p \cdot g^2}{r}},$$

bu yerda  $r$  - shartli tenglamalar soni.

O'lchangan miqdorlar vaznini  $p=1$  deb qabul qilib va ushbu holda  $r=1$  ekanligini hisobga olib yozamiz

$$\mu^2 = \sum v_i^2 = \frac{\omega^2}{[aa]^2} (a_1 a_1 + a_2 a_2 + \dots + a_n a_n) = \frac{\omega^2}{[aa]}.$$

bu yerdan o'rta kvadratik miqdorni topamiz

$$\omega = \mu \sqrt{[aa]}.$$

Chekli qiymatga o'tib, izlanayotgan formulani hosil qilamiz

$$\omega_{\text{chekli}} = t \mu \sqrt{[aa]}, \quad (18.67)$$

bu yerda  $t$  parametr ishonchlilik ehtimoliga bog'lik bo'ladi demak  $n$  o'lchashlar soniga (tarmoqdagi bir xil shartli tenglamalarning  $\omega$  bog'lanmasliklari soni);  $\mu$  xatolik tarmoqdagi har bir o'lchash turi uchun hamda uni klassiga bog'lik holda amaldagi yo'riqnomalarga muvofiq o'tatiladi.

$t$  parametrni baholovchi o'lchash qatorlari miqdori bo'yicha turlicha bo'lishi mumkin. Masalan, bog'lanmasliklarning chekli miqdori, belgilangan uchburchaklar soni, bitta tarmoqda 10-15, boshqasida esa 200 va undan ko'p bo'lishi mumkin.  $t$  parametri  $n$  bunday qiymatlarida Shovenening taqribiy mezoniga muvofiq 2,0-3,0 oraliqda joylashadi (36-jadval).

36-jadval

| $n$ | $t$  | $n$ | $t$  | $n$ | $t$  | $N$ | $t$  |
|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 11  | 2.00 | 17  | 2.17 | 30  | 2.39 | 75  | 2.71 |
| 13  | 2.07 | 20  | 2.24 | 40  | 2.49 | 100 | 2.81 |
| 15  | 2.13 | 25  | 2.33 | 50  | 2.58 | 200 | 3.02 |

Davlat geodezik tarmoqlarini barpo etish bo'yicha amaldagi yo'riqnomalarda  $t$  qiymati o'rtacha  $t=2,5$  deb qabul qilingan.

Muayyan shartli tenglamalarning ozod hadlarini chekli qiymatlarini hisoblash uchun quyida formulalar keltirilgan.

### Triangulyatsiya tarmog'lari

#### 1. Shakl va gorizont sharti

$$\omega_{\text{reakti}} = 2,5m^* \sqrt{n} \quad (18.68)$$

2. Qutb sharti

$$\omega_{\text{reakti}} = 2,5m^* \sqrt{\sum \text{ctg}^2 \beta} \quad (18.69)$$

3. Bazis sharti (metrda)

$$\omega_{\text{chekli}} = 2,5 \sqrt{\left(\frac{m''}{\rho''} b_2\right)^2 \sum \text{ctg}^2 \beta + m_{b_1}^2 + m_{b_2}^2} \quad (18.70)$$

4. Direksion burchaklar shartlari

$$\omega_{\text{chekli}} = 2,5 \sqrt{nm''^2 + m_{a_1}^2 + m_{a_2}^2} \quad (18.71)$$

5. Absissalar va ordinatalar shartlari (metrda)

$$\omega_{x(\text{chekli})} = 2,5 \sqrt{(m''/\rho'')^2 \cdot 10^6 [a_x a_x] + m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2} \quad (18.72)$$

$$\omega_{y(\text{chekli})} = 2,5 \sqrt{(m''/\rho'')^2 \cdot 10^6 [a_y a_y] + m_{y_1}^2 + m_{y_2}^2} \quad (18.73)$$

(18.68-18.73) formulalarda quyidagi belgilashlar qabul qilingan:  $m''$  - burchak o'lchash o'rta kvadratik xatosi;  $n$  - shartli tenglamalar soni;  $\sum \text{ctg}^2 \beta$  - shartli tenglamalardagi bog'lovchi burchaklar kotangenslari kvadratlarining yig'indisi;  $b_1$  va  $b_2$  - shartli tenglamadagi boshlang'ich va oxirgi bazis (boshlang'ich) tomonlar uzunligi;  $m_{b_1}$  va  $m_{b_2}$  esa - ularning o'rta kvadratik xatolari;  $m_{a_1}$  va  $m_{a_2}$  - shartli tenglamadagi  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  direksion burchaklar o'rta kvadratik xatolari;  $\rho'' = 206265''$ ;  $[a, a]$  va  $[a, a]$  - absissa va ordinat  $a$  shartli tenglamalaridagi (A), (B), (C) burchaklar tuzatmalaridagi koeffitsientlar kvadratlarining yig'indisi;  $m_x$  va  $m_y$  - boshlang'ich punktlar absissa va ordinatalarining o'rta kvadratik xatolari.



### Trilateratsiya tarmog'i

#### 1. Geodezik to'rt burchaklar va markaziy sistemalar shartlari:

$$\omega_{\text{geoz}} = 2.5 m_i \sqrt{\sum \lambda^2}, \quad (18.74)$$

bu yerda  $m_i$  - tomon uzunligini o'lchash o'rta kvadratik xatosi;  $\sum \lambda^2$  - shartli tenglamadagi o'lchangan tomonlar uzunliklariga tuzatmalar ( $s$ ) oldidagi koeffitsientlar kvadratlarining yig'indisi.

Trilateratsiya tarmog'ida tomonlarni o'lchash o'rta kvadratik xatolarining o'rtacha miqdori  $m_i$  quyidagiga teng:

$$m_i = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{\omega_i^2}{(\sum \lambda^2)_i}}$$

bu yerda  $k$  - markaziy sistema va geodezik to'rt burchaklarning birgalikdagi shartli tenglamalarining soni;  $\omega_i$  - shartli tenglamalarning ozod hadlari;  $(\sum \lambda^2)_i$  - bu tenglamalarda o'lchangan tomonlar uzunligiga tuzatmalar ( $s$ ) oldidagi koeffitsientlar kvadratlarining yig'indisi; shuni takidlash kerakki,  $m_i$  xatolik tomonlarning o'rtacha uzunligiga tegishli, ya'ni

$$\bar{S} = \sum s/n.$$

#### 2. Direksion burchaklar sharti:

$$\omega_{\text{direz}} = 2.5 \sqrt{[\lambda\lambda] m_s^2 + m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2} \quad (18.75)$$

bu yerda  $[\lambda\lambda]$  - (18.65) shartli tenglamadagi o'lchangan tomonlar uzunligiga tuzatmalar ( $s$ ) oldidagi koeffitsientlar kvadratlarining yig'indisi;  $m_i$  - trilateratsiya tarmog'ida o'lchangan tomonlar o'rta kvadratik xatolarining o'rtacha miqdori;  $m_{\alpha_1}$  va  $m_{\alpha_2}$  -  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  boshlang'ich direksion burchaklarning o'rta kvadratik xatolari.

#### 3. Absissalar va ordinatalar sharti

$$\omega_{x(\text{chekli})} = 2.5 \sqrt{[a_x a_x] m_s^2 + m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2}, \quad (18.76)$$

$$\omega_{y(\text{chekli})} = 2.5 \sqrt{[a_y a_y] m_s^2 + m_{y_1}^2 + m_{y_2}^2},$$

(18.77)

bu yerda  $[a_x a_x]$  va  $[a_y a_y]$  - absissa va ordinatalar shartli tenglamalaridagi uchburchaklar tomonlari uzunliklariga tuzatmalar ( $s$ ) oldidagi koeffitsientlar kvadratlarining yig'indisi;  $m_{x_1}$  va  $m_{y_1}$  - boshlang'ich punktlar

koordinatalarining o'rta kvadratik xatolari. Agar qandaydir shartli tenglamaning ozod hadlari o'rnatilgan chekdan oshsa, uni sababini aniqlash va ularni tuzatish lozim.

### 18.6. Tenglashtirish hisoblashlarining ketma-ketligi. Aniqlikni baholash

Geodezik tarmoqda paydo bo'ladigan barcha mustaqil shartli tenglamalarni tuzib, ularni matritsa shaklida yozamiz

$$AV + W = 0, \quad (18.78)$$

bu yerda  $A(r \times n) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{r1} & a_{r2} & \dots & a_{rn} \end{pmatrix}; V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_r \end{pmatrix}; W = \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_r \end{pmatrix}$

$A$ -shartli tenglamalar koeffitsientlarining to'g'ri burchakli matritsasi, ularning soni  $r$  ga teng;  $V$ - $P$  vaznlari bilan o'lchangan miqdorlar tuzatmalarining vektor-ustuni; ularning soni  $n$  ga teng;  $W$ -shartli tenglamalar ozod hadlarning vektor-ustuni.

(18.78) shartli tenglamadan korrelata normal tenglamasiga o'tamiz

$$ACA^T K + W = 0, \quad (18.79)$$

bu yerda  $S$ - o'lchangan miqdorlar teskari  $q = \frac{1}{p}$  vaznlarning diagonal matritsasi;  $A^T$ -shartli tenglamalar koeffitsientlarining  $A$  transponirlangan matritsasi;  $K$ -korrelata normal tenglamasining vektor-ustuni; qolgan belgilashlar quyida berilgan.

(18.79) normal tenglamani quyidagi ko'rinishda qayta yozamiz

$$NK + W = 0, \quad (18.80)$$

bu yerda normal tenglamalar koeffitsientlarining matritsasi quydagiga teng

$$N = ACA^T,$$

(18.80) tenglamani chap qismini  $N^{-1} = Q$  teskari matritsaga ko'paytirib, izlanayotgan korrelata  $K$  vektorini hosil qilamiz

$$K = -QW, \quad (18.81)$$

bu yerda  $Q$ -vazn koeffitsientlarining matritsasi:

$$Q = N^{-1} = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \dots & Q_{nn} \end{pmatrix}, \quad (18.82)$$

O'Ichangan miqdorlar tuzatmasining vektorini quyidagi formula bo'yicha topamiz

$$V = C N^T K. \quad (18.83)$$

O'Ichangan miqdorlarga (18.83) formula bo'yicha topilgan  $v$  tuzatmalarni kiritib, ularning tenglashtirilgan qiymatlarini olamiz va ulardan foydalanib uchburchaklarni yakuniy yechamiz, koordinatalarning tenglashtirilgan orttirmalarini hisoblaymiz va aniqlanuvchi punktlarning yakuniy koordinatalarini quyidagi formula bo'yicha hisoblaymiz

$$x_3 = x_1 + s_{13} \cos \alpha_{13} = x_2 + s_{23} \cos \alpha_{23},$$

$$y_3 = y_1 + s_{13} \sin \alpha_{13} = y_2 + s_{23} \sin \alpha_{23}.$$

**Tenglashtirilgan elementlar funksiyasining aniqligini baholash.** Geodezik tarmoqning qandaydir  $F$  tenglashtirilgan elementining o'rta kvadratik xatosini hisoblash talab qilinsa, masalan, direksion burchak  $\alpha$  xatosini yoki qandaydir tomonning uzunligi  $s$  xatosini, dastlab bu elementni tenglashtirilgan miqdor  $F$  funksiyasi deb faraz qilish lozim. So'ngra baholanadigan element uchun  $\Delta F$  orttirmani olish kerak, ya'ni vaznli funksiyani tuzish kerak. ( $\Delta F = f_u; \Delta F = f_s$ ). So'ngra  $f_u(f_s)$  vazn funksiyasini shartli tenglamalar sistemasiga birlashtiriladi va uni hisobga olgan holda normal tenglama tuziladi. Ularni Gauss sxemasi bo'yicha yechishda baholanayotgan elementning teskari vazni quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\frac{1}{P_F} = \left[ \frac{ff}{P} \right] - \frac{\left[ \frac{af}{p} \right]^2}{\left[ \frac{aa}{p} \right]} - \frac{\left[ \frac{bf \cdot 1}{p} \right]}{\left[ \frac{bb \cdot 1}{p} \right]} - \dots - \frac{\left[ \frac{vf \cdot r - 1}{p} \right]^2}{\left[ \frac{vv \cdot r - 1}{p} \right]},$$

bu yerda  $f$  - har bir mustaqil o'Ichangan argument bo'yicha  $F$  funksiyadan olingan xususiy hosila;  $r$  - o'Ichangan miqdorlar vazni;  $a, b, \dots, v$  - shartli tenglamalarning koeffitsientlari;  $r$  - tarmoqdagi shartli tenglamalar soni.

Teskari vazn koeffitsientlarning teskari matritsasidan (18.82) foydalanib ham hisoblanishi mumkin.

Hoxlagan tenglashtirilgan elementning o'rta kvadratik xatosi quyidagiga teng

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{p_F}},$$

bu yerda vazn birligining o'rtta kvadratik xatosi

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum p g^2}{r}},$$

$g-p$  vazn bilan o'lchangan miqdorlarga tenglashtirishdan topilgan tuzatmalar;  $r$  – tarmoqdagi ortiqcha o'lchashlar soniga teng bo'lgan shartli tenglamalar soni.

## 19-BOB. GEODEZIK TARMOQLARNI PARAMETRIK USULDA TENGLASHTIRISH

### 19.1. Tenglashtirish hisoblarining ketma-ketligi. O'lchangan miqdorlar vazularining muvofiqligi

Geodezik ishlab chiqarishga EHM larni keng joriy qilinishi tufayli geodezik tarmoqlarni parametrik usulda bilan tenglashtirish eng qulay bo'ladi, chunki geodezik tarmoq puntlarida tuziladigan tuzatmalar chiziqli tenglamalari bir xil ko'rinishga ega bo'ladi. Bu esa geodezik tarmoqlarni shu jumladan, triangulyatsiya trilateratsiya, chiziqli-burchakli, kombinatsiyalashgan va shunga o'xshash. EHM da tenglashtirishning universal dasturini tuzish imkonini beradi. Parametrik usulda tenglashtirish masalasi huddi shunday korrelyatsiya usulidagi kabi  $\sum p v^2 = \min$  sharti ostida yechiladi.

Parametrik usulda tenglashtirish uchun hisoblash ishlarini quyidagi ketma-ketlikda bajarish o'rindir. Oldin imkoni bor aniqlikda uchburchaklar yechiladi, bunda triangulyatsiya tarmog'ida tomonlar uzunligi, trilateratsiyada esa uchburchaklarning burchaklari topiladi. So'ngra, huddi shunday imkoni bor aniqlikda, barcha aniqlanuvchi punktlarning koordinatalari hisoblanadi. Keyin olingan koordinatalardan foydalanib, tarmoqning barcha tomonlari bo'yicha teskari geodezik masala yechiladi va yuqori aniqlikda tomonlar uzunligi va direksion burchaklari topiladi, bunda boshlang'ich punktlar koordinatalaridan ham foydalaniladi. Hisoblashning keyingi bosqichida bevosita o'lchangan miqdorlar uchun tuzatmalar tenglamalari tuziladi: gorizontal yo'nalishlar, o'lchangan azimutlar (direksion burchaklar), punktlar orasidagi o'lchangan masafalar. Har bir o'lchangan elementning vaznini umumiy holatda  $p = \frac{1}{m^2}$  ga teng deb qabul qilinadi. Vaznlarni hisobga olgan holda tuzatmalar tenglamasidan normal tenglamalar sistemasiga o'tiladi, ularni yechish orqali aniqlanuvchi punktlarning taqribiy koordinatalariga tuzatmalar topiladi. So'ngra punktlarning tenglashtirilgan koordinatalari hisoblanadi va tenglashtirish natijasida olingan tuzatmalar bilan dastlab o'lchangan miqdorlar to'g'rilanib, nazorat hisoblari bajariladi.

Turli xil o'lchamlarga ega bo'lgan geodezik tarmoqlarni tenglashtirishda (burchak, azimutlar, tomonlar uzunligi va h.k.) eng muhim va murakkab masalalarni biri tarmoqdagi barcha o'lchangan miqdorlar vaznlarining bog'lanishini aniq o'rnatishdir. Umumiy holda o'lchangan miqdorlarning vaznlari qo'yidagi ifoda bilan hisoblanadi:

$$p = \frac{c}{m_j^2} = \frac{\mu^2}{m_j^2},$$

bu yerda  $\mu$ -vazn birligining o'rtacha kvadratik xatoligi:  $m_j$  -  $j$ -nomerli miqdorni o'lchashning o'rtacha kvadratik xatoligi. Doimiy  $c = \mu^2$  ni tanlash ma'lum darajada ixtiyoriydir va hisoblashning qulayligi bilan aniqlanadi.

$$\mu^2 = m_N^2 = \text{const}$$

deb qabul qilamiz, bu yerda  $m_N$ -o'lchangan yo'nalishning o'rtacha kvadratik xatoligi, o'lchangan yo'nalishlar  $N$ , azimutlar  $\alpha$  va tomonlar  $s$  larning vaznlarini hisoblash uchun qo'yidagi ifodani olamiz:

$$p_N = 1; \quad p_\alpha = \frac{m_N^2}{m_\alpha^2}; \quad p_s = \frac{m_N^2}{m_s^2}.$$

Geodezik tarmoqlarni tenglashtirish natijalarning ishonchliligi empirik dispersiyalar  $m_N^2, m_\alpha^2$  va  $m_s^2$  nisbatini qay darajada ishonchli o'rnatilishga bog'liqdir. Bunda quydagini inobatga olish zarurki, o'rtacha kvadratik xatolar  $m$ , priyomdagi o'lchash natijalarining ichki to'g'ri kelishi bo'yicha emas, balki tasodifiy va sistematik xatolarning birgalikdagi ta'sirini hisobga olgan holda aniqlanishi kerak. Xatolarning yanada ham ishonchli baholash shartli tenglamalarning ozod xadlari bo'yicha olinadi. Triangulyatsiya tarmoqlarida o'lchangan yo'nalishlarning o'rta kvadratik xatosini katta sonli  $n$  bog'lanmasliklari  $\omega$  bo'yicha hisoblash mumkin

$$m_N = \frac{m}{\sqrt{2}}, \text{ bu yerda } m = \sqrt{\frac{\sum \omega^2}{3n}}.$$

Trilatiratsiya tarmog'ida tomonlarni o'lchash o'rta kvadratik xatosining o'rta miqdori, markaziy sistema va geodezik to'rtburchaklar katta miqdordagi shartli tenglamalarining ozod xadlari bo'yicha aniqlaniladi,

$$m_i = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{r=1}^k \frac{\omega_r^2}{(\sum \lambda^2)_i}},$$

bu yerda  $\omega_r$  va  $(\sum \lambda^2)_i$  - markaziy sistema va geodezik to'rtburchak shartli tenglamalar koeffitsientlari kvadratlarning yig'indisi va tegishli ozod xadlar;  $k$ - $\omega$ , ozod xadlarining soni.

Astronomo-geodezik ishlarining amaliyoti ko'rsatishicha, Laplas punktida azimutlarni aniqlash o'rta kvadratik xatosi, o'zaro teskari azimutlarning katta sonlari bo'yicha hisoblanadigan real miqdoriga yetarli ravishda yaqindir. Takidlash zarurki, geodezik tarmoqlarni tenglashtirishda tuzatmalarni barcha bevosita o'lchangan miqdorlarga aniqlash zarur:

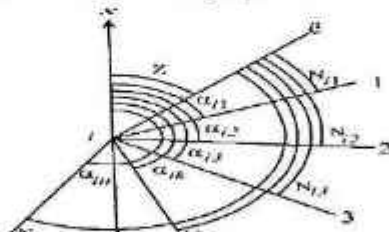
yo'nalishlar azimutlar va tomonlar uzunligiga. Shu bilan birga ularning haqiqiy vaznlarini aniqlashga juda jiddiy e'tibor berish zarur.

## 19.2. O'lchangan miqdorlar tuzatmalar tenglamasi

**Yo'nalishlar shartli tenglamasi.** Faraz qilaylik, geodezik tarmoqlarda yuqorida keltirilgan tavsiyalarga muvofiq (19.1-qaralsin) barcha aniqlanuvchi punktlarni taqribiy koordinatalari  $x^0, y^0$  hisoblangan va teskari geodezik masalalarni yechishdan direksion burchaklar  $\alpha^0$ , va barcha tomonlar uzunligi  $s^0$  aniqlangan.

$$\operatorname{tg} \alpha_a^0 = \frac{y_k^0 - y_l^0}{x_k^0 - x_l^0}; \quad s_a^0 = \frac{x_k^0 - x_l^0}{\cos \alpha_a^0} = \frac{y_k^0 - y_l^0}{\sin \alpha_a^0}. \quad (19.1)$$

Aytaylik,  $i$  raqamli punktda 1, 2, 3, .....  $n$  punktlarga yo'nalishlar o'lchangan (19.1-shakl).  $i$  nuqta orqali Gauss-Kryuger zonali proeksiyasi o'q meridianiga parallel ravishda  $i$  x, yo'nalishni o'tkazamiz, bu o'qqa nisbatan direksion burchak hisoblanadi. Limb noli diametriga mos tushuvchi  $iO$ , yo'nalish o'tkazamiz unga nisbatan punktdagi o'lchangan yo'nalishlar qiymatilar sanaladi. Limbning noli diametri yo'nalishi  $iO$  va  $i$  x yo'nalishi orasidagi burchakni  $z$  deb belgilaymiz.



19.1-shakl. Gauss-Kryugerni zonali proeksiyasi o'q meridianiga nisbatan punktda o'lchangan yo'nalishlarni orientirlash sxemasi

$z$  burchakni orientirlash burchagi deb ataymiz, chunki u Gauss-Kryuger zonali proeksiyasi o'q meridianiga nisbatan punktda o'lchangan yo'nalishlarni orientirlaydi.

Punktda o'lchangan istalgan  $ik$  yo'nalish uchun qo'ydagi belgilash kiritamiz:

$\alpha_a^0$ -punktlarning koordinalari bo'yicha hisoblangan direksion burchakning takribiy qiymati;

$\Delta \alpha_a$ - tenglashtirish natijasidan direksion burchakga topilgan tuzatma;

$\alpha_a = \alpha_a^0 + \Delta \alpha_a$ -tenglashtirilgan direksion burchak;



$N'_a$  - o'lchangan yo'nalishlar, limb nolinchida diametridan hisoblanadi;

$v_{ik}$  - tenglashtirishdan yo'nalishga topilgan tuzatma;

$N_a = N'_a + v_a$  - tenglashtirilgan yo'nalish;

$z_0$  - punktdagi orientirlash burchagi taqribiy qiymati;

$\delta z_0$  - tenglashtirishdan orientirlash burchagiga topilgan tuzatma;

$z = z_0 + \delta z_0$  - tenglashtirilgan orientirlash burchagi.

Hisoblangan direksion burchak  $\alpha_a^0$  va o'lchangan yo'nalish  $N_a$  lardan foydalanib, orientirlash burchagining  $n$  taqribiy qiymatini (yo'nalishlar soni bo'yicha) olamiz:

$$\begin{aligned} z_{01} &= \alpha_{01}^0 - N'_{01}; \\ z_{02} &= \alpha_{02}^0 - N'_{02}; \\ &\dots\dots\dots \\ z_{0n} &= \alpha_{0n}^0 - N'_{0n}. \end{aligned} \quad (19.2)$$

Punktdagi orientirlash burchagi qiymatining o'rtachasini topamiz:

$$z_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{0i} \quad (19.3)$$

Qabul qilingan belgilashlardan foydalanib (19.1-shaklga qaraymiz) istalgan  $ik$  yo'nalish uchun yozamiz

$$\begin{aligned} a_{ik} &= \alpha_{ik}^0 + \Delta a_{ik} \\ &= z_0 + \delta z_0 + N'_{ik} + v_{ik}, \end{aligned} \quad (19.4)$$

Bu yerda topamiz.

$$v_{ik} = -\delta z_0 + \Delta a_{ik} + \alpha_{ik}^0 - N'_{ik} - z_0. \quad (19.5)$$

Anglash qiyin emas, ya'ni

$$\alpha_a^0 - N'_a - z_0 = z_a - z_0.$$

Quyidagicha belgilab

$$l_a = z_a - z_0 \quad (19.6)$$

yozamiz

$$v_a = -\delta z_0 + \Delta \alpha_a + l_a. \quad (19.7)$$

Punktda o'rta arifmetik qiymatdan og'ishlar yig'indisi  $\sum l_a = 0$  hamda  $\sum v_a = 0$ , tenglikka rioya qilinishi kerak, bu hisoblashni nazorat qilishga xizmat qiladi.  $i$  va  $k$  punktlari taqribiy koordinatalari  $x^0, y^0$  ga tuzatma  $\Delta \alpha_x$  tuzatmalar  $\delta x$  va  $\delta y$  orqali ifodalaymiz

$$tg \alpha_a$$

Hamma o'zgaruvchilar bo'yicha differensialab va keyin differensiallardan yakuniy orttirmalarga o'tib, quyidagini olamiz

$$\frac{\Delta\alpha_{ik}}{\rho \cos^2 \alpha_{ik}} = \frac{(x_k - x_l)(\delta y_k - \delta y_l) - (y_k - y_l)(\delta x_k - \delta x_l)}{(x_k - x_l)}$$

Quyidagilarni

$$(x_k - x_l) = s \cos \alpha_{ik}; \quad (y_k - y_l) = s \sin \alpha_{ik};$$

hisobga olib, yozamiz

$$\Delta\alpha_{ik} = -\rho \frac{\sin \alpha_{ik}}{s} \delta x_k + \rho \frac{\cos \alpha_{ik}}{s} \delta y_k + \rho \frac{\sin \alpha_{ik}}{s} \delta x_l - \rho \frac{\cos \alpha_{ik}}{s} \delta y_l$$

$\Delta\alpha_{ik}$  ni (19.7) ifodaga qo'yib,  $i$ - $k$  yo'nalish uchun tuzatmalar tenglamasini olamiz:

$$v_{ik} = -\delta z_0 + \rho \frac{\sin \alpha_{ik}^0}{s} \delta x_i - \rho \frac{\cos \alpha_{ik}^0}{s} \delta y_i - \rho \frac{\sin \alpha_{ik}^0}{s} \delta x_k + \rho \frac{\cos \alpha_{ik}^0}{s} \delta y_k + l_{ik} \quad (19.8)$$

(19.8) tuzatmalar tenglamasini qisqa ko'rinishda yozamiz:

$$v_{ik} = -\delta z_0 - a_{ik} \xi_i - b_{ik} \eta_i + a_{ik} \xi_k + b_{ik} \eta_k + l_{ik} \quad (19.9)$$

bu yerda,  $\delta z_i$  -  $i$  chi punktdagi  $z$ , orientirlash burchagiga tuzatma;  $\xi_i, \eta_i, \xi_k, \eta_k$  -  $i$  va  $k$  punktlarning  $x_i^0, y_i^0, x_k^0, y_k^0$  taqribiy koordinatalariga topilgan tuzatma (desimetrd), ya'ni

$$\xi = 10\delta x; \quad \eta = 10\delta y; \quad (19.10)$$

$\delta x$  va  $\delta y$  - tuzatmalar, metrda;  $a_{ik}$  va  $b_{ik}$  - ko'effitsientlar;  $l_{ik}$  - tuzatmalar tenglamasining ozod hadi.

$a_{ik}$  va  $b_{ik}$  ko'effitsientlar quyidagi ifodalar bo'yicha hisoblaniladi

$$a_{ik} = -20,6265 \frac{\sin \alpha_{ik}^0}{s_{ik}}; \quad b_{ik} = 20,6265 \frac{\cos \alpha_{ik}^0}{s_{ik}}, \quad (19.11)$$

bu yerda,  $\alpha_{ik}^0$  - direksion burchak,  $s_{ik}$  -  $i$   $k$  tomon uzunligi, km. Hisoblashlar EXM larda bajarilganda yo'nalishlarning tuzatmalar tenglamasi qo'yidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$v_{ik} = -\delta z_0 - 20626,5 \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \xi_i - 20626,5 \frac{\Delta x_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \eta_i + 20626,5 \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \xi_k + 20626,5 \frac{\Delta x_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \eta_k + l_{ik}, \quad (19.12)$$

bu yerda  $\Delta x_{ik} = x_i^0 - x_k^0$  va  $\Delta y_{ik} = y_k^0 - y_i^0$  - koordinatalar orttirmasi  $m$ ;  $\xi$  va  $\eta$  - tuzatma,  $dm$ .

Tuzatmalar tenglamasining ozod xadi  $l_{ik}$  quyidagi ifoda bo'yicha hisoblaniladi.

$$l_{ik} = z_{ik} - z_0 \text{ yoki } l_{ik} = \alpha_{ik}^0 - R_{ik}^0, \quad (19.13)$$

bu yerda  $\alpha_{ik}^0$  - direksion burchak, taqribiy koordinatalar bo'yicha hisoblangan;  $R_{ik}^0$  - taqribiy orientirlangan yo'nalish:

$$R_{ik}^0 = N'_{ik} + z_0 \quad (19.14)$$

$N'_{ik}$  - o'lgangan yo'nalish qiymati;  $z_0$ -i punktdagi orientirlash burchagi o'rtachasi.

Teskari yo'nalish  $k$ -i uchun tuzatma tenglamasi, ya'ni  $k$  aniqlanuvchi punktdan  $i$  aniqlanuvchi punktga quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$v_{ik} = -\delta z_0 - \alpha_{ki}\xi_k - b_{ki}\eta_k + \alpha_{ki}\xi_i + b_{ki}\eta_i + l_{ki}. \quad (19.15)$$

(19.9) va (19.15) tuzatmalar tenglamalarida, o'zaro teskari yo'nalishlar uchun tuzilgan, bir hil noma'lumlarda  $\xi$  va  $\eta$  koefitsientlar ishorasi va miqdori bo'yicha juftlikda bir xil, ya'ni  $a_a = a_b$  va  $b_a = b_b$ . Bu esa hisoblarni nazorat qilish uchun xizmat qiladi.

Xususiy holda, tomon uchlarida bitta yoki ikkita punkt boshlang'ich bo'lsa ( $\xi$  va  $\eta$  tuzatmalar nolga teng), (19.9) tuzatma tenglamasi oddiy ko'rinishda bo'ladi.

Agar yo'nalish o'lgangan bo'lsa:

boshlang'ich punkt  $i$  dan aniqlanuvchi punkt  $k$  ga

$$v_{ik} = -\delta z_0 + \alpha_{ik}\xi_k + b_{ik}\eta_k + l_{ik}; \quad (19.16)$$

aniqlanuvchi  $i$  punktdan  $k$  boshlang'ich punkt ga

$$v_{ik} = -\delta z_0 + \alpha_{ik}\xi_i - b_{ik}\eta_i + l_{ik}; \quad (19.17)$$

aniqlanuvchi  $i$  punktdan  $k$  boshlang'ich punkt ga.

$$v_{ik} = -\delta z_0 + l_{ik}. \quad (19.18)$$

Tuzatmalar tenglamasi tarmoqdagi hamma o'lgangan yo'nalishlar uchun tuziladi. Tuzatmalar tenglamasini tuzish - tenglashtirishda hisoblashning eng muhim qismidir. Tenglamalarni tuzishda yo'l qo'yilgan xatolar triangulyatsiyani hisoblash yakunida ma'lum bo'ladi, shuning uchun  $a_a$  va  $b_a$  koefitsientlar va  $l_{ik}$  ozod xadlarni aniqlash va nazorat hisoblashlar bilan tekshirilishi zarur.

**Direksion burchaklar tuzatmalar tenglamasi** Gauss-Kryuger proeksiyasi tekislikda geodezik tarmoqlarni tenglashtirishda Laplas azimutlaridan yo'nalishlarining direksion burchaklariga o'tiladi va ularni mustaqil o'lgangan miqdor sifatida qabul qilib ularga tarmoqlarni tenglashtirishdan o'lgangan yo'nalishlarga o'xshash tuzatmalari topiladi.

Direksion burchak shartli tenglamasi yo'nalishlar shartli tenglamasidan shunisi bilan farq qiladiki ularda orientirlash burchagiga tuzatma topilmaydi. U quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$v_{ik} = -a_{ik}\xi_i - b_{ik}\eta_i + a_{ik}\xi_k + b_{ik}\eta_k + l_{ik}. \quad (19.19)$$

$a_a$  va  $b_a$  koefitsientlar (19.11) ifodalar bo'yicha hisoblanadi, ozod xad esa ayirmadan topiladi:

$$l_{ik} = \alpha_{ik}^0 - \alpha'_{ik}, \quad (19.20)$$

bu yerda  $\alpha_{ik}^0$  - taqribiy koordinatalar bo'yicha hisoblangan,  $\alpha'_{ik}$  - esa direksion burchakning o'lgan qiyamati.

### O'lgan tomonlar tuzatmalari tenglamasi.

Geodezik tarmoqlarda bazislar (oshirilgan aniqlikda) va boshqa tomonlar o'lganishi mumkin, masalan trilateratsiya tarmog'i va poligonometriyada. Tekislikka reduksiyalangan hamma tomonlar tenglashtirishdan tuzatmalar aniqlanadi, bunda barcha o'lganlar vaznlarini hisobga olib, o'lgan tomonlar va burchaklardan foydalanib, uchburchaklar yechiladi va so'ngra imkoni boricha yuqori aniqlikda punktlarning taqribiy koordinatalari hisoblaniladi. Teskari masalani yechishdan bu koordinatalarga muvofiq keluvchi hamma o'lgan tomonlarning uzunligi  $s_a^0$  topiladi

$$s_a^0 = \sqrt{\Delta x_a^2 + \Delta y_a^2} = \frac{\Delta x_a}{\cos \alpha_a^0} = \frac{\Delta y_a}{\sin \alpha_a^0}.$$

Gauss-Kryuger proeksiyasi tekisligiga reduksiyalangan va o'lganidan olingan tomonlar uzunligi  $s_a'$  bo'lsin,  $v_{ik}$  - tenglashtirishdan olingan tuzatma;  $s_a^0$  - punktlarning taqribiy koordinatalari bo'yicha hisoblangan shu tomon uzunligi,  $\delta s_a$  - uning qiymatiga tenglashtirishdan topilgan tuzatma. Bu holda tarmoqni tenglashtirish natijasida olingan  $s_a$  - tomonlar uzunligi, ikki marta aniqlanishi mumkin:

$$s_{ik} = s'_{ik} + v_{ik} = s_{ik}^0 + \delta s_{ik}. \quad (19.21)$$

(19.21) tenglikdan o'lgan tomonlar tuzatmalarining boshlang'ich tenglamasi kelib chiqadi.

$$v_a = \delta s_a + s_a^0 - s'_a, \quad (19.22)$$

yoki

$$v_{ik} = \delta s_{ik} + l_{ik}, \quad (19.23)$$

bu yerda tuzatmalar tenglamasining ozod xadi quyidagiga teng

$$l_{ik} = s_{ik}^0 - s'_{ik} \quad (19.24)$$

$\delta s_a$  Tuzatmani punktlar orasidagi o'lgan tomon  $x$ ;  $y$  taqribiy koordinatalari tuzatmalar  $\delta x$ ,  $\delta y$  orqali ifodalaymiz.

$$s_{ik}^{0^2} = (x_k^0 - x_i^0)^2 + (y_k^0 - y_i^0)^2.$$

Bu tenglamaning chap va o'ng tomonlarini hamma o'zgaruvchilari bo'yicha differentsiallab, quyidagini olamiz

$$2s_{ik}^0 ds_{ik} = 2(x_k^0 - x_i^0)(dx_k - dx_i) + 2(y_k^0 - y_i^0)(dy_k - dy_i).$$

Tenglama ikki tomonlarini  $2s_{ik}^0$  ga bo'lib va oxirgi orttirmalarga o'tib quyidagini olamiz

$$\delta s_{ik} = -\frac{x_k^0 - x_i^0}{s_{ik}^0} \delta x_i - \frac{y_k^0 - y_i^0}{s_{ik}^0} \delta y_i + \frac{x_k^0 - x_l^0}{s_{ik}^0} \delta y_k + \frac{y_k^0 - y_l^0}{s_{ik}^0} \delta y_k. \quad (19.25)$$

Belgilaymiz

$$c_{ik} = \frac{x_k^0 - x_i^0}{s_{ik}^0} = \cos \alpha_i^0; \quad d_{ik} = \frac{y_k^0 - y_i^0}{s_{ik}^0} = \sin \alpha_i^0 \quad (19.26)$$

(19.25) ifodani (19.23) ga qo'yib, (19.26) da qabul qilingan belgilashni inobatga olib tomonlar tuzatmalarini tenglamasini quyidagicha yozamiz

$$v_{ik} = -c_{ik} \delta x_i - d_{ik} \delta y_i + c_{ik} \delta x_k + d_{ik} \delta y_k + l_{ik}. \quad (19.27)$$

Tuzatmalarni hisoblash qulayligi uchun koordinatalar desimetrdagi ifodalanadi, ya'ni quyidagiga teng qabul qilinadi

$$\xi = 10\delta x; \eta = 10\delta y \quad (19.28)$$

bu yerda  $\delta x, \delta y$  - x, y kooordinatalarga topilgan tuzatmalar (*metrda*). ozod had  $l_{ik}$  u ham desimetrdagi ifodalanadi.

(19.28) tuzatmalar tenglamasini hisobga olib, (19.27) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin

$$v_{ik} = -c_{ik}\xi_i - d_{ik}\eta_i + c_{ik}\xi_k + d_{ik}\eta_k + l_{ik} \quad (19.29)$$

(19.29) tuzatmalar tenglamasi umumiy holga muvofiq bo'ladi, agarda  $s$  tomon aniqlanuvchi puntlar orasida o'lcangan bo'lsa. Xususiy hollarda (19.29) tenglama oddiy ko'rinishga keladi, masalan agar tomon boshlang'ich punkt  $i$  ( $\xi_i = \eta_i = 0$ ) va aniqlanayotgan punkt  $k$  orasida o'lcangan bo'lsa

$$v_{ik} = c_{ik}\xi_k + d_{ik}\eta_k + l_{ik}; \quad (19.30)$$

aniqlanuvchi  $i$  punkt va boshlang'ich  $k$  punkt orasida

$$v_{ik} = -c_{ik}\xi_i - d_{ik}\eta_i + l_{ik}; \quad (19.31)$$

$i$  va  $k$  boshlang'ich punktlar orasida

$$\mathbf{v}_{ik} = l_{ik}, \quad (19.32)$$

### 19.3. Triangulyatsiya va poligonometriya punktlarida reduksiyalangan normal tenglamalarni tuzish

Tarmoqlarni yo'nalishlar bo'yicha tenglashtirganda har bir punkttdagi o'lchangan yo'nalishlar  $v_a$  tuzatmalarining yig'indisi nolga teng ( $[v]=0$ ). bo'lgani uchun reduksiyalangan normal tenglamalar tuzish mumkinki ularda orientirlash  $z_0$  burchagiga topilgan  $\delta z_0$  tuzatmalar tushirib qoldiriladi. Bu holda tarmoqdagi normal tenglamaning umumiy soni yo'nalishlari o'lchangan punktlar soniga kamayadi, bu esa normal tenglamalarni yechish vaqtini sezilarli darajada kamaytiradi. Reduksiyalangan normal tenglamalar tuzish metodikasini ko'ramiz. Aytaylik  $i$  stansiyada  $n$  ta yo'nalish o'lchangan bo'lsin. Ularga mos bo'lgan tuzatmalar tenglamasini yozamiz

$$v_{i1} = -\bar{\alpha}_{i0} - a_{i1}\xi_i - b_{i1}\eta_i + a_{i2}\xi_1 + b_{i1}\eta_1 + l_{i1};$$

$$v_{i2} = -\delta x_{i1} - a_{i1}\xi_1 - b_{i1}\eta_1 + a_{i2}\xi_2 + b_{i2}\eta_2 + l_{i2};$$

$$v_{\alpha} = -\delta_{\alpha} - a_{\alpha}\xi_i - b_{\alpha}\eta_i + a_{\alpha}\xi_r + b_{\alpha}\eta_r + l_{\alpha}, \quad (19.33)$$

Yaqqollik uchun oxirgi ifodaga quyidagi belgilash kiritamiz:

$$a_1 = -a_{11}, \quad b_1 = -b_{11}, \quad \dots, \quad a_k = -a_{k1}, \quad b_k = -b_{k1};$$

$$c_1 = a_{\alpha}, \quad d_1 = b_{\alpha}, \quad c_2 = a_{\beta}, \quad d_2 = b_{\beta} \quad \text{va h.k.o.}$$

Endi (19.33) ifodani o'rniga yozamiz.

$$v_d = -\bar{\alpha}_0 + a_1 \xi_1 + b_1 \eta_1 + c_1 \xi_1 + d_1 \eta_1 + l_d;$$

$$v_{ij} = -\delta_{ij} + a_1 \xi_i + b_1 \eta_i + c_1 \xi_j + d_1 \eta_j + l_{ij};$$

$$v_n = -\delta_{n0} + a_n \xi + b_n \eta + c_n \xi_n + d_n \eta_n + l_n. \quad (19.34)$$

Bu tuzatmalarlar tenglama sistemasiga quyidagi normal tenglamalar sistemasini to'g'ri keladi, aniqrog'i shu punktda tuzilgan, ularning qismlariga:

$$\begin{aligned} n\hat{x}_0 - [a]\xi_i - [b]\eta_i - \dots - [l] &= [v] = 0 \\ -[a]\hat{x}_0 + [aa]\xi_i + [ab]\eta_i + \dots + [al] &= [\alpha v] \neq 0 \\ -[b]\hat{x}_0 + [ab]\xi_i + [bb]\eta_i + \dots + [bl] &= [\beta v] \neq 0 \end{aligned} \quad (19.35)$$

Bu normal tenglamalardan birinchisi tuzatmalar tenglamasining (19.34) yig'indisi ko'rinishida bo'ladi, bunda  $[v]=[l]=0$ . Bu yig'indi tenglamasidan orientirlash burchagiga  $\alpha_0$  tuzatma topamiz

$$\mathcal{E}_0 = \frac{1}{n}([a]\xi_i + [b]\eta_i + c_i\xi_i + d_i\eta_i + \dots + c_n\xi_n + d_n\eta_n). \quad (19.36)$$

va (19.35) tenglamalar sistemasiga qo'yamiz. Natijada, ushbu punktda quyida reduksiyalangan quyidagi normal tenglamalar sistemasini olamiz:

$$\left([aa] - \frac{[a][a]}{n}\right)\xi_i + \left([ab] - \frac{[a][b]}{n}\right)\eta_i + \dots + [al] \neq 0; \quad (19.37)$$

$$\left([ab] - \frac{[a][b]}{n}\right)\xi_i + \left([bb] - \frac{[b][b]}{n}\right)\eta_i + \dots + [bl] \neq 0;$$

bularda  $\mathcal{E}_0$  tuzatmalar chiqarib yuboriladi.

(19.37) tenglamani boshqa, qisqa usulda olishimiz iumkin. Buning uchun:

1) (19.33) boshlang'ich tenglamada vazn  $p=1$  beriladi;

2) punktda (19.33) tenglamalar yig'indisiga teng yig'indi tenglamasini tuzish kerak.

$$n\mathcal{E}_0 - [a]\xi_i - [b]\eta_i + [a]\xi_i + [b]\eta_i + \dots + [l] = [v] = 0; \quad (19.38)$$

3) bu tenglamani  $p = -1/n$  soxta vaznga ega bo'lgan boshlang'ich (19.33) tenglama sistemasiga birlashtiriladi, bu yerda  $n$  punktdagi yo'nalishlar soni;

4) ya'ni (19.33) va (19.38) tenglamalarda  $\mathcal{E}_0$  tuzatma shartli ravishda yo'q deb, keyin bunday reduksiyalangan tuzatmalar tenglamasidan ( $\mathcal{E}_0$  tuzatmasiz) ularning  $p = 1$  va  $p = 1/n$  vazinlarni hisobga olib normal tenglamalarga o'tamiz. Natijada (19.37) reduksiyalangan normal tenglama olinadi. Bunga ishonch hosil qilish uchun, birinchi  $\xi_i$  noma'lum kvadratik koeffitsientini hisoblaymiz:

$$a_{i1}a_{i1} + a_{i2}a_{i2} + \dots + a_{in}a_{in} - \frac{1}{n}[a][a] = [aa] - \frac{[a][a]}{n}.$$

Ko'rinish turibdiki, (19.37) tenglamalardagi natijaga kelindi. Shunday qilib amaliyotda har bir punktning tegishli reduksiyalangan normal tenglamalarining qismlari tuziladi. Keyin noma'lum tuzatmalar  $\xi_i$  va  $\eta_i$  tuzatmalar oldidagi xadlar keltirib, umumiy tarmoq uchun reduksiyalangan normal tenglamalar sistemasi tuziladi. Tarmoqdagi reduksiyalangan normal tenglamalarning soni aniqlanuvchi punktlarning ikkilangan ko'paygan soniga tengdir.



#### 19.4. Tarmoq tenglashtirilgan elementlarini hisoblash. Aniqlikni baholash

Faraz qilamiz, hisoblashning oldingi bosqichda tarmoqdagi barcha o'lgangan miqdorlar uchun tuzatmalar tenglamasi tuzilgan: gorizonta! yo'nalishlar, direksion burchaklar, tomonlar uzunligi va har bir  $i$ -tenglama vazni  $p_i$  (o'lgangan miqdorlarni) ma'lum. Aytaylik  $A$ -tuzatmalar tenglamalari koeffitsientlarining to'g'ri burchakli matritsasi, punktlarda o'lgangan burchaklar yig'indi tenglamalari bilan birga;  $X$ -aniqlanuvchi punktlarning taqribiy koordinatalariga  $\xi$ , va  $\eta$ , tuzatmalarning vektor ustuni;  $I$ - tuzatmalar tenglamalari, -ozod xadlari  $I$ , vektor ustuni;  $P$ -tuzatmalar tenglamalari  $P_i$ -vaznlar diagonal matritsasi. Bu belgilashlardan foydalanib, barcha tuzatmalar tenglamalarini matritsa shaklida yozamiz

$$AX + I = V, \quad (19.39)$$

(19.39) tuzatma tenglamasidan, ularni vaznlarini hisobga olib normal tenglamalar sistemasiga o'tamiz

$$NX + L = 0, \quad (19.40)$$

bu yerda

$$N = A^T P A, \quad (19.41)$$

$$L = A^T P I. \quad (19.42)$$

$N$ - normal tenglamalar koeffitsientlarning simmetrik matritsasi;  $A^T - A$  transportirlangan matritsasi;  $R$ -tuzatmalar tenglamalari vaznlarining diagonal matritsasi;  $L$  - normal tenglamalar ozod xadlarining vektor ustuni.

(19.40) tenglama chap tomoni har bir qo'shiluvchisini normal tenglamalar koeffitsientlari matritsasi  $N$  ga teskari  $N^{-1}$  matritsasiga ko'paytirib koordinatalarni izlanayotgan tuzatmalari vektori  $X$  ni topamiz

$$X = -N^{-1}L = -QL \quad (19.43)$$

bu yerda  $Q$ -vazn koeffitsientlarining matritsasi:

$$N^{-1} = Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1m} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{m1} & Q_{m2} & \dots & Q_{mm} \end{pmatrix}, \quad (19.44)$$

bunda  $m$ -aniqlanuvchi punktlarining ikkilangan soniga teng bo'lgan, koordinatalarga topilgan,  $\xi$ ,  $\eta$ , tuzatmalar soni.

Normal tenglamalar sistemasida yechib  $\xi_i$  va  $\eta_i$  (dm da) tuzatmalarini topib, aniqlanayotgan punktni tenglashtirilgan koordinta qiymatlarini hisoblaymiz.

$$\begin{aligned}x_i &= x'_i + \delta x_i = x'_i + 0.10 \xi_i; \\y_i &= y'_i + \delta y_i = y'_i + 0.10 \eta_i.\end{aligned}\quad (19.45)$$

(19.45) formula bo'yicha hisoblanilgan punktlarning koordinatalari nazoratsiz aniqlangan. O'lchangan miqdorlarni tenglashtirilgan qiymatlarini olish va nazorat qilish quyidagi tarzda bajariladi. Normal tenglama sistemasini yechishdan topilgan tuzatmalar  $\xi_i$  va  $\eta_i$  tegishli tuzatmalar tenglamalari (19.38), (19.9), (19.19), (19.29) qo'yiladi va tuzatmalar qiymatlari  $\delta x_{(k)}$ ,  $\delta y_{(k)}$ ,  $\delta z_{(k)}$ ,  $\delta \alpha_{(k)}$  topiladi. O'lchangan miqdorlarga tuzatmalar kiritilib, ularning tenglashtirilgan qiymatlari olinadi:

$$\begin{aligned}N_{ik} &= N'_{ik} + v_{N(ik)}; \\ \alpha_{ik} &= \alpha'_{ik} + v_{\alpha(ik)}; \\ S_{ik} &= S'_{ik} + v_{S(ik)}.\end{aligned}\quad (19.46)$$

Yo'nalishlar, direksion burchaklar va tomonlar uzunligining tenglashtirilgan qiymatlaridan foydalanib, uchburchaklarni yakuniy yechish bajariladi, koordinatalar orttirmalari hisoblanadi va ikkinchi marta har bir 1,2,3 uchburchakda ikkita tomonlari bo'yicha ikki marotaba punktlarning tenglashtirilgan koordinatalari topiladi:

$$\begin{aligned}x_3 &= x_1 + s_{13} \cos \alpha_{13} = x_2 + s_{23} \cos \alpha_{23}; \\ y_3 &= y_1 + s_{13} \sin \alpha_{13} = y_2 + s_{23} \sin \alpha_{23}.\end{aligned}\quad (19.47)$$

Poligonometriyada (19.47) ya'ni formulalarni biridan koordinatalar ikki martali nazoratsiz hisoblanadi. Tenglashtirish hisoblarining to'g'riligini yakuniy nazorati, har bir punkt uchun (19.45) va (19.47) formulalar bo'yicha hisoblangan koordinatalarini teng chiqishi hisoblanadi (ahlitlash aniqligi chegarasida).

**Tarmoqni tenglashtirilgan elementlarining aniqligini baholash.**

Vazn birligining o'rta kvadratik xatosini quyidagi formula bilan topiladi

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}},\quad (19.48)$$

Bu yerda  $v$  -  $p$  vazn bilan o'lchangan miqdorlarga tenglashtirishdan topilgan tuzatma;  $r$  - tarmoqdagi ortiqcha o'lchashlar soni, tarmoqda barcha o'lchashlar soni  $k$  bilan tenglashtirishdan aniqlanuvchi noma'lum miqdorlar soni  $k_0$  farqlaridan aniqlanadi, ya'ni

$$r = k - k_0. \quad (19.49)$$

$k$  soni tenglashtirishdan tuzatmalar topiladigan punktlar o'lgan barcha yo'nalishlar, yer predmetlari azimutlari va o'lgan tomonlar yig'indisiga teng.

$k_0$  soniga triangulyatsiya va poligonometriya punktlaridagi orientirlash burchaklariga tuzatmalar  $\alpha_i$  hamda aniqlanuvchi punktlar koordinatalariga topilgan  $\alpha$  va  $\beta$  tuzatmalar kiradi. Tuzatmalar  $\alpha_0$  soni burchak o'lgan barcha punktlar (boshlang'ich va aniqlanuvchi) soniga teng;  $\alpha$  va  $\beta$  tuzatmalar soni aniqlanuvchi punktlarning ikkilangan soniga teng.

Tenglashtirilgan elementlarning hoxlagan  $F$  funksiyasining direksion burchagi, tomon uzunligi, abssissa va ordinatalar o'rta kvadratik xatosi quyidagi formula bilan topiladi

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}}. \quad (19.50)$$

Aniqlanuvchi  $F$  funksiyaning teskari vazni  $1/R$ , turlicha hisoblanishi mumkin: Gauss sxemasi bo'yicha normal tenglamalar sistemasini yechish jarayonida yoki normal tenglamalar koeffitsientlarining teskari matritsasiga teskari bo'lgan matritsa elementlari bo'yicha hisoblanadi. Dastlab bu funksiya teskari vaznini hisoblashning birinchi usulini ko'rib chiqamiz.

Parametrik usulda tenglashtirishda normal tenglamalar sistemasidagi noma'lumlarning oxirgi va oxiridan bitta oldingi vazni hisoblanadi. Shuning uchun, qandaydir  $k$  punkti koordinatalarining  $P_x$  va  $P_y$  vaznini aniqlash uchun, bu punkt koordinatalarini noma'lum tuzatmalar  $\xi_k$  va  $\eta_k$  normal tenglamalar sistemasida oxiridan bitta oldingi va oxirgi o'ringa joylashtiriladi. Gauss sxemasi bo'yicha normal tenglamalarni yechishda oxirgi noma'lum  $\eta_k$  vazni  $P_{x_k}$  o'zgartirilgan oxirgi normal tenglamadagi koeffitsientiga teng. Oxiridan bitta oldingi  $\xi_k$  noma'lumning  $P_{x_k}$  vazni quyidagi formula bo'yicha topiladi

$$P_{x_k} = P_{y_k} \frac{A}{C + \frac{B^2}{A}},$$

bu yerda  $C$  va  $A$ —oxirgi va oxiridan bitta oldingi o'zgartirilgan normal tenglamalarning kvadratik koeffitsientlari;  $B$  — oxiridan bitta oldingi o'zgartirilgan tenglamada noma'lum  $\eta_k$  oldidagi koeffitsienti.

Punktlar koordinatalari funksiyasi hisoblanuvchi, tenglashtirilgan tarmoq hoxlagan elementining o'рта kvadratik xatosini topish uchun, masalan, hoxlagan punktlar (yonma-yon joylashgan yoki yonma-yon joylashmagan) orasidagi tomon uzunligi va direksion burchagini, bu elementni shu punktlar koordinatalari orqali ifodalash lozim, so'ngra vazn funksiyasi tuziladi. Uzunligi quyidagicha ifodalanadigan ixtiyoriy tomon  $S_{ik}$  baholash uchun vazn funksiyasini olamiz

$$S_{ik} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}.$$

Bu ifodani aniqlanuvchi punktlarning koordinatalari bo'yicha differensiallab va diferensiallardan yakuniy miqdorlarga o'tib, ushbu funksiyaning ortirmasini topamiz

$$f_s = \Delta S_{ik} = -\frac{x_k - x_i}{S_{ik}} \delta x_i - \frac{y_k - y_i}{S_{ik}} \delta y_i + \frac{x_k - x_i}{S_{ik}} \delta x_k + \frac{y_k - y_i}{S_{ik}} \delta y_k,$$

uni shu tomon uchun tuzatmalar tenglamalari (19.29) ko'rinishida yozamiz, lekin undagi ozod xadsiz, ya'ni vazn funksiyasini tuzamiz

$$f_s = \Delta S_{ik} = -c_{ik} \xi_i - d_{ik} \eta_i + c_{ik} \xi_k + d_{ik} \eta_k, \quad (19.52)$$

bu yerda  $\xi$  va  $\eta$ - koordinatalarga topilgan tuzatmalar, dm;  $c$  va  $d$  koeffitsientlar taqribiy koordinatalar bo'yicha (19.26) formuladan foydalanib hisoblanadi.

Shu tamon direksion burchagi  $\alpha$  uchun vazn funksiyasi  $f_\alpha$  (19.19) tuzatmalar tenglamalari ko'rinishga ega bo'ladi, faqat ozod xadlarsiz, ya'ni

$$f_\alpha = \Delta \alpha_{ik} = -a_{ik} \xi_i - b_{ik} \eta_i + a_{ik} \xi_k + b_{ik} \eta_k, \quad (19.53)$$

bu yerda  $a_{ik}$ ,  $b_{ik}$  koeffitsientlar, (19.11) formula bo'yicha hisoblaniladi.

Normal tenglamalarni umumiy sistemasida  $L$  ozod xadlar grafasidan keyin  $\xi_i, \eta_i$  va  $\xi_k, \eta_k$  tuzatmalar oldidagi, kvadratik koeffitsientli tenglamalarda  $f_s$  va  $f_\alpha$  funksiyalar koeffitsientlarini qo'shimcha grafasi kiritiladi. Teskari vaznlar  $1/P_s$  va  $1/P_\alpha$  normal tenglamalarni yechish bilan bir vaqtda hisoblanadi. Ularning miqdorlari eliminatsion qatorlari ustunida yozilgan sonlarni o'zgartirib tuzilgan normal tenglamalarni xuddi shu ustundagi sonlariga ko'paytmalari yig'indisi sifatida topiladi.

Ikkinchi holda, normal tenglamalar sistemasi, teskari matritsani  $Q = N^{-1}$  hisoblash bilan yechilganda, tenglashtirilgan abssissalar  $x$  va ordinatalar teskari vazni teskari matritsaning  $Q$  diagonal elementlariga teng, ya'ni

$$\frac{1}{P_{s(i)}} = Q_{ss}; \quad \frac{1}{P_{\alpha(i)}} = Q_{\alpha(i)\alpha(i)}. \quad (19.54)$$

(19.54) ifodani (19.50) formulga qo'yib, quydagini hosil qilamiz.

$$m_{x(i)} = \mu \sqrt{Q_{xx}}; \quad m_{y(i)} = \mu \sqrt{Q_{yy}} \quad (19.55)$$

Yonma-yon joylashgan yoki yonma-yon joylashmagan  $i$  va  $k$  punktlarini birlashtiruvchi xohlagan tomonning uzunligi  $S_{ik}$  yoki direksion burchagining  $\alpha_{ik}$  teskari vazni quyidagi formula yordamida hisoblanadi

$$\frac{1}{P_{ik}} = f^T Q_{ik} f, \quad (19.56)$$

bu yerda  $f^T$  - quyidagi ko'rinishga ega bo'lgan tomon direksion burchagi  $\alpha_{ik}$  va uzunligi  $S_{ik}$  vaznli funksiyalari koeffitsientlarining transportirlangan vektor-qatorlari

$$f_{ik}^T = (-a_{ik} - b_{ik} a_{ik} b_{ik});$$

$$f_{i(i)}^T = (-c_{ii} - d_{ii} c_{ii} d_{ii}). \quad (19.57)$$

$a_{ik}, b_{ik}$  koeffitsientlar (19.11) formula bilan,  $c_{ii}, d_{ii}$  koeffitsientlar esa (19.26) formula bilan hisoblanadi, ikkita holatda ham punktlarning taqribiy koordinatalaridan foydalaniladi.

$Q_{ik}$  matritsa, tarmoqning baholanuvchi tomon (dioganali)  $S_{ik}$  boshlang'ich va ohirgi  $x_i, y_i, x_k, y_k$  koordinatalariga muvofiq keluvchi vaznli koeffitsientlar matritsasi  $Q$  uchun umumiy bo'lgan elementlardan shakllanadi va u quyidagi ko'rinishga ega

$$Q_{ik} = \begin{bmatrix} Q_{x_i x_i} & Q_{x_i y_i} & Q_{x_i x_k} & Q_{x_i y_k} \\ Q_{y_i x_i} & Q_{y_i y_i} & Q_{y_i x_k} & Q_{y_i y_k} \\ Q_{x_k x_i} & Q_{x_k y_i} & Q_{x_k x_k} & Q_{x_k y_k} \\ Q_{y_k x_i} & Q_{y_k y_i} & Q_{y_k x_k} & Q_{y_k y_k} \end{bmatrix}. \quad (19.58)$$

(19.56) formula orqali  $1/R_{ik}$  teskari vazni hisoblab (19.50) formulaga qo'yib baholanuvchi elementning o'rta kvadratik xatosini topamiz

$$m_{1,ik} = \mu \sqrt{f_{ik}^T Q_{ik} f_{ik}}$$

bu yerda  $f_{ik}$  - tegishli (19.52) va (19.53) vazn funksiyasi koeffitsientlarining vektor ustuni.

Tenglashtirish hisoblarini yakuniy bosqichida punktlar koordinatalarining katalogi tuziladi, unda tomonlar uzunligi va direksion burchaklar, katalogda yozilgan koordinatalardan foydalanib teskari geodezik masala yechish yo'li bilan hisoblanadi.

## **VI-BO'LIM. GEODEZIK TAYANCH TARMOQLARNI RIVOJLANTIRISHNI KOSMIK USULLARI**

### **20-BOB. SUN'IY YO'LDOSH GEODEZIK TARMOQLARINI RIVOJLANTIRISH USULLARI VA TEXNOLOGIYALARI**

#### **20.1. Umumiy ma'lumotlar**

Insonni qadim zamonlardan qiziqtirib kelgan muammolardan biri, u o'zini Yer planetasini qaysi joyida turganini aniqlashdan iborat bo'lgan. Kishi o'z atrofini o'rab olgan ob'ektlarga nisbatan turgan o'rmini osongina aniqlab olishi mumkin. Bordiyu atrofda bunday ob'ektlar bo'lmasa, hammayoq bo'm-bo'sh cho'l yoki bepoyon okean sathi bo'lsachi? Ko'p asrlar davomida bu muammoni Quyosh va yulduzlardan foydalanib yechib kelingan. Shu jumladan geodezistlar, geologlar va boshqalar geodezik tayanch punktlardan foydalanib kelishgan, ulardan boshlab o'lchashlar olib borilgan yoki yo'llar aniqlangan, lekin bu usullardan foydalanish imkoni har doim bo'lavermaydi. Masalan, Quyosh va yulduzlar bulutli ob-havoda ko'rinmaydi. Joyda bajariladigan aniq o'lchashlar ko'p vaqt va mehnat talab qiladi va har doim maqsadga to'la erishish imkoni bo'lmaydi. 1970 yillar boshida GPS yangi loyihasi taqdim etildi va unga ko'ra kishi o'z turgan o'rmini yer yuzasini hoxlagan nuqtasida, hoxlagan vaqtda, har qanday ob-havo sharoitida yuqori aniqlikda aniqlash imkoniga ega bo'ldi.

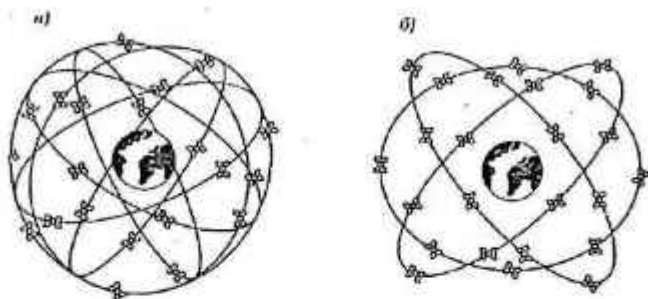
Aslida GPS sistemasi harbiylarga mo'ljallangan bo'lib, ko'p o'tmay uni noharbiy maqsadlarda, ayniqsa dengiz navigatsiyasi va geodeziyada qo'llash imkoni topildi. Hozirgi vaqtda geodezik o'lchashlarda sun'iy yo'ldosh navigatsiya sistemalari keng qo'llanilmoqda. Bu sistemalar kosmik va yer usti mexanik vositalar kompleksidan, yer sferoidi sirtidagi ob'ekt o'rmini aniqlash uchun dastur ta'minoti va texnologiyasidan iborat. Sun'iy yo'ldosh navigatsiya sistemalarini katta hududlar topografik s'yomkalarni bajarishda planli-balandlik asosni rivojlantirish uchun qo'llash maqsadga muvofiq. GPS to'la tarkibi quyidagi uchta turli segmentlardan iborat:

- Kosmik segment – ma'lum orbita bo'yicha yerni aylanib uchadigan sun'iy yo'ldoshlar;

- Boshqarish segmenti – yo'ldoshlar uchishini boshqarish uchun zarur ekvatorga yaqin joylashgan stansiyalar;

-Foydalanuvchilar segmenti – GPS signalini qabul qiluvchi va foydalanuvchilar.

Kosmik segment 24 ta sun'iy yo'ldoshlardan tashkil topib, ular o'z orbitasi bo'yicha taqriban 20200 km balandlikda uchib har 12 soatda bir marta Yerni aylanib chiqadi, 20.1-shakl.



20.1-shakl. a) – NAVSTAR; b) GLONASS. Suniy

Kosmik segment shunday loyihalanganki yerni har qanday nuqtasida xohlagan daqiqada ufq tekisligidan  $15^\circ$  yuqorida kuzatuvchining ixtiyorida eng kamida 4 ta sun'iy yo'ldosh bo'ladi bu esa har qanday amaliy vazifalarni bajarish uchun zarur bo'lgan yo'ldoshlarni minimal sonidir. Har bir sun'iy yo'ldosh bir nechta juda aniq bort atom soatlariga ega. Bu soatlar 10,23 MGs asosiy chastotada ishlaydi. Bu chastota yo'ldosh uzatadigan signallarni generatsiyalash uchun foydalanadi. Yo'ldosh doimiy eltuvchi ikkita to'lqinni uzatib boradi. Bu eltuvchi to'lqinlar  $L$ - polosada joylashib yerga qarab yorug'lik tezligida harakat qiladi.

Har bir yo'ldosh o'zining shaxsiy kodiga ega bo'lib, u bo'yicha priyomnik yo'ldoshni aniqlaydi. Bunday kodlar soxta masofalarni o'lchash uchun asos qilib olinib, ular orqali koordinatalar hisoblanadi.

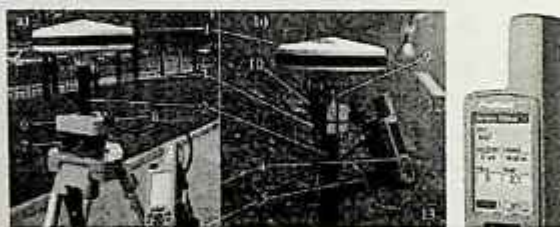
Radiosignalni yo'ldoshdan toki priyomnik antenasigacha yetib kelish vaqtini aniqlash, signal tarqalish tezligini vaqtga ko'paytirib masofani aniqlash imkonini beradi. Buning uchun yo'ldoshdan signal chiqish daqiqasini bilish talab qilinadi. Shu maqsadda to'lqin uzatuvchi yo'ldoshda va priyomnikda signal generatsiyasini sinxronlashtirish qabul qilingan, bu esa signalni priyomnikda qabul qilish vaqtida uni yo'ldoshdan uzatilgan vaqtini aniqlash imkonini beradi. Bu masala yuborilgan kodni qabul qilingan kodga nisbatan surilishini aniqlash orqali yechiladi. Agarda



kodlar ketma-ket generatsiya qilinsa ularni bir-biriga nisbatan surilish qiymatini aniqlash mumkin bo'ladi.

Amalda signal sifatida nollar va birlar ketma-ketligi har bir milli sekundda generatsiyalanadi va ularga soxta tasodifiy (psevdosluchayne) kod nomi berilgan. Signalni tarqatish vaqtini belgilash uchun vaqtning nanosekund aniqlikda ( $0,000000001$  s) o'lchash imkonini beradigan yuqori aniq soat yo'ldoshda o'rnatiladi. Bunda yo'ldosh va priyomnik signallarini chiqishini sinxron generatsiyalash kerak bo'ladi.

Priyomnik soatini ishlashidagi xatolik ta'sirida qabul qilingan signallar orqali stansiya o'rnini yetarli aniqlikda belgilash imkonini bo'lmasa, priyomnikdagi kompyuter bitta vaqt oralig'ini (hamma o'lchashlarga bir xil) o'lchangan soxta uzoqlik (psevdodolnost) qo'shib (ayirib) boshlaydi. Shu tarzda o'lchashlar uchun vaqtning o'zgartirib borish yo'ldoshlardan kelayotgan to'lqin doiralari bitta nuqta orqali kesib o'tishini ta'minlaguncha davom ettiriladi (20.2-shakl). Bu esa to'rtta noma'lumlarga ega turtta tenglamalar sistemasini yechish orqali amalga oshiriladi.



20.2-shakl. Pro Mark 2 GPS priyomnigi jixozlari komplektining umumiy ko'rinishi

a) Tashqi apparatlarni shtativga o'rnatilgan holda ko'rinishi: 1-antenna; 2-vertikal bo'yicha uzaytirgich; 3-ulash kabeli; 4-priyomnik; 5-dala kranshteyni; 6-taglik (treger); 7-optik marka-lashtirgich; 8-taglik doiraviy auelagi;

b) Tashqi apparaturani vexaga o'rnatilgan xolati; 9-vexa; 10-vexaga o'rnatilgan doiraviy auelak; 11-uch oyoq (shtativ); v-priyomnik paneli; 12-display; 13-boshqaruv knopkalari

yo'ldoshlarga masofalarni o'lchashga to'g'ri keladi. Yuqorida ko'rib o'tilgan prinsipda har bir yo'ldoshgacha masofani aniqlash uning koordinatalarini ma'lum bo'lishini taqozo etadi. Bu maqsadda yo'ldoshlar o'zini juda baland orbitasiga aniq chiqariladi. Orbita parametrlari priyomnikka tushiriladi va bu qiziqirgan vaqt uchun har bir yo'ldosh o'rnini aniqlash imkonini beradi.

24 soat davomida yo'ldoshlar kuzatish nazorat punktlari ustidan ikki marotaba uchib o'tadi. Bu esa ularning o'rnini va tezligini aniq nazorat qilish imkonini beradi. Kuzatish stansiyalarida aniqlangan orbitaning o'zgarishi

orqali "efemerid" xatosini hisoblash imkonini tug'iladi. Odatda orbitalarni o'zgarib turishi Oy va Quyoshni gravitatsiya maydonlarini ta'siri hamda Quyosh nurini yo'ldoshga ko'rsatadigan bosimi bilan bog'liq. Hisoblangan xatolar asosida yo'ldosh orbitasiga tuzatmalar aniqlanadi. Tuzatmalarni kiritish bilan aniqlangan orbita parametrlari yo'ldoshga uzatiladi.

GPS o'lchashlar aniqligiga nurni ionosfera va troposferalardan o'tish xatosiga qo'shimcha priyomnik xatosi, atrofdagi predmetlardan nurni qaytarilishi xatosi va boshqalar ta'sir etadi. Bundan tashqari, "geometrik omil", ya'ni yo'ldoshlarga qarab yo'nalishlar orasidagi burchaklar qiymati ham ta'sir etadi. Bu burchaklar qanchalik kattaroq bo'lsa kestirmalar shuncha yaxshi, demak o'lchashlar ham aniq bo'ladi.

Rossiyada GLONASS sistemasi ustida ishlar 1976 yildan boshlangan bo'lib, uni 1993 yilda harbiy maqsadlarda qo'llash uchun maxsus qaror bilan qabul qilingan. Shu vaqtda 8 ta kosmik apparatlar o'z orbitasida harakat qilar edi. 1995 yil oxiriga kelib esa sistemada kosmik apparatlar soni 24 ta yetkazildi. Rossiya Hukumatining maxsus qarori bilan bu sistemani xalq xo'jaligida qo'llash uchun ham ochildi.

GLONASS da ham ikkita kanal: standart (ST) va yuqori aniq (YuA) kanallar mavjud bo'lib, ular nuqtalar koordinatalarini GPS aniqligiga yaqin aniqlikda topish imkonini beradi. ST signali (GPS C/A kodiga o'xshash) hamma foydalanuvchilar uchun ochiq, YuA signallari esa faqat harbiy maqsadlarda qo'llaniladi.

24 ta yo'ldoshlar uchta doiraviy orbitalarni har birida 8 tadan joylashtirilgan, orbitalar balandligi 19100 km ga yaqin va ular ekvatorga qarab 64,8 gradusga og'adi. Orbitalar parametrlarini bunday tanlangani uzoq muddat davomida yo'ldoshlar o'zaro joylashishi holatini o'zgarmas bo'lishini ta'minlaydi.

Shunday qilib, GPS yordamida koordinatalarni aniqlash geodeziyaning fundamental maqsadini amalga oshirishda yer siritni hoxlagan joyidagi nuqta mutloq o'mini bir xil aniqlikda topishni ta'minlaydi. An'anaviy geodezik va topografik usullarni qo'llab esa nuqta o'mini boshlang'ich punktlarga nisbatan bu punktlargacha bo'lgan masofalarga bog'liq bo'lgan aniqlikda topamiz. Shuning uchun GPS odiiy usullarga nisbatan katta afzallikka ega. Boshqa tomondan geodeziya fani — bu GPS uchun asos va aksincha, GPS geodeziya uchun asosiy asbobga aylandi. Bu aytilgan so'zlar haqiqat bo'lib tasdiqlanadi, agarda biz geodeziyaning asosiy maqsadlarini esga keltirsak:

1. Yerning sirtida milliy va global fazoviy geodezik tayanch tarmoqlarni, ular punktlarini vaqt o'tishi bilan siljib o'rni o'zgarib turishini hisobga olib, qurish va xizmat ko'rsatish.

2. Geodezik hodisalarni (yer qutblarini harakati, yer qobig'ini siljishi va boshqalar) o'lchash va tavsifini aniqlash.

3. Yer gravitatsiya maydonini, uni davriy o'zgarib turishi bilan birga aniqlash.

GPS dan foydalanuvchilarni ko'pchiligi yuqoridagi vazifalarni bajarishi bilan to'qnashmasa ham, lekin bu asboblardan ishlovchilar albatta geodeziyadan tushunchaga ega bo'lishlari shart.

## **20.2. GPS va mahalliy koordinatalar sistemalari**

GPS geodezik va navigatsiya ommaviy asboblari bo'lib borishi sababli geodezistlar va navigatorlar GPS koordinatalarini standart geodezik koordinatalar sistemalari bilan qanday bog'lanishda ekanligini bilishlari zarur.

GPS o'lchashlarni bajarishda xatoliklarga yo'l qo'yishni asosiy sababi, bu bog'lanishlarni to'g'ri tushinmaslik oqibatidir.

Koinotdan Yerga qaratilganda uning sirti bir tekis ko'rinsada amalda bunday emasligi aniq.

GPS yer sirtidagi har qanday nuqta koordinatalarini aniqlab berishga xizmat qilgani sababli, u ellips sirtiga asoslangan geodezik koordinatalar sistemasidan foydalanadi.

Ellipsoid (sferoid deb ham ataladi) – bu qutblaridan siqilgan sferoiddir. Ellipsoidni tanlashdan maqsad esa u Yer sferasiga o'xshashligidadir. Bunday ellipsoid hech qanday fizik sirtga ega bo'lmaydi, lekin u matematik aniqlangan sirtidir.

Amalda turli ellipsoidlar yoki matematik aniqlanadigan sirtlar (Yer sirtiga o'xshash) ko'p uchraydi.

GPS sistemasida qo'llanadigan ellipsoidga WGS84 yoki 1984 Umumjahon Geodezik Sistema deb ataladi. Ma'lumki Yer sirtidagi nuqtaning o'rni uning kengligi, uzoqligi va ellipsoidal balandligi bilan aniqlanadi.

Nuqta o'rni aniqlashni alternativ usuli – bu Dekart (to'g'ri burchakli) koordinatalar sistemasi bo'lib, unda koordinatalarni qabul qilingan bosh nuqtasi yoki sferoidni markazidan  $X$ ,  $Y$  va  $Z$  o'qlari bo'yicha o'lchanadigan kesimlar nuqta o'rni ifodalaydi.



Bu usul GPS yordamida nuqtaning fazoviy o'mini aniqlashda qo'llanadi.

Yer sun'iy yo'ldoshlarining harakati to'g'ri burchakli inersional geotsentrik koordinatalar  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  sistemasida ifodalanadi (yoziladi).

Hozirgi sun'iy yo'ldosh navigatsiyasi sistemasida dastlabki koordinatalar umumer geotsentrik koordinatalar sistemasida aniqlanadi. NAVSTAR GPS navigatsiyasida umumer koordinatalar sistemi sifatida WGS-84, GLONASS sistemasida esa P3 (Yer parametrlari) – 90 foydalanadi.

GPS koordinatalar sistemasiga o'xshash mahalliy koordinatalar sistemalari turli davlatlarda ular hududlarida geoidni aniqroq ifodalay oladigan mahalliy ellipsoid (referens ellipsoid) ga asoslangan.

Odatda bu sistemalarda zonalar sistemasiga tegishli bo'lgan to'g'ri burchakli koordinatalarni olish uchun nuqtalar tekislikka proeksiyalanadi.

Mahalliy koordinatalar sistemasida foydalanadigan ko'pgina referens-ellipsoidlar jahon davlatlarida ko'p yillar avval – kosmik geodeziyani vujudga kelishidan oldin aniqlangan bo'lgan.

Bu ellipsoidlarni tanlashdan maqsad qiziqtirayotgan hududni eng aniq tashkil etuvchi sirtini tanlab olishdan iborat bo'lgan, shu bilan birga bu ellipsoidlarni Yerning boshqa qismlarida qo'llash imkoni bo'lmaydi. Shundan kelib chiqib har bir davlat o'zini ellipsoidi va unga mos fazoviy koordinatalar sistemasini tanlab oladi.

GPS sistemasida koordinatalar dastlab WGS-84 ellipsoidiga nisbatan aniqlanadi. Mavjud koordinatalar kataloglari odatda mahalliy sistemadagi koordinatalardan tuzilgan bo'ladi, shu sababli GPS koordinatalari mahalliy sistemaga qayta hisoblab o'tkazilishi talab qilinadi.

GPS yordamida o'lchangan balandliklar WGS-84 ellipsoidi sirtiga tegishli bo'ladi va ellipsoidal balandliklar deyiladi. Amaldagi kataloglarda esa o'rtacha dengiz sathiga nisbatan o'lchangan ortometrik balandliklar beriladi.

Dengizni o'rtacha sathi geoid deb ataladigan sathga to'g'ri keladi. Geoid murakkab shaklga ega bo'lib, ellipsoidga mos kelmaydi. Yer massasining zichligi geoidga ta'sir etib u zich joylarda balandliklar va zichlik kam qismlarda pastliklarni hosil qiladi.

Amalda foydalanadigan kartalarning ko'pchiligida ortometrik balandlik (geoid sirtiga nisbatan) berilgan. Shunga ko'ra GPS da aniqlangan balandliklardan ortometrik balandlikka o'tishga to'g'ri keladi. Bu masala ellipsoidal balandliklardan ortometrik balandlikka o'tish uchun ishlab chiqilgan geoid modeli orqali amalga oshiriladi.

### 20.3. Sun'iy yo'ldosh o'lchashlarini matematik asosi

Yuqorida ko'rsatib o'tilganidek Yer sun'iy yo'ldoshlarining harakati to'g'ri burchakli inersional geotsentrik koordinatalar  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  sistemasida ifodalanadi. Bu esa huddi shu sistemada yer sirtida olingan nuqta koordinatalarini aniqlash imkonini beradi.

Bu masalani yechish asosida sun'iy yo'ldosh va yer sirtidagi  $M$  nuqta orasidagi masofani aniqlashni quyidagi tenglamasi yotadi.

$$D_e^2 = (X_n - X_M)^2 + (Y_n - Y_M)^2 + (Z_n - Z_M)^2, \quad (20.1)$$

bu yerda

$D_e$  - sun'iy yo'ldosh bilan yer sirtidagi  $M$  nuqta orasidagi masofa;

$X_n, Y_n, Z_n$  - yo'ldoshni geotsentrik koordinatalari;

$X_M, Y_M, Z_M$  - yer sirtidagi  $M$  nuqtaning geotsentrik koordinatalari.

Yo'ldosh koordinatalari va  $u$  bilan yer sirtidagi nuqta orasidagi masofa aniq bo'lganda (20.1) formuladan aniqlanadigan yer nuqtasining koordinatalari noma'lum hisoblanadi. Ushbu  $M$  nuqtasining koordinatalari  $X_M, Y_M, Z_M$  ni aniqlash uchun nuqtadan uchta sun'iy yo'ldoshlargacha masofalar  $D_k (k=1, 2, 3)$  ni o'lchash kerak bo'ladi, bunda o'lchash daqiqalari uchun bu yo'ldoshlar o'rni koordinatalari ma'lum bo'lishi kerak. Bu masofalar o'rni amalida soxta uzoqlik (psevdodalnost) o'lchanadi va uning qiymati quyidagi formuladan topiladi:

$$D_k^2 = [D_e + (T_M + T_C) \cdot V]^2 = (D_e + \Delta T \cdot V)^2, \quad (20.2)$$

bu yerda

$D_e$  - sun'iy yo'ldoshdan priyomnikgacha soxta uzoqlik;

$\Delta T = T_M - T_C$  - sun'iy yo'ldoshdan priyomnikgacha to'liqinni tarqalish vaqti;

$T_M$ ,  $T_C$  - yo'ldoshda va priyomnikda to'liqinni tegishli jo'natilishi va qabul qilinishi vaqtlari;

$V$  - radioto'liqinni tarqalish tezligi.

(20.2) tenglamadagi noma'lumlar ( $X_M$ ,  $Y_M$ ,  $Z_M$  va  $\Delta T$ ) qiymatlarini aniqlash uchun eng kamida to'rtta yo'ldoshlargacha uzoqliklarni o'lchash kerak bo'ladi.

(20.1) formulani hisobga olib priyomnik o'rni koordinatalarini aniqlash uchun (20.2) formulani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$D_s = \sqrt{(X_s - X'_M)^2 + (Y_s - Y'_M)^2 + (Z_s + Z'_M)^2} + \Delta T \cdot V, \quad (20.3)$$

(20.3) tenglamani eng kichik kvadratlar usulida yechib nuqtaning noma'lum koordinatalari  $X'_M$ ,  $Y'_M$ ,  $Z'_M$  va vaqt shkalalarining ayirmasi  $\Delta T$  topiladi.

Nuqtaning topilgan koordinatalari quyidagi xatolar manbaalari: Yerning aylanishi to'liqin tarqalishi muhit ta'siri, apparaturalar shovqini ta'siridan xatoliklarga ega bo'ladi.

Ob'ekt koordinatalarini yanada aniqroq topish uchun yuqorida ko'rsatilgan xatolar ta'siri uchun tegishli tuzatmalarni kiritish zarur bo'ladi.

#### 20.4. Joy ob'ektlari koordinatalarini aniqlash usullari

Yer sirtidagi punktlar o'rni (koordinatalari) GPS sistemasi yordamida avtonom va differensial tartib (rejim) da aniqlanadi. Avtonom tartib navigatsiya va harbiy priyomniklar o'rni aniqlashni asosiy usuli hisoblanadi. Bunda ob'ekt o'rni navigatsiya yo'ldoshlari va bitta GPS priyomnididan foydalanish asosida aniqlanadi.

Differensial tartib (DGPS) ob'ekt koordinatalarini yuqori aniqlikda topishga qaratilgan. U eng kamida ikkita priyomnikdan foydalanishga asoslangan, ulardan biri koordinatalari ma'lum punktda o'rnatiladi va asos (baza) stansiyasi hisoblanadi, ikkinchisi – harakatdagi stansiya bo'lib, aniqlanadigan nuqtalar bo'yicha o'tadi. Koordinatalari aniq asos stansiya tuzatmalarni hisoblab yo'ldosh o'lchashlarini tuzatish (korreksiyalash) uchun efirga kombinatsiyalashgan xabarlarini uzatadi. Bu xabarlar harakatdagi priyomnik (stansiya) tomonidan qabul qilinib, u orqali asos stansiyadan uzatilgan tuzatma hisobga olinadi. Ish bajaruvchi joyni navbatdagi nuqtasiga o'tib GPS priyomnik tugmachasini bosishi bilan ushbu nuqtaning aniq koordinatalari bir daqiqada topiladi. Yuqori aniqlikni ta'minlash asosida koordinatalari ma'lum punktlardan foydalanish yotadi. Bu esa yo'ldoshdan kelayotgan dalnomer signallarida kelib chiqadigan xatoliklar yig'indisini hisoblash imkonini beradi.

Asos (baza) stansiyasi joylashgan punkt hisoblashni yangi bosh nuqtasi bo'lib, undan ma'lum chegaralangan hududda joylashgan har qanday GPS priyomnikka tuzatish (korreksiyalash) radio signallarini

uzatish mumkin. Bu esa yagona tuzatish signali sistemadagi xatoliklarni, ularni kelib chiqishi manbaalaridan qat'iy nazar, to'g'rilaydi.

Birinchi variantda priyomniklarga telemetrik kanallar bo'yicha xatoliklar to'g'risida habar uzatiladi, bu habarni priyomnik o'z o'zini haqidagi ma'lumot bilan kompyuterida ishlab chiqib nuqta koordinatalari aniqligini oshiradi. Ikkinchi variantda asos stansiya "soxta yo'ldosh" vazifasini bajaradi, ya'ni u sun'iy yo'ldoshga o'xshash soxta ehtimoliy kodlar signali va ma'lumotlar uzatadi.

GPS priyomnigini joylashuviga qarab statik va dinamik o'lchashlar usullari qo'llaniladi.

Priyomnik o'mini statik usulda aniqlashda u aniqlanadigan punktda o'rnatilib ma'lum vaqt davomida kuzatishlar olib boriladi.

Dinamik usulda kuzatishlarni olib borayotgan priyomnik harakatda bo'lgan transport vositasida o'rnatilgan bo'ladi.

Geodezik GPS priyomniklar bilan ishlashda qo'yilgan maqsadga qarab quyidagi o'lchashlar uslubidan biri qo'llanadi: statika, ildam statika, kinematika va RTK.

**Statika** uzun chiziqlarni o'lchashda, geodezik tarmoqlarni rivojlantirishda, tektonik platformalar harakatini o'rganish va boshqalarda qo'llanadi. Statika eng yuqori aniqlikda o'lchash uchun qo'llanilib, stansiyada kuzatishlar vaqti bir soatni tashkil qiladi. Geodezik tarmoqlarni rivojlantirishda vektorlar eng aniq topilishi (o'lchanishi) kerak bo'ladi. Bunda tarmoqlar qat'iy bog'langan vektorlardan rivojlantiriladi va punktlarning aniq koordinatalari tarmoqni qat'iy tenglashdan topiladi.

**Ildam statika** zichlash tarmoqlari va s'yomka tarmoqlarini rivojlantirishda qo'llanadi. Bu usul kuzatish natijalarini kompyuterda ishlab chiqib koordinatalarni santimetr aniqlik darajasida aniqlashni ta'minlaydi.

Asos (baza) chizig'ini hammasi bo'lib 8 daqiqada (8 – 30 daqiqa) aniqlash uchun bu usul eltish fazasini o'lchashdan foydalanadi. Kerakli o'lchash vaqti qo'llanadigan priyomnik tipiga asos (baza) chizig'ining uzunligiga, ko'rinadigan sun'iy yo'ldoshlar soniga va ular geometriyasiga bog'liq.

**Kinematika** topografik s'yomkalarda va katta miqdordagi nuqtalar koordinatalarini qisqa vaqt ichida aniqlashda qo'llanadi. Bunda sun'iy yo'ldoshlardan kelayotgan signallar yo'lini daraxtlar, baland imoratlar va boshqalar to'sadigan bo'lsa vaqt sarfi oshadi, aniqlik esa pasayadi. Asos chizig'ining uzunligi 50 km bilan chegaralanadi va 1 santimetr aniqlikni ta'minlaydi.



**RTK kinematika** usulida real vaqt davomida o'lish uchun asos stansiyasi qabul qilgan sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini harakatdagi priyomnikka uzatish uchun radiomodemdan foydalanadi. Bu usul nuqtalar koordinatalarini dalada real vaqtda bilish imkonini beradi. Shuning uchun unda topografik s'yomkalarini bajarish juda unumli hisoblanadi. Lekin radiomodemda ishlash uchun asos stansiya bilan harakatdagi stansiyalar o'zaro ko'rinishi kerak bo'ladi. Bu usul real vaqtda santimetrik aniqlikni ta'minlaydigan yagona usul hisoblanadi.

Har bir sun'iy yo'ldosh ikkita unikal kodlarni uzatadi. Birinchi va nisbatan oddiy kodga  $C/A$  (qo'pol) kodi deyiladi. Ikkinchi kod  $P$  (aniq) kod deyiladi. Bu kodlar ikkita eltuvchi to'lqinlarni  $L1$  va  $L2$  modullashtiradi.  $L1$   $C/A$  va  $P$  – kodni,  $L2$  esa faqat  $P$  kodni eltadi.

Koordinatalar trilateratsiya metodida har bir ko'rinadigan yo'ldoshgacha masofani aniqlashdan keyin topiladi. Uzoqlik kod yoki eltuvchi faza bo'yicha aniqlanadi.

Geodezik GPS priyomniklar fazani eltuvchi sikl chegarasida o'lcaydi.  $L1$  va  $L2$  to'lqinlar uzunligi ma'lum, shuning uchun yo'ldoshlargacha uzoqliklar faza domerini yo'ldosh bilan antenna orasidagi to'lqinlar soniga ko'paytirib masofa aniqlanadi.

## **20.5. Nuqtalar koordinatalarini transformatsiyalash**

Hozirgi zamon sun'iy yo'ldosh navigatsiyasi sitemalarida nuqtalar koordinatalari dastlab umumer geotsentrik koordinatalar sistemalarida aniqlanadi. NAVSTAR GPS navigatsiya sistemasida umumer koordinatalar sistemasiga WGS84, GLONASS da – PZ – 90 sistemalari foydalanadi. Amaliy ishlarni bajarishda esa, masalan, geodezik injenerlik tadqiqot ishlarida yassi to'g'ri burchakli koordinatalar sistemalari SK – 42 va SK – 95 foydalanadi. Shu sababli bitta koordinatalar sistemasidan ikkinchisiga o'tish, transformatsiya masalasi tug'ildadi.

Transformatsiyalashni turli usullari mavjud. Har bir usulda transformatsiya parametrlarini aniqlash uchun dala ishlari jarayoni bir xil. Birinchidan joyda hech bo'lmaganda 3 ta umumiy punktlarni koordinatalari har ikkala koordinatalar sistemalarida (masalan, WGS84 va mahalliy sistemada) ma'lum bo'lishi kerak. Bunday umumiy punktlarda mahalliy sistemada koordinatalari va ortometrik balanliklari ma'lum, (masalan, joyda mavjud geodezik tarmoqlar punktlarida) GPS o'lcashlarni bajarib olinadi. Shundan keyin transformatsiyalashni usullaridan birida uni parametrlarini hisoblash mumkin.

WGS84 geotsentrik koordinatalar sistemasi bilan PZ-90 sistemasi o'rtasidagi bog'lanish Gelmertni quyidagi formulalari orqali amalga oshiriladi.

$$\left. \begin{aligned} R_{WGS} &= \Delta R + (1+m) \cdot WR_{PZ} \\ R_{WGS} &= (X_{WGS}, Y_{WGS}, Z_{WGS})^T \\ \Delta R &= (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)^T, \quad R_{PZ} = (X_{PZ}, Y_{PZ}, Z_{PZ})^T \end{aligned} \right\} \quad (20.4.)$$

bu yerda

$R_{WGS}, R_{PZ}$  – WGS84 va P3-90 sistemalarida priyomnik o'zini joyda aniqlovchi tegishli vektorlar;

$\Delta R$  – WGS84 koordinatalar sistemasiga nisbatan P3-90 koordinatalar sistemasi bosh nuqtasini vektor qiymati;

$m$  – masshtab koeffitsienti;

$W$  – koordinatalar o'qlarini burilish burchaklari  $(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$  matritsasi.

Demak, P3-90 koordinatalar sistemasidan WGS84 koordinatalar sistemasiga o'tish uchun quyidagi 7 ta o'zgarish parametrlari –  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, m, \omega_x, \omega_y, \omega_z$  kerak bo'ladi.

WGS84 dan P3-90, ya'ni teskari o'tish uchun  $W' = W^T$  Gelmert formulasini quyidagi ko'rinishda yozamiz.

$$R_{PZ} = (1-m) \cdot W^T \cdot (R_{WGS} - \Delta R), \quad (20.5)$$

bu yerda

$m$  – koordinatalar sistemalari masshtablarining differensial farqi.

Geotsentrik va kvazigeotsentrik koordinatalar sistemalari orasidagi bog'lanish ham Gelmert formulalaridan tiklanadi.

$$\left. \begin{aligned} R &= \Delta R + (1+m) \cdot W_r; \\ R &= (X_r, Y_r, Z_r)^T, \quad \Delta R = (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)^T, \quad R = (X_w, Y_w, Z_w)^T \end{aligned} \right\} \quad (20.6)$$

bu yerda  $r$  va  $R$  – referens – ellipsoidlar va umumer ellipsoidi koordinatalari sistemalarida nuqta o'zini aniqlaydigan vektorlar;

$\Delta R$  – referens – ellipsoid koordinatalar sistemasi bosh nuqtasini umumer ellipsoidi sistemasi bosh nuqtasiga nisbatan aniqlovchi vektor;

$W$  – koordinatalar o'qlarini burilishi matritsasi.

Teskari o'tish, ya'ni referens – ellipsoid koordinatalari sistemasidan umumiy ellipsoidi sistemasiga o'tish quyidagi tenglama orqali bajariladi:

$$r = (1 - m) \cdot W^T \cdot (R - \Delta R). \quad (20.7)$$

Rossiyada qabul qilingan Davlat Standarti GOST R51794 – 2001 ga asosan ko'rilayotgan koordinatalar sistemalari orasidagi bog'lanishni ta'minlovchi, koordinatalarni bir sistemadan ikkinchi sistemaga o'tkazish parametrlari quyidagi 20.1 jadvalda beriladi.

20.1 jadval

| Koordinatalar sistemalari | $\Delta X, m$ | $\Delta Y, m$ | $\Delta Z, m$ | $\omega''_x$ | $\omega''_y$ | $\omega''_z$ | $m$ |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-----|
| PZ-90-SK-95               | 25,90         | -130,94       | -81,76        | 0            | 0            | 0            | 0   |
| PZ-90-SK-42               | 25,0          | -141,00       | -80,00        | 0            | -0,35        | -0,66        | 0   |

Yuqoridagi jadvalda keltirilgan parametrlardan foydalanib referens-ellipsoid koordinatalar sistemasiga o'tish quyidagi formulalar bo'yicha bajariladi:

$$\left. \begin{aligned} X_r &= X_w - \Delta X + \omega_x Z_w - \omega_z Y_w - m X_w; \\ Y_r &= Y_w - \Delta Y - \omega_z Z_w + \omega_x X_w - m Y_w; \\ Z_r &= Z_w - \Delta Z + \omega_z Y_w - \omega_y X_w - m Z_w, \end{aligned} \right\} \quad (20.8)$$

bu yerda

$X_r, Y_r, Z_r$  – referens-ellipsoid koordinatalar sistemasida yer sirtidagi nuqtaning koordinatalari;

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  – umumiy koordinatalar sistemasi bosh nuqtasiga nisbatan referens-ellipsoid koordinatalar sistemasi bosh nuqtasining surilish qiymati;

$X_w, Y_w, Z_w$  – umumiy koordinatalar sistemasidagi yer nuqtasining geotsentrik koordinatalari.

Ba'zi bir masalalarda sun'iy yo'ldosh navigatsiya sistemasi yordamida geodezik koordinatalar aniqlanishi mumkin. Bunda geodezik koordinatalar sistemasi orasidagi bog'lanishni tiklash masalasi tug'iladi. Bu maqsadda quyidagi tenglamalardan foydalanish ko'zda tutiladi.

$$\left. \begin{aligned} B_M &= B_s + \Delta B \\ L_M &= L_s + \Delta L \\ H_M &= H_s + \Delta H, \end{aligned} \right\} \quad (20.9)$$

bu yerda

$B_M, L_M, H_M$  – izlangan ellipsoid sirtidagi  $M$  nuqtasining geodezik koordinatalari;

$B_a, L_a, H_a$  – boshlang'ich ellipsoid sirtidagi  $M$  nuqtasining geodezik koordinatalari;

$\Delta B, \Delta L, \Delta H$  – izlangan va boshlang'ich ellipsodlardagi geodezik koordinatalar bog'lanishi parametrlari. Bu parametrlar ancha murakkab formulalar bo'yicha hisoblanadi va olingan qiymatlar aniqligi chiziqli o'lchamida 0,3 m ni tashkil qiladi.

Umuman olganda shuni ta'kidlash kerakki koordinatalarni transformatsiyalash natijalari faqatgina umumiy punktlar bilan chegaralangan zonada ishlatilishi lozim.

Shuni aytish kerakki juda ko'p holatlarda mahalliy sistemada avvalda aniqlangan punktlar koordinatalari GPS o'lchashlardan aniqlangan yangi koordinatalardan farq qiladi, bu esa tarmoqni deformatsiyasiga sabab bo'ladi. Bunday kamchilikni tuzatish uchun hamma GPS koordinatalarni teng cho'zish yoki siqish yo'li bilan ularni mahalliy koordinatalar sistemasiga yoziladi (joylashtiriladi).

Referens-ellipsoiddan geoidni nisbiy balandligi ko'pincha noma'lum bo'ladi. Joyda mavjud reperlar balandliklaridan foydalanib balandliklar modeli tuzilib interpolyatsiya orqali nuqtalar balandligi  $H_z$  topiladi.

## 20.6. Sun'iy yo'ldosh GPS priyomniklari

Hozirgi kundagi kosmik navigatsiya priyomniklarini juda ko'p xillari mavjud bo'lib, ularni funksional vazifalariga qarab quyidagi guruhlariga bo'lish mumkin:

- navigatsiya priyomniklari;
- harbiy maqsadlardagi priyomniklar;
- kartografiya va geoaxborot tizimlari (GAT) uchun mo'ljallangan priyomniklar;
- geodezik priyomniklar.

O'zini texnik ko'rsatkichlari bo'yicha qabul qiladigan kodlariga qarab priyomniklar quyidagilarga bo'linadi:

- Selektiv kodlar (C/A) ni;
- Selektiv kod va  $L1$  chastotadagi signal fazasini;
- Selektiv kod va  $L1$  va  $L2$  chastotadagi signallar fazasini;

-Selektiv kod,  $P$  – kod va  $L1$ ,  $L2$  chastotalardagi signal fazasini.

**Navigatsiya** priyomniklari selektiv kodni qabul qilishni ta'minlaydi. Bunda ob'ekt koordinatalarini aniqlash xatosi 150 – 200 metrni tashkil qiladi.

**Harbiy** priyomniklar  $P$  – kodni qabul qilish imkoniga ega va hamma diapozonlarda ishlashni ta'minlay oladi. Ob'ekt koordinatalarini aniqlash xatosi 10-20 metrga teng.

**GAT** priyomniklari signal fazalarini, odatda bitta chastotali, o'lchashga mo'ljallangan va koordinatalarni 1-5 metr xatolik bilan aniqlashni ta'minlaydi.

**Geodezik** priyomniklar signal fazasini, odatda bitta chastotali, o'lchashga mo'ljallangan. Bunda ular bitta chastotali signal bilan va birdaniga ikki chastotali signallar bilan ishlashi mumkin. Bu priyomniklar nuqtalar koordinatalarini 1–2 santimetr xatolik bilan aniqlash imkonini beradi.

**GPS** priyomniklari konstruktiv xususiyatlariga qarab bitta kanalli, ikki va to'rt kanalli priyomniklarga bo'linadi.

Bitta kanalli priyomniklarni oddiy masalalarni yechishda qo'llanishi uchun birin – ketin to'rtta sun'iy yo'ldoshlarni kuzatib ulargacha bo'lgan masofalarni ketma – ket aniqlashga to'g'ri keladi, buning uchun 2 soniyadan 30 soniyagacha vaqt talab qilinadi. Bu priyomniklarni kamchiligi ular o'rnatilgan ob'ekt harakatda bo'lsa yo'ldoshni kuzatish imkoni bo'lmaydi, chunki bunda o'lchash aniqliq pasayib ketadi. Bundan tashqari navbatdagi yo'ldoshdan signalni qabul qilish imkoni bo'lmaydi, chunki bu vaqtda (30 soniya) oldingi yo'ldoshdan olingan signalni ishlab chiqish bilan priyomnik band bo'ladi.

Yuqorida aytilgan kamchiliklardan qutilish maqsadida ikki kanalli priyomnik qo'llanadi. Bunda bitta kanal qabul qilgan signallarni ishlab chiqish bilan band bo'lsa, ikkinchisi navbatdagi yo'ldosh bilan radioaloqa bog'lab o'lchashni amalga oshiradi. Birinchi kanal ma'lumotlarni ishlab chiqishni tugatib navbatdagi yo'ldosh bilan aloqa bog'lash va o'lchashga tushadi va shu ketma – ketlikda ishlar davom etadi.

Ikki kanalli priyomniklarda, ularda o'rnatilgan soatlar yurishi xatoligini bartaraf etuvchi hisoblash algoritmlardan foydalanadi.

Ikki kanalli priyomniklarning kamchiligi-bitta kanalli priyomniklardan qiymat va ko'p energiya sarflaydi.

Parallel (to'xtovsiz) kuzatuvchi priyomniklar birdaniga 4 ta va undan ortiq sun'iy yo'ldoshlarni kuzatishga moslangan bo'lib ular bir onda

ob'ekt koordinatalari va tezligini beradi. Bu esa yuqori dinamikali ob'ektlar o'mini yuqori daraja aniqlikda topish imkonini beradi.

GPS primnik to'rtta asosiy modullarni o'z ichiga oladi: energiya ta'minlash bloki, boshqarish moduli, antenna moduli va qabul qiluvchi modul.

Energiya ta'minlash bloki priyomnik komplektiga kiruvchi akkumulator batareyalardan tashkil topadi.

Boshqarish moduli priyomnik rejimini belgilash va boshlang'ich parametrlarni kiritish uchun xizmat qiladi. U o'z ichiga boshqarish pult (ish rejimi va boshlang'ich ma'lumotlarni kiritishni ta'minlaydi) va displey (qiziqtiradigan ma'lumotlarni ko'z bilan kuzatish uchun) ni oladi. Boshqarish moduli antenna moduli va qabul qilish moduli bilan bevosita bog'langan.

Antenna moduli antennani qaratilish diagrammasini boshqarish moslamasi va signallarni kuchaytirish moslamasidan tashkil topadi. U sun'iy yo'ldoshlar signallarini qidirib topish va qabul qilish, ularni kuchaytirish va qabul qilish moduliga uzatishni ta'minlaydi. Qabul qilish moduli ishlashi yo'ldosh generatori ishlashi bilan sinxronlashtirilgan kvars generatori, signallarni ishlab chiqish protsessori, mikroprotsessor va yodda tutuvchidan iborat. Antennani kuchaytiruvchisidan signallar ularni ishlab chiqish protsessoriga uzatiladi, bu yerda signallar tanilib ularni parametrlari mikroprotsessorga uzatiladi. Mikroprotsessor "soxta uzoqliklar", priyomnik soatiga tuzatmalar va berilgan koordinatalar sistemasida priyomnikni mutloq koordinatalarini hisoblashni amalga oshiradi. Olingan qiymatlar qabul qiluvchi modul yodiga tushiriladi, u yerdan boshqarish pultidan berilgan topshiriq (komanda) bo'yicha displey ekranida ko'rinadi yoki tashqi yodlovchi moslamasiga yoziladi.

GPS priyomnigi jihozlari komplektining umumiy ko'rinishi 20.2-shaklda berilgan. Priyomniklarni asosiy tavsiflari va tiplari 20.2 jadvalda keltirilgan.

Yuqori aniq geodezik priyomniklarda amalda chiziqlarni o'lash aniqligi quyidagi daraja  $5 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D$  ni tashkil qiladi, bu yerda  $D$  - asos (baza) chizig'ining uzunligi (5 – 10 km).

Hamma yo'ldosh priyomniklari amaldagi davlat qonunlari, me'yoriy hujjatlar va qoidalarga asosan metrologik attestatsiya va sertifikatlashdan o'tishi shart.

| Asbob nomi                    | Firmaning nomi (ishlab chiqaruvchi davlat) | Statik differensial rejimda o'lchash o'rta kvadratik xatosi |                           |                                     | Boshqa tavsiflar       |                  |
|-------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------|
|                               |                                            | Koordinatalar orttirmalar<br>$\epsilon_d$                   | Masofalar<br>$\epsilon_s$ | Nisbiy balandliklar<br>$\epsilon_h$ | Parallel kanallar soni | Dastur ta'minoti |
| Bitta chastotali priyomniklar |                                            |                                                             |                           |                                     |                        |                  |
| SUPER C/A                     | ASITEK (AQSh)                              | 10 + 1ppm                                                   | 10 + 1ppm                 | 20 + 1ppm                           | 12                     | +                |
| GEOTRASE R SYSTEM 2000        | GEOTRONICS AB (Shvesiya)                   | 5 + 2ppm                                                    | 5 + 1(2)ppm               | 20 + 2(3)ppm                        | 12                     | +                |
| NR 10                         | SERSEL (Fransiya)                          | 5 + 2ppm                                                    | 5 + 1ppm                  | 5 – 30                              | 10                     | +                |
| 4000 SE LAND SURVEYOR         | TRIMBLE (AQSh)                             | 10 + 2ppm                                                   | 10 + 2ppm                 | 20 + 2ppm                           | 12                     | -                |
| RS 12                         | KARL ZEISS (Germaniya)                     | 10 + 2ppm                                                   | 10 + 2ppm                 | 20 + 2ppm                           | 12                     | +                |
| WILD GPS – SYSTEM 200         | LEICA AQ (Shveysariya)                     | 10 + 2ppm                                                   | 10 + 2ppm                 | 20                                  | 6                      | +                |
| Ikki chastotali priyomniklar  |                                            |                                                             |                           |                                     |                        |                  |
| Z-12 Field Surveyor           | ASITEK (AQSh)                              | 5 + 1ppm                                                    | s                         | 17 + 2ppm                           | 12                     | +                |
| GPS TOTAL STATION             | TRIMBLE (AQSh)                             | 5 + 1ppm                                                    | 5 + 1ppm                  | 10 + 1ppm                           | 9(12)                  | -                |

Yo'ldosh priyomniklarini ichki (kiritilgan) dasturlari, ularni ish rejimlariga asosan turli funksiyalarni, ya'ni koordinatalar va navigatsiya parametrlarini hisoblash, koordinatalarni to'g'rilash, marshrut ma'lumotlarini tayyorlash, marshrut bo'yicha yurgizish, kompyuter bilan ikki tomonlama aloqa bog'lashlarni bajaradi. Dasturlar yo'ldosh sistemasi almanaxini priyomnik yodiga yozishni kompyuter yoki uning tablosiga orbita gruppirovkasi haqidagi ma'lumotlarni chiqarishni ta'minlaydi.

Tashqi dasturlar priyomnik komplektiga kiritiladi yoki alohida beriladi. Ular "menyu" va "sichqoncha" tipidagi manipulyator tizimlari bilan boshqariladi.



Tashqi amaliy dasturlar topografik – geodezik ishlarga tegishli quyidagi vazifalarni amalga oshiradi:

- Ishlarni rejalash;
- Kerakli miqdordagi yo'ldoshlardan ma'lumotlarni yozib olish;
- Differensial korreksiyalash (to'g'rilash) dasturi uchun fayllar tuzish;

- Differensial korreksiyalash;
- Ma'lumotlarni grafik tasvirlash;
- Asos (baza) chiziqlarni hisoblash;
- Koordinatalarni hisoblash va ularni boshqa sistemalarga

o'zgartirish;

- O'lchashlar aniqligini baholash;
- Ma'lumotlar bazasini shakllantirish;
- Geodezik tarmoqni tenglash;
- Berilgan masshtabdagi plan va kartani avtomatik texnologiyada tuzish va chiqarish.

GPS priyomniklari bilan ishlash rejasi quyidagilardan iborat: ishlash joyida yo'ldoshlarni ko'rinishi ma'lumotini tuzish, geometrik omillarni dastlabki omillarini hisoblash, aniqlanadigan punktlar (nuqtalar) orasidagi harakat chizmasini tuzish.

## VII-BO'LIM. SFEROIDIK GEODEZIYA NAZARIY ASOSLARI KIRISH

Oliy geodeziya fani «Asosiy geodezik ishlar», «Sferoidik geodeziya» va «Nazariy geodeziya» kabi uchta qismdan tashkil topgan bo'lib, ulardan «Sferoidik geodeziya» nimani o'rganadi degan savolni qarab chiqamiz.

«Elementar geodeziya» fani o'rganilganda, 300÷350 kvadrat kilometrdan kichik bo'lgan yer yuzasi tekislik deb qabul qilinadi va bu yuzada bajarilgan geodezik o'lchash ishlari tekislikda amalga oshirilgan deb hisoblanadi.

Yer murakkab shaklga ega bo'lib, uni biron bir matematik formula bilan ifodalash qiyin vazifa hisoblanadi. Ammo, yer shaklini matematik ifodalamasdan katta maydonda bajarilgan geodezik o'lchash natijalarini matematik qayta ishlash mumkin emas. Geodezik o'lchash natijalarini matematik qayta ishlash uchun o'lchash ishlari bajarilgan deb qabul qilingan shaklning parametrlari (o'lchamlari, kattaliklari) ma'lum bo'lishi kerak. Shu sababli Yer fizik sathi Yer shakliga yaqin bo'lgan matematik shakl bo'lgan **aylanma ellipsoid** (ellips o'z kichik o'qi atrofida aylanish natijasida hosil bo'lgan) shakl, ya'ni **sferoid** bilan almashtiriladi.

Yer fizik sathida bajarilgan geodezik o'lchash natijalari **referens ellipsoid**, ya'ni **geoid ichida orientirlangan ellipsoid** sathida qayta ishlanadi.

Bunda, ellipsoidni geoid ichida orientirlash uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak:

- ellipsoid xajmi geoid xajmiga teng bo'lishi kerak;
- ellipsoid markazi Yer og'irlik markazida bo'lishi va ellipsoid kichik o'qi Yer aylanish o'qi bilan ustma-ust tushishi kerak;
- balandlik jihatidan ellipsoid sathini geoid sathidan og'ishi kvadratlarning yig'indisi eng kichik bo'lishi kerak.

Yer fizik sathi ellipsoid sathiga mos tushmaganligi sababli, geodezik o'lchash natijalarini qayta ishlash uchun Yer sathidagi nuqtalar ellipsoid sathiga proektsiyalanadi. Bunda, **yer sathidan ellipsoid sathiga o'tishdagi hisoblash ishlarigareduksion muammo deyiladi**. Shu bilan birga ellipsoid sathidan tekislikka o'tishda ham reduksion hisoblash ishlari bajariladi.

Shunday qilib, sferoidik geodeziyada quyidagilar o'rganiladi deyishi mumkin:

1. Yer ellipsoidi geometriyasi;
2. Geodezik masalalarni ellipsoid sathida yechish;

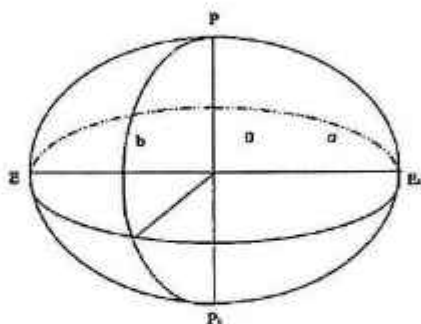
### 3. Ellipsoid sathining katta qismini tekislikda tasvirlash.

#### § 21.1.1. Yer ellipsoidining asosiy formulalari va o'zaro bog'lanishlari

**Dastur:** Yer ellipsoidining asosiy parametrlari. Sferoidik geodeziyada (SG) qo'llaniladigan koordinata sistemalari va ular orasidagi o'zaro bog'lanishlar. Bosh egrilik radiuslari. Ixtiyoriy kesim egrilik radiusi. Ellipsoid sathida berilgan nuqta o'rtacha egrilik radiusi. Meridian va parallel yoy uzunligi. Sferoidik trapesiya maydoni. Xarita trapesiyasining hoshiyalarini hisoblash.

Yer ellipsoidining asosiy parametrlari

21.1-shaklda keltirilgan ellipsoid uchun quyidagicha belgilashlar kiritamiz:



21.1-shakl

O—ellipsoid markazi;

PP<sub>1</sub>—ellipsoid aylanish o'qi;

OEAE<sub>1</sub> — ekvator tekisligi;

$a$  ( $a = OE = OE_1 = OA$ )- ellipsoid

katta yarim o'qi, ya'ni ekvatorial yarim o'qi;

$b$  -ellipsoid kichik yarim o'qi (qutb yarim o'qi) ( $b = OR = OR_1$ );

$\alpha$  - ellipsoid qutb siqilishi

$$\alpha = \frac{a-b}{a} ; \quad (21.1)$$

$e$  — ellipsoid birinchi eksentrisiteti

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} ; \quad (21.2)$$

$e'$  - ellipsoid ikkinchi eksentrisiteti

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} ; \quad (21.3)$$

Keltirilgan  $a, b, \alpha, e, e'$  kattaliklariga yer ellipsoidining parametrlari deyiladi. Ulardan  $a, b$  yoki  $a, \alpha$  parametrlar asosiy, qolganlari yordamchi parametr hisoblanadi

$c = a^2/b$  songa qutb egrilik radiusi deyiladi.

Yer ellipsoidining parametrlari orasidagi bog'lanishlarni qarab chiqamiz.

1.  $e$  va  $e'$  orasidagi bog'lanish

(21.2) va (21.3) formulalar ustida almashtirishlar bajarib quyidagilarga ega bo'lamiz

$$\frac{b^2}{a^2} = 1 - e^2 \quad (21.4)$$

$$\frac{b^2}{a^2} = \frac{1}{1 + e'^2} \quad (21.5)$$

(21.4) va (21.5) formulalar chap tomonlari teng. Ularning o'ng tomonlarini tenglashtirish natijasida  $e$  va  $e'$  orasidagi bog'lanishlarni topamiz:

$$e^2 = \frac{e'^2}{1 + e'^2} \quad (21.6)$$

yoki

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \quad (21.7)$$

2.  $e$  va  $\alpha$  orasidagi bog'lanish

(21.1) formuladan  $\frac{b}{a} = 1 - \alpha$  ni hosil qilib, uni (21.4) formulaga qo'ysak

$$1 - e^2 = (1 - \alpha)^2$$

yoki

$$e^2 = 2\alpha - \alpha^2 \quad (21.8)$$

kelib chiqadi.

(21.8) formulada  $\alpha^2$  kichik miqdor bo'lishligini hisobga olsak

$$e^2 \approx 2\alpha \quad (21.9)$$

munosabat hosil bo'ladi.

Yer ellipsoidining asosiy parametrlari Krasovskiy ellipsoidi uchun quyidagicha qabul qilingan

$$a = 6378245,0000 \text{ m}$$

$$b = 6356863,01877 \text{ m}$$

$$c = 6399698,90178 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,003352329869$$

$$e^2 = 0,006693421623$$

$$\lg a = 6.8046011973$$

$$\lg b = 6.8032428531$$

$$\lg c = 6.8061595414$$

$$\lg \alpha = 7.5253467466^{-10}$$

$$\lg e^2 = 7.8256481824^{-10}$$

$$e'^2 = 0,006738525415$$

$$\lg e'^2 = 7.828564707 \cdot 10^{-10}$$

$$\frac{b}{a} = \sqrt{1 - e'^2} = 0,9966476701$$

$$\frac{a}{b} = \sqrt{1 + e'^2} = 1,0033636058$$

$$\frac{b}{a+b} = 6367554.0094 \text{ m}$$

$$\lg b = 5.314425133$$

$$\rho = 206265$$

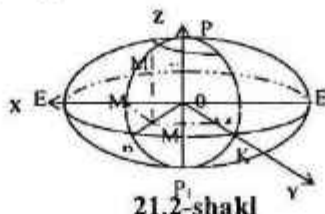
$$\lg s = 9.637784311$$

$$\mu = 0.4343$$

### §21.1.1. Sferoidik geodeziyada qo'llaniladigan koordinata sistemalari

Sferik geodeziyada qo'llaniladigan koordinata sistemalari bilan tanishamiz.

#### 1. Fazoviy to'g'ri burchakli $OXYZ$ koordinata sistemasi



21.2-shakl

Bu koordinata sistemasida

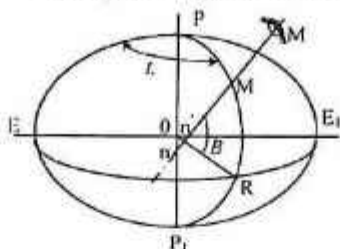
$O$  - koordinata boshi - ellipsoid markazida;

$OZ$  o'qi - ellipsoid aylanish o'qida,

$OX$  o'qi - boshlang'ich (Grinviç) meridian  $RER_1$  bilan ekvator tekisligida,  $OY$  o'qi - boshlang'ich meridian tekisligiga perpendikulyar bo'lgan  $RKR_1$  meridian tekisligini ekvator tekisligi bilan kesishgan tekislik. Bu sistemada  $X_M = OM_3 = M_1M_2$

$$Y_M = OM_2 = M_3M_1 \quad Z_M = MM_1$$

## 2. Geodezik koordinata sistemasi ( $B, L$ )



$PEP_1$ -boshlangich meridian,<sup>21.3-shakl</sup>

$RRR_1$ -  $M$  nuqtadan o'tuvchi meridian,

$OERE_1$ -ekvator tekisligi,

$Mn$ -  $M$  nuqtadan o'tgan ellipsoid sathiga normal chiziq keltirilgan.

Bu koordinata sistemasida ellipsoid sathidagi nuqtaning planli xolati geodezik kenglik  $B$ , geodezik uzoqlik  $L$  orqali aniqlanadi.

Ellipsoid sathidagi nuqtadan o'tgan normal chiziq bilan ekvator tekisligi orasida hosil bo'lgan burchakka nuqtaning geodezik kengligi deyiladi ( $B_M = \angle Mn'R$ )

Kenglik  $0^\circ$ - $90^\circ$  oralig'da qiymat qabul qiladi. Koordinatasi aniqlanayotgan nuqta shimoliy yarim sharda bo'lsa shimoliy kenglik, janubiy yarim sharda bo'lsa janubiy kenglik deb ataladi.

Nuqtaning geodezik uzoqligi deb boshlangich meridian tekisligi bilan koordinatasi aniqlanayotgan nuqtadan o'tgan geodezik meridian tekisliklari orasida hosil bo'lgan ikki yoqli burchakka aytiladi (21.3-shaklda  $L = \angle EOR$ ).

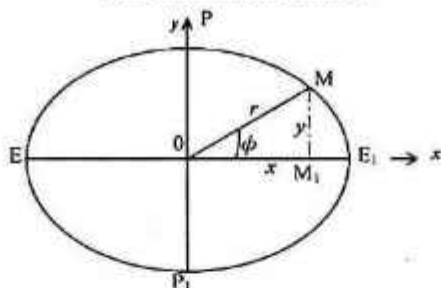
Geodezik uzoqlik, nuqta boshlangich meridian tasisligidan sharqda yotgan bo'lsa sharqiy (manfiy ishora), aks xolda g'arbiy deb ataladi (musbatishora) va  $0^\circ$ - $180^\circ$  oralig'da qiymatni qabul qiladi.

Koordinatasi aniqlanayotgan nuqtaning fizik sathidagi xolatini bilish uchun  $B, L$  dan tashqari uning geodezik balandligini bilish kerak.

Yer sathida joylashgan nuqtadan normal chiziq bo'yicha ellipsoid sathigacha bo'lgan kesma (chiziq) uzunligiga nuqtaning geodezik balandligi deyiladi (21.3-shaklda  $H = MM_1$ ).

Bu koordinata sistemasi nazariy xulosalar chiqarishda va hisoblash ishlarida keng qo'llaniladi.

3. Berilgan nuqta meridian tekisligidagi to'g'ri burchakli ( $Oxy$ ) koordinata sistemasi



21.4-shakl

Bu koordinata sistemasida

O-koordinata boshida,

Ox-o'qi ekvatorial o'qda,

Oy-o'qi qutb o'qida joylashadi. (21.4-shakl) dastavval nuqta joylashgan meridian tekisligining holati  $L$  aniqlanadi. Nuqtani ellipsoid sathidan xolati  $L$ ,  $x$  va  $y$  orqali ifodalanadi.

Bu koordinatalar sistemasi nazariy xulosalar chiqarishda ishlatiladi.

4. Geotsentrik koordinata sistemasi ( $L, \phi$ )

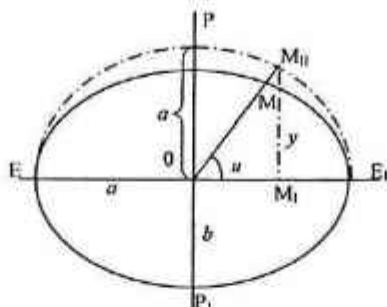
Ellipsoid sathida nuqtani xolati geodezik uzoqlik  $L$  va geotsentrik kenglik  $\phi$  orqali ifodalanadi.

Nuqta bilan ellipsoid markazini birlashtiruvchi radius vektor  $r$  va ekvator tekisligi orasida hosil bo'lgan burchakka nuqtani geotsentrik kengligi deyiladi (21.4-shakl).

Bu koordinata sistemasi astronomiya va matematik kartografiyada keng qo'llaniladi.



5. Keltirilgan kenglik bilan geodezik uzoqlik ( $u, L$ ) koordinata sistemasi



21.5-shakl

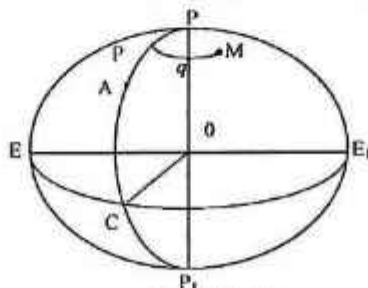
Keltirilgan kenglikni hosil qilish uchun, markazi ellipsoid markazida bo'lgan radiusi katta yarim o'qqa teng bo'lgan yordamchi aylana chizamiz. Ordinata  $MM_1$ ni yordamchi aylana bilan kesishguncha davom etirishdan hosil bo'lgan  $M_{II}$ nuqta bilan ellipsoid markazini birlashtirish natijasida hosil bo'lgan  $M_{II}OM_1$ burchakga keltirilgan kenglik deyiladi (21.5-shakl).

**Keltirilgan kenglik ( $u$ )** katta masofalarda geodezik masalalarni yechishda keng ishlatiladi.

6. To'g'ri burchakli sferoidik koordinata sistemasi

Bu koordinata sistemasida koordinata boshi sifatida biror bir nuqta olinadi (Bu nuqtaning ellipsoid sathidagi koordinatasi aniqlangan bo'lishi kerak).

Koordinatasi aniqlanayotgan  $M$  nuqtani xolati koordinata boshi deb qabul qilingan  $A$  nuqtadan, shu nuqtadan o'tgan parallelgacha bo'lgan meridian yoy uzunligi  $R$  va shu meridiandan nuqttagacha bo'lgan parallel yoy uzunligi  $q$  orqali ifodalanadi ( $R \perp q$ ) (21.6-shakl).



21.6-shakl

## 7. Yassi to'g'ri burchakli koordinata sistemasi

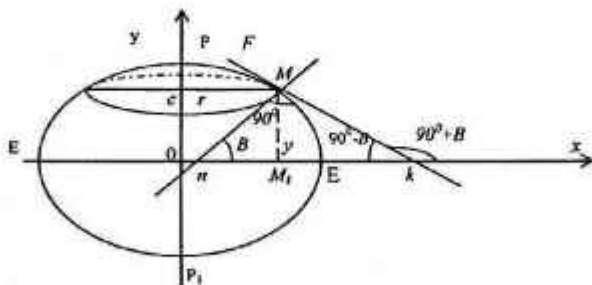
Bu koordinata sisteması geodeziya fanida o'rganilganligi sababli sferoidik geodeziyada bu koordinata sistemasini keyinchalik qarab chiqamiz.

**Tekshirish uchun savollar:**

1. Yer ellipsoidining asosiy parametrlari.
2.  $ye$  va  $ye'$  orasidagi bog'lanishlar.
3.  $ye$  va  $\alpha$  orasidagi bog'lanish.
4. Sferoidik geodeziyada qo'llaniladigan koordinata sistemalari.
5. Geodezik, geotsentrik, keltirilgan kengliklarning ta'riflari.
6. Geodezik uzoqlikning ta'rifi.
7. Geodezik balandlikning ta'rifi.
8. Qaysi koordinata sistemalari faqat nazariy xulosalar chiqarishda ishlatiladi?
9. Qanday ellipsoidga referens ellipsoid deyiladi?

### § 21.2. Ayrim koordinata sistemalari orasidagi bog'lanishlar

**1. Geodezik kenglik  $B$  va xolati aniqlanayotgan nuqta meridional tekisligidagi to'g'ri burchakli  $x, y$  koordinatalari orasidagi bog'lanish.**



### 21.2.1-shakl

*KMF*-koordinatasi aniqlanayotgan  $M$  nuqtaga o'tkazilgan urinma bo'lsin. Matematikadan ma'lumki egri chiziq nuqtasiga o'tkazilgan urinma bilan absissa o'qining musbat yo'nalishi orasidagi burchak tangensi birinchi tartibli  $\frac{dy}{dx}$  hosilaga teng bo'ladi. U holda 21.2.1-shakldan ko'rinadiki.

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}(90^\circ + B) = -\operatorname{ctg} B = -\frac{1}{\operatorname{tg} B} \quad (21.2.1)$$

Ellips tenglamasini yozamiz

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad \text{bundan } y = \left(b^2 - \frac{x^2 b^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (21.2.2)$$

(21.2.2)ni differensiallab

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2} \left(b^2 - \frac{b^2 x^2}{a^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \left(-\frac{2x \cdot b^2}{a^2}\right) \quad (21.2.3)$$

ni hosil qilamiz

(21.2.3)dan(21.2.1)va (21.2.2)ni hisobga olib topamiz:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{xb^2}{ya^2} = -\frac{1}{\operatorname{tg} B} \quad (21.2.4)$$

yoki

$$y = \frac{b^2 x}{a^2} \operatorname{tg} B \quad (21.2.5)$$

(21.2.5) ni ellips formulasiga qo'ysak:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{b^2 x^2 \operatorname{tg}^2 B}{a^4} = 1 \quad (21.2.6)$$

$b = a\sqrt{1-e^2}$  ekanligini inobatga olsak

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{(1-e^2)x^2 \operatorname{tg}^2 B}{a^2} = 1,$$

bundan

$$\frac{x^2}{a^2} [1 + (1-e^2) \cdot \operatorname{tg}^2 B] = 1;$$

$$x^2 [1 + \operatorname{tg}^2 B - e^2 \operatorname{tg}^2 B] = x^2 \left[ \frac{1}{\cos^2 B} - e^2 \frac{\sin^2 B}{\cos^2 B} \right] = x^2 \frac{1-e^2 \sin^2 B}{\cos^2 B} = a^2;$$

yoki

$$x = \frac{a \cos B}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}} \quad (21.2.7)$$

kelib chiqadi.

(21.2.5) formuladan  $\frac{b^2}{a^2} = 1-e^2$  ekanligini inobatga olsak,

$$y = (1-e^2) x \operatorname{tg} B \quad (21.2.8)$$

yoki (21.2.7) asosida

$$y = (1-e^2) \frac{a \cos B}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}} \operatorname{tg} B;$$

kelib chiqadi.

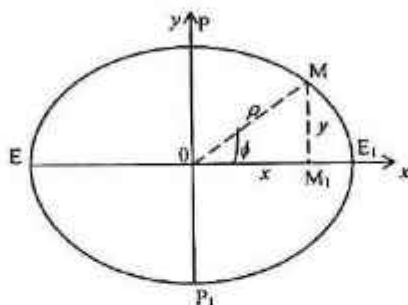
Bundan

$$y = \frac{a(1-e^2)\sin B}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B}} \quad (21.2.9)$$

Nuqtadan o'tgan parallel radiusi  $r$  absissa  $x$  ga teng bo'lganligi sababli (21.2.7) ni quyidagicha yozishimiz mumkin

$$x = r = \frac{a \cos B}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B}} \quad (21.2.10)$$

**2. Geodezik kenglik  $B$  va geotsentrik kenglik  $\phi$  orasidagi bog'lanish**



21.2.2-shakl

21.2.2-shakldan topamiz:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{y}{x} \quad (21.2.11)$$

(21.2.5) formuladan  $\frac{y}{x} = \frac{b^2}{a^2} \operatorname{tg} B$  (21.1.4) ni hisobga olsak

$$\operatorname{tg} B = \frac{a^2 y}{b^2 x} \quad \text{va} \quad b = a\sqrt{1-e^2} \Rightarrow \frac{b}{a} = \sqrt{1-e^2} \quad \text{munosabatlardan}$$

$$\frac{y}{x} = (1-e^2) \cdot \operatorname{tg} B \quad (21.2.12)$$

kelib chiqadi.

(21.2.11) va (21.2.12) asosida aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg} \phi = (1-e^2) \cdot \operatorname{tg} B \quad (21.2.13)$$

(21.2.13)da quyidagicha almashtirishlar bajaramiz:

$$e^2 \operatorname{tg} B = \operatorname{tg} B - \operatorname{tg} \phi$$

$$e^2 \operatorname{tg} B = \frac{\sin(B-\phi)}{\cos B \cos \phi}$$

$$e^2 \sin B \cos \phi = \sin(B-\phi)$$

$(B-\phi)$  kichik qiymatligini inobatga olib,  $\cos \phi \approx \cos B$  va

$\sin(B - \phi) \approx B - \phi$  deb olamiz, unda

$$(B - \phi) = e^2 \sin B \cos B$$

yoki

$$(B - \phi) = \frac{1}{2} e^2 \sin 2B$$

Bundan

$$(B - \phi)' = \frac{1}{2} \rho'' e^2 \sin 2B \quad (21.2.14)$$

(21.2.14) dan agar  $B = 45^\circ$  bo'lsa,  $(B - \phi)'' = 11.8''$  bo'lishi kelib chiqadi.

### 3. Geotsentrik kenglik $\phi$ va nuqta meridian tekisligidagi $x, y$ koordinatalari orasidagi bog'lanish

21.2.2-shakldan qutb koordinatalariga o'tib

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad x = \rho \cos \phi, \quad y = \rho \sin \phi \quad (21.2.15)$$

ularni ellips tenglamasiga qo'yamiz

$$\frac{\rho^2 \cos^2 \phi}{a^2} + \frac{\rho^2 \sin^2 \phi}{b^2} = \frac{\rho^2 \cos^2 \phi}{a^2} + \frac{\rho^2 \sin^2 \phi}{a^2(1-e^2)} = 1 \quad (21.2.16)$$

(21.2.16)dan almashtirishlar bajaramiz

$$\frac{\rho^2}{a^2(1-e^2)} (\cos^2 \phi (1-e^2) + \sin^2 \phi) = 1$$

Bundan

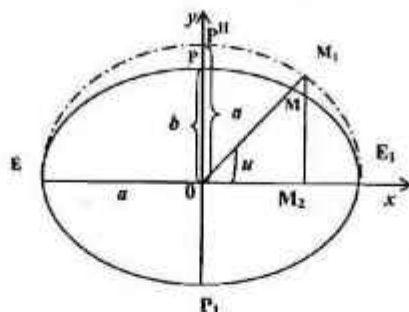
$$\begin{aligned} \frac{\rho^2}{a^2(1-e^2)} (1 - e^2 \cos^2 \phi) &= 1 \\ \rho &= \frac{a\sqrt{1-e^2}}{\sqrt{1-e^2 \cos^2 \phi}} \end{aligned} \quad (21.2.17)$$

(21.2.17)ni (21.2.15) ga qo'yib, izlanayotgan bog'lanishni aniqlaymiz:

$$x = a \cos \phi \sqrt{\frac{1-e^2}{1-e^2 \cos^2 \phi}}$$

$$y = a \sin \phi \sqrt{\frac{1-e^2}{1-e^2 \cos^2 \phi}} \quad (21.2.18)$$

4. Keltirilgan kenglik  $u$  va geodezik kenglik  $B$  orasidagi bog'lanish



21.2.3-shakl

21.2.3-shaklda:

$ERE_1P_1$ - meridional kesim,

$EP''M_1E_1$ -a radiusdagi yarim aylana berilgan.

Aylana ordinatasi  $M_1M_2$  va ellips ordinatasi  $MM_2$  orasidagi bog'lanishni o'rganamiz.  $\triangle OM_1M_2$  dan

$$a^2 = (M_1M_2)^2 + (OM_2)^2 \quad (21.2.19)$$

Ellips tenglamasini 21.2.3-shakldagi belgilarni inobatga olib yozamiz:

$$OM_2 = x, \quad MM_2 = y$$

$$\frac{(OM_2)^2}{a^2} + \frac{(MM_2)^2}{b^2} = 1$$

bundan

$$a^2 = (OM_2)^2 + \frac{a^2}{b^2} (MM_2)^2 \quad (21.2.20)$$

(21.2.19) bilan (21.2.20) ni solishtiramiz, unda

$$(M_1M_2)^2 + (OM_2)^2 = (OM_2)^2 + \frac{a^2}{b^2} (MM_2)^2 ;$$

$$(M_1M_2)^2 = \frac{a^2}{b^2} (MM_2)^2 \quad \text{dan} \quad b^2 (M_1M_2)^2 = a^2 (MM_2)^2$$

$MM_2=y$  ekanligini inobatga olsak

$$y = \frac{b(M_1M_2)}{a} \quad (21.2.21)$$

21.2.3-shakldan

$$\left. \begin{aligned} x &= a \cos u \\ M_1M_2 &= a \sin u \end{aligned} \right\} \quad (21.2.22)$$

kelib chiqadi.

(21.2.22) ga ko'ra (21.2.21) dan

$$y = (M_1 M_2) \frac{b}{a} = a \sin u \frac{b}{a} = b \sin u \quad (21.2.23)$$

ni hosil qilamiz.

(21.2.22) va (21.2.23) ellips tenglamasining parametrik ko'rinishi deyiladi.

(21.2.22) va (21.2.23) formulalardan topamiz:

$$\frac{y}{x} = \frac{b \sin u}{a \cos u} = \frac{b}{a} \operatorname{tg} u = \sqrt{1-e^2} \operatorname{tg} u \quad (21.2.24)$$

$$\operatorname{tg} u = \frac{y}{x \sqrt{1-e^2}} \quad (21.2.25)$$

(21.2.12) dan

$$\frac{y}{x} = (1-e^2) \cdot \operatorname{tg} B$$

ekanligini hisobga olib (21.2.25) dan

$$\operatorname{tg} u = \sqrt{1-e^2} \operatorname{tg} B \quad (21.2.26)$$

ni hosil qilamiz:

(21.2.26) ning o'ng va chap tomonini  $\operatorname{tg} B$  dan ayiramiz

$$\operatorname{tg} B - \operatorname{tg} u = \operatorname{tg} B - \sqrt{1-e^2} \operatorname{tg} B \quad (21.2.27)$$

yoki

$$\frac{\sin(B-u)}{\cos B \cos u} = \operatorname{tg} B (1 - \sqrt{1-e^2}) = \operatorname{tg} B \left[ 1 - (1-e^2)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (21.2.28)$$

(21.2.28) da quyidagicha almashtirishlar bajaramiz:

1)  $\cos u \approx \cos B$  deb olamiz;

2)  $(1-e^2)^{\frac{1}{2}}$  ni qatorga yoyamiz va ikkita hadi bilan chegaralanamiz

$$\left( \sqrt{1-e^2} = 1 - \frac{e^2}{2} + \frac{e^4}{2} - \frac{e^6}{16} + \dots = 1 - \frac{e^2}{2} \right);$$

3)  $\sin B \cos B = \frac{1}{2} \sin 2B$  ekanligini inobatga olamiz;

$$\text{U holda} \quad \sin(B-u) = \frac{1}{2} \sin 2B \left[ 1 - (1-e^2)^{\frac{1}{2}} \right],$$

$$\sin(B-u) = \frac{1}{2} \sin 2B \left( 1 - 1 + \frac{e^2}{2} \right) = \frac{e^2}{4} \sin 2B$$

yoki  $\sin(B-u) \approx B-u$  deb olsak.

$$(B-u) = \frac{1}{4} e^2 \sin 2B \quad (21.2.29)$$

va

$$(B-u)^n = \frac{1}{4} e^2 \rho^n \sin 2B \quad (21.2.30)$$



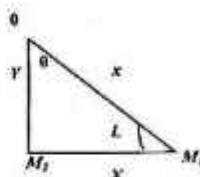
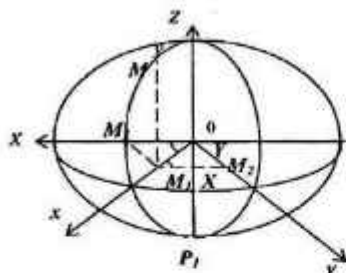
$B = 45^\circ$  da  $(B - U) = 5^\circ 45''$  ekanligi kelib chiqadi.

(21.2.22) formuladan parallel radiusi

$$r = x = a \cos u \quad (21.2.31)$$

5.  $X, Y, Z$  va boshqa koordinatalar orasidagi bog'lanishlar

$\triangle OM_1M_2$  dan



21.2.4-shakl

$$\left. \begin{aligned} \frac{X}{x} &= \cos L \rightarrow X = x \cos L \\ \frac{Y}{x} &= \sin L \rightarrow Y = x \sin L \\ Z &= y \end{aligned} \right\} \quad (21.2.32)$$

(21.2.32) ni (21.2.23) va (21.2.31)larni inobatga olib yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} X &= a \cos u \cos L \\ Y &= a \cos u \sin L \\ Z &= b \sin u = a \sqrt{1 - e^2} \sin u \end{aligned} \right\} \quad (21.2.33)$$

(21.2.32), (21.2.10), (21.2.9)asosida quyidagilarni aniqlaymiz:

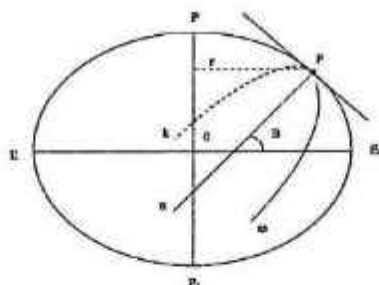
$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{a \cos B}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \cos L \\ Y &= \frac{a \cos B}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \sin L \\ Z &= \frac{a(1 - e^2) \sin B}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \end{aligned} \right\} \quad (21.2.34)$$

**Tekshirish uchun savollar:**

1. Nima uchun berilgan nuqta meridional tekisligidagi to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasining abssissasi shu nuqtadan o'tgan parallel radiusiga teng bo'ladi?

2. Qaysi geodezik kenglikda  $y = x(1 - e^2)$  bo'ladi.

### § 21.3. Ellipsoidda berilgan nuqtadagi bosh egrilik radiusi



21.3.1-shakl

Ellipsoidga tushirilgan normaldan cheksiz ko'p tekislik o'tkazish mumkin. Bu tekisliklar normal tushirilgan nuqtaga urinma bo'lgan tekislikka perpendikulyar bo'ladi va **normal tekislik** deb ataladi.

Normal tekislik ellipsoid sathini kesishi natijasida xosil bo'lgan kesimga normal kesim deyiladi. Normal kesimlar orasida faqatgina ikkita shunday kesim mavjudki ular o'zaro perpendikulyar bo'lib, biri eng katta ikkinchisi eng kichik **egrilik radiusiga** ega bo'ladi. Bu kesimlarga **bosh normal** kesimlar deyiladi.

Differensial geometriyadan ma'lumki ellipsoid sathida quyidagilar normal kesimlardir:

1.  $PEP_1E_1F$  meridional kesim va ellipsoidning ikki qutbi.

2.  $\omega FK$  -  $F$  nuqtadan o'tgan birinchi vertikal kesimi.

$\omega FK \perp PFE_1P_1E$

$M$  - bilan, meridional kesim egrilik radiusini;

$N$  - bilan, birinchi vertikal kesimni egrilik radiusini belgilaymiz.

Bosh normal kesimlarni egrilik radiuslarni geodezik kenglik bilan ifodalangan funksiya sifatida topamiz.

Matematikadan ma'lumki meridional kesim egrilik radiusi qo'yidagi formula orqali topiladi

$$M = - \frac{\left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}} \quad (21.3.1)$$

(21.2.1)dan quyidagini topamiz

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\sin^2 B} \frac{dB}{dx} \quad (21.3.2)$$

$x = \frac{a \cos B}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} = a \cos B (1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{1}{2}}$  formuladan  $\frac{dB}{dx}$  ni topamiz.

$$dx = \left[ -a \sin B (1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{1}{2}} + a \cos B \left[ -\frac{1}{2} (1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{3}{2}} (-2e^2 \sin B \cos B) \right] \right] dB$$

$$dx = a \sin B (1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{3}{2}} \{ -(1 - e^2 \sin^2 B) + e^2 \cos^2 B \} \cdot dB$$

$$dx = -a \sin B (1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{3}{2}} (1 - e^2) \cdot dB,$$

bundan

$$\frac{dx}{dB} = -a \sin B (1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}} (1 - e^2)$$

yoki

$$\frac{dB}{dx} = -\frac{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}}{a \sin B (1 - e^2)}$$

$\frac{dB}{dx}$  ni (21.3.2)ga qo'ysak

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}}{a \sin^3 B (1 - e^2)} \quad (21.3.3)$$

(21.2.1) va (21.3.3) ni yani  $\frac{dy}{dx}$  va  $\frac{d^2 y}{dx^2}$  larni (21.3.1)ga qo'yamiz

$$M = \frac{(1 + \cos^2 B)^{\frac{3}{2}} a \sin^3 B (1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} \quad (21.3.4)$$

yoki

$$\sqrt{1 + \cos^2 B} = \sqrt{\left( \frac{\sin^2 B + \cos^2 B}{\sin^2 B} \right)^{\frac{3}{2}}} = \sqrt{\frac{1}{\sin^2 B}} = \frac{1}{\sin B}$$

ni hisobga olsak

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 B)^3}} \quad (21.3.5)$$

$B = 90^\circ$  bo'lganda (21.1.4) va (21.1.5) ni inobatga olsak

$$M_{90^\circ} = c = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2}} = \frac{a^2}{b} = a\sqrt{1 + e'^2} \quad (21.3.6)$$

meridional kesimni qutbdagi egrilik radiusini beradi.

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz

$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$  - geodezik kenglikni birinchi asosiy funksiyasi;

$V = \sqrt{1+e'^2 \cos^2 B}$  - geodezik kenglikni ikkinchi asosiy funksiyasi.

$M$  ni  $V$  orqali ifodalaymiz. Buning uchun quyidagi almashtirishlar bajaramiz.

$$1 - e'^2 \sin^2 B = 1 - \frac{e'^2}{1+e'^2} \sin^2 B = \frac{1+e'^2 - e'^2 \sin^2 B}{1+e'^2} = \frac{1+e'^2 \cos^2 B}{1+e'^2} (*)$$

va ohirgi ifodani (21.3.5)ga ko'yamiz, va (21.3.6) asosida yozamiz

$$a(1+e')^{\frac{1}{2}} = c$$

$$M = \frac{a \left(1 - \frac{e'^2}{1+e'^2}\right) \sqrt{(1+e'^2)^{\frac{1}{2}}}}{\sqrt{(1+e'^2 \cos^2 B)^{\frac{1}{2}}}} = \frac{a(1+e'^2)^{\frac{1}{2}}}{V^{\frac{1}{2}}} = \frac{c}{V^{\frac{1}{2}}} \quad (21.3.7)$$

### Birinchi vertikal kesim egrilik radiusi

21.3.1-shakldan  $(F \cdot n = N)r = N \cos B$ , (21.2.10) dan  $r = \frac{a \cos B}{W}$  larni aniqlaymiz va ularni tenglab, (\*) inobatga olib topamiz:

$$N = \frac{a}{(1 - e'^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}}} = \frac{a}{W} = \frac{c}{V} \quad (21.3.8)$$

$M$  va  $N$  ni solishtiramiz

$$\begin{aligned} \frac{N}{M} &= \frac{a}{\left(1 - e'^2 \sin^2 B\right)^{\frac{1}{2}}} : \frac{a(1 - e'^2)}{\left(1 - e'^2 \sin^2 B\right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{1 - e'^2 \sin^2 B}{1 - e'^2} = \frac{1 - e'^2 + e'^2 \cos^2 B}{1 - e'^2} = \\ &= 1 + \frac{e'^2 \cos^2 B}{1 - e'^2} \end{aligned}$$

demak  $N \geq M$

(1) birinchi va (2) ikkinchi geodezik kattaliklar deb ataluvchi quyidagi belgilashlarni kiritamiz

$$\frac{\rho''}{M} = (1) \quad , \quad \frac{\rho''}{N} = (2)$$

$M$  - meridian egrilik radiusi meridian yoy uzunligi va kengliklar farqini;  $N$  - birinchi vertikal kesim egrilik radiusi parallellar yoyi uzunligi, uzoqliklar va azimutlar farqini hisoblashda ishlatiladi.

(21.3.5), (21.3.8) formulalarning  $(1 - e'^2 \sin^2 B)^{-\frac{3}{2}}$  va  $(1 - e'^2 \sin^2 B)^{-\frac{1}{2}}$  maxrajlarini binom qatoriga yoyib, murakkab bo'lmagan o'zgartirishlar kiritib, Krasovskiy referens-ellipsoidini elementlarini metr birligida kiritib quyidagini xosil qilamiz

$$\begin{aligned} M &= 6367588,4969 - 32072,9605 \cos 2B + 67,3123 \cos 4B - 0,1319 \cos 6B + \\ &+ 0,0002 \cos 8B - \dots = 6335552,7170 + \\ &63609,7883 \sin^2 B + 532,2089 \sin^4 B + + 4,1558 \sin^6 B + 0,0317 \sin^8 B \end{aligned} \quad (21.3.9)$$

$$N = 6388958,4431 - 10726,9320\cos 2B + 13,5077\cos 4B - \\ 0,0189\cos 6B - \dots = 6335552,7170 + 63609,7883\sin^2 B + \\ 532,2089\sin^4 B + 4,1558\sin^6 B + 0,0317\sin^8 B$$

Yuqoridagi M va N ni hisoblash formulalari seferodik geodeziya masalalarini yechishni klassik yondoshuviga asoslangan. M va N larni hisoblash formulalari muhim ekanligini inobatga olib, boshqa yo'l bilan bu formulalarni hosil qilamiz.

Eylerni darajali fuksiyasini zanjir kasrga yoyish formulasidan foydalanamiz

$$(1+u)^v = 1 + \frac{vy}{1} + \frac{(1-v)y}{2} + \frac{(1+v)y}{3} + \frac{(2-v)y}{2} + \dots + \frac{(n-v)y}{2} + \frac{(n+v)y}{2n+1} \dots$$

**(21.3.10)**

**(21.3.10)** qator o'zgaruvchi u ni butun kompleks tekisligida yaqinlashtiruvchi, haqiqiy o'qni  $u=-1$  dan  $u = -\infty$ , bo'lgan qirqimida, u o'zgaruvchini barcha kompleks tekisligida yaqinlashuvchi. U ni haqiqiy musbat yoymasi uchun, **(21.3.10)** u argumentni harqanday qiymati uchun qo'llash mumkin, buning uchun zanjir kasrni zaruriy zvenolarini olish yetarli. Qatorni ikki xadi bilan chegaralanamiz:

$$(1+u)^v \approx 1 + \frac{vy}{1} + \frac{(1-v)y}{2} \quad \textbf{(21.3.11)}$$

Matematik isbotdagi amallarni tushirib qoldirib **(21.3.10)** ifodani quyidagicha yozishimiz mumkin

$$(1+u)^v \approx \frac{2+(1+v)y}{2+(1-v)y} \quad \textbf{(21.3.12)}$$

**(21.3.7)** va **(21.3.8)** formulalardagi

$$w = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \beta} = (1 - e^2 \sin^2 \beta)^{1/2} \quad \textbf{(21.3.13)}$$

$$v = \sqrt{1 + e^2 \cos^2 \beta} = (1 + e^2 \cos^2 \beta)^{1/2} \quad \textbf{(21.3.14)}$$

O'zgaruvchi u ni **(21.3.12)** bo'yicha mos ravishda yozishimiz mumkin.

$$y = -1 - e^2 \sin^2 \beta \quad \text{va} \quad y = 1 + e^2 \cos^2 \beta$$

$$v = \frac{1}{2}$$

Bundan,

$$w = \frac{1 - 0.75e^2 \sin^2 \beta}{1 - 0.25e^2 \sin^2 \beta} \quad \textbf{(21.3.15)}$$

$$v = \frac{1 + 0.75e^2 \cos^2 \beta}{1 + 0.25e^2 \cos^2 \beta} \quad \textbf{(21.3.16)}$$

$$w^3 = \frac{1 - 0.75e^2 \sin^2 \beta}{1 + 0.25e^2 \sin^2 \beta} \quad (21.3.17)$$

$$v^3 = \frac{1 + 0.75e^2 \cos^2 \beta}{1 + 0.25e^2 \cos^2 \beta}$$

Unda (21.3.7) va (21.3.8) formulalar quyidagi ko'rinishga keladi

$$M = a(1 - e^2) \frac{1 + 0.25e^2 \sin^2 \beta}{1 - 1.25e^2 \sin^2 \beta} = c \frac{1 - 0.25e'^2 \cos^2 \beta}{1 + 1.25e'^2 \cos^2 \beta} \quad (21.3.18)$$

$$N = a \frac{1 - 0.25e^2 \sin^2 \beta}{1 - 0.75e^2 \sin^2 \beta} = c \frac{1 + 0.25e'^2 \cos^2 \beta}{1 + 0.75e'^2 \cos^2 \beta} \quad (21.3.19)$$

Zanjir kasrni ikki zvenosi uchun (21.3.16) ni yaqinlashishidagi absolyut xatosi uyidagi formula bilan hisoblanishi mumkin.

$$\Delta_{2(u)} < \frac{1}{4} \left| \frac{u^3}{(2+u)(4+u)} \right| \quad (21.3.20)$$

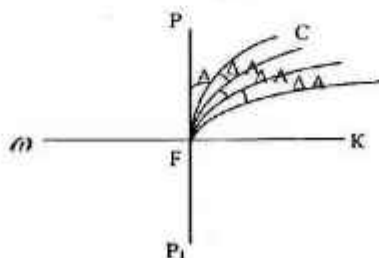
$\Delta_2$  belgi indeksidagi ikki zanjir kasrni ikki zvenosiga mos yaqinlashishni ko'rsatadi.

(21.3.15) va (21.3.16) ifodalarda  $e^2$  va  $e'^2$  larni 0.0067 ga teng deb olib, V kenglikni ixtiyoriy qiymati uchun, quyidagini olamiz:

$$\Delta_{2(u)} < \frac{1}{4} \left| \frac{0.007^3}{2.007 \cdot 4.007} \right| < 0.9 \cdot 10^{-8}$$

(21.3.15) va (21.3.16) formulalardan foydalanib W, V, M va N larni  $1 \cdot 10^{-8}$  gacha bo'lgan, yetarli aniqlikda hisoblash mumkin.

**O'rtacha egrilik radiusi**



21.3.2-shakl

O'rtacha egrilik radiusi ayrim nazariy va amaliy geodezik masalalarni yechishda yordamchi kattalik sifatida ishlatiladi.

21.3.2-shaklda  $PP_1$  - meridional kesim

$\omega$  FK –birinchi vertikalkesim;

$FC - A$  azimutga ega bo'lgan ixtiyoriy normal kesim bo'lsin. Azimut ketma-ket quyidagi qiymatlarni olsin deb faraz qilamiz

$$0, \Delta A, 2\Delta A, \dots, 2\pi - \Delta A$$

U vaqtda bu azimutlar bo'yicha o'tgan normal kesimlar soni  $\frac{2\pi}{\Delta A}$  ta bo'ladi.

Matematikadan bizga ma'lumki ixtiyoriy normal kesim egrilik radiusi quyidagi formula bilan ifodalanadi

$$r = \frac{MN}{N \cos^2 A + M \sin^2 A}; \quad (21.3.9)$$

$\Delta A$  oralig'idan o'tkazilgan normal kesimlar o'rta arifmetik egrilik radiusi

$$R_1 = \frac{\sum_{i=1}^{2\pi/\Delta A} \frac{MN}{N \cos^2 A + M \sin^2 A}}{\frac{2\pi}{\Delta A}} = \frac{\sum_{i=1}^{2\pi/\Delta A} \frac{MN \cdot \Delta A}{N \cos^2 A + M \sin^2 A}}{2\pi}$$

formula bilan topiladi.

Normal kesimlar soni berilgan nuqtada cheksizlikka intilganda o'rta arifmetik egrilik radiusi o'rtacha egrilik radiusi deyiladi, ya'ni:

$$\Delta A \rightarrow 0 \text{ da } \lim R_1 = R$$

$$\text{unda} \quad R = \frac{4}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{MN}{N \cos^2 A + M \sin^2 A} dA;$$

(0 dan  $\frac{\pi}{2}$  gacha bo'lgan oralikda  $\Delta A$  intervaldagi normal kesimlar olinsa kifoya).

Integral ostidagi funksiya surat va maxrajini  $N \cos^2 A$  ga bo'lamiz, unda

$$R = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\frac{M}{N}}{1 + \frac{M}{N} \operatorname{tg}^2 A} dA$$

$\sqrt{MN}$  ni integral belgisidan tashqariga chiqaramiz

$$R = \frac{2}{\pi} \sqrt{MN} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{\frac{M}{N}} \cdot \frac{dA}{\cos^2 A}}{1 + \left( \sqrt{\frac{M}{N}} \cdot \operatorname{tg} A \right)^2}$$



$$dt = \sqrt{\frac{M}{N} + \frac{dA}{\cos^2 A}}$$

$\sqrt{\frac{M}{N}} \operatorname{tg} A$  ni  $t$  bilan belgilaymiz, unda

$$R = \frac{2}{\pi} \sqrt{MN} \int_0^{\infty} \frac{dt}{1+t^2}$$

Integrallaymiz

$$R = \frac{2}{\pi} \sqrt{MN} \arctg t,$$

$$R = \frac{2}{\pi} \sqrt{MN} \arctg t \Big|_0^{\infty} = \frac{2}{\pi} \sqrt{MN} \frac{\pi}{2}$$

yoki

$$R = \sqrt{MN} \quad (21.3.10)$$

(21.3.10)dan ellipsoid sathidagi nuqtada o'rtacha egrilik radiusi bosh normal kesim egrilik radiuslarini o'rta geometrik qiymatiga teng degan hulosaga kelish mumkin.

(21.3.10)ga (21.3.7) va (21.3.8)ni qo'ysak (21.1.4) va geodezik kenglik asosiy funksiyasini inobatga olsak

$$R = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 B)^3}} \cdot \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}}} = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 B} = \frac{b}{W^2} = \frac{c}{V^2}; \quad (21.3.11)$$

$$R^2 = MN = \frac{c^2}{V^4} = \frac{N^2}{V^2}$$

$R$ -uchburchaklarni sferik ortiqligini hisoblashda va matematik kartografiyada qo'llaniladi.

$$R = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}};$$

$$R = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}}$$

$$R = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{W^2};$$

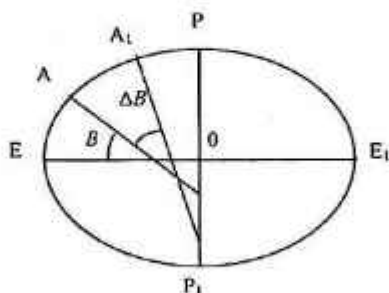
$$R = \frac{a(1-e^2)}{W^3}$$

**Tekshirish uchun savollar:**

1. Qanday kesimga normal kesim deyiladi?
2. Qanday kesimlarga bosh normal kesimlar deyiladi?
3. Ellipsoid sathidagi bosh normal kesimlarini ayting.
4. Meridional kesim va birinchi vertikal kesim egrilik radiusi formulalarini yoddan yozing.
5. Geodezik kenglik asosiy funksiyalarini yoddan yozing.

6. Qaysi ifoda to'g'ri?  $M=N$ ;  $N < M$ ;  $N > M$ ;  $N \geq M$ .  
 7. Formulalardan qaysi biri o'rtacha egrilik radiusi formulasi bo'ladi?

### § 21.4. Meridian yoy uzunligini hisoblash



21.4.1-shakl

$R_1ER$  meridianda  $A$  nuqtaniva undan yetarlicha yaqinmasofada  $A_1$  nuqtani olamiz.

Bu oraliq egrilik radiusini  $M$  bilan belgilaymiz. Cheksiz kichik yoy uzunligi

$$dS = MdB \quad (21.4.1)$$

formula bilan hisoblanadi. (21.4.1)ga  $M$  ning ifodasini qo'ysak

$$dS = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{3/2}} dB \quad (21.4.2)$$

kelib chiqadi.

$B_1$  va  $B_2$  kengliklar oralig'idagi meridian yoy uzunligi quyidagi formula bilan topiladi

$$S = \int_{B_1}^{B_2} \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{3/2}} dB = a(1-e^2) \int_{B_1}^{B_2} \frac{dB}{W^3}; \quad (21.4.3)$$

Integral ostidagi funktsiyani binom qatoriga yoyamiz:

$$\frac{1}{W^3} = (1-e^2 \sin^2 B)^{-3/2} = 1 + \frac{3}{2} e^2 \sin^2 B + \frac{15}{8} e^4 \sin^4 B + \dots \quad (21.4.4)$$

Darajali funktsiyalarni karrali yoy funktsiyalari bilan almashtiramiz, ya'ni

$$\sin^2 B = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2B;$$

$$\sin^4 B = \frac{3}{8} - \frac{1}{2} \cos 2B + \frac{1}{8} \cos 4B;$$

U holda (4.4) quyidagi ko'rinishga keladi

$$\begin{aligned} \frac{1}{W^3} &= 1 + \frac{3}{2}e^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2B \right) + \frac{15}{8}e^4 \left( \frac{3}{8} - \frac{1}{2} \cos 2B + \frac{1}{8} \cos 4B \right) + \dots = \\ &= 1 + \frac{3}{4}e^2 - \frac{3}{4}e^2 \cos 2B + \frac{45}{64}e^4 - \frac{15}{16}e^4 \cos 2B + \frac{15}{64}e^4 \cos 4B + \dots \end{aligned}$$

yoki guruhlasak

$$\frac{1}{W^3} = \left( 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \dots \right) - \left( \frac{3}{4}e^2 + \frac{15}{16}e^4 + \dots \right) \cos 2B + \left( \frac{15}{64}e^4 + \dots \right) \cos 4B - \dots$$

Belgilashlar kiritamiz;

$$A = 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \dots \quad (*)$$

$$B = \frac{3}{4}e^2 + \frac{15}{16}e^4 + \dots$$

$$C = \frac{15}{64}e^4 + \dots$$

U holda:

$$\frac{1}{W^3} = A - B \cos 2B + C \cos 4B - \dots,$$

kelib chiqadi va bu ifodani (21.4.3)ga qo'ysak

$$S = a(1 - e^2) \int_{B_1}^{B_2} (A - B \cos 2B + C \cos 4B - \dots) dB$$

hosil bo'ladi.

Integrallash natijasida meridian yoy uzunligi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$S = a(1 - e^2) \left[ A(B_2 - B_1) - \frac{1}{2}B(\sin 2B_2 - \sin 2B_1) + \frac{1}{4}C(\sin 4B_2 - \sin 4B_1) - \dots \right]; \quad (21.4.5)$$

Geodeziya amaliyotida meridian yoy uzunligi quyidagi xollarda hisoblanadi:

1. Triangulyatsiyani hisoblashda
2. Geodezik jadvallar tuzishda
3. Yer ellipsoidi o'lchamlarini hisoblash maqsadida gradus o'lchovlarini qayta ishlashda.

(21.4.5) formula ko'rinishi hisoblash aniqligi va maqsadiga bog'liq holda o'zgartiriladi. Ulardan ayrimlarini keltiramiz:

**a) Ekvatordan  $V$  kenglikkacha bo'lgan yoy uzunligini hisoblash jadvalini tuzish uchun (ya'ni  $V_1 = 0$ ,  $V_2 = V$ ) ishlatiladigan formula:**

$$S_0 = a(1 - e^2) \left( A \frac{B^2}{\rho^2} - \frac{B}{2} \sin 2B + \frac{C}{4} \sin 4B - \dots \right)$$

b) Yer ellipsoidi o'lchamlarini hisoblash maqsadida gradus o'lchovlarini qayta ishlashda ko'llaniladigan formulani keltirib chiqamiz.

(\*)ni inobatga olib, (21.4.5) da sinuslar ayirmasini ko'paytmaga keltirish formulalaridan foydalanib  $ye^2$  aniqlikda xadlarni saqlab qolamiz.

$$S = a(1 - e^2) \left\{ \left( 1 + \frac{3}{4}e^2 \right) (B_2 - B_1) - \frac{3}{4}e^2 \sin(B_2 - B_1) \cos(B_2 + B_1) \right\}$$

va

$$\sin(B_2 - B_1) = (B_2 - B_1) - \frac{(B_2 - B_1)^3}{6} + \dots$$

$2B_m = B_2 + B_1$ , deb qabul qilamiz, u holda

$$S = a(1 - e^2) \left\{ \left( 1 + \frac{3}{4}e^2 \right) (B_2 - B_1) - \frac{3}{4}e^2 \left[ (B_2 - B_1) - \frac{(B_2 - B_1)^3}{6} \right] \cos 2B_m \right\}$$

{ } ichini  $(1 - e^2)$  ga ko'paytirib  $ye^2$  aniqlikda quyidagini hosil qilamiz

$$S = a \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} \left\{ 1 - \left( \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cos 2B_m \right) e^2 + \frac{1}{8} e^2 \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''^2} \cos 2B_m \right\} (**)$$

$e^2(B_2 - B_1)$  xadni kichik qiymat ekanligini inobatga olsak kerakli aniqlikdagi formulani hosil qilamiz.

$$S = a \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} \left\{ 1 - \left( \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cos 2B_m \right) e^2 \right\} \quad (21.4.6)$$

#### v) Triangulyatsiyani hisoblashda.

Triangulyatsiya tomon uzunligi 40÷50 km dan katta bo'lmaydi, shu sababli (21.4.5) formulani soddalashtirib foydalanish mumkin.

$$B_m = \frac{B_2 + B_1}{2} \quad \text{va} \quad M_m = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 B_m)^{3/2}}$$

belgilashlarni va quyidagi yordamchi kattalikni kiritamiz

$$S_1 = M_m \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} = a(1 - e^2) \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} \frac{1}{W^3} \quad (21.4.7)$$

(\*)ni inobatga olib (21.4.7) ni yozishimiz mumkin

$$S_1 = a(1 - e^2) \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} (A - B \cos 2B_m + C \cos 4B_m) =$$

$$a(1 - e^2) \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} \left\{ \left( 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 \right) - \left( \frac{3}{4}e^2 + \frac{15}{16}e^4 \right) \cos 2B_m + \right. \\ \left. + \frac{15}{64}e^4 \cos 4B_m \right\} \quad (21.4.8)$$

(21.4.8)ni (\*\*) bilan taqqoslab  $ye^2$  aniqlikda quyidagini yozishimiz mumkin

$$S = S_1 + \frac{a(1-e^2)}{8} e^2 \cos 2B_m \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''^3}$$

$a(1-e^2) \approx M_m$  belgilash kiritsak

$$S = M_m \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} + M_m \frac{e^2 \cos 2B_m}{8} \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''^3} \quad (21.4.9)$$

yoki

$$S = M_m \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} \left[ 1 + \frac{1}{8} e^2 \cos 2B_m \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''^2} \right] \quad (21.4.10)$$

ni hosil qilamiz.

(21.4.10) formula meridian yoy uzunligi 400 km gacha bo'lgan xollarda ishlatilishi mumkin,  $S \approx 400$  km bo'lganda  $\pm 1$  mm xatolik bilan yoy uzunligi aniqlanadi.

$S \leq 15$  km bo'lganda (21.4.10) formulani quyidagi ko'rinishga keltirib foydalanishimiz mumkin

$$S = M_m \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} = \frac{(B_2 - B_1)^2}{(l)_m} \quad (21.4.11)$$

Agar  $S$  va  $B_1$  berilgan bo'lsa, (21.4.11) formuladan foydalanib  $B_2$  ni topish ham mumkin. Buning uchun ketma-ket yaqinlashish amalga oshiriladi:

(21.4.11)dan

$$(B_2 - B_1)^2 = S(l)_m; \quad (21.4.12)$$

$$B_2 = B_1 + (B_2 - B_1)^2; \quad (21.4.13)$$

Birinchi hisobda

$$(B_2 - B_1)^2_1 = S(l)_m$$

$$(B_2)_1 = B_1 + (B_2 - B_1)^2_1$$

Ikkinchi hisobda

$$(B_m)_1 = \frac{B_1 + (B_2)_1}{2}$$

$$(B_2 - B_1)^2_2 = S(l)_{m1}$$

$$(B_2)_2 = B_1 + (B_2 - B_1)^2_2$$

Uchinchi hisobda

$$(B_m)_2 = \frac{B_1 + (B_2)_2}{2}$$

$$(B_2 - B_1)^2_3 = S(l)_{m2}$$

va xokazo. Ikki qo'shni yaqinlashishda  $(B_2 - B_1)'_i$  va  $(B_2 - B_1)'_{i+1}$  bir xil natija bergan xolda yaqinlashish to'xtatiladi va u qiymat natijaviy deb qabul qilinadi va (21.4.13)ga quyiladi.

Yuqorida (21.4.3) dagi integral osti fuksiyani Nyutonning binom qatoriga yoyish orqali meridian yoyining uzunligini hisoblash formulasi keltirib chiqariladi.

Dastlabki

$$S = \int_{B_1}^{B_2} M dB \quad (21.4.14)$$

Integralni boshqa yo'l bilan taribiy yechimini beramiz.

Bunda integrallash intervalini ikki qismga bo'lib, (21.4.14) ifodaga sodda va yetarli darajada aniq bo'lgan Simpson formulasini (parabola formulasini) qo'llab, quyidagini yozishimiz mumkin.

$$S = \frac{\Delta B}{6} (M_1 + 4M_m + M_2) \quad (21.4.15)$$

(21.4.15) formulada M- egrilik radiusi hisoblanib meridian yoyini uchta nuqtasida aniqlanadi, mos ravishda  $V_1$ ,  $V_2$  va  $V_m = 1/2(B_1 + B_2)$  kengliklarda.

(21.4.15) ni natijaviy ko'rinishida quyidagicha yozishimiz mumkin.

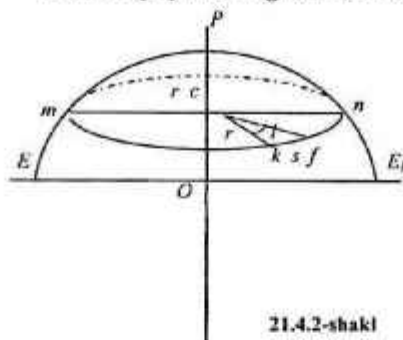
$$S = \frac{(B_2 - B_1)''}{6\rho''} (M_1 + 4M_m + M_2) \quad (21.4.16)$$

(21.4.16) formula bilan 1000 km gacha bo'lgan meridian yoyining uzunligi 1÷2 sm xatolik bilan hisoblashni taminlaydi.

Meridian yoyining uzunligini hisobini tekshirish uchun ekvator kengligidan  $V_2$  va  $V_1$  kengligiga bo'lgan meridian yoylarining  $x_2$  va  $x_1$  uzunliklari hisoblanadi, bundan kelib chiqadiki

$$S = X_2 - X_1$$

## Parallel yoy uzunligini hisoblash



21.4.2-shakl

Aylanma ellipsoid paralleli aylanadan iborat bo'ladi, shu sababli 21.4.2 - shakldan quyidagini yozishimiz mumkin

$$cm = cn = ck = cf = r = x = \frac{a \cos B}{(1 - e^2 \sin^2 B)} = N \cos B$$

$$S_n = N \cos B \frac{l''}{\rho''}$$

yoki

$$S_n = \frac{l'' \cos B}{(2)}, \quad (21.4.17)$$

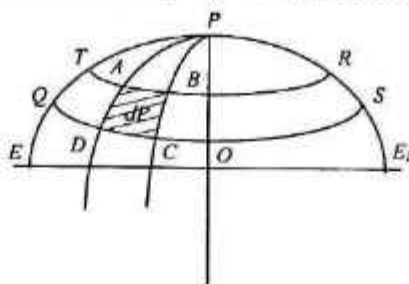
bunda,  $l'' = L_2 - L_1$  parallel yoyining oxirgi va boshlangich nuqtalarining uzoqliklari farqi. (21.4.17) formuladan foydalanib teskari masalani yechish mumkin, ya'ni  $S_p$  va  $L_1$  berilgan bo'lsa,  $L_2$ ni ketma-ket yaqinlashish orqali hisoblash mumkin.

### Tekshirish uchun savollar:

1.  $B$ -kenglik o'zgarishi bilan,  $L_2 - L_1$  kengliklar farqi o'zgaradimi? Xuddi shu xolatda  $L_2$  va  $L_1$  oralig'ida yotgan parallel yoy uzunligi-chi?
2. Meridian yoy uzunligini hisoblashda (4.5) formuladagi  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ... koeffitsientlar o'zgarishi mumkinmi?  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ... koeffitsientlarning o'zgarishi yoki o'zgarmasligi nimaga bog'liq?



## § 21.5. xarita trapesiyasini yuzasini hisoblash



21.5.1-shakl

Ellipsoid sathida cheksiz kichik ABCD trapesiyanı olamiz. Bu trapesiya tomonlari  $AD=BC=MdB$ ;

$AB=DC=N \cos B dl$  bo'ladi, unda trapesiya yuzasi quyidagiga teng bo'ladi

$$dp = MdB N \cos B dl; \quad (21.5.1)$$

(21.5.1) da

$$MN = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{3/2}} \cdot \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 B)^{1/2}} = \frac{a^2(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^2} = \frac{b^2}{(1-e^2 \sin^2 B)^2}$$

Buni inobatga olsak

$$dp = \frac{b^2 \cos B}{(1-e^2 \sin^2 B)^2} dB dl \quad (21.5.2)$$

$B_1$ ,  $B_2$  kengliklar va  $L_1$ ,  $L_2$  uzoqliklar bilan chegaralangan xarita trapesiyasining yuzasi quyidagiga teng bo'ladi

$$P = b^2 \int_{l_1}^{l_2} \int_{B_1}^{B_2} \cos B (1-e^2 \sin^2 B)^{-2} dB dl \quad (21.5.3)$$

$(1-e^2 \sin^2 B)^{-2}$  ni Nyuton binom qatoriga yoyamiz

$$(1-e^2 \sin^2 B)^{-2} = 1 + 2e^2 \sin^2 B + 3e^4 \sin^4 B + 4e^6 \sin^6 B + \dots \quad (21.5.4)$$

(21.5.4) ni (21.5.3) ga qo'ysak

$$P = b^2 (l_2 - l_1) \int_{B_1}^{B_2} (\cos B + 2e^2 \sin^2 B \cos B + 3e^4 \sin^4 B \cos B + 4e^6 \sin^6 B \cos B) dB,$$

u holda

$$P = b^2 (l_2 - l_1) \left[ \sin B + \frac{2}{3} e^2 \sin^3 B + \frac{3}{5} e^4 \sin^5 B + \frac{4}{7} e^6 \sin^7 B \right]_{B_1}^{B_2}$$

yoki integrallash chegaralarini qo'ysak

$$P = b^2(l_2 - l_1) \left[ (\sin B_2 - \sin B_1) + \frac{2}{3}e^2(\sin^3 B_2 - \sin^3 B_1) + \right. \\ \left. + \frac{3}{5}e^4(\sin^5 B_2 - \sin^5 B_1) + \frac{4}{7}e^6(\sin^7 B_2 - \sin^7 B_1) \right] \quad (21.5.5)$$

ni hosil qilamiz.

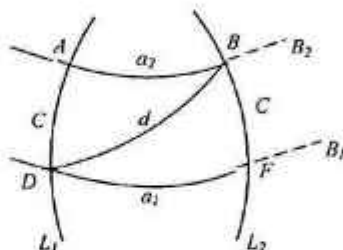
(21.5.5) formulada  $l_2 - l_1 = 2\pi$ ,  $B_1 = 0$ ,  $B_2 = 90^\circ$  deb olib, uni ikkiga ko'paytirsak, butun ellipsoid sathining yuzasini topamiz

$$S_D = 4\pi b^2 \left( 1 + \frac{2}{3}e^2 + \frac{3}{5}e^4 + \frac{4}{7}e^6 + \frac{5}{9}e^8 + \frac{6}{11}e^{10} + \dots \right)$$

Krasovskiy ellipsoidi uchun

$$S_D = 510083035 \text{ km}^2$$

**Xarita trapesiyasi tomon uzunliklarini hisoblash**



$AD=BF$  meridian yoylari,

$AB$  va  $DF$  parallel yoylari. Bundan

$$AD=BF=C = \frac{(B_2 - B_1)''}{(1)''} ; \quad (21.5.6)$$

$$DF = \frac{l'' \cos B_1}{(2)_1} ; \quad (21.5.7)$$

$$AB = \frac{l'' \cos B_2}{(2)_2} ; \quad (21.5.8)$$

Trapesiya tomon uzunliklarini santimetr o'lchamida berish uchun, (21.5.6), (21.5.7), (21.5.8)ni yuzga ko'paytirib masshtab mahrajiga bo'lamiz

$$C = \frac{(\theta_2 - \theta_1)'' \cdot 100}{(1)'' \cdot n};$$

$$a_1 = \frac{r' \cos \theta_1}{(2)_1} \cdot \frac{100}{n}$$

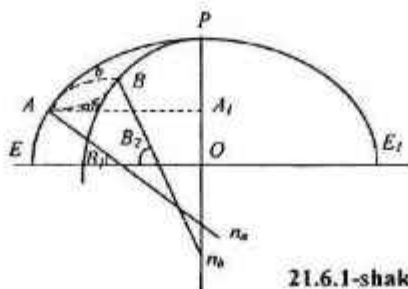
$$a_2 = \frac{r'' \cos \theta_2}{(2)_2} \cdot \frac{100}{n};$$

$$d = \sqrt{a_1 a_2 + c^2}$$

$n$ -masshtab maxraji.

## §21.6. Ellipsoid sathidagi egri chiziqlar

Dastur: O'zaro normal kesimlar. Geodezik chiziq. Geodezik chiziq differensial tenglamalari va ularning xossalari. O'zaro normal kesimlarga nisbatan geodezik chiziqning xolati. Normal kesim yoy uzunligi.



21.6.1-shakl

Ellipsoid sathida  $B_1$  va  $B_2$  kengliklarda  $A$  va  $B$  nuqtalar olamiz.  $A$  va  $B$  nuqtalardan normal chiziqlar o'tkazamiz. Bu normal chiziqlar kichik o'qni  $n_a$  va  $n_b$  nuqtalarda kesib o'tadi.  $A$  nuqtadan kichik o'qqa perpendikulyar  $AA_1$  o'tkazamiz. U holda 6.1-shakldan

$$OA_1 = y_a = \frac{a(1-e^2)\sin B_1}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B_1}}; \quad (21.6.1)$$

$AA_n = N_1 A$  nuqtada birinchi vertikal kesim egrilik radiusi

$$N_1 = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B_1}}; \quad (21.6.2)$$

$\triangle AA_1 n_a$  dan

$$AA_n = N_1 \sin B_1 = \frac{a \sin B_1}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B_1}}; \quad (21.6.3)$$

Normal chiziq kichik o'qni kesib o'tgan joyidan ellipsoid markazigacha bo'lgan masofa

$$On_u = A_1 n_u - OA_1 = \frac{a \sin B_1}{W_1} - \frac{a(1-e^2) \sin B_1}{W_1}$$

yoki (21.6.2) ni inobatga olib

$$On_u = \frac{ae^2 \sin B_1}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B_1}} = \frac{ae^2 \sin B_1}{W_1} = N_1 e^2 \sin B_1; \quad (21.6.4)$$

Xuddi yukoridagidek  $B$  nuqta uchun

$$On_b = \frac{ae^2 \sin B_2}{W_2} = N_2 e^2 \sin B_2; \quad (21.6.5)$$

$B_2 > B_1$  bo'lsa (21.6.4) va (21.6.5) formulalardan shunday xulosa qilish mumkin

$$On_b > On_u$$

$B$  – kenglik kichik bo'lsa, shu nuqtadan o'tgan normal ellipsoid kichik o'qini markaziga yaqin bo'lgan nuqtadan kesib o'tar ekan.

Agar  $Bn_b$  chiziq va  $A$  nuqtadan o'tgan normal tekislik o'tkazsak bu tekislik ellipsoid sathini  $BbA$  egri chiziq bo'yicha kesib o'tadi.

$An_u$  chiziq va  $B$  nuqtadan o'tkazilgan normal tekislik ellipsoid sathini  $AaB$  egri chiziq bo'yicha kesib o'tadi.

$BbA$  va  $AaB$  egri chiziqlar o'zaro normal kesimlar deyiladi.

$A$  nuqtaga nisbatan  $AaB$  egri chiziq-to'g'ri,  $AbB$  – esa teskari normal kesim bo'ladi. Xuddi shunday  $B$  nuqta uchun  $BbA$  – to'g'ri,  $Bab$  – teskari normal kesim bo'ladi.

To'g'ri va teskari normal kesimlar ikki holatda ustma-ust tushishi mumkin:

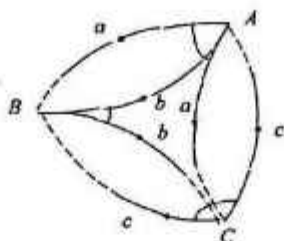
- agar ikkala nuqta bir meridian tekisligida yotgan bo'lsa.
- agar ikkala nuqta bir parallelda yotgan bo'lsa.

Birinchi holatda  $An_u$  va  $Bn_b$  normal kichik o'qni har xil joydan kesib o'tgani bo'lsada bitta meridian tekisligida yotadi.

Ikkinchi holatdanormal chiziqlar kichik o'qni bir nuqtada kesib o'tadi va bitta normal tekislikda yotadi.

O'zaro normal kesimlarni ustma-ust tushmasligi triangulyatsiyada noqulaylik keltirib chiqaradi.

Burchak o'lchashda teodolit vertikal o'ki normal chiziq bilan mos tushadi, ko'rish trubasini kollimatsion tekisligi to'g'ri normal kesim tekisligiga mos tushadi.



21.6.2-shakl

Triangulyatsiya burchaklarini o'lchashda teodolit barcha burchak uchlariga qo'yiladi natijada hosil bo'lgan o'zaro normal kesimlar ustma-ust tushmaydi, buning oqibatida uchburchak ichki burchaklari yopilmasdan qoladi (21.6.2-shakl).

Uchburchak hosil qilishdagi noaniqlikdan chiqish uchun geodezik chiziqdan foydalaniladi.

### Geodezik chiziq

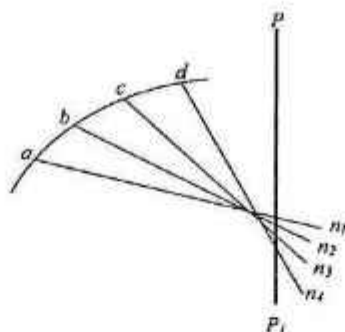
Ellipsoid sathida ikki nuqta orasidagi eng qisqa masofaga geodezik chiziq deyiladi.

Ellipsoid sathidagi geodezik chiziq tekislikdagi to'g'ri chiziq, sferadagi katta aylana yoyi vazifasini bajaradi. Shu sababli triangulyatsiyada geodezik o'lchash natijalarini qayta ishlashda o'zaro normal kesimlar geodezik chiziq bilan almashtiriladi. Geodezik chiziq uchburchak qurishdagi noaniqlikni bartaraf etadi.

Har bir nuqtasidan o'tgan normalda yotuvchi yopishma urinuvchi tekislik hosil qilgan egri chiziq – sathidagi geodezik chiziq deyiladi.

Yer ellipsoidi sathida geodezik chiziq o'tkazishni geometrikusulini ko'rib chiqamiz.

21.6.3 shaklda  $PP_1$  – ellipsoid aylanish o'qi,  $an_1, bn_2, cn_3, dn_4$  –  $a, b, c, d$  nuqtalardan ellipsoid sathiga tushirilgan normallar.



21.6.3 shakl

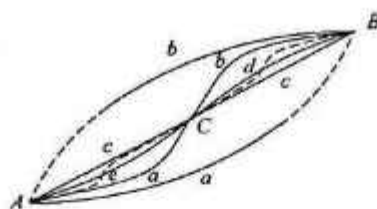
$a$  nuqtada teodolit vertikal o'qi  $an$ , normal bilan ustma-ust tushadigan qilib o'rnatamiz; shundan so'ng kerakli bo'lgan yo'nalishda ellipsoid sathida  $a$  nuqtaga yaqin bo'lgan masofada  $b$  nuqtani belgilaymiz. Teodolitni  $b$  nuqtaga ko'chiramiz, asbob vertikal o'qini  $bn_2$  normal bilan ustma-ust tushirib o'rnatamiz, ko'rish trubasini  $a$  nuqtaga qaratib vizirlaymiz, alidadani  $180^\circ$  burib ellipsoid sathida  $b$  nuqtaga yaqin bo'lsa  $s$  nuqtani belgilaymiz; so'ngra teodolitni  $s$  nuqtaga ko'chiramiz, asbob vertikal o'qini  $cn_3$  normal bilan ustma-ust tushirib o'rnatamiz, ko'rish trubasini  $b$  nuqtaga vizirlab alidadani  $180^\circ$  ga burib, kollimatsion tekislikda  $d$  nuqtani belgilaymiz. Shu tartibda bizga kerak bo'lgan masofa oralig'ida nuqtalarni belgilab boramiz, nuqtalar oralig'i cheksiz kichik masofada deb faraz qilsak, natijada ellipsoid sathida geodezik chiziqni hosil qilamiz.

Haqiqatdan ham  $abcn_2$  tekisligi  $b$  nuqtada yopishma urinuvchi tekislik bo'ladi, chunki  $b_a$  va  $b_c$  kesmalar shu tekislikda yotadi va bu tekislikni  $b$  nuqtada egri chiziqqa urinma deb qarash mumkin; ikkinchidan bu tekislikda  $bn_2$  normal yotadi; xuddi shu narsa  $c$ ,  $d$  nuqtalarda bo'ladi.  $an_1$ ,  $bn_1$ ,  $cn_3$ ,  $dn_4$  normallar kichik o'qni har xil nuqtalarda kesib o'tadi, shu sababli  $abcn_2$ ,  $bc dn_3$  tekisliklari ustma-ust tushmaydi, natijada  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , ..... nuqtalar ellipsoid sathida ikkilangan (dvoyakiy) egrilikdagi uzluksiz egri chiziqni hosil qiladi.

Geodezik chiziq hosil qilishni boshqa usulini qo'rib chiqaylik.

Ellipsoid sathida  $A$  va  $B$  nuqtalarni olamiz va ular orasidan o'zaro normal kesimlar o'tkazamiz (21.6.4-shakl).

$AaB$  –  $A$  nuqtadan to'g'ri normal kesim



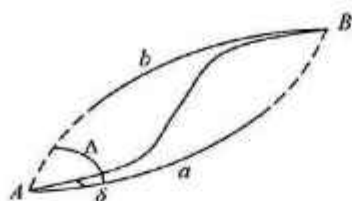
21.6.4-shakl

*BbA* – *B* nuqtadan to'g'ri normal kesim

*A* va *B* nuqtalarni vatar bilan birlashtiramiz va uning o'rtasidan ellipsoid sathiga normal o'tkazamiz. *C* nuqta normal bilan ellipsoid sathining kesishgan nuqtasi bo'lsin, *C* va *A* nuqtalardan normal tekislik o'tkazamiz. Bu tekislikda *AB* vatar yotadi. Shunday qilib bu tekislikda *C* nuqtadan *A* nuqtaga va *B* nuqtaga to'g'ri normal kesim o'tkazamiz, bu kesim *Aa*s chiziq bilan ko'rsatilgan, u ellipsoidda *AcC* teskari kesimdan janubroqda yotadi, sababi *C* chizmada *A* nuqtadan shimolroqda joylashgan. Xuddi shunday *B* nuqtadan *C* nuqtaga to'g'ri normal kesim o'tkazamiz unda *BbC* kesim *Ccb* kesimdan shimolroqda yotadi, chunki *C* nuqta *B* nuqtadan janubroqda joylashgan.

*A* va *C*, *B* va *C* nuqtalarni vatar bilan birlashtiramiz. Vatarlar o'rtasidan ellipsoid sathiga normallar o'tkazamiz, ular ellipsoid sathini *e* va *d* nuqtalarda kesib o'tadi. Bu nuqtalarda *C* nuqtada bajargan amallarimizni amalga oshiramiz. Agarda bunday tuzishni cheksiz davom etirsak, unda vatar o'rtasidan kesib o'tuvchi normal kesim nuqtalari cheksiz ko'p bo'ladi va bu nuqtalar geodezik chiziqni hosil qiladi.





$$\delta = \frac{1}{3} \Delta$$

Geodezik chiziq (azimutlari  $90^0$  yoki  $270^0$  ga yaqin bo'lmagan xollarda) ellipsoid sathida o'zaro normal kesimlar orasidagi burchakni 1:3 nisbatda bo'ladi va berilgan nuqtada to'g'ri normal kesimga yaqin bo'ladi.

To'g'ri normal kesim bilan geodezik chiziq orasidagi burchak o'zaro normal kesimlar orasidagi burchakni uchdan biriga teng.

$$r \sin A = C \quad (21.6.6)$$

$$a \cos u \sin A = C \quad (21.6.7)$$

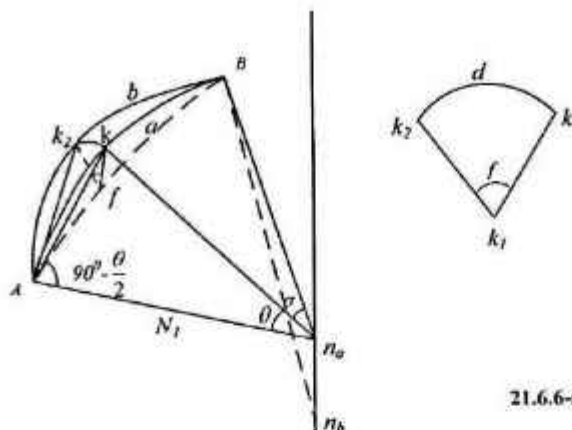
(21.6.6) va (21.6.7) tenglamalar ellipsoid sathidagi geodezik chiziqni asosiy tenglamasini ikki xil ko'rinishidir.

(21.6.6) dan shunday hulosaga qilamiz:

Aylanma ellipsoid sathidagi geodezik chiziqni har bir nuqtasidagi parallel radiusining shu nuqtadagi chiziq azimutining sinusiga ko'paytmasi doimiy kattalikdir.

(21.6.7)dan, aylanma ellipsoid sathida geodezik chiziq har bir nuqtasi keltirilgan kengligi kosinusining, shu nuqtadagi azimuti sinusiga ko'paytmasi doimiy kattalikdir.





21.6.6-shakl

O'zaro normal kesimlar orasidagi chiziqli farq quyidagi formula bilan hisoblanadi

$$KK_2 = d = \frac{N_1}{4} e^2 \sigma \cos^2 B_m \sin 2A_{12} \theta (\sigma - \theta); \quad (21.6.10)$$

(21.6.10) formula 21.6.6-shakldan keltirib chiqariladi.

O'zaro normal kesimlar orasidagi eng katta chiziqli farq  $AB$  yoyni o'rtasida ya'ni  $\theta = \frac{\delta}{2}$  da bo'ladi, (21.6.10)dan

$$d_{\max} = \frac{N_1}{16} e^2 \sigma^2 \cos^2 B_m \sin 2A_{12}; \quad (21.6.11)$$

$B=45^\circ$   $A_{1,2}=45^\circ$  da

|                      |      |           |            |
|----------------------|------|-----------|------------|
| $S$<br>$km$          | 200  | 100       | 50         |
| $dm$<br>$_{max} (m)$ | 0.05 | 0.00<br>6 | 0,00<br>08 |

Geodezik chiziq uzunligi bilan normal chiziq yoy uzunliklari orasidagi farqni quyidagi formula orqali hisoblanadi

$$D_s = \frac{ae^4}{360} \sin^2 2A_1 \cos^4 B_m \sigma^5 \quad (21.6.12)$$

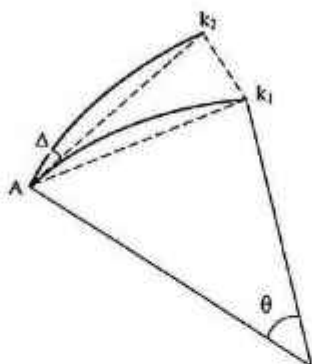
Agar  $S=600$  km bo'lsa,  $D_s \leq \frac{1}{135000} m$  bo'ladi.

Geodezik chiziq uzunligi bilan normal chiziq yoy uzunliklari orasidagi farqni triangulyatsiyani hisoblashda inobatga olmasa ham bo'ladi.

O'zaro normal kesimlar orasidagi  $\Delta''$  burchak quyidagi formula bilan hisoblanadi

$$\Delta'' = \frac{e^2 \sigma^2 \cos^2 B_m \sin 2A_1}{4} \rho'' \quad (21.6.13)$$

Geodezik chiziq bilan to'g'ri normal kesim orasidagi  $\sigma''$  burchak quyidagi formula orqali topiladi.



21.6.7-shakl

$$\delta'' = \frac{e^2 \sigma^2 \cos^2 B_m \sin 2A_1}{12} \rho'' = \frac{e^2 S^2 (2)''^2 \cos^2 B_m \sin 2A_1}{12 \rho''} \quad (21.6.14)$$

1 klass triangulyatsiya o'lchash natijalarini qayta ishlashda to'g'ri normal kesimlar geodezik chiziqlar bilan almashtiriladi, bunda (21.6.14) formula bilan topilgan tuzatma o'lchangan yo'nalish qiymatidan ayiriladi.

Agarda  $S=50 \text{ km}$ ;  $V=0^\circ$ ;  $A=45^\circ$  bo'lsa, unda  $\Delta''=0,023''$ ;  $\delta=0,006''$ .

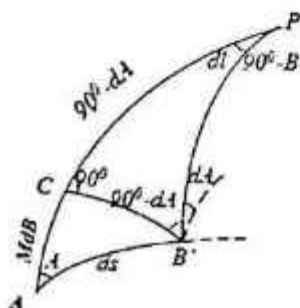
Misoldan ko'rinadiki 1 klass triangulyatsiyada  $\Delta$  va  $\delta$  ni hisobga olish kerak ekan.

#### Tekshirish uchun savollar:

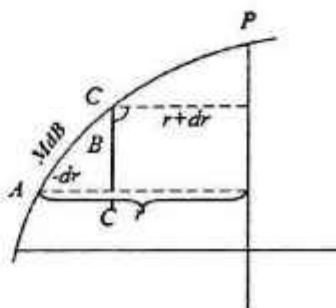
1. Qanday kesimlarga o'zaro normal kesimlar deyiladi?
2. Qanday holatlarda o'zaro normal kesimlar ustma-ust tushadi?
3. Nima uchun triangulyatsiyada o'zaro normal kesimlardan bevosita foydalanish mumkin emas?
4. Qanday chiziqqa geodezik chiziq deyiladi?
5. Geodezik chiziq ta'rifini yopishma urinuvchi tekisliklar orqali bering.

6. Teodolit yordamida ellipsoid sathida geodezik chiziq hosil qilishni tushuntirib bering.
7. O'zaro normal kesimlar ustma-ust tushishi mumkinmi?
8. Geodezik chiziqni asosiy tenglamalaridan qanday xulosalar chiqarish mumkin?
9. Geodezik chiziq bilan teskari normal kesim orasidagi burchak o'zaro normal kesimlar orasidagi burchakni qanday qismini tashkil qiladi?
10. Geodezik chiziq bilan to'g'ri normal kesim orasidagi burchak I klass triangulyatsiyasini hisoblashda nima uchun inobatga olinishi kerak?

### § 21.7. Geodezik chiziqning asosiy tenglamalari



21.7.1-shakl



21.7.2-shakl

$AR$ ,  $B'R$  meridian yo'ylari va  $dS$  geodezik chiziq bilan  $APB$  elementar qutb uchburchagi hosil qilingan.  $a$ -geodezik chiziqni boshlang'ich elementi azimuti.  $B'$  nuqtadan parallel yoy  $B'S$  ni o'tkazamiz.

Belgilash kiritamiz:

$dB-A$  va  $B'$  nuqtalarni kengliklar farqi

$dl-A$  va  $B'$  nuqtalarni uzoqliklar farqi

$dA-B'$  nuqtada meridianlar yaqinlashish burchagi.

To'g'ri burchakli elementar  $AB'C$  uchburchagi uchun

$$\left. \begin{aligned} MdB &= dS \cos A \\ rdl &= dS \sin A = N \cos Bdl \end{aligned} \right\} \quad (7.1)$$

$r$ -parallel radiusi.

To'g'ri burchakli  $CB'P$  sferik uchburchak uchun

$$\cos(90^\circ - B) = \operatorname{ctg}(90^\circ - dA) \operatorname{ctg} dl$$

bundan,  $tg dA = tg dl \sin B$  kelib chiqadi (21.7.2)

$tg dA$  va  $tg dl$  larni qatorga yoyib va birinchi hadini olamiz:

$tg dA \approx dA$  va  $tg dl \approx dl$  deb hisoblab, (21.7.2)dan

$$dA = dl \sin B \quad (21.7.3)$$

ni topamiz.

$A$  nuqtadan o'tgan meridianni tekislikda tasvirlaylik (21.7.2-shakl), unda  $r-A$  nuqtadan o'tgan parallel radiusi,  $r+dr-C$  nuqtadan o'tgan parallel radiusi, elementar  $ACC_1$  uchburchakdan

$$-dr = MdB \sin B \quad (21.7.4)$$

$$(21.7.1)\text{dan} \quad \cos A = \frac{MdB}{dS} \quad (21.7.5)$$

$$\sin A = \frac{rdl}{dS} \quad (21.7.6)$$

(21.7.5) formulani chap va o'ng tomonlarini  $rdA$  ga, (21.7.6) formulani  $dr$  ga ko'paytiramiz

$$rdA \cos A = \frac{MdB}{dS} r dA \quad (21.7.7)$$

$$dr \sin A = \frac{rdl}{dS} dr \quad (21.7.8)$$

(21.7.7) va (21.7.3); (21.7.8) va (21.7.4) formulalaridan foydalanib, quyidagilarni yozamiz:

$$\cos A r dA = \frac{MdB}{dS} r dl \sin B \quad (21.7.9)$$

$$\sin A dr = -\frac{MdB}{dS} r dl \sin B \quad (21.7.10)$$

(21.7.9) va (21.7.10) formularni qo'shsak,

$$r \cos A dA + dr \sin A = 0 \quad (21.7.11)$$

yoki

$$d(r \sin A) = 0$$

Bundan,

$$r \sin A = C \quad (21.7.12)$$

kelib chiqadi, bunda  $C$  integrallash doimiysi.

$r = a \cos u$  ekanligini inobatga olsak

$$a \cos u \sin A = C \quad (21.7.13)$$

yoki

$$\cos u_1 \sin A_1 = \cos u_2 \sin A_2 = \dots = C$$

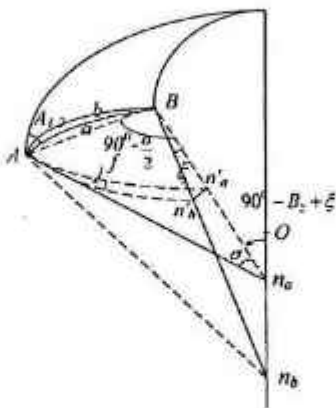
(21.7.12)dan shunday xulosaga kelamiz:

Aylanma ellipsoid sathida geodezik chiziqni har bir nuqtasidagi parallel radiusining shu nuqtadagi azimut sinusiga ko'paytmasi doimiy kattalikdir.

(21.7.13)dan «aylanma ellipsoid sathida geodezik chiziq har bir nuqtasini keltirilgan kengligining kosinusini, shu nuqtadagi azimut sinusiga ko'paytmasi doimiy kattalikdir» hulosasi kelib chiqadi.

(21.7.12), (21.7.13) tenglamalar ellipsoid sathidagi geodezik chiziq asosiy tenglamasining ikki xil ko'rinishidir.

### O'zaro normal kesimlar orasidagi farq



21.7.3- shakl

#### 1. Burchak farqi.

Ellipsoid sathida har xil kenglik va uzoqlikka ega bo'lgan  $A$  va  $B$  nuqtalarni olamiz (21.7.3-shakl).

Belgilash kiritamiz:

$n_a, n_b$  -  $A$  va  $B$  nuqta-lardan ellipsoid sathiga tushirilgan normallarni kichik o'q bilan kesishish nuqtalari

$AaV$  -  $A$  nuqtadan  $B$  nuqtaga to'g'ri normal kesim.

$VbA$  -  $B$  nuqtadan  $A$  nuqtaga to'g'ri normal kesim.

$AB$ -vatar, o'zaro normal kesimlar tekisliklarining kesishish chizig'i.

$n_a n_b$ -kesim uzunligini topamiz

$$n_a n_b = On_b - On_a = \frac{ae^2 \sin B_2}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_2}} - \frac{ae^2 \sin B_1}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_1}} \quad (21.7.14)$$



(21.7.14) formuladagi ildiz ostidagi ifodalarni binom qatoriga yoyib birinchi hadlarini olamiz:

$$n_a n_b = ae^2 \sin B_2 \left(1 + \frac{1}{2} e^2 \sin^2 B_2\right) - ae^2 \sin B_1 \left(1 + \frac{1}{2} e^2 \sin^2 B_1\right) = ae^2 \sin B_2 + \\ + \frac{1}{2} ae^4 \sin^3 B_2 - ae^2 \sin B_1 - \frac{1}{2} ae^4 \sin^3 B_1,$$

yoki kerakli aniqlikni saqlab qolgan holda,

$$n_a n_b = ae^2 (\sin B_2 - \sin B_1) \quad (21.7.15)$$

(21.7.15)ni quyidagicha yozishimiz mumkin

$$n_a n_b = ae^2 2 \sin \frac{B_2 - B_1}{2} \cos \frac{B_2 + B_1}{2} \quad (21.7.16)$$

$\sin \frac{(B_2 - B_1)}{2}$  qatorga yoyib, birinchi hadini saqlagan holda, topamiz:

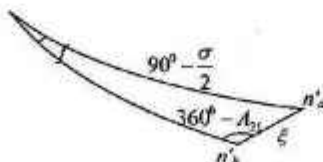
$$n_a n_b = ae^2 (B_2 - B_1) \cos B_m \quad (21.7.17)$$

$An_a B$  uchburchakda  $An_a \approx Bn_a$  deb, teng tomonli uchburchak sifatida qarasak  $ABn_a$  burchak  $90^\circ - \frac{\sigma}{2}$  ga teng bo'ladi.

$B$  nuqtani markaz deb olib,  $BA$  vatar bilan sferik uchburchak  $An'_a n'_b$  hosil qilamiz.

$n'_a n'_b$  tomoniga  $\xi$  burchak,  $An'_a$  ga  $\angle ABn_a$  ga  $90^\circ - \frac{\sigma}{2}$  mos keladi.  $n'_b$  dagi burchak  $360^\circ - A_{21}$  ga teng, chunki  $B$ ;  $n_a$ ;  $n_b$  nuqtalardan o'tuvchi tekislik  $B$  nuqtadan o'tgan meridian tekisligidir.

O'zaro normal kesimlar tekisliklari orasida hosil bo'lgan  $f$  burchak biz qidirayotgan burchak bo'ladi.



21.7.4-shakl

Uchburchak  $An'_a n'_b$  dan yozishimiz mumkin

$$\frac{\sin f}{\sin \xi} = \frac{\sin(360^\circ - A_{21})}{\sin(90^\circ - \frac{\sigma}{2})} \text{ yoki } \sin f = - \frac{\sin \xi \sin A_{21}}{\cos \frac{\sigma}{2}} \quad (21.7.18)$$

Uchburchak  $Bn_a n_b$  dan

$$\frac{\sin \xi}{n_a n_b} = \frac{\sin [180^\circ - (90^\circ - B_2 + \xi)]}{N_2} \quad (21.7.19)$$

kelib chiqadi.

(21.7.19) va (21.7.17) formulalaridan foydalanib (21.7.19) ning o'ng tomoni suratidagi  $\xi$  qiymatni hisobga olmay quyidagini topamiz:

$$\sin \xi = \frac{ae^2(B_2 - B_1) \cos B_m \cos B_2}{N_2} \quad \text{yoki}$$

$$\sin \xi = ae^2(B_2 - B_1) \cos B_m \cos B_2 \frac{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}}}{a}$$

$(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}}$  ni binom qatoriga yoyamiz va quyidagini hosil qilamiz

$$\sin \xi = e^2(B_2 - B_1) \cos B_m \cos B_2 (1 - \frac{1}{2} e^2 \sin^2 B_2 - \dots),$$

yoki bizga yetarli bo'lgan aniqlikda yozamiz

$$\sin \xi = e^2(B_2 - B_1) \cos B_m \cos B_2 \quad (21.7.20)$$

(21.7.18) va (21.7.20) formulalardan foydalanib,  $\cos B_2$  ni  $\cos B_m$  bilan almashtirib topamiz

$$\sin f = - \frac{e^2(B_2 - B_1) \cos^2 B_m \sin A_{1,1}}{\cos \frac{\sigma}{2}} \quad (21.7.21)$$

Agar  $(B_2 - B_1) = S \cos A_{1,1} (l_1) \approx \sigma \cos A_{1,1}; \quad \sigma = S(l_1)$

$A_{1,1} \pm 180^\circ = A_{1,2}$  deb faraz qilsak

$$\sin f = \frac{e^2 \sigma \cos A_{1,1} \cos^2 B_m \sin A_{1,2}}{\cos \frac{\sigma}{2}} \quad (21.7.22)$$

$\cos \frac{\sigma}{2}$  ni qatorga yoyamiz va birinchi xadini saqlagan xolda, topamiz

$$f'' = e^2 \sigma \cos A_{1,2} \cos^2 B_m \sin A_{1,2} \rho'' \quad (21.7.23)$$

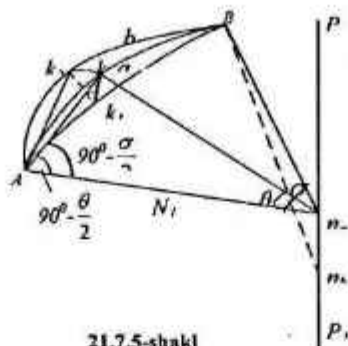
$$f'' = \frac{1}{2} e^2 \sigma \cos^2 B_m \sin 2A_{1,2} \rho'' \quad (21.7.24)$$

Agar  $S = 100 \text{ km}; B_m = 45^\circ; A_{1,2} = 45^\circ; \sigma = \frac{1}{60}$  bo'lsa,  $f = 6''$  bo'ladi.

## 2. Chiziqli farq

O'zaro normal kesimlarni burchak va chiziqli farqlarining qiymatlari kichik, shu sababli bu kesim yoylarini markazi  $n_a$  yoki  $n_b$  nuqtalardan birida bo'lgan sferik yoy deb qarashimiz mumkin.

$AaB - A$  nuqtada to'g'ri normal kesim, yoy markazi  $n_a$  da bo'lgan aylanma yoyi; (21.7.5-shakl),



21.7.5-shakl

$AbB - A$  nuqtada teskari normal kesim,

$AB$  – to‘g‘ri chiziqli  $AaB$  yoyini tortib turuvchi vatar bo‘lsin.

$AaB$  egri chiziqli biror  $k$  nuqta olamiz va  $kA$  vatarni o‘tkazamiz.  $An_0B$  burchakni  $\sigma$  bilan,  $kAn_0A$  burchakni  $\theta$  bilan belgilaymiz.  $\theta$  burchak  $O$  dan  $\sigma$  gacha bo‘lgan qiymatlarni olishi mumkin.

Unda

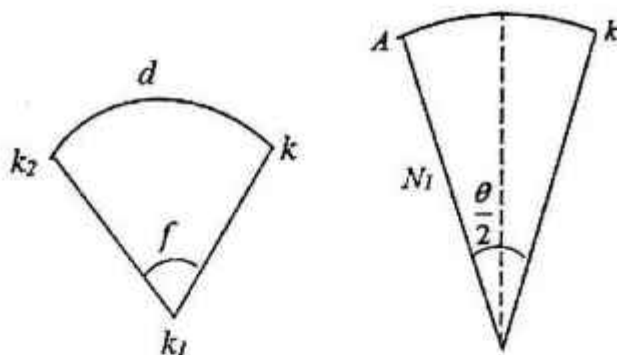
$$\angle BAN_0 = 90^\circ - \frac{\sigma}{2};$$

$$\angle kAn_0 = 90^\circ - \frac{\theta}{2};$$

$$\angle kAB = \angle kAn_0 - \angle BAN_0 = \left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right) - \left(90^\circ - \frac{\sigma}{2}\right) \text{ yoki}$$

$$\angle kAB = \frac{\sigma - \theta}{2} \quad (21.7.25)$$

$k$  nuqtadan  $AB$  vatarga perpendikulyar bo‘lgan tekislik o‘tkazamiz. Bu tekislik vatarni  $k$  nuqtada,  $AbB$  yoyini esa  $k_2$  nuqtada kesib o‘tsin. (21.7.5-shakl)dagi elementar uchburchaklarni alohida chizaylik



21.7.6-shakl

$k k_1 k_2$  uchburchak  $k_1$  uchining burchagi  $f$  ga teng va  $kk_2=d$  bu yerda  $d$ -to'g'ri va teskari normal kesimlar orasidagi chiziqli farq bo'lsin  $Ak n_a$  uchburchakdan

$$\frac{1}{2} Ak : N_1 = \sin \frac{\theta}{2},$$

$$\text{bundan} \quad Ak = 2N_1 \sin \frac{\theta}{2} \quad (21.7.26)$$

21.7.5-shakldagi  $Akk_1$  uchburchakdan

$$\frac{kk_1}{Ak} = \sin \frac{\sigma - \theta}{2},$$

$$\text{yoki} \quad kk_1 = Ak \sin \frac{\sigma - \theta}{2} = 2N_1 \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{\sigma - \theta}{2} \quad (21.7.27)$$

$kk_1 k_2$  uchburchakdan

$$kk_2 = kk_1 f$$

(21.7.24) va (21.7.27) formulalardan foydalanib, topamiz

$$kk_2 = 2N_1 \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{\sigma - \theta}{2} \cdot \frac{1}{2} e^2 \sigma \cos^2 B_m \sin 2A_{12} \quad (21.7.28)$$

$\sin \frac{\theta}{2}$  va  $\sin \frac{\sigma - \theta}{2}$  larni qatorga yoyib, birinchi hadi bilan chegaralansak

$$kk_2 = d = \frac{N_1}{4} e^2 \sigma \cos^2 B_m \sin 2A_{12} \theta (\sigma - \theta) \quad (21.7.29)$$

ni hosil qilamiz.

O'zaro normal kesimlar orasidagi eng katta chiziqli farq  $AB$  yoyining o'rtasida, ya'ni  $\theta = \frac{\sigma}{2}$  da bo'ladi, (21.7.29) dan

$$d_{\max} = \frac{N_1}{16} e_1 \sigma^2 \cos^2 B_m \sin 2A_{1,2} \quad (21.7.30)$$

(21.7.30) formulada  $\theta = \frac{\sigma}{2}$  bo'lsa (21.7.29) dagi

$$\theta(\sigma - \theta) = \frac{\sigma}{2} \left( \sigma - \frac{\sigma}{2} \right) = \frac{\sigma^2}{4}$$

bo'lishligi inobatga olingan.

Misol:

$B = 45^\circ$   $A_{1,2} = 45^\circ$  bo'lganda

|                   |      |       |        |
|-------------------|------|-------|--------|
| S km              | 200  | 100   | 50     |
| $d_{\max}$<br>(m) | 0,05 | 0,006 | 0,0008 |

(21.7.30) formula geodezik chiziqlik azimuti  $90^\circ$  va  $270^\circ$  ga yaqin bo'lmagan hollarga to'g'ri keladi. Boshqa hollarda bunga nisbatan aniq bo'lgan formula qo'llaniladi.

Geodezik chiziqlik uzunligi bilan normal kesim yoyi orasidagi farqni hisoblash formulasini isbotsiz beramiz:

$$A_s = \frac{ae^4}{360} \sin^2 2A_1 \cos^4 B_m \sigma^5 \quad (21.7.31)$$

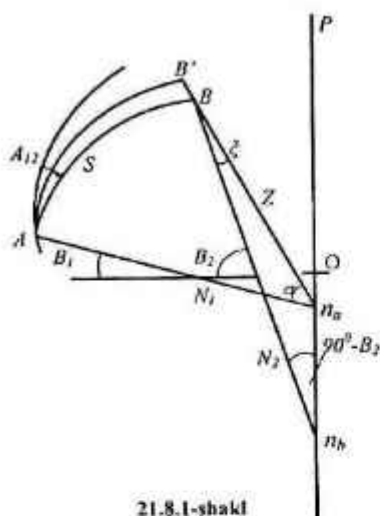
$$S = 600 \text{ km} \quad D_s \leq \frac{1}{135000} m$$

Hisoblash natijalari asosida shunday xulosa qilish mumkin: geodezik chiziqlik uzunligi bilan normal chiziqlik yoy uzunliklari orasidagi farqni triangulyatsiya hisob kitobida inobatga olmasa ham bo'ladi.

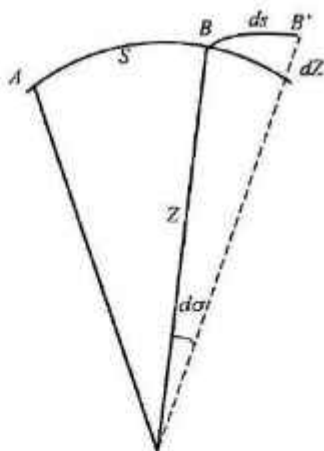
### Tekshirish uchun savollar:

1.  $r \sin A = C$  va  $a \cos u \sin A = C$  tenglamalarni so'z bilan ta'riflab bering.
2. O'zaro normal kesimlar orasidagi burchak va chiziqli farqlar triangulyatsiyada inobatga olinishi kerakmi?
3. Geodezik chiziqlik bilan normal kesim yoyi orasidagi uzunliklar farqi triangulyatsiya hisob kitobiga qanday ta'sir ko'rsatadi?

**§21.8. normal kesim yoy uzunligi**



### 21.8.1-shakti



21.8.2-shakl

21.8.1-shaklda

$AB$  —  $A$  nuqtadan  $B$  nuqtaga to'g'ri normal kesim,  $S$ -ularorasisidagi masofa,  $A_1$  — normal kesim azimuti.

To'g'ri normal kesim tekisligida radiusi  $A$  nuqta birinchi vertikal kesimi radiusi  $N_1$ ga teng bo'lgan va markazi  $n_0$ da yotuvchi aylana chizamiz.  $B'$  nuqta,  $Bn_0$ chizig'ini davom ettirish natijasida aylana bilan kesishish nuqtasi.

21.8.1 chizmadagi  $\angle A_n B(B')$ ni  $\sigma$ ,  $\angle_n B_n$ ni  $\xi$ ,  $B_n$  masofani  $Z$  deb belgilaymiz.

$Bn, n_b$  uchburchakdan (kosinuslar teoremasidan foydalanib) quyidagini yozishimiz mumkin:

$$Z^2 = N_2^2 + (n_a n_b)^2 - 2N_2(n_a n_b) \cos(180^\circ - (90^\circ - B_2) - \xi);$$

yoki

$$Z^2 = N_2^2 + (n_a n_b)^2 + 2N_2(n_a n_b) \sin(B_2 - \xi),$$

bundan

$$\frac{Z^2}{N_2^2} = 1 + \frac{(n_a n_b)^2}{N_2^2} + \frac{2(n_a n_b)}{N_2} \sin(B_2 - \xi) \quad (21.8.1)$$

(21.7.17) dan

$$n_a n_b = ae^2 (B_2 - B_1) \cos B_m$$

yoki ma'lum bir aniqlikda ( $\frac{\delta}{R}$  yoki  $e^2$  xatolik bilan)

$$n_a n_b = N e^2 (B_2 - B_1) \cos B_m, \quad (21.8.2)$$

deb yozishimiz mumkin. (21.8.2) inobatga olsak, (21.8.1) ning  $\frac{(n_a n_b)^2}{N_2^2}$  hadida  $e^4$  hosil bo'ladi, shu sababli qabul qilingan aniqlikda (21.8.1) ni quyidagicha yozishimiz mumkin

$$\frac{Z^2}{N_2^2} = 1 + \frac{2(n_a n_b)}{N_2} \sin B_2.$$

Ohirgi formulani binom qatoriga yoyib, birinchi hadini saqlab qolsak

$$\frac{Z}{N_2} = 1 + \frac{(n_a n_b)}{N_2} \sin B_2 \quad (21.8.3)$$

kelib chiqadi.

Boshlang'ich nuqta  $A$  argumentlariga o'tish uchun (Teylor qatori) quyidagi formulalardan foydalanamiz

$$\left. \begin{aligned} N_2 &= N_1 + (B_2 - B_1) \left( \frac{dN}{dB} \right)_1 + \frac{(B_2 - B_1)^2}{2!} \left( \frac{d^2 N}{dB^2} \right)_1 + \dots \\ \sin B_2 &= \sin B_1 + (B_2 - B_1) \cos B_1 - \frac{(B_2 - B_1)^2}{2!} \sin B_1 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (8.4)$$

(21.8.4), (21.8.2) va (21.8.3) ni inobatga olgan holda boshlang'ich nuqta uchun quyidagini yozamiz:

$$\frac{Z}{N_1} = 1 - \frac{e^2 \cos^2 B_m (B_2 - B_1)^2}{2} \quad (21.8.5)$$

Birinchi yaqinlashishda

$$B_2 - B_1 \approx \frac{(1 - e^2 \sin^2 B_1)^{\frac{1}{2}}}{\sigma(1 - e^2)} S \cos A_{1,2} \approx \sigma \cos A_{1,2}$$

va

$$\eta^2 = e^2 \cos^2 B_m$$

ni hisobga olib,

(21.8.5) formulani quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\frac{Z}{N_1} = 1 - \frac{\eta^2 \sigma^2 \cos^2 A_{1,2}}{2}$$

yoki

$$Z = N_1 \left( 1 - \frac{\eta^2 \sigma^2 \cos^2 A_{1,2}}{2} \right) \quad (21.8.6)$$

21.8.2-shakldan aniqlaymiz



$$dS = \sqrt{Z^2 d\sigma^2 + dZ^2},$$

yoki

$$dS = \sqrt{Z^2 + \frac{dZ}{d\sigma}} d\sigma \quad (21.8.7)$$

(21.8.6) formulani  $\sigma$  bo'yicha differensiallab topamiz

$$\frac{dZ}{d\sigma} = -\frac{N_1 \eta^2 2\sigma}{2} \cos^2 A_{12},$$

undan

$$\left(\frac{dZ}{d\sigma}\right)^2 = N_1^2 \eta^2 \sigma^2 \cos^4 A_{12} \quad (21.8.8)$$

(21.8.6)dan

$$Z^2 = N_1^2 - \frac{N_1^2 \eta^2 \sigma^2 \cos^2 A_{12}}{4} \quad (21.8.9)$$

(21.8.7), (21.8.8), (21.8.9) formulalardan foydalanib, topamiz

$$dS = \sqrt{\left[ N_1^2 - \frac{N_1^2 \eta^2 \sigma^2 \cos^2 A_{12}}{4} + N_1^2 \eta^4 \sigma^2 \cos^4 A_{12} \right] d\sigma}$$

$$dS = N_1 \left( 1 - \frac{\eta^2 \sigma^2 \cos^2 A_{12}}{4} + \eta^4 \sigma^2 \cos^2 A_{12} \right)^{\frac{1}{2}} d\sigma,$$

yoki qavs ichini binom qatoriga yoyib, birinchi hadi bilan chegaralanib, kerakli bo'lgan aniqlikda quyidagini topamiz

$$dS = N_1 \left( 1 - \frac{\eta^2 \sigma^2 \cos^2 A_{12}}{8} \right) d\sigma \quad (21.8.10)$$

(21.8.10)ni 0 dan  $\sigma$  chegarada integrallaymiz

$$S = N_1 \left( \sigma - \frac{\eta^2 \sigma^3 \cos^2 A_{12}}{24} \right);$$

bundan

$$N_1 \sigma = S + \frac{N_1 \eta^2 \sigma^3 \cos^2 A_{12}}{24}$$

Tuzatma bo'lgan hadda  $\sigma \approx \frac{S}{N_1}$  deb, yoy sekund qiymatida quyidagini olamiz

$$\sigma'' = \frac{S}{N_1} \rho'' + \frac{\eta^2 S^3 \cos^2 A_{12}}{24 N_1^3} \rho'';$$

yoki

$$\sigma'' = \frac{S}{N_1} \rho'' \left( 1 + \frac{\eta^2 S^2 \cos^2 A_{12}}{24 N_1^2} \right).$$

$$\left( \frac{\rho''}{N_1} \right) = (2), \text{ ekanligini inobatga olib}$$

$$\sigma'' = (2)_1 S \left( 1 + \frac{\eta^2 S^2 \cos^2 A_{1,2}}{24 N_1^2} \right) \quad (21.8.11)$$

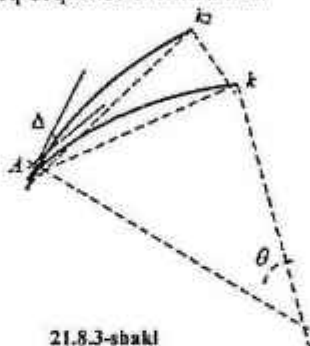
Agarda  $S < 40$  km bo'lsa

$$\sigma'' = (2)_1 S \quad (21.8.12)$$

formuladan foydalanish mumkin.

### O'zaro normal kesimlar va geodezik chiziqli orasidagi burchaklar

21.7.5-shakldan  $Ak_2k$  sferik uchburchakni olamiz.  $A$  nuqtani  $k$  va  $k_2$  nuqtalar bilan to'g'ri chiziqli orqali birlashtiramiz.



21.8.3-shakl

Uchburchak  $Akk_2$  dan

$$\angle kAk_2 = \frac{k k_2}{Ak}, \quad (21.8.13)$$

(21.7.29)dan

$$k k_2 = \frac{N_1}{4} e^2 \sigma \cos^2 B_m \sin 2A_1 \theta (\sigma - \theta),$$

(21.7.26)dan

$$Ak = 2N_1 \sin \frac{\theta}{2},$$

$$\text{Unda } \angle kAk_2 = \frac{N e^2 \sigma \cos^2 B_m \sin 2A_1 \theta (\sigma - \theta)}{8N_1 \sin \frac{\theta}{2}}$$

$\sin \frac{\theta}{2}$  ni qatorga yoyib, birinchi hadini saqlab qolgan holda ohirga tenglikdan quyidagini hosil qilamiz

$$\angle kAk_2 = \frac{e^2 \sigma \cos^2 B_m \sin 2A_1 (\sigma - \theta)}{4} \quad (21.8.14)$$

$Ak$  masofa bilan  $\theta$  burchaki kamayib boryapti deb faraz qilsak, u holda  $Ak$  va  $Ak_2$  vatarlar chek oxirida normal kesimlar urinma hola-tiga keladi. Bu shartda  $\angle kAk_2$ ,  $A$  nuqtadagi normal kesimlar orasi-dagi burchakka aylanadi. Shunday qilib  $\theta$  nolga intilganda

$$\Delta'' = \frac{e^2 \sigma^2 \cos^2 B_m \sin 2A_1}{4} \rho'' \quad (21.8.15)$$

$\delta = \frac{1}{3} \Delta$  bo'lsa, (8.15)dan

$$\delta'' = \frac{e^2 \sigma^2 \cos^2 B_m \sin 2A_1}{12} \rho'' \quad (21.8.16)$$

Agarda  $\sigma$  va  $N$  qiymatlarini o'rninga qo'ysak, u holda

$$\delta'' = \frac{e^2 S^2 (2)_m^2 \cos^2 B_m \sin 2A_1}{12 \rho''} \quad (21.8.17)$$

kelib chiqadi.

(21.8.15) formula berilgan nuqtada o'zaro normal kesimlar orasidagi burchakni ifodalaydi. (21.8.16), (21.8.17) formulalar to'g'ri normal kesim bilan geodezik chiziqli orasidagi burchakni ifodalaydi.

I klass triangulyatsiya o'lchash natijalarini qayta ishlashda to'g'ri normal kesimlar geodezik chiziqlar bilan almashtiriladi, bunda (21.8.16) yoki (21.8.17) formula bilan topilgan tuzatma o'lchangan yo'nalish qiymatidan ayiriladi.

Agarda  $S=50$  km;  $B=0^\circ$ ;  $A=45^\circ$  bo'lsa, u holda  $\Delta''=0.023''$ ;  $\delta=0.006''$  bo'ladi.

Misoldan ko'rinadiki I klass triangulyatsiyasida  $\Delta$  va  $\delta$  larni hisobga olmaslik mumkin emas.

## §21.9. Sferoidik uchburchaklarni yechish

**Dastur** Sferoidik uchburchaklarni yechish to'g'risida umumiy mulohazalar. Sferoidik uchburchaklarni yechishning Lejandra teoremasi va additamentlar usuli.

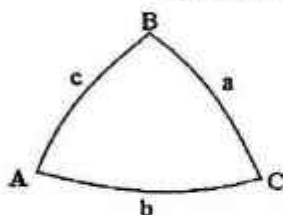
O'lchangan yo'nalishlar va burchaklarni natijaviy qiymatlari topilgandan so'ng, ellipsoid sathida sferoidik uchburchaklar yechiladi.

Triangulyatsiya uchburchaklari ellipsoid sathida barpo etilgan bo'lganligi uchun ham sferoidikdir. Triangulyatsiya uchburchaklarining tomon uzunliklari 40-50 km dan oshmaydi, shu sababli bu uchburchaklarni yechishda ularni sferik uchburchak sifatida yechiladi. Sferik trigonometriya formulalaridan foydalanib to'g'ridan-to'g'ri sferik

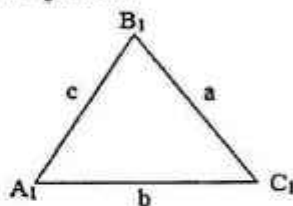
uchburchaklarni yechish uchun uning tomonlari radius qismlari bilan ifodalanishi zarur. Bu esa noqulay-likka olib keladi, chunki amalda tomonlar metr o'lchov birligida bo'lishi kerak. Bunday holda triangulyatsiya uchburchaklarini yechish Lejandra teoremasi yoki additamentlar usulida bajarilishi mumkin.

Geodeziya to'rini triloteratsiya usulida barpo etishda uchburchak burchaklari uning tomon uzunliklari orqali hisoblab topiladi. Bunda Lejandra teoremasi va additamentlar usulidan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

### Sferik uchburchaklarni Lejandra teoremasi yordamida yechish



21.9.1-shakl



21.9.2-shakl

Sfera va tekislikda  $ABC$  va  $A_1B_1C_1$  uchburchaklarga ega bo'laylik, ularning tomonlari mos ravishda teng bo'lsin. Bu uchburchaklarning mos burchaklari orasidagi farqlarni topaylik  $A-A_1$ ;  $B-B_1$ ;  $C-C_1$ . Burchaklar farqlarini bilsak, u holda burchaklarning tekislikdagi qiymatlari  $A_1$ ,  $B_1$  va  $C_1$  larni topishimiz mumkin. So'ngra to'g'ri chiziqli trigonometriya formulalarini qo'llab uchburchaklarni yechamiz.

$ABC$  sferik uchburchak uchun

$$\cos \frac{a}{R} = \cos \frac{b}{R} \cdot \cos \frac{c}{R} + \sin \frac{b}{R} \cdot \sin \frac{c}{R} \cos A;$$

bo'ladi. Undan

$$\cos A = \frac{\cos \frac{a}{R} - \cos \frac{b}{R} \cdot \cos \frac{c}{R}}{\sin \frac{b}{R} \cdot \sin \frac{c}{R}}. \quad (21.9.1)$$

Tenglikning o'ng tomonidagi xadlarni qatorga yoyib,  $(\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \dots$

va  $\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$  formulalar yordamida) va yoyilmaning to'rtinchi darajali xadlarini saqlab qolgan holda topamiz.

$$\cos A = \frac{1 - \frac{a^2}{2R^2} + \frac{a^4}{24R^4} - (1 - \frac{b^2}{2R^2} + \frac{b^4}{24R^4}) \cdot (1 - \frac{c^2}{2R^2} + \frac{c^4}{24R^4})}{(\frac{b}{R} - \frac{b^3}{6R^3}) \cdot (\frac{c}{R} - \frac{c^3}{6R^3})};$$

yoki qabul qilingan aniqlikda

$$\begin{aligned}\cos A &= \frac{1 - \frac{a^2}{2R^2} + \frac{a^4}{24R^4} - 1 + \frac{b^2}{2R^2} - \frac{b^4}{24R^4} + \frac{c^2}{2R^2} - \frac{b^2c^2}{4R^4} - \frac{c^4}{24R^4}}{\frac{bc}{R^2} - \frac{b^3c}{6R^4} - \frac{bc^3}{6R^4}} = \\ &= \frac{-\frac{a^2}{2R^2} + \frac{a^4}{24R^4} + \frac{b^2}{2R^2} - \frac{b^4}{24R^4} + \frac{c^2}{2R^2} - \frac{b^2c^2}{4R^4} - \frac{c^4}{24R^4}}{\frac{bc}{R^2} (1 - \frac{b^2+c^2}{6R^2})};\end{aligned}$$

$(1 - \frac{b^2+c^2}{6R^2})^{-1}$  ni binom qatoriga yoyib  $((1-x)^{-1} = 1+x+x^2+x^3+\dots$  formula yordamida) va birinchi xadini saqlab, topamiz:

$$\cos A = (\frac{b^2+c^2-a^2}{2bc} + \frac{a^4-b^4-c^4-6b^2c^2}{24R^2bc}) \cdot (1 + \frac{b^2+c^2}{6R^2});$$

yoki qabul qilingan aniqlikda

$$\cos A = \frac{b^2+c^2-a^2}{2bc} + \frac{a^4-b^4-c^4-6b^2c^2}{24R^2bc} + \frac{b^2+c^2-a^2}{2bc} \cdot (\frac{b^2+c^2}{6R^2}),$$

$$\cos A = \frac{b^2+c^2-a^2}{2bc} + \frac{a^4+b^4+c^4-2a^2b^2-2a^2c^2-2b^2c^2}{24R^2bc} \quad (21.9.2)$$

Tekislikdagi  $A_1B_1C_1$  uchburchak uchun

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos A_1;$$

$$\text{Bundan} \quad \cos A_1 = \frac{b^2+c^2-a^2}{2bc}; \quad (21.9.3)$$

$\sin^2 A_1 = 1 - \cos^2 A_1$  ligini bilgan holda, topamiz

$$\begin{aligned}\sin^2 A_1 &= \frac{4b^2c^2 - (b^2+c^2-a^2)^2}{4b^2c^2} = \\ &= \frac{4b^2c^2 - (b^4+b^2c^2-a^2b^2+b^2c^2+c^4-a^2c^2-a^2b^2-a^2c^2+a^4)}{4b^2c^2}\end{aligned}$$

$$\text{yoki} \quad \sin^2 A_1 = \frac{-a^4-b^4-c^4+2a^2b^2+2a^2c^2+2b^2c^2}{4b^2c^2} \quad (21.9.4)$$

deb yozishimiz mumkin. (21.9.3), (21.9.4)ni inobatga olib (21.9.2)ni quyidagicha yozishimiz mumkin;

$$\cos A = \cos A_1 - \sin^2 A_1 \cdot \frac{bc}{6R^2};$$

$$\text{yoki} \quad \cos A - \cos A_1 = -\frac{bc}{6R^2} \sin^2 A_1 \quad (21.9.5)$$

$$\text{Bundan} \quad -2 \sin \frac{A+A_1}{2} \sin \frac{A-A_1}{2} = -\frac{bc}{6R^2} \sin^2 A_1 \quad (21.9.6)$$

$(A-A_1)$ -kichik qiymatga ega bo'lganligi uchun

$$\sin \frac{A-A_1}{2} = \frac{A-A_1}{2}; \quad \sin \frac{A+A_1}{2} = \sin A_1;$$

deb qabul qilish mumkin. U holda (21.9.6) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$A-A_1 = \frac{bc}{6R^2} \sin A_1 \quad (21.9.7)$$

$A_1 B_1 C_1$  uchburchak yuzasi

$$P = \frac{1}{2} bc \sin A_1$$

bo'lganligi sababli (21.9.7)ni quyidagicha yozish mumkin

$$(A-A_1)^* = \frac{P}{3R^2} \rho^* \quad (21.9.8)$$

xuddi shunday

$$(B-B_1)^* = \frac{P}{3R^2} \rho^* \quad (21.9.9)$$

$$(C-C_1)^* = \frac{P}{3R^2} \rho^* \quad (21.9.10)$$

larni topamiz va (21.9.8), (21.9.9) va (21.9.10) larni qo'shib,

$$(A+B+C)-(A_1+B_1+C_1) = \frac{P}{R^2} \rho^*$$

ekanligini topamiz.  $(A_1+B_1+C_1) = 180^\circ$  bo'lishligini hisobga olsak

$$A+B+C = 180^\circ + \frac{P}{R^2} \rho^*.$$

$$\text{Bunda} \quad \xi^* = \frac{P}{R^2} \rho^*, \quad (21.9.11)$$

u holda

$$A+B+C = 180^\circ + \xi^*.$$

kelib chiqadi, bu yerda  $\xi^*$  -sferik ortiqlik(ekssess) deyiladi.

(21.9.8), (21.9.9), (21.9.10) va (21.9.11) formulalardan foydalanib tekislikdagi burchak qiymatlarini topamiz:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= A - \frac{1}{3}\xi; \\ B_1 &= B - \frac{1}{3}\xi; \\ C_1 &= C - \frac{1}{3}\xi; \end{aligned} \right\} \quad (21.9.12)$$

bu yerda  $\xi'' = \frac{p}{R^2} \rho'' = \frac{bc \sin A_1}{2R^2} \rho''$  (21.9.13)

$\frac{\rho''}{2R^2} = f$  deb belgilasak ( $f$  qiymati o'rtacha kenglik argumenti asosida jadvaldan topiladi) (21.9.13)ni quyidagicha yozish mumkin

$$\xi'' = fbc \sin A_1 \quad (21.9.14)$$

Teng tamonli uchburchaklarda  $A$  va  $A_1$  orasidagi farqni inobatga olmasa ham bo'ladi, u holda

$$\xi'' = fbc \sin A \quad (21.9.15)$$

$$\xi'' = f \frac{a^2 \sin B \sin C}{\sin A} \quad (21.9.16)$$

kelib chiqadi.

Agar uchburchak tomonlarining uzunliklari 90 km dan katta bo'lsa, sferik ortiqlik ikki marta yaqinlashish bilan hisoblanadi.

### SFERIK UCHBURCHAKLARNI ADDITAMENTLAR USULIDA YECHISH ABC SFERIK UCHBURCHAKDAN TOPAMIZ

$$\frac{\sin \frac{b}{R}}{\sin B} = \frac{\sin \frac{a}{R}}{\sin A};$$

yoki

$$\sin \frac{b}{R} = \sin \frac{a}{R} \cdot \frac{\sin B}{\sin A};$$

$\sin \frac{b}{R}$  va  $\sin \frac{a}{R}$  larni qatorga yoyib, birinchi ikki xadini saqlab qolsak,

$$\begin{aligned} \frac{b}{R} - \frac{b^3}{6R^3} &= \left( \frac{a}{R} - \frac{a^3}{6R^3} \right) \cdot \frac{\sin B}{\sin A}; \\ \frac{b}{R} \left( 1 - \frac{b^2}{6R^2} \right) &= \frac{1}{R} \left( a - \frac{a^3}{6R^2} \right) \cdot \frac{\sin B}{\sin A}; \end{aligned}$$

bundan,  $b = \left( a - \frac{a^3}{6R^2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{b^2}{6R^2} \right)^{-1} \cdot \frac{\sin B}{\sin A};$

ni topamiz.



$(1 - \frac{b^2}{6R^2})^{-1}$  ni binom qatoriga yoyib, birinchi hadini saqlagan holda quyidagini topamiz:

$$b = (a - \frac{a^3}{6R^2}) \cdot (1 + \frac{b^2}{6R^2}) \cdot \frac{\sin B}{\sin A} \quad (21.9.17)$$

$\frac{1}{6R^2} = k$  deb belgilasak (MDX davlatlari mintaqasi uchun  $k = 409 \cdot 10^{-8}$ )

$$\begin{aligned} \frac{a^3}{6R^2} &= A_a = ka^3 \\ a - ka^3 &= a' \end{aligned} \quad (21.9.18)$$

U holda (21.9.17) ushbu ko'rinishni oladi

$$b = a' \cdot \frac{\sin B}{\sin A} (1 + \frac{b^2}{6R^2}) = b' (1 + \frac{b^2}{6R^2}) = b' + \frac{b^3}{6R^2};$$

$$\text{agarda } \frac{b^3}{6R^2} = A_b = kb^3 \text{ desak; u holda } b = b' + A_b \quad (21.9.19)$$

Xuddi shunday  $s$  tomon uchun yozamiz

$$\begin{aligned} c' &= a' \cdot \frac{\sin C}{\sin A}; \\ \frac{c^3}{6R^2} &= A_c = kc^3; \\ c &= c' + A_c \end{aligned} \quad (21.9.20)$$

$A_s$  kattalik  $S$  tomon additamenti deyiladi.

Additamentlar usulida hisoblash quyidagi tartibda bajariladi:

1. Boshlangich berilgan  $a$  tomonidan uni additamentasi  $A_a$  ayriladi va bu tomoni  $a'$  qiymati topiladi, ya'ni

$$a' = a - ka^3$$

2. Topilgan  $a'$  qiymati orqali, uchburchak xuddi tekislikdagidek yechiladi va  $b'$ ,  $c'$  hisoblanadi,

$$\begin{aligned} b' &= a' \cdot \frac{\sin B}{\sin A}; \\ c' &= a' \cdot \frac{\sin C}{\sin A}; \end{aligned}$$

3. Topilgan  $b'$ ,  $c'$  qiymatlar  $A_b$  va  $A_c$  additamentalar bilan tuzatiladi, ya'ni

$$\begin{aligned} b &= b' + A_b; \\ c &= c' + A_c; \end{aligned}$$

Triangulyatsiya uchburchaklari qatorini hisoblashda boshlangich  $a$  tomon additamenta  $A_a$  orqali tuzatiladi, topilgan  $a'$  orqali qolgan barcha

uchburchaklarni sferik burchaklardan foydalanib, xuddi tekislikdagidek yechiladi. Topilgan tomon uzunliklari ularni additamentlari bilan tuzatiladi.

Tomon uzunliklari berilgan sferik uchburchakni yechish

Uchburchakni  $a$ ,  $b$  va  $c$  tomon uzunliklari berilgan (o'lchangan),  $A$ ,  $V$  va  $S$  sferik burchaklarini topish kerak. Tomonlar, tekislikda o'lchanganidek uchburchak tekislikda yechiladi va hisoblab topilgan burchaklariga  $\frac{1}{3}\xi$  tuzatma qo'shiladi.

Yechish tartibi:

1. ABC uchburchak yuzasi hisoblanadi

$$P = \sqrt{p \cdot (p-a) \cdot (p-b) \cdot (p-c)} \quad (21.9.21)$$

Sferik ortiqchalik  $\xi$  topiladi

$$\xi'' = 2 \sqrt{P} \quad (21.9.22)$$

bunda,

$$p = \frac{a+b+c}{2}$$

2. Yassi burchaklar hisoblanadi,

$$\operatorname{tg} \frac{A_1}{2} = \frac{P}{p(p-a)}; \quad \operatorname{tg} \frac{B_1}{2} = \frac{P}{p(p-b)}; \quad \operatorname{tg} \frac{C_1}{2} = \frac{P}{p(p-c)} \quad (21.9.23)$$

3. Sferik burchaklar topiladi.

$$A = A_1 + \frac{1}{3}\xi''; \quad B = B_1 + \frac{1}{3}\xi''; \quad C = C_1 + \frac{1}{3}\xi'' \quad (21.9.24)$$

### Tekshirish uchun savollar:

1. Sferik uchburchaklarni yechishda nima uchun Lejandra teoremasidan yoki additamentlar usulidan foydalaniladi?
2. Nima uchun triangulyatsiya uchburchaklarini yechishda sferoidik uchburchaklar sferik uchburchaklardek yechiladi?
3. Sferik ortiqlik  $\xi$  kattaligi nimaga bog'liq?
4. Sferik uchburchaklarni Lejandra teoremasidan foydalanib yechish tartibi qanday?
5. Uchburchaklarni yechishning additamentlar usuli bilan Lejandra teoremasidan foydalanib yechishdagi asosiy farq nimadan iborat?
6. Additamentlar usuli bilan triangulyatsiya qatorini yechish tartibi qanday?
7. Trilateratsiyada sferik uchburchak qanday tartibda yechiladi?

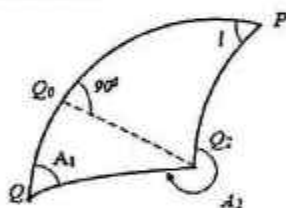
## § 21.10. Ellipsoid sathida geodezik masalalarni yechish

Dastur: Bosh geodezik masalalar: to'g'ri va teskari geodezik masala; ularni yechishning umumiy usullari. To'g'ri geodezik masalani yechish formulari. Teskari geodezik masalani yechish. Fazoda to'g'ri va teskari geodezik masala yechish to'g'risida tushunchalar.

Bosh geodezik masalalar, ularni yechishning umumiy usullari

Geodezik tayanch nuqtalar (punktlar) koordinatasini aniqlash oliy geodeziyaning asosiy vazifalaridandir. Punktlarning koordinatalarini har xil koordinatalar sistemasida aniqlash mumkin. Misol uchun 1 klass triangulyatsiya punktlarining (astronoma geodezik to'rda) koordinatalari ellipsoid sathida, geodezik koordinatalar sistemasida aniqlanadi. Qolgan klassdagi davlat triangulyatsiya punktlarining koordinatalari Gauss-Kryuger yassi zonal to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasida aniqlanadi. Punktlarning geodezik koordinatalarini ellipsoid sathida hisoblashda ikki xildagi masala kelib chiqadi:

1. To'g'ri geodezik masala.



21.10.1-shakl

Bu masalada

$Q_1$  punktning  $B_1, l_1$  geodezik koordinatalari,  $Q_1 Q_2$  chiziqligining to'g'ri azimuti  $A_1$  va  $Q_1, Q_2$  punktlar orasidagi masofa  $S$  berilgan bo'ladi.

$Q_2$  punktning  $B_2, l_2$  geodezik koordinatalari va  $Q_1, Q_2$  chiziqligining teskari azimuti  $A_2$ ni aniqlash talab etiladi.

2. Teskari geodezik masala. Bu masalada ikki punktning geodezik koordinatalari  $B_1, l_1$  va  $B_2, l_2$  lar berilgan, bu punktlar orasidagi  $S$ -masofa va  $Q_1, Q_2$  chiziqligining to'g'ri  $A_1$  va teskari  $A_2$  azimutlarini aniqlash talab etiladi.

To'g'ri va teskari geodezik masalalar birgalikda bosh geodezik masala deyiladi.

Bosh geodezik masalani yechishda turli usullardan foydalanish mumkin. Masala yechish usuli nuqtalar orasidagi masofaga bog'liq, masofalar shartli ravishda to'rt guruhga bo'linadi:

- kichik masofalar 45 km gacha;
- o'rtacha masofalar 600 km gacha;
- katta masofalar 5000 km gacha;
- juda katta masofalar 5000 km dan katta bo'ladi.

Bosh geodezik masalani bevosita yoki bivosita yo'l bilan yechish mumkin.

Bevosita yo'l bilan bosh geodezik masalani yechishda  $Q_1PQ_2$  sferoidik qutb uchburchagi yechiladi. Bu uchburchakni  $Q_1P=90^\circ-B_1$ ;  $Q_1Q_2=S$  tomonlari va ular orasidagi burchak  $A$  ma'lum bo'ladi. Uchburchakni bevosita yechish orqali uni qolgan uch elementi topiladi:  $Q_2P=90^\circ-B_2$  (ya'ni  $B_2$  kenglik);  $360^\circ-A_2$  (ya'ni teskari azimut  $A_2$ );  $Q_1$  va  $Q_2$  punktlar uzoqliklar farqi  $l$  ( $l$  orqali  $L_2$  topiladi  $L_2=L_1+l$ ).

Bevosita yo'l bilan teskari masala yechishda uchburchakning  $B_1$ ,  $B_2$  va  $l$  elementlari ma'lum bo'lib, uchburchakni yechish orqali  $PQ_1Q_2=A_1$  va  $PQ_2Q_1=A_2$  to'g'ri va teskari azimutlar;  $Q_1Q_2=S$  tomoni topiladi.

Sferoidik uchburchak tomonlari geodezik chiziqdan iborat bo'lganligi uchun elliptik integrallar orqali ifodalanadi, ularni elementar funksiyalar orqali integrallashni iloji yo'q, shu sababli bosh geodezik masalani bevosita yechishda quyidagi yo'l tutiladi:

a) Sferoidik uchburchak yordamchi sferik sathga o'tkaziladi;

b) Ikkala uchburchak elementlari orasidagi geometrik bog'lanish o'rnatiladi;

v) Uchburchak yordamchi sfera sathida yechiladi va uni tomonlari oddiy sferik trigonometriya formulalaridan foydalanib aniqlanadi;

g) Sferoidik va sferik uchburchaklar orasida o'rnatilgan geometrik bog'lanishdan foydalanib, sferik uchburchak ellipsoid sathiga ko'chiriladi va shu orqali sferoidik uchburchak elementlari topiladi.

Kichik masofalarda ( $30+45$  km) bosh geodezik masalani bivosita yo'l bilan yechish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Bivosita yo'l bilan bosh geodezik masalani yechishda qidirilayotgan va berilgan kattaliklar orasidagi farqlar, ya'ni  $B_2-B_1$ ;  $L_2-L_1$  va  $A_2-A_1\pm 180^\circ$  aniqlanadi, undan so'ng qidirilayotgan kattaliklar topiladi:

$$B_2-B_1+(B_2-B_1); \quad L_2-L_1+(L_2-L_1);$$

$$A_2-A_1\pm 180^\circ-(A_2-A_1)$$

Ellipsoid sathida elementar uchburchak bo'lib, uning bir nuqtasining  $B_1$ ,  $L_1$  koordinatalari tomonning  $A_1$  to'g'ri azimuti va tomon uzunligi  $S$

ma'lum bo'lsin. Unda ikkinchi nuqtaning  $B_2$ ,  $L_2$  koordinatalari va  $A_2$  teskari azimuti  $S$  masofanining funksiyasi bo'ladi, ya'ni:

$$B_2 = f_1(S); L_2 = f_2(S); A_2 = f_3(S);$$

o'z navbatida

$$B_1 = f_1(0); L_1 = f_2(0); A_1 = f_3(0); \text{ buladi.}$$

Qidirilayotgan va berilgan kattaliklar orasidagi farqlarni Makloren qatoriga yoyish orqali aniqlash mumkin;

$$B_2 - B_1 = \left(\frac{dB}{dS}\right)_1 S + \left(\frac{d^2 B}{dS^2}\right)_1 \frac{S^2}{2!} + \left(\frac{d^3 B}{dS^3}\right)_1 \frac{S^3}{3!} + \dots;$$

$$L_2 - L_1 = \left(\frac{dL}{dS}\right)_1 S + \left(\frac{d^2 L}{dS^2}\right)_1 \frac{S^2}{2!} + \left(\frac{d^3 L}{dS^3}\right)_1 \frac{S^3}{3!} + \dots;$$

$$A_2 - A_1 \pm 180^\circ = \left(\frac{dA}{dS}\right)_1 S + \left(\frac{d^2 A}{dS^2}\right)_1 \frac{S^2}{2!} + \left(\frac{d^3 A}{dS^3}\right)_1 \frac{S^3}{3!} + \dots$$

Geodezik chiziqlarning asosiy tenglamalari degan mavzudan foydalanib birinchi hosilalarni topamiz, (7.1) formuladan

$$\cos A = \frac{M dB}{dS},$$

bundan

$$\frac{dB}{dS} = \frac{\cos A}{M}$$

$$\sin A = \frac{r dl}{dS},$$

bundan

$$\frac{dl}{dS} = \frac{\sin A}{r} = \frac{\sin A}{N \cos B}.$$

(21.7.2) formuladan

$$dA = dl \sin B,$$

bundan

$$dA = \frac{\sin A dS}{r} \sin B$$

yoki

$$\frac{dA}{dS} = \frac{\sin A \sin B}{r} = \frac{\sin A \sin B}{N \cos B} = \frac{\sin A \operatorname{tg} B}{N}$$

U holda ikkinchi tartibli hosilalar quyidagilarga teng bo'ladi

$$\frac{d^2 B}{dS^2} = -\frac{\sin^2 A}{MN} \operatorname{tg} B$$

$$\frac{d^2 l}{dS^2} = -\frac{\sin 2A \cos B}{MN} \operatorname{tg} B \quad (21.10.2)$$

$$\frac{d^2 A}{dS^2} = \frac{\sin A \cos A}{MN} (1 + 2 \operatorname{tg}^2 B)$$

Yuqoridagi formulalar  $S < 30 \text{ km}$  bo'lganda yetarli hisoblanadi, agarda  $S > 30 \text{ km}$  bo'lsa unda uchinchi va undan yuqori tartibli hosilalar olinadi. Bundan tashqari  $M$  va  $N$  qiymatlari kenglik o'zgarishiga bog'liq, ya'ni ular doimiy emas. Bunday holda qatorlar nazariyasini qo'llash hisoblash uchun noqulay bo'lgan formulalarni keltirib chiqaradi. Shu sababli masalani yechishning har xil usullari ishlab chiqilgan bo'lib, ular qandaydir darajada mavjud formulalarni soddalashtiradi. Bosh geodezik masalani yechishning ayrim usullariga to'xtalib o'taylik:

a) Bosh geodezik masalani o'rtacha argumentli formulalardan foydalanib yechish. Bu formulalarda o'rtacha kenglik va tomonning o'rtacha argumentlari ishlatiladi. +idirilayotgan kattalik kengliklar, uzoqliklar va azimutlar farqlarini qatorlarga yeyish orqali aniqlanadi;

b) Bosh geodezik masalani yordamchi nuqta usuli bilan yechish. Bu usulda qidirilayotgan kattaliklar maqsad bilan tanlangan yordamchi nuqta orqali topiladi. Natijada yoyilmaning ayrim hadlari kichrayadi;

v) Bosh geodezik masalani yordamchi sfera usulida yechish. Bu usulda uchburchak yordamchi sferaga o'tkaziladi. Sferik uchburchak yechilgandan so'ng uchburchak sferadan sferoidga qayta o'tkaziladi.

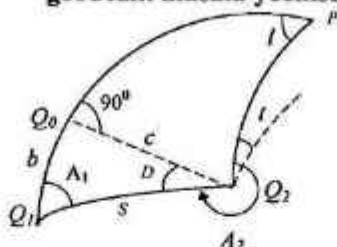
Yuqorida aytilgan usullardan tashqari bosh geodezik masalani vatarlar bo'yicha yechish usuli mavjud. Bu usul formulalari punktlar orasidagi masofa qanday bo'lishidan qattiq nazar qo'llanilishi mumkin.

### **Tekshirish uchun savollar:**

1. To'g'ri geodezik masalada qanday kattaliklar boshlangich ma'lumot sifatida beriladi, qanday kattaliklar hisoblab topiladi?
2. Teskari geodezik masalada qanday kattaliklar boshlangich ma'lumot sifatida beriladi, qanday kattaliklar hisoblab topiladi?
3. Bosh geodezik masala deganda nimani tushunasiz?
4. Bosh geodezik masalani bevosita va bavosita yechish yo'llari orasidagi asosiy farqlarni ayting.
5. Makloren qatori nima uchun qo'llaniladi?

6. Bosh geodezik masalani bivosita yechishning qanday usullarini bilasiz?

### § 21.11. Yordamchi nuqta usulida to'g'ri geodezik masala yechish



21.11.1-shakl

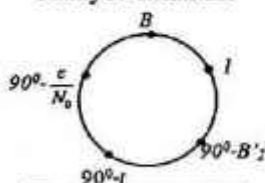
$Q_1PQ_2$  sferoidik qutb uchburchagi bo'lsin.  $Q_2$  nuqtadan shunday  $Q_2Q_0$  geodezik chizig'ini o'tkazamizki u  $Q_0$  nuq-tada  $90^\circ$ li azimutga ega bo'lsin. Natijada  $Q_0PQ_2$  va  $Q_0Q_1Q_2$  to'g'ri burchakli sferoidik uchburchaklar hosil bo'ladi.

$Q_1$  nuqtaning  $B_1$ -kenglik,  $L_1$  -uzoqlik koordinatalari, to'g'ri azimuti  $A_1$  hamda  $Q_1$  va  $Q_2$  nuqtalar orasidagi  $S$  masofasi berilgan bo'lib,  $Q_2$  nuqtaning  $B_2$  kengligi,  $L_2$ -uzoqligi va teskari azimuti  $A_2$ ni aniqlash lozim bo'lsin.

#### 1. $Q_1Q_0Q_2$ uchburchakni yechish

##### Izox

Madyui chizmasi



$$\sin x = x - \frac{x^3}{6} + \frac{x^5}{120} - \dots$$

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2x^5}{15} + \dots$$

To'g'ri burchakli sferoidik uchburchak uchun Neper-Madyui qoidasi.

To'g'ri burchakli sferoidik uchburchakni har bir elementining kosinusi unga qo'shni bo'lgan elementlarning katangenslari yoki uzoq elementlarining sinuslari ko'paytmasiga teng.

Uchburchakdan quyidagilarni topamiz

$$\cos\left(90^\circ - \frac{C}{R_1}\right) = \sin \frac{C}{R_1} = \sin A_1 \sin \frac{S}{R_1} \quad (21.11.1)$$

$$\cos A_1 = \operatorname{ctg} \frac{S}{R_1} \operatorname{ctg} \left(90^\circ - \frac{b}{R_1}\right) = \operatorname{ctg} \frac{S}{R_1} \operatorname{tg} \frac{b}{R_1}.$$

Bundan,  $\operatorname{tg} \frac{b}{R_1} = \cos A_1 \operatorname{tg} \frac{S}{R_1}$  (21.11.2)

(21.11.2) va (21.11.1) formulalardagi  $\sin \frac{C}{R_1}, \sin \frac{S}{R_1}, \operatorname{tg} \frac{b}{R_1}, \operatorname{tg} \frac{S}{R_1}$  larni qatorga yoyamiz

$$\frac{b}{R_1} + \frac{b^3}{3R_1^3} = \cos A_1 \left( \frac{S}{R_1} + \frac{S^3}{3R_1^3} \right) \rightarrow \frac{b}{R_1} = \frac{S}{R_1} \cos A_1 + \frac{S^3}{3R_1^3} \cos A_1 - \frac{b^3}{3R_1^3}$$

$$\frac{c}{R_1} - \frac{c^3}{6R_1^3} = \sin A_1 \left( \frac{S}{R_1} - \frac{S^3}{6R_1^3} \right) \rightarrow \frac{c}{R_1} = \frac{S}{R_1} \sin A_1 - \frac{S^3}{6R_1^3} \sin A_1 + \frac{c^3}{6R_1^3}$$

Birinchi yaqinlashishda  $B \approx S \cos A_1$ ,  $c \approx S \sin A_1$  desak

$$b = S \cos A_1 \left( 1 + \frac{S^2}{3R_1^2} - \frac{b^2}{3R_1^2} \right) \quad (21.11.3)$$

$$c = S \sin A_1 \left( 1 - \frac{C^2}{6R_1^2} + \frac{C^2}{6R_1^2} \right) \quad (21.11.4)$$

$U = S \cos A_1$ ,  $V = S \sin A_1$  deb belgilash kiritamiz, u holda  $U^2 + V^2 = S^2$  bo'ladi va (11.3), (11.4) lar quyidagi ko'rinishlarga keladi

$$b = U \left( 1 + \frac{V^2}{3R_1^2} \right) \quad \text{va} \quad c = V \left( 1 - \frac{U^2}{6R_1^2} \right) \quad (21.11.5)$$

2. Berilgan va yordamchi nuqtalar kengliklari farqini aniqlash  $B_0 - B_2$  kengliklar farqi uchun quyidagi funksional bog'lanishni yozamiz:

$$B_0 - B_1 = \left( \frac{dB}{dx} \right)_1 b + \left( \frac{d^2B}{dx^2} \right)_1 \frac{b^2}{2} + \left( \frac{d^3B}{dx^3} \right)_1 \frac{b^3}{6} + \dots \quad (21.11.6)$$

(11.6) formulaga birinchi, ikkinchi, uchinchi tartibli hosilalarni qo'yib, kengliklar farqini topamiz.

Birinchi hosila. Bizga ma'lumki  $dx = M dB$  shuning uchun

$$\frac{dB}{dx} = \frac{1}{M} = \frac{(1 - e^2 \sin^2 B)^{3/2}}{a(1 - e^2)} \quad (21.11.7)$$



## Ikkinchi hosila.

$$\begin{aligned}\frac{dB^2}{dx^2} &= \frac{d}{dB} \left( \frac{1}{M} \right) \frac{dB}{dx} = \frac{\frac{3}{2} (1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}} (-2e^2 \sin B \cos B)}{a(1 - e^2)M} = \\ &= -\frac{3e^2 \sin 2B (1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}}}{2a(1 - e^2)M} = -\frac{3e^2 \sin 2B}{2(1 - e^2)MN} \quad (21.11.8)\end{aligned}$$

**Uchinchi hosila.** Uchinchi hosilani topishdan oldin ikkinchi hosilani soddalashtiramiz.

$$\frac{d^2 B}{dx^2} = -\frac{3e^2 \sin 2B}{2(1 - e^2)MN} = -\frac{3e^2 \sin 2B}{\frac{2(1 - e^2)a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}}} = -\frac{3e^2 \sin 2B}{2a^2(1 - e^2)^{\frac{3}{2}}},$$

bunda  $\frac{(1 - e^2)^2}{(1 - e^2 \sin^2 B)^3}$ ;  $e^2$  tartibidagi kichik kattalik bo'lganligi uchun

$$\frac{d^2 B}{dx^2} = -\frac{3e^2 \sin 2B}{2a^2}.$$

deb olamiz va uchinchi tartibli hosilani topamiz

$$\frac{d^3 B}{dx^3} = \frac{d}{dB} \left( \frac{d^2 B}{dx^2} \right) \frac{dB}{dx} = -\frac{3e^2 \cos 2B}{a^2 M}; \quad (21.11.9)$$

(21.11.7), (21.11.8) va (21.11.9)larni (21.11.6)ga qo'yamiz.

$$\begin{aligned}(B_0 - B_1) &= \frac{(1 - e^2 \sin^2 B_1)^{\frac{3}{2}}}{a(1 - e^2)} \cdot b - \frac{3e^2 \sin 2B_1}{2(1 - e^2)M_1} \cdot \frac{b^2}{2} - \\ &- \frac{3e^2 \cos 2B_1}{a^2 M_1} \cdot \frac{b^3}{6} = \frac{b}{M_1} \left[ 1 - \frac{3e^2 \sin 2B_1}{4(1 - e^2)N_1} \cdot b - \frac{e^2 \cos 2B_1}{2a^2} b^2 \right]\end{aligned}$$

had boshidagi meridian uzunligi

$$b = U \left( 1 + \frac{V^2}{3R_1^2} \right)$$

bilan almashtiramiz. Kvadrat qavs ichidagi xadlarda  $b \approx U$  deb olamiz, unda

$$B_0 - B_1 = \frac{U}{M_1} \left( 1 + \frac{V^2}{3R_1^2} \right) \cdot \left[ 1 - \frac{3e^2 \sin^2 B_1}{4(1 - e^2)N_1} U - \frac{e^2 \cos 2B_1}{2a^2} U^2 \right]$$

$\frac{U}{M_1} \rho'' = (1)$ ,  $U = \rho''$  deb belgilash kiritamiz va qabul qilingan aniqlikda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$b'' = (B_0 - B_1) = \rho'' \left[ 1 - \frac{3e^2 \sin 2B_1 U}{4(1 - e^2)N_1} - \frac{e^2 \cos 2B_1}{2a^2} U^2 + \frac{V^2}{3R_1^2} \right] \quad (21.11.10)$$

(21.11.10) ni logarifmlaymiz

$$\lg b'' = \lg \beta + \lg \left[ 1 - \frac{3e^2 \sin 2B_1}{4(1-e^2)N_1} U - \frac{e^2 \cos 2B_1}{2a^2} U^2 + \frac{V^2}{3R_1^2} \right];$$

qavs ichidagi ifodani logariflik qatorga yoyib,  $\lg(1+x) = \mu\alpha - \frac{x^2}{2}\mu + \frac{x^3}{3}\mu -$  formula yordamida, birinchi xadini saqlab quyidagicha belgilashlar kiritamiz:

$$\frac{3e^2 \sin 2B}{4(1-e^2)N} \cdot \mu = (4) \quad \text{- to'rtinchi geodezik kattalik}$$

$$\frac{1}{3R^2} \mu = (5) \quad \text{- beshinchi geodezik kattalik}$$

$$-\frac{e^2 \cos 2B}{2a^2} \mu = (6) \quad \text{- oltinchi geodezik kattalik}$$

va quyidagini hosil qilamiz:

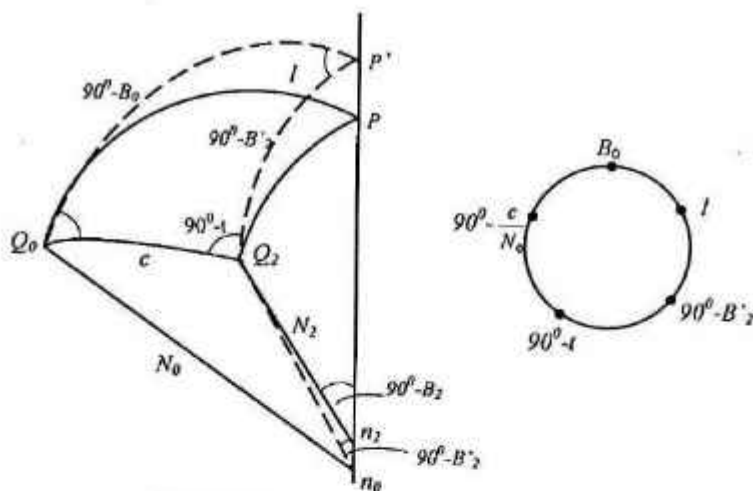
$$\lg b'' = \lg \beta'' - (4)_1 U + (5)_1 V^2 + (6)_1 U^2 \quad (21.11.11)$$

So'ngra yordamchi nuqta kengligi hisoblanadi

$$B_0 = B_1 + b_0'' \quad (21.11.12)$$

Yordamchi nuqta  $Q_0$  va koordinatasi qidirilayotgan nuqta  $Q_2$  uzoqliklari farqi va  $Q_2Q_0$  chiziq azimutini aniqlash

$Q_0PQ_2$  sferoidik uchburchagini olamiz (21.11.2-shakl) va uni radiusi  $Q_0$  nuqtaning birinchi vertikal radiusi  $N_0$  ga teng bo'lgan sharga o'tkazamiz.  $Q_0PQ_2$  ning markazi  $n_0$  nuqtada bo'lgan shar sathidagi proeksiyasi  $Q_0P'Q_2$  bo'lsin.



21.11.2-shakl

Sferik uchburchak  $Q_0P'Q_2$  da Neper-Modyui qoidasini qo'llab quyidagini yozamiz.

$$\cos B_0 = \operatorname{tg} \frac{C}{N_0} \operatorname{ctg} l$$

$$\sin \frac{C}{N_0} = \operatorname{ctg} B_0 \operatorname{ctg} (90^\circ - l)$$

bulardan,

$$\operatorname{ctg} l = \operatorname{tg} \frac{C}{N_0} \sec B_0 \quad (21.11.13)$$

$$\operatorname{ctg} l = \sin \frac{C}{N_0} \operatorname{tg} B_0 \quad (21.11.14)$$

$\operatorname{ctg} l, \operatorname{tg} \frac{C}{N_0}, \operatorname{ctg} l$  va  $\sin \frac{C}{N_0}$  larni qatorga yoyib, uchinchi darajali hadlar bilan chegaralanamiz

$$l + \frac{l^3}{3} = \left( \frac{C}{N_0} + \frac{C^3}{3N_0^3} \right) \sec B_0 \rightarrow l = \frac{C}{N_0} \sec B_0 + \frac{C^3}{3N_0^3} \sec B_0 - \frac{l^3}{3};$$

$$l + \frac{l^3}{3} = \left( \frac{C}{N_0} - \frac{C^3}{6N_0^3} \right) \operatorname{tg} B_0 \rightarrow l = \frac{C}{N_0} \operatorname{tg} B_0 - \frac{C^3}{6N_0^3} \operatorname{tg} B_0 - \frac{l^3}{3};$$

birinchi yaqinlashishda  $l = \frac{C}{N_0} \sec B_0$ ,  $l = \frac{C}{N_0} \operatorname{tg} B_0$  deb, qabul qilamiz, u holda

$$l = \frac{C}{N_0} \sec B_0 \left( 1 + \frac{C^2}{3N_0^2} - \frac{l^2}{3} \right) \quad (21.11.15)$$

$$l = \frac{C}{N_0} \operatorname{tg} B_0 \left( 1 - \frac{C^2}{6N_0^2} - \frac{l^2}{3} \right) \quad (21.11.16)$$

(21.11.4), (21.11.5)dan  $C = V \left( 1 - \frac{U^2}{6R_1^2} \right)$  ekanligini hisobga olib, topamiz

$$C'' = \frac{C}{N_0} \rho'' = (2)_0 V \left( 1 - \frac{U^2}{6R_1^2} \right)$$

yoki  $(2)_0 V = \gamma''$  deb belgilash kiritsak

$$C'' = \gamma'' \left( 1 - \frac{U^2}{6R_1^2} \right)$$

hosil bo'ladi. Oxirgi kenglikning har ikki tomonini logarifmlab quyidagini aniqlaymiz

$$\lg C'' = \lg \gamma'' - \frac{U^2}{6R_1^2} \mu = \lg \gamma'' - \frac{1}{2} (5)_1 U^2 \quad (21.11.17)$$

(21.11.15) va (21.11.16)ni burchak o'lchovida beramiz

$$C'' = \frac{C}{N_0} \rho'' \rightarrow C = \frac{C'' N_0}{\rho''}; \quad l'' = l \rho'' \rightarrow l = \frac{l''}{\rho''}; \quad l'' = l \rho'' \rightarrow l = \frac{l''}{\rho''}$$

o'z navbatida

$$l'' = C'' \sec B_0 \left( 1 + \frac{C''^2}{3\rho''^2} - \frac{l''^2}{3\rho''^2} \right) \quad (21.11.18)$$

$$l'' = C'' \operatorname{tg} B_0 \left( 1 - \frac{C''^2}{6\rho''^2} - \frac{l''^2}{3\rho''^2} \right) \quad (21.11.19)$$

Quyidagi belgilashlarni kiritsak

$$C'' \sec B_0 = \lambda''; \quad C'' \operatorname{tg} B_0 = \tau'' \quad (21.11.20)$$

$$C''^2 = \lambda''^2 - \tau''^2 \quad (21.11.21)$$

va qavs ichidagi hadlarda  $l''$  ni  $\lambda''$ ,  $t''$ ni  $\tau''$  bilan almashtirsak (21.11.18) va (21.11.19) lar quyidagi ko'rinishlarga keladi

$$l'' = \lambda'' \left( 1 + \frac{\lambda'^{n2} - \tau'^{n2}}{3\rho'^{n2}} \right) = \lambda'' \left( 1 - \frac{\tau'^{n2}}{3\rho'^{n2}} \right) \quad (21.11.22)$$

$$t'' = \tau'' \left[ 1 - \left( \frac{\lambda'^{n2} - \tau'^{n2}}{6\rho'^{n2}} - \frac{\tau'^{n2}}{3\rho'^{n2}} \right) \right] = \tau'' \left( 1 - \frac{\lambda'^{n2}}{6\rho'^{n2}} - \frac{\tau'^{n2}}{6\rho'^{n2}} \right) \quad (21.11.23)$$

(21.11.22), (21.11.23) larni logarifmlab

$$\lg l'' = \lg \lambda'' + \lg \left( 1 - \frac{\tau'^{n2}}{3\rho'^{n2}} \right);$$

$$\lg t'' = \lg \tau'' + \lg \left( 1 - \frac{\lambda'^{n2}}{6\rho'^{n2}} - \frac{\tau'^{n2}}{6\rho'^{n2}} \right);$$

va ularni ikkinchi hadini logarifmlik qatorga yoyib, qatorni birinchi hadini saqlab qolgan holda quyidagini topamiz:

$$\lg l'' = \lg \lambda'' - \frac{\tau'^{n2}}{3\rho'^{n2}} \mu;$$

$$\lg t'' = \lg \tau'' - \frac{\lambda'^{n2}}{6\rho'^{n2}} \mu - \frac{\tau'^{n2}}{6\rho'^{n2}} \mu;$$

$\frac{1}{6\rho'^{n2}} \mu$  ni  $\mathcal{B}$  bilan belgilasak,

$$\lg l'' = \lg \lambda'' - 2\mathcal{B}\tau'^{n2} \quad (21.11.24)$$

$$\lg t'' = \lg \tau'' - \mathcal{B}\lambda'^{n2} - \mathcal{B}\tau'^{n2} \quad (21.11.25)$$

larni hosil qilamiz.

**Yordamchi  $Q_0$  va koordinatasi aniqlanilayotgan  $Q_2$  nuqtalar kengliklari farqini aniqlash**

$Q_0P'Q_2$  uchburchakdan (11.2-shakl) (Pifagor formulasi)

$$\cos(90^\circ - B_2') = \cos \frac{C}{N_0} \cos(90^\circ - B_0);$$

yoki

$$\sin B_1' = \cos \frac{C}{N_0} \sin B_0 \quad (21.11.26)$$

Kengliklar farqini  $B_0 - B_2' = d_0$  deb belgilaymiz, unda

$$\sin B_2' = \sin(B_0 - d_0) = \sin B_0 \cos d_0 - \cos B_0 \sin d_0 \quad (21.11.27)$$

(21.11.27) ni (21.11.26) ga qo'ysak

$$\sin B_0 \cos d_0 - \cos B_0 \sin d_0 = \cos \frac{C}{N_0} \sin B_0;$$

undan,

$$\sin d_0 = \frac{\sin B_0 \cos d_0 - \cos \frac{C}{N_0} \sin B_0}{\cos B_0};$$

$$\text{yoki} \quad \sin d_0 = \operatorname{tg} B_0 \left( \cos d_0 - \cos \frac{C}{N_0} \right)$$

$\sin d_0$ ,  $\cos d_0$ ,  $\cos \frac{C}{N_0}$  larniqatorga yoyib, quyidagini hosil qilamiz:

$$d_0 - \frac{d_0^3}{6} = \operatorname{tg} B_0 \left[ \left( 1 - \frac{d_0^2}{2} + \frac{d_0^4}{24} \right) - \left( 1 - \frac{c^2}{2N_0^2} + \frac{c^4}{24N_0^4} \right) \right],$$

belgilangan anqlikda

$$d_0 - \frac{d_0^3}{6} = \operatorname{tg} B_0 \left[ \frac{c^2}{2N_0^2} - \frac{c^4}{24N_0^4} - \frac{d_0^2}{2} + \frac{d_0^4}{24} \right] \quad (21.11.29)$$

birinchi yaqinlashishda

$$d_0 = \frac{c^2}{2N_0^2} \operatorname{tg} B_0;$$

deb qabul qilish mumkin.

$\frac{c}{N_0}$  ga nisbatan to'rtinchi tartibdagi hadlarni saqlab qolishni shartlaymiz, unda  $\frac{d_0^4}{6}$  ni tashlab yuborishimiz mumkin,  $d_0^2$  ni  $d_0^2 = \frac{c^2}{4N_0^4} \operatorname{tg}^2 B_0$  bilan almashtiramiz.

Unda (21.11.29) formula

$$d_0 = \operatorname{tg} B_0 \left( \frac{c^2}{2N_0^2} - \frac{c^4}{24N_0^4} - \frac{c^4}{8N_0^4} \operatorname{tg}^2 B_0 \right);$$

ko'rinishga, yoki

$$d_0 = \frac{c^2}{2N_0^2} \operatorname{tg} B_0 \left( 1 - \frac{c^2}{12N_0^2} - \frac{c^2}{4N_0^2} \operatorname{tg}^2 B_0 \right);$$

ko'rinishga keladi

$$c^n = \frac{c}{N_0} \rho^n \rightarrow c = \frac{c^n}{\rho^n} N_0;$$

$$c^n \sec B_0 = \lambda^n; \quad c^n \operatorname{tg} B_0 = r^n; \quad c^{n2} = \lambda^{n2} - r^{n2};$$

$d = \frac{d^n}{\rho^n}$  formulalarni inobatga olib,  $d_0$  va  $c$  ni gradus o'lchovida ifodalaymiz:

$$d_0^n = \frac{c^{n2} N_0^2 r^n}{\rho^{n2} 2N_0^2 c^n} \cdot \rho^n \left( 1 - \frac{c^{n2} N_0^2}{\rho^{n2} 12N_0^2} - \frac{c^{n2} N_0^2 r^{n2}}{\rho^{n2} 4N_0^2 c^{n2}} \right) = \frac{c^n r^n}{2\rho^n} \left( 1 - \frac{\lambda^{n2} - r^{n2}}{12\rho^{n2}} - \frac{r^{n2}}{4\rho^{n2}} \right);$$

yoki

$$d_0'' = \frac{c'' r''}{2\rho''} \left( 1 - \frac{\lambda'^2}{12\rho'^2} - \frac{r'^2}{6\rho'^2} \right); \quad (21.11.30)$$

Natijada  $Q_0$  va  $Q_2$  nuqtalarning shar sathidagi kengliklar farqini topdik. Ellipsoid sathiga o'tamiz,  $d = B_0 - B_2$  kengliklar farqini topamiz.

Kengliklar orasidagi farq kichik bo'lganligi uchun ularga mos keladigan shar va ellipsoiddagi meridian yoylarini aylana yoylari sifatida qarashimiz mumkin, lekin ularni egrilik radiuslarini har xil deb olamiz, ya'ni

$$N_0 d_0'' = M_0 d'';$$

bundan

$$d_0'' = \frac{M_0}{N_0} d''; \quad (21.11.31)$$

(21.11.30) va (21.11.31) formulalardan quyidagini topamiz

$$\frac{M_0}{N_0} d'' = \frac{c'' r''}{2\rho''} \left( 1 - \frac{\lambda'^2}{12\rho'^2} - \frac{r'^2}{6\rho'^2} \right);$$

bundan

$$d'' = \frac{N_0}{M_0} \frac{c'' r''}{2\rho''} \left( 1 - \frac{\lambda'^2}{12\rho'^2} - \frac{r'^2}{6\rho'^2} \right) \quad (21.11.32)$$

$$\frac{N_0}{M_0} \cdot \frac{1}{2\rho''} = (3)_0 \text{ deb belgilaymiz, u holda} \quad (21.11.33)$$

$$(3)_0 c'' r'' = \delta'' \quad (21.11.34)$$

va (21.11.32) formula

$$d'' = \delta'' \left( 1 - \frac{\lambda'^2}{12\rho'^2} - \frac{r'^2}{6\rho'^2} \right) \quad (21.11.35)$$

ko'rinishni oladi. (21.11.35)ni logariflaymiz

$$\lg d'' = \lg \delta'' + \lg \left( 1 - \frac{\lambda'^2}{12\rho'^2} - \frac{r'^2}{6\rho'^2} \right);$$

qavs ichidagi ifodani logarifmlik qatorga yoyib, birinchi hadini saqlab quyidagini olamiz

$$\lg d'' = \lg \delta'' - \frac{\lambda'^2}{12\rho'^2} \mu - \frac{r'^2}{6\rho'^2} \mu;$$

$\frac{1}{6\rho'^2} \mu = \nu$  ekanligini hisobga olib, quyidagini topamiz

$$\lg d'' = \lg \delta'' - \frac{1}{2} \nu \lambda'^2 - \nu r'^2 \quad (21.11.36)$$

Natijada qidirilayotgan nuqtaning kenglik va uzoqligini topamiz:

## Teskari azimutni aniqlash

21.11.3-shakldan

yoki

$$\begin{aligned} A_2 &= 360^\circ - D - (90^\circ - t); \\ A_2 &= 270^\circ - D + t \end{aligned} \quad (21.11.38)$$

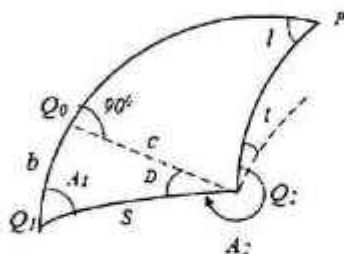
$Q_1 Q_2 Q_3$  uchburchakdan:

$$180^\circ + \xi'' = A_1 + 90^\circ + D \quad (21.11.39)$$

(21.11.34) va (21.11.35) formulalardan foydalanib quyidagini topamiz

$$A_2 = 270^\circ + t - (180^\circ + \xi - A_1 - 90^\circ)$$

$$\text{yoki } A_2 = A_1 + 180^\circ + t + \xi'' \quad (21.11.40)$$



21.11.3-shakl

Sferik ortiqlikni hisoblash uchun quyidagini yozishimiz mumkin

$$\xi'' = \frac{b \cdot c}{2R_1^2} \rho'' = \frac{\rho''}{2} \cdot \frac{b}{M_1} \cdot \frac{c}{N_1};$$

bunda

$$\begin{aligned} \frac{b}{M_1} \rho'' &= b'' \quad \text{yunda} \quad b = \frac{b''}{\rho''} M_1; \\ \frac{c}{N_1} \rho'' &= c'' \quad \text{yunda} \quad c = \frac{c''}{\rho''} N_1; \end{aligned}$$

u holda

$$\xi'' = \frac{\rho''}{2} \cdot \frac{b''}{\rho''} \cdot \frac{c''}{\rho''} = \frac{b'' c''}{2 \rho''} \quad (21.11.41)$$

## Formulalar to'plami

$$u = S \cos A_1; \quad \lg b'' = \lg B'' - (4)_1 u + (5)_1 v^2 + (6)_1 u^2 v = S \sin A_1; \quad \beta = (1)_1 u;$$

$$B_0 = B_1 + b''.$$

$$\gamma'' = (2)_1 v; \quad \lg c'' = \lg \gamma'' - \frac{1}{2} (5)_1 u^2;$$

$$\lambda'' = c'' \sec B_0; \quad r'' = c'' \operatorname{tg} B_0; \quad \delta'' = (3)_0 c'' r'';$$

$$\lg l'' = \lg \lambda'' - 2v r''^2; \quad \lg t'' = \lg r'' - v \lambda''^2 - v r''^2;$$



$$\lg d'' = \lg d'' - v r''^2 - \frac{1}{2} v \lambda''^2;$$

$$B_2 = B_0 = d''; \quad L_2 = L_1 + l''; \quad \xi'' = \frac{1}{2 \rho''} b'' c'';$$

$$A_2 = A_1 \pm 180^\circ - l'' - \xi''$$

(1)-(6) geodezik kattaliklar kenglik qiymati bo'yicha maxsus jadvaldan olinadi. (4), (5), (6) geodezik kattaliklar logarifmning  $n$ -inchi belgisiga tuzatmalar bo'lib, maxsus jadvallarda asosan logarifmani sakkizinchi belgisida beriladi. Logarifmani yettinchi belgisiga o'tkazish uchun xarakteristikasini birga kamaytirish kerak.  $v\lambda^2$  va  $vr^2$  tuzatma hadlar  $\lg \lambda$  va  $\lg r$  argumentlar bo'yicha jadvaldan olinadi, ularni logarifmaning yettinchi belgisiga o'tkazish uchun jadvaldan olingan qiymatni 10 ga bo'lish kerak. Yuqorida berilgan formulalar to'plami 1 klass triangulyatsiyaning koordinata va azimutlarini hisoblashda qo'llaniladi.

Agarda punktlar orasidagi masofa 30 kilometrdan kichik bo'lsa, yetti xonali logarifm jadvalidan foydalaniladi. Masofa 30÷60 kilometr oralig'ida bo'lganda sakkiz xonali logarifm jadvalidan foydalaniladi.  $S < 30$  km bo'lganda koordinatalar hisoblash aniqligi  $\pm 0,0001''$ ; azimut aniqligi  $\pm 0,001''$  ga teng bo'ladi.

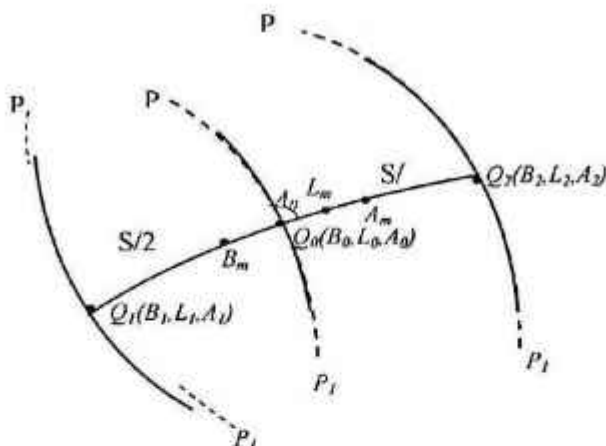
Hisoblashni EHMda bajarish uchun quyida keltirilgan formulalardan foydalanish qulay:

$$u = \frac{S}{N_1} \cos A_1; \quad v = \frac{S}{N_1} \sin A_1; \quad b = u \left( 1 + \frac{v^2}{3} \right);$$

$$c = v \left( 1 - \frac{u^2}{6} \right); \quad \varphi_0 = B_1 + b \rho''; \quad r = c \cdot \lg \varphi_0;$$

$$\lambda = c \cdot \sec \varphi_0; \quad l'' = r \left( 1 - \frac{\lambda^2}{6} - \frac{r^2}{6} \right) \rho''; \quad l'' = \lambda \left( 1 - \frac{r^2}{3} \right) \rho''$$

## § 21.12. O'rtacha argumentli formulalardan foydalanib to'g'ri geodezik masala yechish



21.12.1-shakl

Matematikadan ma'lumki, argument o'rtacha qiymatlari bo'yicha yoyilgan darajali qatorda juft darajali hadlar bo'lmaydi, boshlang'ich argument bo'yicha yoyilgan qatorni hadlaridan hadlar soni ikki marta kam bo'ladi.

$$f(x+h) = f(x) + hf'(x) + \frac{h^2}{2} f''(x) + \frac{h^3}{3!} f'''(x) + \frac{h^4}{4!} f^{IV}(x) + \dots \quad (21.12.1)$$

qatorni o'rtacha argument  $\frac{h}{2}$  orqali yozaylik. Buning uchun o'rtacha argument bo'yicha barcha tartibdagi hosilalarni topamiz.

Birinchi hosila:

$$f(x + \frac{h}{2}) = f(x) + \frac{h}{2} f'(x) + \frac{h^2}{8} f''(x) + \frac{h^3}{48} f'''(x) + \dots;$$

bundan quyidagini topamiz

$$f(x) = f(x + \frac{h}{2}) - \frac{h}{2} f'(x) - \frac{h^2}{8} f''(x) - \frac{h^3}{48} f'''(x) - \dots \quad (21.12.2)$$

(21.12.2)ni (21.12.1)ga qo'ysak,

$$\begin{aligned} f(x+h) &= f(x) + hf' \left( x + \frac{h}{2} \right) - \frac{h^2}{2} f''(x) - \frac{h^3}{8} f'''(x) - \frac{h^4}{48} f^{IV}(x) - \dots \\ &+ \frac{h^2}{2} f''(x) + \frac{h^3}{3!} f'''(x) + \frac{h^4}{4!} f^{IV}(x) + \dots; \end{aligned}$$

yoki

$$f(x+h) = f(x) + hf'(x) + \frac{h^2}{2} f''(x) + \frac{h^3}{24} f'''(x) + \frac{h^4}{48} f^{(4)}(x) + \dots \quad (21.12.3)$$

ni hosil qilamiz.

O'rtacha argument bo'yicha uchinchi hosilani olamiz.

$$f''\left(x + \frac{h}{2}\right) = f''(x) + \frac{h}{2} f'''(x) + \dots; \quad \text{bundan}$$

$$f'''(x) = f''\left(x + \frac{h}{2}\right) - \frac{h}{2} f'''(x) - \dots \quad (21.12.4)$$

(21.12.3) va (21.12.4) dan foydalanib yozamiz:

$$f(x+h) = f(x) + hf'\left(x + \frac{h}{2}\right) + \frac{h^2}{24} \left[ f''\left(x + \frac{h}{2}\right) - \frac{h}{2} f'''(x) - \dots \right] + \frac{h^4}{48} f^{(4)}(x) + \dots \text{ yoki}$$

$$f(x+h) = f(x) + hf'\left(x + \frac{h}{2}\right) + \frac{h^2}{24} f''\left(x + \frac{h}{2}\right) - \frac{h^4}{48} f^{(4)}(x) - \dots + \frac{h^4}{48} f^{(4)}(x) + \dots,$$

bundan

$$f(x+h) = f(x) + hf'\left(x + \frac{h}{2}\right) + \frac{h^2}{24} f''\left(x + \frac{h}{2}\right) \quad (21.12.5)$$

(21.12.5) dan ko'ramizki o'rtacha argument bo'yicha funksiya qatorga yoyilsa juft darajali xadlar qisqarib ketar ekan.

21.12.1-shaklda  $Q_1 Q_2$  geodezik chiziq o'rtasidan  $Q_0$  nuqta olamiz. Agarda geodezik chiziq uzunligi  $S$  ga teng bo'lsa,

$$Q_1 Q_0 = Q_0 Q_2 = \frac{S}{2};$$

(21.12.5) dan foydalanib, koordinatani uzatish uchun formula yozamiz

Izox:  $B_2, L_2, A_2$  lar (21.12.5) dagi  $f(x+h)$ ;

$B_1, L_1, A_1$  lar (21.12.5) dagi  $f(x)$  desak,

$$\left. \begin{aligned} B_2 - B_1 &= \left( \frac{dB}{dS} \right)_0 S + \left( \frac{d^2 B}{dS^2} \right)_0 \frac{S^2}{24} + \dots \\ L_2 - L_1 &= \left( \frac{dL}{dS} \right)_0 S + \left( \frac{d^2 L}{dS^2} \right)_0 \frac{S^2}{24} + \dots \\ A_2 - A_1 \pm 180^\circ &= \left( \frac{dA}{dS} \right)_0 S + \left( \frac{d^2 A}{dS^2} \right)_0 \frac{S^2}{24} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (21.12.6)$$

(21.12.6) ga (21.10.1) dan foydalanib, uchinchi tartibli hosilalarni topib qo'ysak ishchi formulalar kelib chiqadi. Formula indeksidagi  $0$  hosila o'rtacha argumentlar  $L_0, B_0, A_0$  bo'yicha olinishi kerakligini ko'rsatadi. Lekin  $L_m, B_m, A_m$  o'rtacha argumentlar geodezik chiziqning  $L_m, B_m, A_m$  nuqtalariga to'g'ri keladi (21.12.1-shakl).  $Q_0$  nuqtaga to'g'ri kelmaydi, shu sababli (21.12.26) formulaga  $(B_m - B_0), (L_m - L_0), (A_m - A_0)$  farqlar uchun

tuzatmalar kiritilishi kerak. Buning uchun  $\left(\frac{dB}{dS}\right)_a$  xususiy hosiladan  $\left(\frac{dB}{dS}\right)_m$  ko'rinishdagi xususiy hosilaga o'tish kerak,

$$\left(\frac{dB}{dS}\right)_a = \left(\frac{dB}{dS}\right)_m - \frac{S^2 \left(\frac{d^2 B}{dS^2}\right)_m}{dB} - \frac{\partial \left(\frac{dB}{dS}\right)_m}{dA} - \frac{S^2 \left(\frac{d^2 A}{dS^2}\right)_m}{dA} \frac{\partial \left(\frac{dB}{dS}\right)_m}{dA} \quad (21.12.7)$$

Xuddi shunday uzoqlik va azimut uchun xususiy hosilalar orasidagi bog'lanish tenglamalarini yozish mumkin. Murakkab bo'lmagan o'zgarishlar kiritib qo'yidagi ishchi formulalarini olamiz:

Formulalar to'plami

$$\lg b'' = \lg[(1)_m S \cos A_m] + \Delta \lg b$$

$$\lg l'' = \lg[(2)_m S \sin A_m \sec B_m] + \Delta \lg l$$

$$\lg l'' = \lg[(2)_m S \sin A_m \operatorname{tg} B_m] + \Delta \lg l$$

$$\Delta \lg b = \frac{1}{4} \omega^2 \sin^2 B_m + \frac{1}{2} \omega^2$$

$$\Delta \lg l = \frac{1}{4} \omega^2 \sin^2 B_m - \frac{1}{4} \omega b^2$$

$$\Delta \lg l = \frac{1}{4} \omega^2 \sin^2 B_m + \frac{1}{2} \omega^2 \cos^2 B_m + \frac{1}{2} \omega b^2$$

$$B_2 = B_1 + b'' \quad L_2 = L_1 + l''$$

$$A_2 = A_1 \pm 180^\circ + l''$$

Bu formulalardan foydalanishda o'rtacha kenglik  $B_m$  va o'rtacha azimut  $A_m$  qiymatlari noma'lum bo'lganligi sababli masalani yechish ketma-ket yaqinlashish usulida amalga oshiriladi.

Birinchi yaqinlashishda o'rtacha kenglik va o'rtacha azimutni taqribiy qiymatlari topiladi:

$$B'_m = \frac{B_1 + B_2'}{2}; \quad A'_m = \frac{A_1 + (A_2' \pm 180^\circ)}{2}$$

bunda

$$B_2' = B_1 + S \cos A_1(1)_1 = B_1 + b';$$

$$A_2' = A_1 + 180^\circ + S \sin A_1 \operatorname{tg} B_1(2)_1 = A_1 \pm 180^\circ + l'$$

Uzoqliklar farqini topish uchun quyidagi formuladan foydalaniladi

$$l' = S \sin A_1 \sec B_1(2)_1$$

IKKINCHI YAQINLASHISHDA, BIRINCHI YAQINLASHISHDA ANIQLANILGAN KATTALIKLAR  $B''_m, A''_m, b'', l''$  VA  $l'$  LARDAN FOYDALANIB  $\Delta \lg b, \Delta \lg l, \Delta \lg l'$  TUZATMALAR TOPIлади. BU TUZATMALAR KIRITILIB  $B''_m, A''_m, b'', l'', l''$  KATTALIKLAR TOPIлади.

Yuqoridagidek yaqinlashish oxirgi ikki yaqinlashishda teng natijalar olinguncha davom etiriladi.

Triangulyatsiya to'ri loyixasi tuzilgan xarita mavjud bo'lsa, masalani yechish ancha osonlashadi, ya'ni xaritadan kengliklar farqi  $b_0$  va uzoqliklar farqi  $l_0$  olinadi. Birinchi yaqinlashishda,

$$B''_m = B_1 + \frac{b_0}{2}; \quad A''_m = A_1 + \frac{l_0 \sin B''_m}{2} \text{ lar topiladi.}$$

Bu kattaliklardan foydalanib  $b', t', l'$  lar hisoblab topiladi.

Agar  $S < 40$  km bo'lsa,  $\omega^2$  ko'rinishdagi  $\frac{1}{4} \omega^2 (\sin B_m)^2; \frac{1}{2} \omega^2 (l \cos B_m)^2; \frac{1}{2} \omega^2; \frac{1}{2} \omega b^2; \frac{1}{4} \omega b^2$  tuzatmalar,  $\lg \sin B_m; \lg \cos B_m; \lg l; \lg b$  argumentlar bo'yicha jadvaldan olinadi.

### O'rtacha argument formulalardan foydalanib teskari geodezik masalani yechish

Teskari geodezik masalani yechishda boshlang'ich va oxirgi punkt-larning (ikkita punktni) koordinatalari beriladi:  $Q_1(B_1 L_1); Q_2(B_2 L_2)$ . O'z navbatida punktlar orasidagi masofa  $S$  va uning to'g'ri va tekkari azimutlari  $A_1$  va  $A_2$  hisoblab topiladi.

Teskari geodezik masalani yechishda ishlatiladigan formulalar to'g'ri geodezik masalani yechishda ishlatiladigan formulalar asosida keltirib chiqariladi. Quyida teskari geodezik masalani yechish uchun formulalar to'plami keltirilgan:

$$B_m = \frac{1}{2}(B_1 + B_2); \quad b = B_2 - B_1; \quad l = L_2 - L_1;$$

$$\lg S = \lg P - \lg \sin A_m = \lg Q - \lg \cos A_m;$$

$$\lg P = \lg S \sin A_m = \lg \frac{l'' \cos A_m}{(2)_m} + \Delta \lg P'';$$

$$\lg Q = \lg S \cos A_m = \lg \frac{b''}{(1)_m} + \Delta \lg b'';$$

$$\Delta \lg l'' = + \frac{1}{4} \omega b''^2 - \frac{1}{4} \omega^2 \sin^2 B_m;$$

$$\Delta \lg b'' = -\frac{1}{2} \omega t'^2 - \frac{1}{4} \omega t'^3 \sin^2 B_m;$$

$$\lg \operatorname{tg} A_m = \lg P - \lg Q;$$

$$\lg r'' = \lg r' \sin B_m + \Delta \lg r;$$

$$\Delta \lg r = +\frac{3}{4} \omega b'^2 + \frac{1}{2} \omega t'^2 \cos^2 B_m;$$

$$A_1 = A_m - \frac{1}{2} t;$$

$A_m$  o'rtacha azimut choragi  $P$  va  $Q$  ning ishoralariga qarab aniqlaniladi. Teskari geodezik masalani yechishda ketma-ket yaqinlashish bajarilmaydi, chunki  $B_m$  ning qiymati birdaniga aniqlanadi. Yuqorida keltirilgan formulalar  $S < 40 \text{ km}$  bo'lganda ishlatish uchun yaroqli.

O'rtacha argument formulalaridan foydalanib teskari geodezik masalani yechish uchun nolagorifmlik ishchi formulalar:

$$S \sin A_m = D [a_1 \bar{I} + a_2 \bar{\Delta B}^2 \bar{I} + a_3 \bar{I}^3] = D \sum_1 \quad (21.12.8)$$

$$S \cos A_m = D [a_4 \bar{\Delta B} + a_5 \bar{\Delta B} \bar{I}^2 + a_6 \bar{\Delta B}^3] = D \sum_2 \quad (21.12.9)$$

$$\Delta A = \sin B_m [a_7 \bar{I} + a_8 \bar{\Delta B}^2 \bar{I} + a_9 \bar{I}^3] = \sin B_m \sum_3 \quad (21.12.10)$$

bunda

$$\bar{\Delta B} = (B_2 - B_1)^{11} \cdot 10^{-4}; \quad D = \frac{m + \cos^2 B_m}{n + \cos^2 B_m}$$

$$\bar{I} = (L_2 - L_1)^{11} \cdot 10^{-4}; \quad \begin{matrix} m = 593.602160 \\ n = 197.867385 \end{matrix}$$

$$a_1 = 103422,05 \cos B_m$$

$$a_2 = 9.5144 \cos B_m + 0.5525 \cos^3 B_m - 0.0078 \cos^5 B_m$$

$$a_3 = -10.1287 \cos B_m + 10.1287 \cos^3 B_m$$

$$a_4 = 103422,05 - 696.9116 \cos^2 B_m + 4.6954 \cos^4 B_m - 0.0310 \cos^6 B_m$$

$$a_5 = -30.3860 + 10.3334 \cos^2 B_m - 0.2061 \cos^4 B_m + 0.0014 \cos^6 B_m$$

$$a_6 = -0.2048 + 0.4192 \cos^2 B_m - 0.0124 \cos^4 B_m$$

$$a_7 = 10000 = 10^4$$

$$a_8 = 2.9381 + 0.0132 \cos^2 B_m$$

$$a_9 = 1.9587 \cos^2 B_m + 0.0132 \cos^4 B_m$$

(21.12.8), (21.12.9), (21.12.10) formulalardan teskari geodezik masalani yechish formulalarini hosil qilamiz:

$$A_m = \arctg \frac{\sum_1}{\sum_2}; \quad S_1 = \frac{D \sum_1}{\sin A_m}; \quad S_2 = \frac{D \sum_2}{\cos A_m}$$

$$S_{o'r} = \frac{S_1 + S_2}{2}; A_{12} = A_m - \frac{1}{2} \Delta A;$$

$$A_{21} = A_m \pm 180^\circ + \frac{1}{2} \Delta A$$

Yuqoridagi formulalardan foydalanib, o'rtacha masofada ( $S \leq 600 \text{ km}$ ), teskari geodezik masalani yechish natijasida nuqtalar orasidagi masofa  $\pm 5 \div 10 \text{ cm}$ , yo'nalish azimuti  $\pm 0,05''$  aniqlikda topiladi.

$\cos B_m$  qiymatini  $a_1$  koeffitsientni hisoblashdi yetti xona,  $a_2$ ni hisoblashda olti xona, qolgan  $a$  koeffitsientlarni hisoblashda to'rt xona aniqlikda olish kerak.

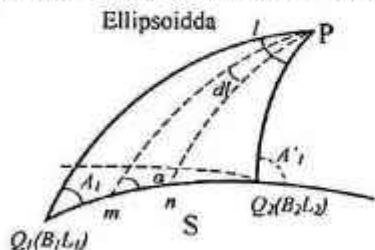
### § 21.13. Katta masofalarda bosh geodezik masalalarni yechish (bessel usuli)

Bu usul bilan geodezik masalani yechishda, qidirilayotgan kattaliklar to'g'ridan-to'g'ri bevosita hisoblab topiladi. Bessel usulida masalani yechish quyidagi tartibda bajariladi:

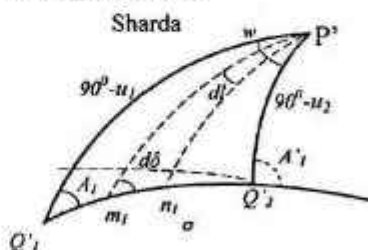
1. Sferoidik uchburchakni berilgan uch elementi va geodezik chiziqni asosiy tenglamasi  $\cos u_1 \sin A_1 = \cos u_2 \sin A_2 = \cos t$  dan foydalanib  $Q_1 P Q_2$  uchburchak (21.13.1-shakl) sharga ko'chiriladi;

2. Shar sathida hosil kilingan  $Q_1' P' Q_2'$  sferik uchburchak ma'lum bo'lgan elementlari orqali yechiladi;

3. Hisoblab topilgan sferik uchburchak elementlaridan ularga mos bo'lgan sferoidik uchburchak elementlariga o'tiladi;



21.13.1-shakl



21.13.2-shakl

Sferik uchburchak  $Q_1' P' Q_2'$  va sferoidik uchburchak  $Q_1 P Q_2$  orasida quyidagi munosabatlar mavjud:

a)  $Q_1' P'$  va  $Q_2' P'$  tomonlar sharda,  $Q_1$  va  $Q_2$  nuqtalarning keltirilgan kengliklarini  $90^\circ$  ga to'ldirilganiga teng, ya'ni

$$Q_1' P' = 90^\circ - u_1$$

$$Q_2' P' = 90^\circ - u_2$$

b) Sferadagi katta aylana yoyi  $\sigma$ , ellipsoid sathidagi  $Q_1$  va  $Q_2$  nuqtalar orasidagi  $S$  geodezik chiziqqa mos keladi.

v) Sferoidik uchburchak  $Q_1PQ_2$  ni  $Q_1$  va  $Q_2$  nuqtalaridagi burchaklar, sferik uchburchak  $Q_1'P'Q_2'$  ning  $Q_1'$  va  $Q_2'$  nuqtalaridagi burchaklariga teng.

Bessel formulalarini keltirib chiqarish uchun ellipsoid sathidagi  $S$  geodezik chiziq bilan shardagi katta aylana yoyi  $\sigma$  orasidagi bog'lanishni ifodalash zarur. Bundan tashqari ellipsoiddagi nuqtalar uzoqligi orasidagi farq  $l$  bilan shardagi mos nuqtalarni orasidagi uzoqliklar farqi  $\omega$  orasidagi bog'lanishni o'rnatish zarur.

Formulalarni keltirib chiqarish quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1.  $S$  va  $\sigma$ ;  $l$  va  $\omega$  oralaridagi bog'lanishni ifodalovchi differensial tenglamalarni keltirib chiqariladi;

2. Keltirib chiqarilgan differensial tenglamalarni integrallanadi;

3. Uchburchak sharda yechiladi va natijada qidirilayotgan kattaliklar aniqlanadi.

## DIFFERENSIAL TENGLAMALARNI Keltirib Chiqarish

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$ds$ -ellipsoid sathidagi geodezik chiziqning  $S$ ni cheksiz kichik elementi.

$\alpha$ - $ds$  chiziq azimuti

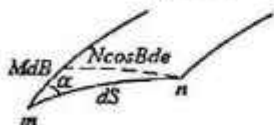
$B$  va  $u$   $m$  nuqtaning geodezik va keltirilgan kengliklari.

$du$  va  $dl$   $m$  va  $n$  nuqtalarning kenglik va uzoqliklari farqi.

$d\sigma$ -ellipsoiddagi  $ds$  ga mos keluvchi shar katta aylana yoyining cheksiz kichik elementi.

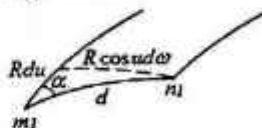
$d\omega$ -shardagi  $m_1$  va  $n_1$  nuqtalarning uzoqliklari farqi.

A)  $S$  va  $\sigma$  orasidagi bog'lanish



ellipsoidda

21.13.3-shakl



sharda

21.13.4-shakl

21.13.3, 21.13.4 shakllardan:

sharda  $Rdu = d\sigma \cos \alpha$ ;

ellipsoidda  $MdB = ds \cos \alpha$ ;



bulardan

$$\frac{Rdu}{MdB} = \frac{d\sigma \cos \alpha}{ds \cos \alpha};$$

SHar radiusini birga teng deb olsak

$$\frac{du}{dB} = M \frac{d\sigma}{ds}; \quad (21.13.1)$$

$$\text{Bizga ma'lumki } y = b \sin u; \quad b = a\sqrt{1-e^2}; \quad y = \frac{a(1-e^2) \cdot \sin B}{\sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2 B}};$$

bulardan

$$\sin u = \frac{\sqrt{1-e^2} \cdot \sin B}{\sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2 B}} \quad (21.13.2)$$

$$\operatorname{tg} u = \sqrt{1-e^2} \cdot \operatorname{tg} B, \quad \operatorname{tg}^2 u = (1-e^2) \cdot \operatorname{tg}^2 B, \quad \operatorname{tg}^2 B = \frac{\operatorname{tg}^2 u}{(1-e^2)};$$

$1 + \operatorname{tg}^2 B = \sec^2 B$  ekanligini inobatga olib,

$$1 - \sec^2 B = -\frac{\operatorname{tg}^2 u}{1-e^2};$$

deb yozishimiz mumkin, bundan

$$\frac{1}{\cos^2 B} = 1 + \frac{\operatorname{tg}^2 u}{1-e^2}, \quad \cos^2 B = \frac{1-e^2}{1-e^2 + \operatorname{tg}^2 u} = \frac{(1-e^2) \cdot \cos^2 u}{\cos^2 u - e^2 \cdot \cos^2 u + \sin^2 u}; \quad (21.13.3)$$

(21.13.2)ni diferensiallab, topamiz

$$\cos u du = \frac{\sqrt{1-e^2} \cdot \cos B \cdot \sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2 B} - \sqrt{1-e^2} \cdot \sin B}{1-e^2 \cdot \sin^2 B} dB$$

$$\left[ \frac{1}{2} \cdot (1-e^2 \cdot \sin^2 B)^{-\frac{1}{2}} (-2e^2 \cdot \sin B \cdot \cos B) \right] dB$$

$$\text{yoki} \quad \cos u du = \sqrt{1-e^2} \left[ \frac{\cos B}{\sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2 B}} + \frac{e^2 \cdot \sin^2 B \cdot \cos B}{(1-e^2 \cdot \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} \right] dB;$$

$$\text{bundan} \quad \frac{du}{dB} = \frac{\sqrt{1-e^2}}{\cos u} \left[ \frac{\cos B \cdot (1-e^2 \cdot \sin^2 B) + e^2 \cdot \sin^2 B \cdot \cos B}{(1-e^2 \cdot \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} \right];$$

$$\text{yoki} \quad \frac{du}{dB} = \frac{1-e^2}{\cos u} \cdot \frac{\cos B}{(1-e^2 \cdot \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} \quad (21.13.4)$$

(21.13.3)ni (21.13.4)ga qo'yib, tenglikning o'ng tomonini surat va maxrajini  $a$  ga ko'paytirib, qo'yidagini topamiz

$$\frac{du}{dB} = \frac{\sqrt{1-e^2}}{\cos u} \cdot \frac{1}{(1-e^2 \cdot \sin^2 B)^{3/2}} \cdot \frac{a\sqrt{1-e^2} \cdot \cos u}{a\sqrt{1-e^2} \cdot \cos^2 u},$$

$$\frac{du}{dB} = \frac{a \cdot (1-e^2)}{a \cdot (1-e^2 \cdot \sin^2 B)^{3/2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-e^2} \cdot \cos^2 u},$$

yoki 
$$\frac{du}{dB} = \frac{M}{a} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-e^2} \cdot \cos^2 u}, \quad (21.13.5)$$

(21.13.1) va (21.13.5) formulalar asosida

$$\frac{M}{a} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-e^2} \cdot \cos^2 u} = M \frac{d\sigma}{ds},$$

deb yozishimiz mumkin, bundan

$$ds = a\sqrt{1-e^2 \cdot \cos^2 u} d\sigma \quad (21.13.6)$$

b)  $l$  va  $w$  orasidagi bog'lanish

21.13.3 va 21.13.4-shakllardan:

$R \cos u \sin \alpha = d\sigma \sin \alpha$  sharda,

$N \cos B dl = ds \sin \alpha$  ellipsoidda

bulardan:

$$\frac{N \cdot \cos B dl}{R \cdot \cos u \sin \alpha} = \frac{ds \sin \alpha}{d\sigma \sin \alpha},$$

$R=l$  deb qabul qilsak,

$$N \cos B dl = \frac{\cos u \, dw \, ds}{d\sigma}; \quad (21.13.7)$$

(21.13.6) va (21.13.7) formulalar asosida,

$$N \cos B dl = a \cos u \sqrt{1-e^2 \cdot \cos^2 u} \, dw;$$

$$x = a \cos u; \quad r = N \cos B; \quad x=r \quad \text{ekanligini inobatga olsak,}$$

$$dl = a\sqrt{1-e^2 \cdot \cos^2 u} \, dw \quad (21.13.8)$$

kelib chiqadi.

### Differensial tenglamalarni integrallash

#### A) $s$ va $\sigma$ orasidagi bog'lanish

$Q_1'P'Q_2'$  sferik uchburchakning (21.13.5-shakl)  $P'$  uchidan, uning  $Q_1'Q_2'$  tomonini davomiga perpendikulyar tushiramiz ( $R'S$ ).

$Q_1'P'$  to'g'ri burchakli sferik uchburchakning  $P'$  tomonini  $m$ ;  $Q_1'c$  ni  $90^\circ - M$  orqali belgilaymiz.  $Q_2'$  nuqta kenligini  $u$  ga teng deb olamiz, unda  $Q_2'P'$  to'g'ri burchakli sferik uchburchakdan (Pifagor sferik formulasi)

$$\cos(90^\circ - u) = \cos m \cdot \cos[90^\circ - (M + \sigma)];$$

deb yozishimiz mumkin, yoki



$$\begin{aligned} \sqrt{1+k^2 \sin^2(M+\sigma)} &= 1 + \frac{1}{2}k^2 \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2(M+\sigma) \right] - \\ &- \frac{1}{8}k^4 \left[ \frac{3}{8} - \frac{1}{2} \cos 2(M+\sigma) + \frac{1}{8} \cos 4(M+\sigma) \right] = 1 + \frac{1}{4}k^2 - \frac{1}{4}k^4 \cos 2(M+\sigma) - \\ &- \frac{3}{64}k^4 \cos 2(M+\sigma) - \frac{1}{64}k^4 \cos 4(M+\sigma) = \\ &= \left(1 + \frac{1}{4}k^2 - \frac{3}{64}k^4\right) - \cos 2(M+\sigma) \left[ \frac{1}{4}k^2 - \frac{1}{16}k^4 \right] - \frac{1}{64}k^4 \cos 4(M+\sigma); \quad (13.13) \end{aligned}$$

Belgilash kiritamiz:

$$\left. \begin{aligned} 1 + \frac{1}{4}k^2 - \frac{1}{64}k^4 &= A \\ \frac{1}{4}k^2 - \frac{1}{64}k^4 &= B \end{aligned} \right\} \quad (13.14)$$

$$\frac{1}{64}k^4 = 2C$$

(21.13.11), (21.13.13) va (21.13.14) formulalar asosida quyidagini yozamiz:

$$S = b \int_0^\sigma [A - B \cos 2(M+\sigma) - 2C \cos 4(M+\sigma)] d\sigma; \quad (21.13.15)$$

(21.13.15)ni hadma-had integrallaymiz:

$$\begin{aligned} \text{II} &= B \int_0^\sigma \cos 2(M+\sigma) d\sigma = B \left[ \frac{1}{2} \sin 2(M+\sigma) \right]_0^\sigma = \frac{1}{2} B [\sin 2(M+\sigma) - \sin 2M] = \\ &= \frac{1}{2} B \left[ 2 \cos \frac{2(M+\sigma)+2M}{2} \cdot \sin \frac{2(M+\sigma)-2M}{2} \right] = B \sin \sigma \cos(2M+\sigma); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{III} &= 2C \int_0^\sigma \cos 4(M+\sigma) d\sigma = 2C \left[ \frac{1}{4} \sin 4(M+\sigma) \right]_0^\sigma = \frac{1}{2} C [\sin 4(M+\sigma) - \sin 4M] = \\ &= \frac{1}{2} C \left[ 2 \cos \frac{4(M+\sigma)+4M}{2} \cdot \sin \frac{4(M+\sigma)-4M}{2} \right] = C \sin 2\sigma \cos(4M+2\sigma), \end{aligned}$$

integrallash amalga oshirilgandan so'ng (21.13.15) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$S = Ab\sigma - Bb \sin \sigma \cos(2M+\sigma) - cb \sin 2\sigma \cos(4M+2\sigma); \quad (21.13.16)$$

Teskari bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$\sigma^* = \frac{\rho^*}{Ab} S + \frac{\rho^*}{A} B \sin \sigma \cos(2M+\sigma) - C b \sin 2\sigma \cos(4M+2\sigma); \quad (21.13.17)$$

$$\frac{\rho^*}{Ab} = \alpha; \quad \frac{\rho^*}{A} B = \beta; \quad \frac{\rho^*}{A} c = \gamma; \text{ deb belgilab,}$$

(21.13.17) ni quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\sigma^* = \alpha \cdot s + \beta \cdot \sin \sigma \cdot \cos(2M+\sigma) + \gamma \cdot \sin 2\sigma \cdot \cos(4M+2\sigma) \quad (21.13.18)$$

To'g'ri bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$S = \frac{1}{2} \cdot [\sigma' - \beta \cdot \sin \sigma \cdot \cos(2M + \sigma) - \gamma \cdot \sin 2\sigma \cdot \cos(4M + 2\sigma)] \quad (21.13.19)$$

b)  $l$  va  $w$  orasidagi bog'lanish

21.13.4-shakldan

$$R \cos u dw = d\sigma \sin \alpha; \quad (21.13.20)$$

$Q_2P'$  to'g'ri burchakli sferik uchburchakdan:

$$\sin \alpha = \frac{\sin m}{\sin(90^\circ - u)} = \frac{\sin m}{\cos u}; \quad (21.13.21)$$

(21.13.20) va (21.13.21) formulalar asosida topamiz:

$$dw = \frac{\sin m}{\cos^2 u} \cdot d\sigma; \quad (21.13.22)$$

(shartga ko'ra  $R=l$ ):

$dl = a\sqrt{1 - e^2 \cdot \cos^2 u} dw$  formulani binom qatorgiga yoyamiz va to'rinchi darajali hadni saqlab qolib, quyidagini olamiz:

$$dl = \left(1 - \frac{1}{2}e^2 \cos^2 u - \frac{1}{8}e^4 \cos^4 u - \dots\right) dw;$$

Uni integrallaymiz:

$$l = w - \frac{1}{2}e^2 \int_0^\sigma (\cos^2 u + \frac{1}{4}e^2 \cos^4 u) dw;$$

(21.13.22) ni inobatga olib, topamiz:

$$l = w - \frac{1}{2}e^2 \int_0^\sigma \left(\cos^2 u + \frac{1}{4}e^2 \cos^4 u\right) \frac{\sin m}{\cos^2 u} d\sigma;$$

$\sin m$  — doimiy kattalik bo'lganligi uchun,

$$l = w - \frac{1}{2}e^2 \sin m \int_0^\sigma \left(1 + \frac{1}{4}e^2 \cos^4 u\right) d\sigma; \quad (21.13.23)$$

deb yozishimiz mumkin. Agar (21.13.10)ni (21.13.23)ga qo'ysak, quyidagini olamiz:

$$l = w - \frac{1}{2}e^2 \cdot \sin m \int_0^\sigma \left[1 + \frac{1}{4}e^2 - \frac{1}{4}e^2 \cdot \cos^2 m \cdot \sin^2(M + \sigma)\right] d\sigma;$$

$\sin^2(M + \sigma) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \cos 2(M + \sigma)$  ekanligini hisobga olib,

$$\begin{aligned} l &= w - \frac{1}{2}e^2 \cdot \sin m \int_0^\sigma \left\{1 + \frac{1}{4}e^2 - \frac{1}{4}e^2 \cdot \cos^2 m \cdot \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2(M + \sigma)\right]\right\} d\sigma = \\ &= w - \frac{1}{2}e^2 \cdot \sin m \int_0^\sigma \left[1 + \frac{1}{4}e^2 \cdot \cos^2 m + \frac{1}{8}e^2 \cdot \cos^2 m \cdot \cos 2(M + \sigma)\right] d\sigma; \end{aligned}$$

Bu formulani integrallaymiz:

$$l = w - \frac{1}{2}e^2 \cdot \sin m \left( 1 + \frac{1}{4}e^2 - \frac{1}{8}e^2 \cdot \cos^2 m \right) \sigma - \frac{1}{16}e^4 \cdot \sin m \cdot \cos^2 m \cdot \int_0^\sigma \frac{1}{2} \sin 2(M + \sigma) \quad (21.13.24)$$

Bu tenglikni oxirgi hadini alohida yechamiz:

$$\int_0^\sigma \frac{1}{2} \sin 2(M + \sigma) = \frac{1}{2} [\sin 2(M + \sigma) - \sin 2M] = \cos(2M + \sigma) \sin \sigma; \quad (21.13.25)$$

(21.13.25)ni hisobga olsak (21.13.24) quyidagi ko'rinishni oladi:

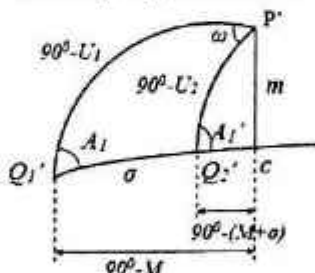
$$l = w - \frac{1}{2}e^2 \cdot \sin m \left( 1 + \frac{1}{4}e^2 - \frac{1}{8}e^2 \cdot \cos^2 m \right) \sigma - \frac{1}{16}e^4 \cdot \sin m \cdot \cos^2 m \cdot \sin \sigma \cdot \cos(2M + \sigma); \quad (21.13.26)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2}e^2 + \frac{1}{8}e^4 - \frac{1}{16}e^4 \cdot \cos^2 m &= \alpha_1 \\ \frac{1}{16}e^4 \cdot \cos^2 m \cdot p^* &= \beta_1 \end{aligned} \right\} \text{деб белгилыймиз}$$

$l$  ni yoy sekundlarida ifodalab, topamiz:

$$l'' = w'' - \sin m \cdot [\alpha_1 \cdot \sigma^* + \beta_1 \cdot \sin \sigma \cdot \cos(2M + \sigma)] \quad (21.13.27)$$

Katta masofada to'g'ri geodezik masalani yechish



21.13.6-shakl

Berilgan:

$Q_1$  nuqtaning koordinatalari  $B_1, L_1$ .

$Q_1$  va  $Q_2$  nuqtalar orasidagi masofa

(geodezik chiziq)- $S$

$Q_1Q_2$  chiziqni to'g'ri azimuti- $A_1$

Topish kerak:  $Q_2$  nuqtaning koordinatalari -  $B_2, L_2$ ;  $Q_1Q_2$  chiziq teskari azimuti -  $A_2$  ni

1) Berilgan geodezik kenglikdan foydalanib, boshlang'ich punktda keltirilgan kengligini hisoblanadi

$$\lg u_1 = \sqrt{1 - e^2} \lg B_1;$$

2)  $m$  va  $M$  kattaliklarni hisoblaymiz.  $Q_1'P'C$  to'g'ri burchakli sferik uchburchakdan:

$$\cos A_1 = \frac{\operatorname{tg}(90^\circ - M)}{\operatorname{tg}(90^\circ - u_1)}; \quad \text{yoki} \quad \cos A_1 = \frac{\operatorname{tg} u_1}{\operatorname{tg} M}; \quad \text{bulardan} \quad \operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg} u_1}{\cos A_1};$$

Bizga ma'lumki,

$$\sin m = \sin A_1 \cdot \cos u_1;$$

3)  $\alpha; \beta; \gamma; \alpha_1; \beta_1$  ko'effitsientlarni hisoblaymiz:

Oldin  $k^2 = e^2 \cdot \cos^2 m$  hisoblab topiladi, so'ngra  $A, B, C$  ko'effitsientlar hisoblanadi, undan so'ng  $\alpha; \beta; \gamma; \alpha_1; \beta_1$  ko'effitsientlar hisoblanadi.

4)  $S$  dan foydalanib,  $\sigma$  ketma-ket yaqinlashish orqali hisoblanadi:

$$1. \quad \sigma_1 \approx \alpha S;$$

$$2. \quad \sigma_2 \approx \sigma_1 + \beta \cdot \sin \sigma_1 \cdot \cos(2M + \sigma_1);$$

$$3. \quad \sigma_3 \approx \sigma_1 + \beta \cdot \sin \sigma_2 \cdot \cos(2M + \sigma_2) + \gamma \cdot \sin 2\sigma_2 \cdot \cos(4M + 2\sigma_2);$$

$$4. \quad \sigma_4 \approx \sigma_1 + \beta \cdot \sin \sigma_3 \cdot \cos(2M + \sigma_3) + \gamma \cdot \sin 2\sigma_3 \cdot \cos(4M + 2\sigma_3);$$

va x.k.

5)  $u_2; A_1'; w$  kattaliklarni topamiz:

$Q_2'P'C$  sferik to'g'ri burchakli uchburchakdan

$$\sin m = \sin(90^\circ - u_2) \cdot \sin A_1' \rightarrow \sin A_1' = \frac{\sin m}{\sin(90^\circ - u_2)};$$

$$\cos(90^\circ - u_2) = \cos m \cdot \cos[90^\circ - (M + \sigma)];$$

$$\text{yoki} \quad \sin A_1' = \frac{\sin m}{\cos u_2}; \quad \sin u_2 = \cos m \cdot \sin(M + \sigma);$$

(Izoh: oldin  $\sin u_2$ , so'ngra  $\sin A_1'$  hisoblanadi).

Tekshirish:  $\cos u_2 \cdot \cos A_1' = \cos m \cdot \cos(M + \sigma);$

$Q_1'P'Q_2'$  uchburchagidan uzoqliklar farqini topish uchun sinuslar teoremasidan foydalanamiz:

$$\frac{\sin w}{\sin \sigma} = \frac{\sin A_1}{\sin(90^\circ - u_2)};$$

$$\frac{\sin w}{\sin \sigma} = \frac{\sin(180^\circ - A_1')}{\sin(90^\circ - u_1)};$$

bulardan:

$$\sin w = \sin \sigma \frac{\sin A_1}{\cos u_2};$$

$$\sin w = \sin \sigma \frac{\sin A_1}{\sin u_1};$$

6) Sferik uzoqliklar farqi  $w$  orqali sferoidik uzoqliklar farqi  $l$  hisoblanadi:

$$l'' = w'' - \sin m \cdot [\alpha_1 \cdot \sigma'' + \beta_1 \cdot \sin \sigma \cdot \cos(2M + \sigma)];$$

7) Keltirilgan kenglik  $u_2$  dan geodezik kenglik  $V_2$ ga o'tiladi:

$$\operatorname{tg} B_2 = \frac{\operatorname{tg} u_2}{\sqrt{1-e^2}}.$$

### Katta masofalarda teskari geodezik masalani yechish

Berilgan:  $Q_1$  va  $Q_2$  nuqtalarning koordinatalari –  $Q_1(B_1, L_1)$  va  $Q_2(B_2, L_2)$ .

Topish kerak:  $Q_1$  va  $Q_2$  nuqtalar orasidagi masofa –  $S$  va shu nuqtalar orasidagi chiziqlarning to'g'ri  $A_1$  va teskari  $A_2$  azimutlarini.

1) Geodezik kengliklar  $V_1$  va  $V_2$  orqali keltirilgan kengliklar  $u_1$  va  $u_2$  lar hisoblanadi.

2) Geodezik uzoqliklar farqi  $l$  orqali sferik uzoqliklar farqi  $w$  hisoblanadi.

$Q_1 P Q_2$  sferik uchburchakdan Neper formulaci yordamida topamiz:

$$\operatorname{tg} \frac{A_1' + A_1}{2} = \frac{\cos \frac{u_2 + u_1}{2}}{\sin \frac{u_2 - u_1}{2}} \cdot \operatorname{tg} \frac{w}{2};$$

$$\operatorname{tg} \frac{A_1' - A_1}{2} = \frac{\sin \frac{u_2 + u_1}{2}}{\cos \frac{u_2 - u_1}{2}} \cdot \operatorname{tg} \frac{w}{2};$$

Bu formulalardan foydalanib  $A_1$  va  $A_1'$  ni topish uchun  $w$  qiymati noma'lum.  $w$  esa  $M, m$  va  $\sigma$  lar orqali ifodalanadi, ularning kattaliklari ham noma'lum. Shu sababli  $(A_1, A_1', M, m, \sigma, w)$  kattaliklarni topishda ketma-ket yaqinlashish usulidan foydalaniladi.

Birinchi yaqinlashishda  $wq_1$  deb olinadi va to'g'ri, teskari azimutlar,  $M, m, \sigma$  kattaliklari hisoblaniladi.

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg} u_1}{\cos A_1}; \quad \sin m = \sin A_1 \cdot \cos u_1;$$

$$\sin \sigma = \sin w \cdot \frac{\cos u_2}{\sin A_1} = \sin w \cdot \frac{\cos u_1}{\sin A_1};$$

Ikkinchi yaqinlashishni hisoblash uchun  $w$  ning qiymati quyidagi formula yordamida hisoblab topiladi:

$$w'' = l'' + \sin m [\alpha_1 \cdot \sigma'' + \beta_1 \cdot \sin \sigma \cdot \cos(2M + \sigma)];$$

so'ngra  $A_1, A_1', M, m, \sigma$  kattaliklari hisoblanadi.

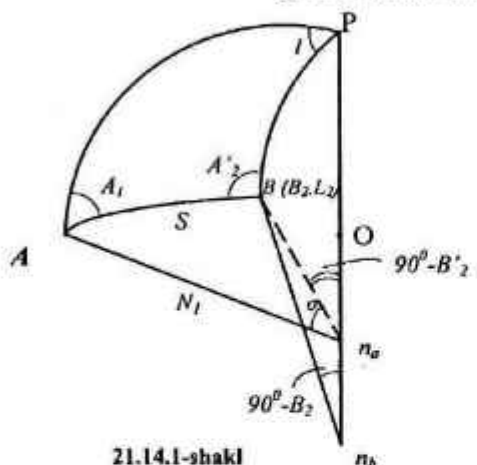
Yaqinlashish oxirgi ikki yaqinlashishda topilgan natijalar bir xil bo'lgunga qadar davom ettiriladi.



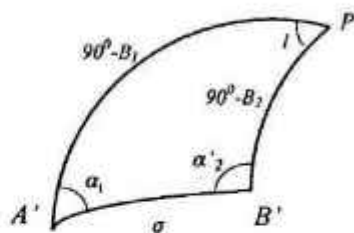
3)  $M$ ,  $m$ ,  $\sigma$  natijaviy qiymatlaridan foydalanib geodezik chiziqli uzunligi hisoblanadi:

$$S = \frac{1}{2} [\sigma' - \beta \cdot \sin \sigma \cdot \cos(4M + 2\sigma)];$$

### § 21.14. normal kesimlardan foydalanib bosh geodezik masalani yechish



21.14.1-shakl



21.14.2-shakl

21.14.1-shaklda ellipsoid sathidagi  $ARV$  qutub uchburchagi va 21.14.2-shaklda  $ARV$  uchburchagiga mos keladigan sfera sathidagi  $A'R'V'$  qutub uchburchagi keltirilgan.  $A'R'V'$  uchburchagini yasash uchun markazi  $n_a$  nuqtada, radiusi  $A$  nuqtadagi birinchi vertikal kesim egrilik radiusi  $N_l$  ga teng bo'lgan yordamchi sfera hosil qilinadi. Radiusi  $N_l$  ga teng bo'lgan katta aylanaga  $A'R' = 90^\circ - B_1$  liyoy qo'yiladi, natijada boshlang'ich nuqta meridianida  $R'$  va  $A'$  nuqtalar holati topiladi.

So'ngra ellipsoid sathidagi  $A$  nuqtadan  $V$  nuqtaga o'tkazilgan to'g'ri normal kesim azimuti  $A_l$  ga teng bo'lgan burchak  $A'$  nuqta meridianidan qo'yilib, shu burchak yo'nalishida  $\sigma$  katta aylana yoyi o'tkaziladi, bunda  $\sigma = \angle An_aB$  bo'lishi kerak.

Yechim umumiy tartibi quyidagicha bo'ladi:

a) Sferoidik uchburchakning ma'lum elementlaridan ularga mos bo'lgan sferik uchburchak elementlariga o'tiladi;

b) Sferik uchburchakni yechish orqali uning noma'lum kattaliklari sfera sathida aniqlaniladi;

v) Sfera sathida topilgan noma'lum kattaliklar ellipsoid sathiga qayta hisoblab o'tkaziladi.

Sferoidik va sferik uchburchaklar elementlari orasida bog'lanish o'rnatamiz:

Qutb uchburchagini  $A'P$  tomoni  $90^\circ - B_1$  ga teng.  $Bn_b$  va  $Bn_a$  chiziqlar  $B$  nuqtadan o'tgan meridian tekisligida yotibdi, shu sababli uzoqliklar farqiga teng bo'lgan  $\angle$  burchak sferaga o'tkazilishida o'zgarmaydi.

Ellipsoid sathida  $A_1$  azimut bilan berilgan  $S$  geodezik chiziqqa, sferada  $\alpha_1$  azimutida o'tkazilgan to'g'ri normal kesim mos keladi. Shu sababli  $A_1$  va  $\alpha_1$ ,  $S$  va  $\sigma$ ,  $B_2$  va  $B_2'$ ,  $\alpha_2'$  va  $A_2'$  lar orasidagi bog'lanishlarni o'rnatish zarur. Isbotsiz qo'yidagi munosabatlarni keltiramiz:

$$a) \alpha_1 = A_1 + \nu_1 - \nu_2 \quad (21.14.1)$$

$$\nu_1 = \frac{\eta_1^2 S^2 \sin A_1 \cos A_1}{6N_1^2} \rho''; \quad \nu_2 = \frac{\eta_1^2 S^4 \sin A_1 \operatorname{tg} B_1}{24N_1^4} \rho''; \quad (*)$$

$$b) \sigma = \frac{S}{N_1} \rho'' \left[ 1 + \frac{\eta_1^2 S^2}{6N_1^2} \cos^2 A_1 - \frac{\eta_1^4 S^2}{6N_1^2} \cos^4 A_1 - \frac{\eta_1^2 S^3 \operatorname{tg} B_1 \cos A_1}{8N_1^3} (1 - 2\eta_1^2 \cos^2 A_1) \right] \quad (21.14.2)$$

$$v) \operatorname{tg} B_2' = k \operatorname{tg} B_2, \quad (21.14.3)$$

$$\text{bunda } k = \left( 1 - e^2 + e^2 \frac{V_1 \sin B_1}{V_2 \sin B_2} \right)$$

$$V = \sqrt{1 + e^2 \cos^2 B};$$

$$2. \quad A_2' = \alpha_2' - \frac{\eta_1^2 S^2 \sin A_1 \cos A_1}{3N_1^2} + \frac{\eta_1^2 S^3 \sin A_1 \operatorname{tg} B_1}{8N_1^3}$$

$$(*) \text{ belgilashni inobatga olib quyidagiga yozishimiz mumkin} \quad (21.14.4)$$

$$A_2' = \alpha_2' - 2\nu_1 + 3\nu_2,$$

keltirilgan formulalarda  $\eta^2 = e^2 \cos^2 B$

Yuqorida keltirilgan formulalardan foydalanib sferoidik va sferik uchburchak elementlari orasidagi bog'lanishlar o'rnatiladi.

### To'g'ri geodezik masala

Boshlang'ich berilgan kattaliklar:  $B_1, L_1, A_1, L_1$ .

Aniqlanishi zarur bo'lgan kattaliklar:  $B_2, L_2, A_2$ .

1. (21.14.1) formuladan foydalanib geodezik chiziq azimuti  $A_1$  dan to'g'ri normal kesim azimuti  $\alpha_1$  ga o'tiladi.

2. (21.14.2) formuladan foydalanib geodezik chiziq uzunligidan normal kesim yoy uzunligiga o'tiladi.

3. Quyidagi formulalardan  $\alpha_2'$ ;  $l$ ;  $B_2'$  kattaliklar aniqlaniladi:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\alpha_2' + l}{2} &= \frac{\sin \frac{90^\circ - (B_1 - \sigma)}{2}}{\sin \frac{90^\circ - (B_1 + \sigma)}{2}} \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{\alpha_2' - l}{2} &= \frac{\cos \frac{90^\circ - (B_1 - \sigma)}{2}}{\cos \frac{90^\circ - (B_1 + \sigma)}{2}} \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{90^\circ - B_2'}{2} &= \frac{\sin \frac{\alpha_2' - l}{2}}{\sin \frac{\alpha_2' + l}{2}} \operatorname{tg} \frac{90^\circ - (B_1 + \sigma)}{2} \end{aligned}$$

4. (21.14.3) formuladan foydalanib ikkinchi nuqta kengligi  $B_2$  aniqlanadi (ya'ni  $B_2$ 'dan  $B_2$ ga o'tiladi).

5. Ikkinchi nuqta uzoqligi hisoblanadi  $L_2 = L_1 + l$

6. (21.14.4) formuladan foydalanib shardagi  $\alpha_2'$  azimutdan ellipsoiddagi geodezik chiziqlarning teskari azimuti  $A_2'$ ga o'tiladi.

### Teskari geodezik masala

Boshlang'ich berilgan kattaliklar:  $B_1$ ,  $L_1$ ;  $B_2$ ,  $L_2$

Aniqlanishi zarur bo'lgan kattaliklar:  $S$ ;  $A_1$ ;  $A_2$ .

1. (21.14.3) formuladan foydalanib  $B_2'$  kenglik hisoblanadi.

2. Sferik uchburchak tomonlari  $(90^\circ - B_1)$ ,  $(90^\circ - B_2)$  va ular orasidagi burchak  $l = L_2 - L_1$  orqali sferik uchburchak-quyidagi formulalar yordamida yechiladi:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\alpha_2' + \alpha_1}{2} &= \frac{\cos \frac{(B_2' - B_1)}{2}}{\sin \frac{(B_2' + B_1)}{2}} \operatorname{ctg} \frac{l}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{\alpha_2' - \alpha_1}{2} &= \frac{\sin \frac{(B_2' - B_1)}{2}}{\cos \frac{(B_2' + B_1)}{2}} \operatorname{ctg} \frac{l}{2} \\ \sin \sigma &= \frac{\sin l \cos B_1}{\sin \alpha_2'} = \frac{\sin l \cos B_2'}{\sin \alpha_1} \end{aligned}$$

Yuqoridagi formulalar yordamida  $\alpha_1$ ;  $\alpha_2'$ ;  $\sigma$  kattaliklari topiladi.

3. (21.14.1) va (21.14.4) formulalardan foydalanib geodezik chiziqlarning to'g'ri va teskari azimutlari hisoblanadi.

$$4. \quad S = \frac{\sigma''}{(2)_1} - \frac{\eta_1^2 S^3 \cos^2 A_1}{6 N_1^3} \rho'' \frac{N_1}{\rho''} + \frac{\eta_1^2 S^4 \cos A_1 \operatorname{tg} B_1}{8 N_1^4} \rho'' \frac{N_1}{\rho''}$$

formuladan foydalanib  $\sigma$  dan  $S$  ga o'tiladi.

$$\text{Agar } \frac{\eta_1^2 S^3 \cos^2 A_1}{6N_1^2} \rho'' = P_1$$

$$\frac{\eta_1^2 S^4 \cos A_1 \operatorname{tg} B_1}{8N_1^4} \rho'' = P_1$$

deb belgilasak va  $\frac{N_1}{\rho''}$  o'rtta kengliklarda birinchi vertikal kesimni bir sekundiga to'g'ri keladigan yoy uzunligi taxminan 31m ga teng kelishini inobatga olsak, unda

$$S = \frac{\rho''}{(2)_1} - 31(P_1 - P_2)$$

deb yozishimiz mumkin.

### Runge usulida to'g'ri geodezik masala yechish

EHM yordamida hisoblash uchun quyidagi formulalardan foydalanish qulaydir.

$$\Delta B_i'' = S_0 k_i^{\beta} \cos \alpha_i$$

$$\Delta \alpha_i'' = S_0 k_i^{\alpha} \sin \alpha_i \sec \beta_i$$

$$\Delta A_i'' = S_0 k_i^{\alpha} \sin \alpha_i \operatorname{tg} \beta_i$$

( $i=1,2,3,4,5$ )

$$S_0 = \frac{\rho''}{3C} S = 0.010743464S$$

$$K_i^{\beta} = (1 + 0.00842316 \cos^2 \beta_i)(1 - 0.00168463 \cos^2 \beta_i)^{-1};$$

$$K_i^{\alpha} = (1 + 0.00505389 \cos^2 \beta_i)(1 + 0.00168463 \cos^2 \beta_i)^{-1};$$

$\alpha_i$  va  $\beta_i$  qiymatlari quyidagicha hisoblanadi

| $i$ | $\alpha$                                                               | $\beta$                                                                |
|-----|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1   | $A_1$                                                                  | $B_1$                                                                  |
| 2   | $A_1 + \Delta A_1$                                                     | $B_1 + \Delta B_1$                                                     |
| 3   | $A_1 + \frac{1}{2} \Delta A_1 + \frac{1}{2} \Delta A_2$                | $B_1 + \frac{1}{2} \Delta B_1 + \frac{1}{2} \Delta B_2$                |
| 4   | $A_1 + \frac{3}{8} \Delta A_1 + \frac{9}{8} \Delta A_2$                | $B_1 + \frac{3}{8} \Delta B_1 + \frac{9}{8} \Delta B_2$                |
| 5   | $A_1 + \frac{3}{8} \Delta A_1 - \frac{9}{2} \Delta A_2 + 6 \Delta A_4$ | $B_1 + \frac{3}{8} \Delta B_1 - \frac{9}{2} \Delta B_2 + 6 \Delta B_4$ |

Qidirilayotgan koordinatalar farqi quyidagiga teng bo'ladi;

$$\Delta B = \frac{1}{2} (\Delta B_1 + 4\Delta B_4 + \Delta B_5);$$

$$\Delta L = \frac{1}{2} (\Delta L_1 + 4\Delta L_4 + \Delta L_5);$$

$$\Delta A = \frac{1}{2} (\Delta A_1 + 4\Delta A_4 + \Delta A_5)$$

Shundan so'ng ikkinchi nuqta koordinatalari hisoblanadi:

$$B_2 = B_1 + \Delta B$$

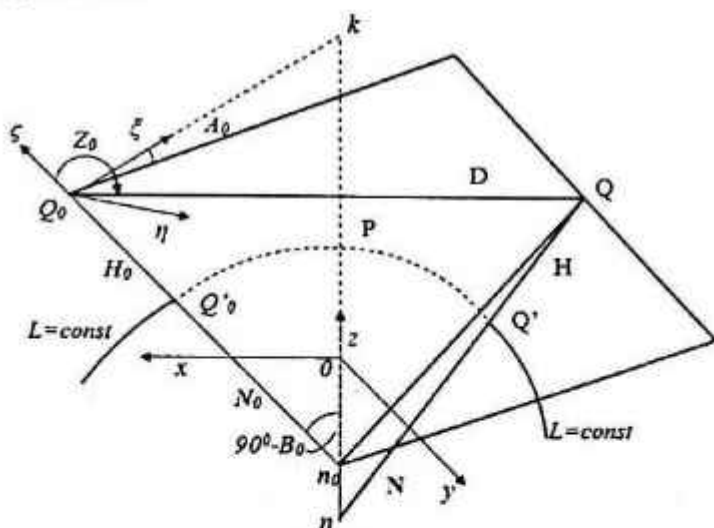
$$L_2 = L_1 + \Delta L$$

$$A_2 = A_1 \pm 180^\circ + \Delta A$$

### §21.15. Bosh geodezik masalani fazoda yechish (molodenskiy usuli) topotsentrik koordinatalar sistemasi

Uch o'lchamli geodeziyada qo'llaniladigan topotsentrik koordinata sistemasi to'g'risida qisqacha tushuncha berib o'tamiz.

Koordinata boshi yer sathidagi qandaydir  $Q_0$  ( $B_0$   $L_0$   $H_0$ ) nuqtada joylashgan bo'ladi.



21.15.1-shakl

a) To'g'ri burchakli dekart koordinatalari:  $\zeta$  o'qi ellipsoid sathidagi  $Q_0$  nuqtadan o'tuvchi normal davomida joylashadi.  $\xi$  o'qi  $Q_0$  nuqtadan o'tuvchi meridian tekisligida  $\zeta$  o'qiga perpendikulyar joylashgan bo'lib, ellipsoid aylanish o'qi tomoniga yo'nalgan bo'ladi.

$u$ -o'qi  $\xi$  va  $\zeta$  o'qlariga perpendikulyar bo'lib, uzoqlik o'qi tomoniga yo'nalgan bo'ladi.

### b) Qutb koordinatalari

Boshlangich nuqta  $Q_0$  meridian tekisligi bilan va fazoda berilgan  $Q$  nuqtalardan o'tuvchi normal tekislik orasidagi ikki qirrali burchak geodezik chiziq azimuti- $A_0$ .

$\xi$  o'qi bilan  $Q_0$  nuqtadan  $Q$  nuqtaga yo'nalgan to'g'ri chiziq yo'nalishi orasidagi burchak zenit masofa -  $Z_0$ .

$Q_0$  va  $Q$  nuqtalarini birlashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'yicha nuqtalar orasidagi masofa -  $D$ .

Yuqoridagi bu ikki topotsentrik koordinatalar orasidagi bog'lanish quyidagi formulalar bilan ifodalanadi:

$$\xi = D \cdot \sin Z_0 \cdot \cos A_0;$$

$$\eta = D \cdot \sin Z_0 \cdot \sin A_0;$$

$$\zeta = D \cdot \cos Z_0;$$

$$\operatorname{tg} A_0 = \frac{\eta}{\xi};$$

$$\operatorname{ctg} Z_0 = \frac{\zeta}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}} = \frac{\zeta}{\xi \cdot \cos A_0 + \eta \cdot \sin A_0};$$

$$D = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2} = (\xi \cdot \cos A_0 + \eta \cdot \sin A_0) \sin Z_0 + \zeta \cdot \cos Z_0.$$

### Geodezik koordinata sistemasi

Fazoda berilgan nuqtadan o'tuvchi normal chiziq yo'nalishi bo'yicha, nuqtadan ellipsoid sathigacha bo'lgan eng qisqa masofa geodezik balandlik- $H$ .

$B$ -geodezik kenglik,  $L$ -geodezik uzoqlik. Topotsentrik dekart koordinata sistemasi bilan geodezik koordinata sistemasi orasidagi bog'lanish quyidagi formulalar bilan ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} x &= (N + H) \cos B \cdot \cos L; \\ y &= (N + H) \cos B \cdot \sin L; \\ z &= (N + H) \sin B - e^2 \cdot N \cdot \sin B \end{aligned} \right\} \quad (21.15.1)$$

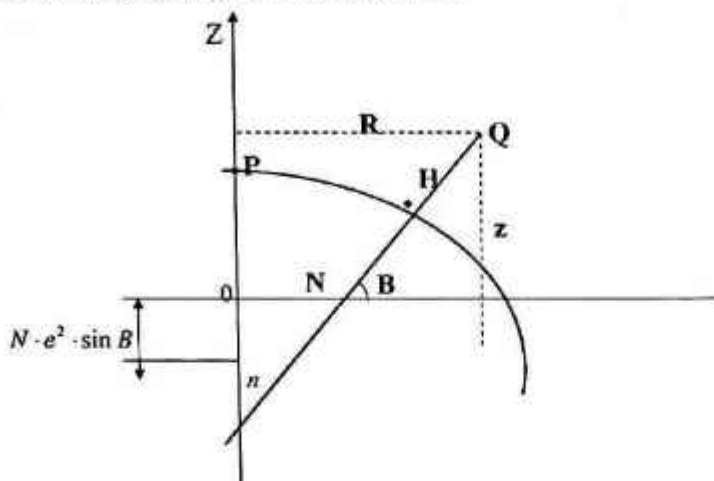
### 21.15.2-shakl

$x, y, z$  dan  $B, L, H$  ga o'tish formularini topamiz.

(21.15.1) formuladan uzoqlikni

$$\operatorname{tg} L = \frac{y}{x}; \quad (21.15.2)$$

21.15.2-shakldan  $R = \sqrt{x^2 + y^2} = (N + H) \cos B$  ni topib va (21.15.1) formuladan  $(N + H) \sin B = z + e^2 \cdot N \cdot \sin B$  ekanligini inobatga olib, kenglikni topish uchun qo'yidagi formulani yozamiz:



$$\operatorname{tg} B = \frac{z + e^2 \cdot N \cdot \sin B}{R}; \quad (21.15.3)$$

Tenglikning o'ng tomonidagi  $N \cdot \sin B$  ifoda qidirilayotgan  $B$ -kenglikka bog'liq, lekin bu ifoda  $e^2 \approx \frac{1}{150}$  kichik songa ko'paytirilishligini hisobga olsak,  $B$ -kenglikni ketma-ket yaqinlashish usulida topishimiz mumkin. Har bir yaqinlashishda kenglikning arktangensni topib, so'ngra keyingi yaqinlashishni bajarish uchun  $N \cdot \sin B$  qiymati hisoblanadi. Hisoblashni yengillashtirish maqsadida (21.15.3) formulani EHM da hisoblash uchun qulay holga keltiramiz:

$$\operatorname{tg} B = \frac{z}{R} + \frac{e^2 \cdot N \cdot \sin B}{R};$$

$N = \frac{c}{\sqrt{1 + e'^2 \cdot \cos^2 B}}$  ekanligini inobatga olib, quyidagini yozamiz

$$\operatorname{tg} B = \frac{z}{R} + \frac{c \cdot e'^2 \cdot \sin B}{R \sqrt{1 + e'^2 \cdot \cos^2 B}}$$

Tenglikning ikkinchi hadi surat va mahrajini  $\cos B$  ga bo'lamiz va  $\frac{1}{\cos^2 B} = 1 + \operatorname{tg}^2 B$  ekanligini hisobga olib, qo'yidagini yozamiz

$$\operatorname{tg} B = \frac{z}{R} + \frac{c \cdot e^2 \cdot \operatorname{tg} B}{R \sqrt{1 + e^2 + \operatorname{tg}^2 B}} \quad (21.15.4)$$

Hisoblash qulay bo'lishi uchun (21.15.4)ni qo'yidagi ko'rinishga keltiramiz

$$t_{i+1} = t_0 + \frac{pt_i}{\sqrt{k + t_i^2}}; \quad (i=0, 1, 2, \dots) \quad (21.15.5)$$

bunda,

$$t_0 = \frac{z}{R}; \quad p = \frac{c \cdot e^2}{R}; \quad k = 1 + e^2;$$

(21.15.5) formula bo'yicha hisoblash tugatilgandan so'ng eng oxirgi yaqinlashish bo'yicha  $B$ -kenglik topiladi:

$$B = \operatorname{arctg} t_{i+1}; \quad (21.15.6)$$

Yaqinlashishlar soni kenglikni topish aniqligi yoki  $\operatorname{tg} B$  aniqligiga bog'liq.

| $\operatorname{tg} B$ aniqligi | Yaqinlashishlar soni |
|--------------------------------|----------------------|
| $10^{-6}$                      | 2                    |
| $10^{-9}$                      | 3                    |
| $10^{-12}$                     | 4                    |

Endi geodezik balandlikni hisoblash formulasini topamiz. Bizga ma'lumki

$$R = (N + H) \cos B;$$

$$\text{Bundan} \quad H = \frac{1}{\cos B} (R - N \cdot \cos B) = \frac{1}{\cos B} \left( R - \frac{c \cdot \cos B}{\sqrt{1 + e^2 \cdot \cos^2 B}} \right); \quad \text{qavs}$$

ichidagi ikkinchi hadni surat va marajini  $\cos B$  ga bo'lib,  $\frac{1}{\cos^2 B} = 1 + \operatorname{tg}^2 B$  ekanligini inobatga olib yozamiz:

$$H = \frac{1}{\cos B} \cdot \left( R - \frac{c}{\sqrt{1 + e^2 + \operatorname{tg}^2 B}} \right); \quad (21.15.7)$$

Hisoblashni osonlashtirish uchun (21.15.7)ni quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$H = \left( R - \frac{c \cdot \cos B}{\sqrt{k + t_{i+1}^2}} \right) \sqrt{1 + t_{i+1}^2}; \quad (21.15.8)$$

Formuladagi  $t_{i+1}$  (21.15.5) formula bo'yicha oxirgi yaqinlashda topilgan kattalikdir.



**Misol:** Kenglik  $B$  va geodezik balandlik  $H$  ni hisoblash. Boshlang'ich ma'lumot

$$Z=R=5604589,00 \text{ m}$$

Hisoblash:

$$\begin{aligned} t_0 &= 1; & P &= 0,007643002; \\ t_1 &= 1,005395337; & (B_1 &= 45^{\circ}09'15'') \\ t_2 &= 1,005409882; & (B_2 &= 45^{\circ}09'16,4'') \\ t_3 &= 1,005409921; & (B_3 &= 45^{\circ}09'16,4317'') \\ H &= 1558551,63 \text{ m}. \end{aligned}$$

### §21.15.1 To'g'ri geodezik masala

Masala mohiyati shundan iboratki, boshlang'ich nuqta koordinatalari  $(B_1, L_1, H_1)$ , ikki nuqta orasidagi masofa  $D_{1,2}$ , azimut  $A_{12}$  va zenit masofa  $z_{12}$  lardan foydalanib, ikkinchi nuqta koordinatalari  $(B_2, L_2, H_2)$  ni topish kerak.

Formulalar:

$$(21.15.1.1) \quad \left. \begin{aligned} \xi_{12} &= D_{12} \cdot \sin z_{12} \cdot \cos A_{12}; \\ \eta_{12} &= D_{12} \cdot \sin z_{12} \cdot \sin A_{12}; \\ \varsigma_{12} &= D_{12} \cdot \cos z_{12}; \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2 B_1}}; \\ x_2 &= (N_1 + H_1 + \varsigma_{12}) \cos B_1 - \xi_{12} \cdot \sin B_1; \\ y_2 &= \eta_{12}; \\ z_2 &= (N_1 + H_1 + \varsigma_{12}) \sin B_1 + \xi_{12} \cdot \cos B_1 - e^2 \cdot N_1 \cdot \sin B_1; \end{aligned} \right\} (21.15.1.2)$$

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{x^2 + y^2}; \\ t_0 &= \frac{z_2}{R}; & P &= \frac{ce^2}{R}; & k &= 1 + e'^2; \\ t_{i+1} &= t_0 + \frac{Pt_i}{\sqrt{k+t_i^2}}; & (i &= 0, 1, 2, \dots). \end{aligned} \right\} (21.15.1.3)$$

Oxirgi integratsiyadan so'ng quyidagilar hisoblanadi:

$$\left. \begin{aligned} B_2 &= \arctgt_{i+1}; \\ H_2 &= \left( R - \frac{c}{\sqrt{k + t_{i+1}^2}} \right) \sqrt{1 + t_{i+1}^2}; \\ L_2 - L_1 &= l = \arctg\left(\frac{y_2}{x_2}\right); \\ L_2 &= L_1 + l; \end{aligned} \right\} \quad (21.15.1.4)$$

|                   |       |                       |                      |        |
|-------------------|-------|-----------------------|----------------------|--------|
| $y_2$<br>ishorasi | +     | +                     | -                    | -      |
| $x_2$<br>ishorasi | +     | -                     | -                    | +      |
| $l =$             | $ l $ | $180^\circ$<br>$- l $ | $180^\circ$<br>$ l $ | $- l $ |

$|l|$  - birinchi chorakdagi argument

Krasovskiy ellipsoidi uchun doimiy kattaliklar:

$$\begin{aligned} a &= 6378245 \text{ m}; & s &= 6399698,902 \text{ m}; & ye^2 &= 0,006693422; \\ se^2 &= 42835,88 \text{ m}; & k &= 1,006738525. \end{aligned}$$

## §21.15.2 Teskari geodezik masala

Teskari geodezik masalada fazoda berilgan ikki nuqtaning koordinatalari  $B$ ;  $L$ ;  $H$  dan foydalanib, bu nuqtalar orasidagi masofa  $D_{12}$ , normal tekislik azimuti  $A_{12}$  va birinchi nuqtadan ikkinchi nuqtaga bo'lgan zenit masofa  $Z_{12}$  hisoblab topiladi.

Formulalar:

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 B_1}}; & N_2 &= \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 B_2}}; \\ x_1 &= (N_1 + H_1) \cos B_1 \cdot \cos(L_2 - L_1); & y_2 &= (N_2 + H_2) \cos B_2 \cdot \sin(L_2 - L_1); \\ z_1 &= [N_2(1 - e^2) + H_2] \sin B_2; \end{aligned} \right\} \quad (21.15.2.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \xi_{12} &= (z_2 + e^2 \cdot N_1 \cdot \sin B_1) \cos B_1 - x_2 \cdot \sin B_1; \\ \eta_{12} &= y_2; \\ \zeta &= (z_2 + e^2 \cdot N_1 \cdot \sin B_1) \sin B_1 + x_2 \cdot \cos B_1 - (N_1 + H_1); \end{aligned} \right\} \quad (21.15.2.2)$$

$$A_{12} = \arctg \left( \frac{\eta_{12}}{\xi_{12}} \right); \quad (21.15.2.3)$$

|                         |            |                        |                          |                          |
|-------------------------|------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $\eta_{12}$<br>ishorasi | +          | +                      | -                        | -                        |
| $\xi_{12}$<br>ishorasi  | +          | -                      | -                        | +                        |
| $A_{12} =$              | $ A_{12} $ | $180^\circ -  A_{12} $ | $ A_{12} $ $180^\circ +$ | $ A_{12} $ $360^\circ -$ |

$A_{12}$ -birinchi chorakdagi argument.

$$\left. \begin{aligned} \psi_{12} &= \xi_{12} \cdot \cos A_{12} + \eta_{12} \cdot \sin A_{12} = \sqrt{\xi_{12}^2 + \eta_{12}^2}; \\ z_{12} &= \arctg \left( \frac{\zeta_{12}}{\psi_{12}} \right); \\ D_{12} &= \psi_{12} \cdot \sin z_{12} + \zeta \cdot \cos z_{12} = \sqrt{\psi_{12}^2 + \zeta_{12}^2}; \end{aligned} \right\} \quad (21.15.2.4)$$

Shu masofa uchun ikkinchi nuqtadan birinchi nuqta yo'nalishi bo'yicha azimut  $A_{21}$  va zenit masofa  $Z_{12}$  ni topish kerak bo'lsa yuqorida keltirilgan formulalardagi 1 va 2 indekslarini joylarini almashtirish zarur.

Teskari geodezik masalani yechishning umumiy xoli uchun hisoblash natijalarini tekshirish formulalarini topish mumkin.

Buning uchun (21.15.1.1), (21.15.1.2) va (21.15.2.1), (21.15.2.2) formulalar bilan hisoblanadigan  $\eta$  koordinatalarni tenglashtiramiz. Unda  $Q_2$  nuqta uchun

$$D_{12} \cdot \sin z_{12} \cdot \sin A_{12} = (N_2 + H_2) \cdot \cos B_2 \cdot \sin(L_2 - L_1);$$

$Q_1$  nuqta uchun indekslardagi 1 va 2 larni joylarini almashtirib yozamiz.

$$D_{21} \cdot \sin z_{21} \cdot \sin A_{21} = -(N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \sin(L_2 - L_1); \quad (21.15.2.5)$$

Bu tengliklarda  $D_{12} = D_{21}$  va  $\sin(L_2 - L_1)$  tashlab yuborib qo'yidagini hosil qilamiz:

$$(N_1 + H_1) \cos B_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \sin A_{12} + (N_2 + H_2) \cos B_2 \cdot \sin z_{21} \cdot \sin A_{21} = 0; \quad (2.115.2.6)$$

Fazodagi  $D$  to'g'ri chiziqning ixtiyoriy  $Q_1$  va  $Q_2$  nuqtalarini koordinatalari orasidagi bog'lanish quyidagi formula bilan beriladi:

$$(N_1 + H_1) \cos B_1 \cdot \sin z_{1k} \cdot \sin A_{1k} + (N_k + H_k) \cos B_k \cdot \sin z_{k1} \cdot \sin A_{k1} = 0; \quad (21.15.2.7)$$

Bu bog'lanishni 1957 yil ingliz geodezisti M.Xotin keltirib chiqargan.

Agarda  $H_1 = H_2 = 0$  deb olsak yuqorida keltirilgan formulalarni ellipsoid sathida geodezik masalalarni yechishda ham ishlatish bo'ladi.

## § 21.16. Fazoda asosiy geodezik masalalarni yechishda qo'llaniladigan formulalar va bog'lanishlar

To'g'ri chiziqli kesma uzunligi va yo'nalishi orasidagi bog'lanishni kesma uchlarining geodezik koordinatalari orqali ifodalash uch o'ltchamli geodeziyaning amaliy masalarini yechishda muhim ahamiyatga ega. Bu bog'lanishlar birinchi bor M.S.Molodinskiy tomonidan o'rnatilgan. Yo'naltiruvchi kosinuslar  $l_{12}$ ,  $m_{12}$ ,  $n_{12}$  va koordinatalari  $(x_1, y_1, z_1)$ ,  $(x_2, y_2, z_2)$  bo'lgan kesma uzunliklari orasidagi bog'lanish quyidagicha beriladi:

$$S_{12} = \frac{x_2 - x_1}{l_{12}} = \frac{y_2 - y_1}{m_{12}} = \frac{z_2 - z_1}{n_{12}}; \quad (21.16.1)$$

(21.16.1) formula va

$$x = (N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L;$$

$$y = (N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L;$$

$$z = \left( \frac{b^2}{a^2} N + H \right) \cdot \sin B;$$

formulalar asosida topamiz:

$$\left. \begin{aligned} S_{12} l_{12} &= (N_2 - H_2) \cdot \cos B_2 \cdot \cos L_2 - (N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \cos L_2; \\ S_{12} m_{12} &= (N_2 + H_2) \cdot \cos B_2 \cdot \sin L_2 - (N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \cos L_1; \\ S_{12} n_{12} &= (N_2 + H_2) \cdot \sin B_2 - e^2 N_2 \sin B_2 - (N_1 + H_1) \cdot \sin B_1 + e^2 N_1 \sin B_1; \end{aligned} \right\} \quad (16.2)$$

(21.16.2) tenglamadan foydalanib, kesma uchlarini koordinatalari yordamida kesma uzunligi  $S_{12}$  ni topish imkoniyati bo'ladi.

$l_{12}^2 + m_{12}^2 + n_{12}^2 = 1$  ekanligini hisobga olib, Molodenskiy formulasini chiqaramiz.

$$\begin{aligned} S_{12}^2 &= (N_2 + H_2)^2 + (N_1 + H_1)^2 - 2(N_2 + H_2) \cdot (N_1 + H_1) \cdot \cos \psi - \\ &- \mu(N_2 \sin B_2 - N_1 \sin B_1)^2 - 2e^2(N_2 \sin B_2 - N_1 \sin B_1) \cdot (H_2 \sin B_2 - H_1 \sin B_1) \end{aligned} \quad (16.3)$$

bu yerda

$$\cos \psi = \sin B_1 \cdot \sin B_2 + \cos B_1 \cos B_2 \cos(L_2 - L_1);$$

$$\mu = \frac{a^4 - b^4}{a^4};$$

Agar  $N_1 = N_2 = 0$  bo'lsa, u holda  $S_{12}$  kesmaning ellipsoid sathidagi proeksiyasini olamiz, ya'ni

$$\overline{S_{12}^2} = -4N_1N_2 \sin^2 \frac{\psi}{2} - (N_2 - N_1)^2 - \mu(N_2 \sin B_2 - N_1 \sin B_1)^2; \quad (21.16.4)$$

$S_{12}$  kesim yo'nalishini topish uchun uning yo'naltiruvchi kosinuslari  $l_{12}$ ,  $m_{12}$ ,  $n_{12}$ larni zenit masofa  $z_{12}$  va bu yo'nalish geodezik azimuti  $A_{12}$  orqali ifodalaymiz. Buning uchun birinchi nuqtani geodezik uzoqligi  $L_1$  ga teng bo'lgan burchakka ( $xyz$ ) koordinatalar sistemasini  $oz$  o'qi atrofida buramiz. Yangi koordinatalar sistemasida nuqta koordinatalari ( $x'y'z'$ ) eski koordinatalar sistemasidagi nuqta koordinatalari bilan quyidagicha bog'langan:

$$\left. \begin{aligned} x \cdot \cos L_1 + y \sin L_1 &= x'; \\ y \cdot \cos L_1 - y' \sin L_1 &= y'; \\ z &= z'; \end{aligned} \right\} \quad (21.16.5)$$

Ya'ni koordinatalar sistemasida yo'naltiruvchi kosinuslar,

$$\left. \begin{aligned} S_{12}l'_{12} &= x'_2 - x'_1; \\ S_{12}m'_{12} &= y'_2 - y'_1; \\ S_{12}n'_{12} &= z'_2 - z'_1; \end{aligned} \right\} \quad (21.16.6)$$

tenglamalar bilan topiladi. (21.16.5)ni inobatga olib (21.16.6) qo'yidagiga yozishimiz mumkin:

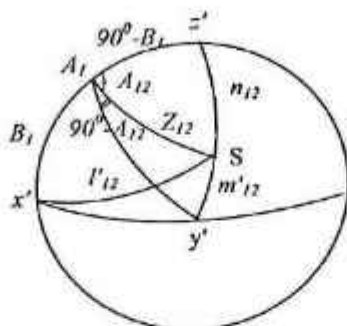
$$\left. \begin{aligned} S_{12}l'_{12} &= (x_2 - x_1) \cos L_1 + (y_2 - y_1) \sin L_1; \\ S_{12}m'_{12} &= (y_2 - y_1) \cos L_1 + (x_2 - x_1) \sin L_1; \\ S_{12}n'_{12} &= z_2 - z_1; \end{aligned} \right\} \quad (21.16.7)$$

Eski va yangi koordinata sistemalarida  $S_{12}$  kesmaning yo'naltiruvchi kosinuslari orasidagi bog'lanish (21.16.1)ni inobatga olib, topamiz:

$$\left. \begin{aligned} l'_{12} &= l_{12} \cos L_1 + m_{12} \sin L_1; \\ m'_{12} &= m_{12} \cos L_1 - l_{12} \sin L_1; \\ n'_{12} &= n_{12}; \end{aligned} \right\} \quad (21.16.8)$$

(21.16.8)ga teskari bog'lanish:

$$\left. \begin{aligned} l'_{12} &= l_{12} \cos L_1 - m_{12} \sin L_1; \\ m_{12} &= l'_{12} \sin L_1 + m'_{12} \cos L_1; \\ n_{12} &= n'_{12}; \end{aligned} \right\} \quad (21.16.9)$$



21.16.1-shakl

1-inchi nuqta geodezik koordinatalari,  $A_{12}$  azimut va  $z_{12}$  zenit masofalari bilan  $l_{12}$ ,  $m_{12}$ ,  $n_{12}$  lar orasidagi bog'lanishlarni topish uchun 21.16.1 – shakldan foydalanamiz. Bu shaklda birlik radiusga ega bo'lgan sfera tasvirlangan bo'lib quyidagi belgilashlar qabul qilingan:

$A_1$  – 1-inchi nuqtada geodezik zenit holati;

$S$  – 1-2 yo'nalishni birlik sfera bilan kelishish nuqtasi;

$x'$ ;  $y'$ ;  $z'$  – koordina o'qlari bilan birlik sferani kesishi nuqtalari.

Hosil bo'lgan nuqtalarni katta aylana yo'ylari bilan birlashtiramiz.

$A_1 S x'$  sferik uchburchakdan topamiz:

$$\cos(x'; s) = l_{12} = \cos B_1 \cdot \cos z_{12} - \sin B_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \cos A_{12}; \quad (21.16.10)$$

ya'ni  $\cos(180^\circ - A_{12}) = -\cos A_{12}$ .

$A_1 y' S$  sferik uchburchakdan (unda  $A_1 y' = 90^\circ$ ).

$$\begin{aligned} \cos(y'; s) = m'_{12} &= \cos 90^\circ \cdot \cos z_{12} + \sin 90^\circ \cdot \sin z_{12} \cdot \cos(90^\circ - A_{12}) = \\ &= \sin z_{12} \cdot \sin A_{12} \end{aligned} \quad (21.16.11)$$

$A_1 z' S$  sferik uchburchakdan foydalanib quyidagini topamiz:

$$\cos(z'; s) = n'_{12} = \sin B_1 \cdot \cos z_{12} + \cos B_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \cos A_{12} \quad (21.16.12)$$

(21.16.8)dan foydalanib, (21.16.10); (21.16.11); (21.16.12) larni o'ng tomonlarini  $l_{12}$ ;  $m_{12}$ ;  $n_{12}$  lar orqali ifodalaymiz.

$$l_{12} \cos L_1 + m_{12} \sin L_1 = \cos B_1 \cdot \cos z_{12} - \sin B_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \cos A_{12}; \quad (21.16.13)$$

$$m_{12} \cos L_1 - l_{12} \sin L_1 = \sin z_{12} \cdot \sin A_{12}; \quad (21.16.14)$$

$$n_{12} = \sin B_1 \cdot \cos z_{12} + \cos B_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \cos A_{12}; \quad (21.16.15)$$

(21.16.13); (21.16.14); (21.16.15) ifodalardan topamiz:

$$l_{12} = \cos B_1 \cdot \cos L_1 \cdot \cos z_{12} - \sin B_1 \cdot \cos L_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \cos A_{12} - \sin L_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \sin A_{12};$$

$$m_{12} = \cos B_1 \cdot \sin L_1 \cdot \cos z_{12} - \sin B_1 \cdot \sin L_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \cos A_{12} + \cos L_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \sin A_{12};$$

$$n_{12} = \sin B_1 \cdot \sin z_{12} + \cos B_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \cos A_{12}; \quad (21.16.16)$$

$z_{12}$  va  $A_{12}$  larga nisbatan (21.16.13); (21.16.14); (21.16.15) ifodalarni yechib qo'yidagini topamiz:

$$\cos z_{12} = (L_{12} \cdot \cos L_1 + m_{12} \cdot \sin L_1) \cdot \cos B_1 + n_{12} \cdot \sin B_1; \quad (21.16.17)$$

$$\operatorname{ctg} A_{12} = \frac{n_{12} \cdot \cos B_1 - (l_{12} \cdot \cos L_1 + m_{12} \cdot \sin L_1) \cdot \sin B_1}{m_{12} \cdot \cos L_1 - l_{12} \cdot \sin L_1}; \quad (21.16.18)$$

(21.16.2)ni inobatga olib va  $l_{12}$ ,  $m_{12}$ ,  $n_{12}$  larni (21.16.16)dagi ko'rinishi bilan almashtirib Molodenskiy formulasini hosil qilamiz

$$S_{12} \cos z_{12} = (N_2 + H_2) \cdot \cos \varphi - (N_1 + H_1) - e^2 (N_2 \cdot \sin B_2 - N_1 \cdot \sin B_1) \cdot \sin B_1; \quad (21.16.19)$$

$$\operatorname{ctg} A_{12} = \operatorname{ctg} \alpha_{12} - e^2 \frac{(N_2 \cdot \sin B_2 - N_1 \cdot \sin B_1) \cdot \cos B_1}{(N_2 + H_2) \cdot \cos B_2 \cdot \sin(L_2 - L_1)}; \quad (21.16.20)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \alpha_{12} &= \frac{\sin(B_2 - B_1)}{\cos B_2 \cdot \sin(L_2 - L_1)} + \sin B_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{L_2 - L_1}{2} = \\ &= \frac{\sin B_2 \cdot \cos B_1 - \cos B_2 \cdot \sin B_1 \cdot \cos(L_2 - L_1)}{\cos B_2 \cdot \sin(L_2 - L_1)}; \end{aligned}$$

1 va 2 indekslni joylarni almashtirib teskari zenit masofa va azimutlarni topamiz:

$$S_{21} \cos z_{21} = (N_1 + H_1) \cdot \cos \varphi - (N_2 + H_2) + e^2 (N_2 \cdot \sin B_2 - N_1 \cdot \sin B_1) \cdot \sin B_1; \quad (21.16.21)$$

$$\operatorname{ctg} A_{21} = \operatorname{ctg} \alpha_{21} - e^2 \frac{(N_2 \cdot \sin B_2 - N_1 \cdot \sin B_1) \cdot \sin B_2}{(N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \sin(L_2 - L_1)}; \quad (21.16.22)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \alpha_{21} &= \frac{\sin(B_2 - B_1)}{\cos B_2 \cdot \sin(L_2 - L_1)} - \sin B_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{L_2 - L_1}{2} = \\ &= \frac{\sin B_1 \cdot \cos B_2 - \cos B_1 \cdot \sin B_2 \cdot \cos(L_2 - L_1)}{\cos B_1 \cdot \sin(L_2 - L_1)}; \end{aligned}$$

(21.16.3); (21.16.4); (21.16.19); (21.16.20) Molodenskiy formularidan tashqari qo'yidagi bog'lanishlar ham muhim amaliy ahamiyatga ega. Ular qo'yidagicha hosil qilingan:

(21.16.14) dan

$$m_{12} \cos L_1 - l_{12} \sin L_1 = \sin z_{12} \cdot \sin A_{12};$$

$$m_{21} \cos L_2 - l_{12} \sin L_2 = \sin z_{21} \cdot \sin A_{21};$$

(21.16.2)ni va  $l_{21} = -l_{12}$   $m_{21} = -m_{12}$  ni inobatga olib, qo'yidagini hosil qilamiz:

$$[(N_2 + H_2) \cdot \cos B_2 \cdot \sin L_2 - (N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \sin L_1] \cdot \cos L_1 -$$

$$-[(N_2 + H_2) \cdot \cos B_2 \cdot \sin L_2 - (N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \cos L_1] \cdot \sin L_1 = \\ = (N_1 + H_1) \cdot \cos B_2 \cdot \sin(L_2 - L_1) = S_{12} \cdot \sin z_{12} \cdot \sin A_{12}; \quad (21.16.23)$$

$$[(N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \sin L_1 - (N_2 + H_2) \cdot \cos B_2 \cdot \sin L_2] \cdot \cos L_2 - \\ - [(N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \cos L_1 - (N_2 + H_2) \cdot \cos B_2 \cdot \cos L_2] \cdot \sin L_2 = \\ = -(N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \sin(L_2 - L_1) = S_{12} \cdot \sin z_{21} \cdot \sin A_{21}; \quad (21.16.24)$$

$$(21.16.24)\text{ni } (21.16.23)\text{ga bo'lib, qo'yidagi bog'lanishni hosil qilamiz} \\ (N_1 + H_1) \cdot \cos B_1 \cdot \sin z_{12} \cdot \sin A_{12} = -(N_2 + H_2) \cdot \cos B_2 \cdot \sin z_{21} \cdot \sin A_{21} = \text{const} \quad (21.16.25)$$

(21.16.25) formula ingliz geodezisti Xotin formulasi hisoblanadi.

## § 21.17. Gauss-kryuger yassi to'g'ri burchakli koordinata sistemasi

Dastur: Gauss-Kryuger koordinata sistemasi to'g'risida umumiy tushunchalar. Gauss-Kryuger proeksiyasida ellipsoidni tekislikda konform tasvirlashning asosiy formulari. Geodezik koordinatalardan Gauss-Kryuger koordinatalariga va aksincha geodezik koordinatalardan Gauss-Kryuger koordinatalariga o'tish formulalari. Tekislikda meridianlar yaqinlashishini hisoblash. Masofa va yo'nalishni tekislikga reduksiylash. Gauss-Kryuger koordinatalarni bir zonadan boshqa zonaga qayta hisoblash. Sferoidik geodeziyada qo'llaniladigan boshqa koordinata sistemalari to'g'risida tushunchalar.

### Gauss-Kryuger koordinata sistemasi To'g'risida umumiy tushunchalar

Ma'lumki, geodezik masalalarini yechishda asosan to'g'ri burchakli va geodezik koordinata sistemalari qo'llaniladi, tekislikda va fazoda geodezik masalalar yechishda esa to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasi, ellipsoid sathida geodezik masalalarni yechishda esa geodezik koordinatalar sistemasi qo'llaniladi.

I klass triangulyatsiya to'ri koordinatalarini hisoblash ellipsoid sathida amalga oshiriladi. Katta maydonda yagona geodezik to'rni barpo etishda geodezik koordinatalar sistemasini qo'llash qulaydir. Bundan tashqari ko'pgina ilmiy ahamiyatga ega bo'lgan masalalarni yechishda, masalan, Yer ellipsoidi kattaliklarini (parametrlarini) aniqlashda; Yer fizik sathini o'rganishda; sun'iy yo'ldoshlar orbitasini hisoblashda; samoviy yoritgichlarni efemeridasini hisoblashda; aviatsiya va dengiz navigatsiyalarida va x.k.larda ham bu koordinatalar sistemasidan foydalanish qo'l keladi.



Bu koordinata sistemasida nuqtalarning o'zaro holati burchak birligida beriladi. Meridianlar o'zaro parallel bo'lmaganligi sababli ularga nisbatan o'lganadigan chiziqlarning (yo'nalishni) har xil nuqtalarida azimutlar turlicha bo'ladi. Meridian nuqtalarining uzoqliklari kenglikga bog'liq emas, lekin geodezik koordinatalarning chiziqli qiymati nuqtaning kengligiga bog'liq.

Yuqoridagidek masalalarni yechishda geodezik koordinatalarni qo'llash murakkab bo'lib, ko'p vaqt va mahorat talab qiladi, shu sababli geodezik koordinatalardan foydalanish hamma masalarni yechishda qo'l kelavermas ekan.

2,3,4 klass triangulyatsiya to'rlarini hisoblash ishlari, topografik xaritalar tuzish bilan bog'liq bo'lgan geodezik hisoblashlar (tayanch to'rlarini barpo etish) va turli injener-geodezik masalalarni yechish tekislikda amalga oshiriladi, ya'ni bu maqsadlarda yassi to'g'ri burchakli koordinatalar qo'llaniladi. Shu sababli ellipsoid sathidan tekislikka o'tish va akchinch tekislikdan ellipsoid sathiga o'tish muhim ahamiyatga ega bo'lib, hisoblash ishlarini aniqligi keyingi bajariladigan geodezik ishlar aniqligiga ta'sir etadi.

Ellipsoid sathini tekislikka o'zgarishsiz (xatosiz, buzmasdan) yoyib bo'lmaydi. Ellipsoid sathini tekislikda xatosiz tasvirlaydigan to'g'ri burchakli koordinatalar sistemalari ham mavjud emas.

Bizning mamlakatimizda, mustaqil davlatlar hamdo'stligi davlatlarida va ayrim boshqa davlatlarda ellipsoid sathini tekislikda tasvirlash uchun Gauss-Kryugerning konform proektsiyasi qo'llaniladi. Bu proektsiyada Yer ellipsoidi meridianlar yordamida uzoqliklar farqi olti gradusli (yirik masshtabli topografik planga olishda uzoqliklar farqi uch gradusli) zonalarga bo'linadi. **Zona o'rtasidan o'tuvchi meridianga o'q meridiani deyiladi.**

Har bir zonada o'q meridiani tasvirini absissa- $x$  o'qi deb, ekvator chizig'i tasvirini ordinata- $y$  o'qi deb qabul qilinadi. Ellipsoid sathidagi bu egri chiqar tekislikda to'g'ri chiziq ko'rinishida tasvirlanadi, o'q meridiani bilan ekvator chizig'ini kesishish nuqtasi koordinata bosh deb olinadi. Har bir zona o'z koordinata boshiga (koordinata sistemasiga) ega bo'ladi. Zona o'q meridiani tekislikda o'zgarishsiz tasvirlanadi.



Zona o'q meridianida tasvirlash masshtabi birga teng, ya'ni o'q meridianida joylashgan nuqtalar o'zgarishsiz tasvirlanadi. O'q meridianidan uzoqlashgan sari tasvirlash masshtabi «bir» dan kattalashadi, o'zgarish ortib boradi.

Yuqoridagi kamchiliklarga qaramasdan Gauss-Kryuger proeksiyasini afzallik tomonlari mavjud:

1. Boshqa proeksiyalardagiga nisbatan hisoblash ishlari ancha sodda;
2. Proeksiyadagi o'zgarishlar yuqori aniqlikda topiladi.

Gauss-Kryuger proeksiyasida ellipsoid sathidan tekislikga o'tish tartibini qisqacha ko'rib chiqamiz.

Ellipsoid sathida triangulyatsiyaning ixtiyoriy  $ABC$  uchburchagini olaylik (17.1-shakl, v chizma).

$PO$  – triangulyatsiya joylashgan zonaning o'q meridiani.

$AP$  –  $A$  nuqtadan o'tgan meridian.

$AT$  – o'q meridianiga parallel va ellipsoidga urinma bo'lgan tekislik.

$\gamma'$  –  $A$  nuqtadagi meridianlarni geodezik yaqinlashish burchagi.

$Aab$  –  $AB$  tomon azimuti.

$T''_{ab}$  –  $AB$  tomon geodezik direksion burchagi.

Yuqoridagi elementlarni Gauss-Kryuger proeksiyasida tekislikdagi tasviri (21.17.1-shakl, g)-chizma)

$a, b, c, - A, B, C$  nuqtalar tasviri.

$ox$  –  $OP$  o'q meridiani tasviri.

$an$  egri chiziq –  $A$  nuqtadan o'tgan  $AP$  meridian tasviri.

$at$  – egri chiziq –  $AT$  – urinma tasviri.

$ab, ac, bc$  egri chiziqlar –  $AB, AC, BC$  geodezik chiziqlar tasviri.

« $a$ » nuqtadan o'q meridiani tasviriga (abssissa o'qiga) parallel bo'lgan chiziq o'tkazamiz, uni  $at_1$  bilan belgilaymiz.

$an$  egri chiziq bilan  $at_1$  chiziq orasida hosil bo'lgan  $\gamma'$  burchakga meridianlarni tekislikdagi yaqinlashish burchagi deyiladi.

Tekislikda geodezik chiziqlar egri chiziq bilan tasvirlanadi, bu esa triangulyatsiyani hisoblash ishlarini qiyinlashtiradi, shu sababli ular uchburchak uchlarini tutashtiruvchi vatarlar bilan almashtiriladi. Natijada tekislikda triangulyatsiyani yassi uchburchaklari hosil bo'ladi, ularni to'g'ri chiziqli trigonometriya formulalaridan foydalanib hisoblash mumkin bo'ladi.

Geodezik chiziq bilan vatar orasida hosil bo'lgan  $\delta$  kichik burchakka geodezik chiziqni tasviridagi egrilikka tuzatma deyiladi. Tekislikda tomonlari to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan uchburchaklarni hosil qilish uchun o'lgangan yo'nalishlarga  $\delta$  to'zatma kiritiladi.

$at_1$  to'g'ri chiziq va  $ab$  vatar orasida hosil bo'lgan burchakka tekislikdagi direksion burchak deyiladi va  $T$  bilan belgilanadi.

Gauss-Kryuger proeksiyasida masofani ellipsoid sathidan tekislikga o'tkazishda o'zgarish bo'ladi, shu sababli ellipsoid sathidagi masofadan unga mos bo'lgan tekislikdagi masofaga o'tish uchun unga tuzatma kiritiladi, bunga masofani reduksiyalash deyiladi.

Ellipsoid sathidan tekislikga o'tish uchun quyidagi boshlang'ich ma'lumotlar bo'lishi kerak:

$S_0$  - triangulyatsiya chiqish tomoni.

$A$  - chiqish tomon azimuti.

$B, L$  - boshlang'ich punktlardan birining geodezik koodinatalari.

Gauss-Kryuger proeksiyasida ellipsoid sathidan tekislikga o'tish quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

1. Boshlag'ich punkt geodezik koodinatalaridan foydalanib, Gauss-Kryuger proeksiyasida shu punktni to'g'ri burchakli koodinatalari hisoblanadi. Tekislikda meridianlar yaqinlashish burchagi aniqlanadi va boshlang'ich tomonni taqribiy direksion burchagi topiladi,

$$T' = A - \gamma$$

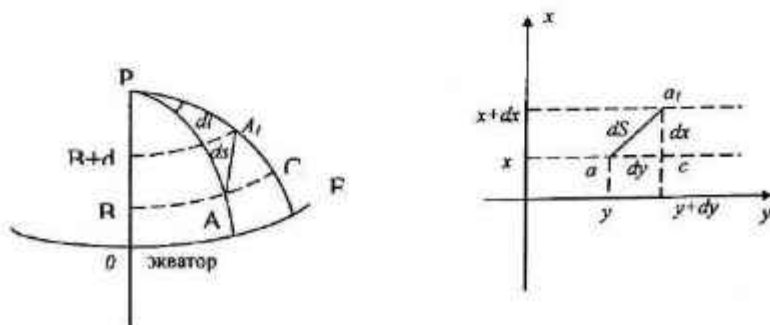
2. Avvaldan uchburchaklar yechiladi va uchburchak uchlarini (punktlarni) taqribiy koodinatalari hisoblanadi.

3. Boshlang'ich tomon uzunligi reduksiyasi va barcha yo'nalishlar uchun geodezik chiziqlarni egriligi uchun  $\delta$  tuzatmalar hisoblanadi.

Topilgan tuzatmalar boshlang'ich tomon uzunligiga va o'lchangan yo'nalishlarga kiritiladi.

4. Triangulyatsiya tekislikda tenglashtiriladi.

## § 21.18. Gauss-kryuger proeksiyasining asosiy formulalari



21.18.1-shakl

Ellipsoid sathida cheksiz kichik  $AA_1C$  uchburchak olamiz, shu uchburchakni tekislikdagi tasviri  $aa_1c$  bo'lsin (21.18.1-shakl).

Elementar  $AA_1C$  uchburchakdan,

$A_1C = MdB$  (meridian yoy elementi)

$AC = N \cos Bdl$  (parallel yoy elementi)

bo'ladi, bulardan foydalanib,

$$ds = \sqrt{(MdB)^2 + (N \cos Bdl)^2} \quad (21.18.1)$$

deb yozishimiz mumkin.

Ildiz ostidagi ifodani  $\left(\frac{N \cos B}{N \cos B}\right)^2$  ga ko'paytiramiz, unda

$$ds = \sqrt{\frac{(MdB)^2 (N \cos B)^2}{(N \cos B)^2} + \frac{(N \cos Bdl)^2 \cdot (N \cos B)^2}{(N \cos B)^2}} = N \cos B \sqrt{\left(\frac{MdB}{N \cos B}\right)^2 + (dl)^2} \quad (21.18.2)$$

$$\frac{MdB}{N \cos B} = dq \text{ deb belgilaymiz} \quad (21.18.3)$$

Bu yerda, o'zgaruvchi  $q$  izometrik kenglik deb ataladi.

(21.18.3)ni inobatga olib (21.18.2)ni quyidagiga yozishimiz

$$ds = N \cos B \sqrt{(dq)^2 + (dl)^2} \quad (21.18.4)$$

## TEKISLIKDA

$$dS = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \quad (21.18.5)$$

$dS$ ni  $ds$ ga nisbatini olsak bu tasvirlash masshtabini beradi, ya'ni

$$m = \frac{dS}{ds}$$

(21.18.4) va (21.18.5) formulalarni hisobga olsak:

$$m = \frac{\sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}}{N \cos B \sqrt{(dq)^2 + (dl)^2}}$$

Bu ifodani kvadratga ko'tarib, kompleks sonlar nazariyasi asosida quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$m^2 = \frac{(dx + idy)(dx - idy)}{N^2 \cos^2 B (dq + idl)(dq - idl)} = \frac{d(x + iy)d(x - iy)}{N^2 \cos^2 B d(q + il)d(q - il)} \quad (21.18.6)$$

Tasvirlashda konformlikni saqlab qolish uchun to'g'ri burchakli koordinatalar geodezik koordinatalarning funksiyasi bo'lishi kerak, ya'ni

$$x = f_1(B; L)$$

$$y = f_2(B; L)$$

yoki

$$x + iy = f(q + il)$$

$$x - iy = f(q - il)$$

$$(21.18.7)$$

Gauss-Kryuger proeksiyasi shartiga ko'ra, zonaning  $OP$  o'q meridiani tekislikda to'g'ri chiziq bilan tasvirlanadi va xo'qi deb olinadi, demak o'q meridiani uchun

$$l=0; u=0$$

O'q meridianida joylashgan nuqta abssissasi ekvatoridan shu nuqttagacha bo'lgan meridian yoy uzunligiga teng, bo'lishligini inobatga olib (21.18.7)ni quyidagicha yozishimiz mumkin

$$x = X = f(q), \quad (21.18.8)$$

Bu yerda  $X - B$  kenglikgacha bo'lgan o'q meridian yoy uzunligi.

$f(q + il)$ ni Teylor qatoriga yoyamiz:

$$f(q + il) = f(q) + il \frac{df(q)}{dq} + \frac{1}{2!}(il)^2 \frac{d^2 f(q)}{dq^2} + \frac{1}{3!}(il)^3 \frac{d^3 f(q)}{dq^3} + \frac{1}{4!}(il)^4 \frac{d^4 f(q)}{dq^4} + \\ + \frac{1}{5!}(il)^5 \frac{d^5 f(q)}{dq^5} + \frac{1}{6!}(il)^6 \frac{d^6 f(q)}{dq^6} + \dots,$$

yoki

$$f(q + il) = f(q) + il \frac{df(q)}{dq} - \frac{1}{2}l^2 \frac{d^2 f(q)}{dq^2} - \frac{1}{6}il^3 \frac{d^3 f(q)}{dq^3} + \frac{1}{24}l^4 \frac{d^4 f(q)}{dq^4} + \\ + \frac{1}{120}il^5 \frac{d^5 f(q)}{dq^5} - \frac{1}{720}l^6 \frac{d^6 f(q)}{dq^6} + \dots$$

Bu yerda  $f(q) = X$  bo'lganligi sababli

$$x + iy = X + il \frac{dX}{dq} - \frac{1}{2}l^2 \frac{d^2 X}{dq^2} - \frac{1}{6}il^3 \frac{d^3 X}{dq^3} + \frac{1}{24}l^4 \frac{d^4 X}{dq^4} + \frac{1}{120}il^5 \frac{d^5 X}{dq^5} - \frac{1}{720}l^6 \frac{d^6 X}{dq^6} + \dots \quad (21.18.9)$$

Kompleks sonlar nazariyasiga ko'ra tenglikning haqiqiy hadlar qatorini haqiqiy xadlariga, mavhum hadlar qatorini mavhum hadlariga tenglash mumkin, unda:

$$x = X - \frac{1}{2}l^2 \frac{d^2 X}{dq^2} + \frac{1}{24}l^4 \frac{d^4 X}{dq^4} - \frac{1}{720}l^6 \frac{d^6 X}{dq^6} + \dots \quad (21.18.10)$$

$$y = l \frac{dX}{dq} - \frac{1}{6}l^3 \frac{d^3 X}{dq^3} + \frac{1}{120}l^5 \frac{d^5 X}{dq^5} - \dots \quad (21.18.11)$$

(21.18.10) va (21.18.11) formulalar ellipsoid nuqtalarni Gauss-Kryuger proeksiyasida tekislikda tasvirlash qonuniyatini ifodalovchi umumiy ko'rinishdagi asosiy tenglamalar hisoblanadi.

**§21.18.1  $B, L$  geodezik koordinatalardan foydalanib  $x, u$  to'g'ri burchakli koodinatalarni hisoblash (to'g'ri masala)**

Gauss-Kryuger to'g'ri burchakli koordinatalarni hisoblash uchun

$$\frac{dX}{dq}; \frac{d^2 X}{dq^2}; \dots; \frac{d^4 X}{dq^4},$$

hosilalarni topib, umumiy ko'rinishdagi asosiy tenglamaga qo'yish kerak.

Yozuvlarni qisqa yozish uchun belgilashlar kiritamiz:

$$\left. \begin{aligned} c &= \frac{a^2}{b}; & t &= tg B; \\ \eta^2 &= e^2 \cos^2 B; & V^2 &= 1 + \eta^2 \end{aligned} \right\} \quad (21.18.1)$$

**Birinchi hosila:** Bizga ma'lumki

$$\begin{aligned} dX &= M dB; \\ dq &= \frac{M dB}{N \cos B} \end{aligned}$$

bulardan foydalanib yozishimiz mumkin,

$$\frac{dX}{dq} = N \cos B, \text{ lekin } N = \frac{C}{V} \text{ va shu sababli}$$

$$\frac{dX}{dq} = \frac{C}{V} \cos B \quad (21.18.1.2)$$

**Ikkinchi hosila:**

$$\frac{d^2 X}{dq^2} = \frac{-c \sin BV - c \cos B \frac{dV}{dB}}{V^2} \cdot \frac{dB}{dq} = \left[ -\frac{c}{V} \sin B - \frac{c}{V^2} \cos B \frac{dV}{dB} \right] \frac{dB}{dq} \quad (21.18.1.3)$$

$\frac{dV}{dB}$  differensialini topish uchun  $V^2 = 1 + e^2 \cos^2 B$  formulasini differensiallaymiz:

$$2V dB = -2e^2 \cos B \sin B dB,$$

bundan

$$\frac{dV}{dB} = \frac{-e^2 \cos B \sin B}{V} \quad (21.18.1.4)$$

(21.18.14)ni (21.18.13) ga qo'yamiz

$$\begin{aligned}\frac{d^2 X}{dq^2} &= \left[ -\frac{c}{V} \sin B - \frac{c}{V^2} \cos B \left( -\frac{e^2 \cos B \sin B}{V} \right) \right] \frac{dB}{dq} = \left[ -\frac{c}{V} \sin B + \frac{c}{V^3} e^2 \cos^2 B \sin B \right] \frac{dB}{dq} = \\ &= \left[ -\frac{c}{V} \sin B + \frac{c}{V^3} e^2 \cos^2 B \sin B \right] \frac{dB}{dq} = \left[ -\frac{cV^2 \sin B - ce^2 \cos^2 B \sin B}{V^3} \right] \frac{dB}{dq} = \\ &= \left[ -\frac{c(1+\eta^2) \sin B - c\eta^2 \sin B}{V^3} \right] \frac{dB}{dq} = \left[ -\frac{c \sin B + c\eta^2 \sin B - c\eta^2 \sin B}{V^3} \right] \frac{dB}{dq},\end{aligned}$$

Bundan

$$\frac{d^2 X}{dq^2} = -\frac{c}{V^3} \sin B \frac{dB}{dq} \quad (21.18.1.5)$$

$$dq = \frac{M dB}{N \cos B} \text{ tenglikdan topamiz. Bundan } \frac{dB}{dq} = \frac{N \cos B}{M} \text{ ni topib}$$

(21.18.1.5)ga qo'ysak

$$\frac{d^2 X}{dq^2} = -\frac{c}{V^3} \sin B \cdot \frac{N \cos B}{M},$$

kelib chiqadi.

$$\frac{c}{V^3} = M \text{ ekanligini inobatga olsak}$$

$$\frac{d^2 X}{dq^2} = -N \sin B \cos B \quad (21.18.1.6)$$

Shu yo'sinda qolgan hosilalar topiladi, ularni asosiy tenglamalarga (21.18.10), (21.18.11)larga qo'ysak to'g'ri masalani yechish uchun ishchi formulalar hosil qilinadi:

$$x = X + \frac{l^{n2}}{2\rho^{n2}} N \cos B \sin B + \dots, \quad (21.18.1.7)$$

$$y = \frac{l^n}{\rho^n} N \cos B + \dots \quad (21.18.1.8)$$

Triangulyatsiyada talab etilgan aniqlikdagi hisoblashni bajarish uchun oltinchi tartibdagi hosilalarni topib va ularni asosiy tenglamalarga qo'yib ish formulalarni keltirib chiqarish mumkin:

$$\begin{aligned}x = X + \frac{l^{n2}}{2\rho^{n2}} N \sin B \cos B \left\{ 1 + \frac{l^{n2} \cos^2 B}{12\rho^{n2}} (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \right. \\ \left. + \frac{l^{n4} \cos^4 B}{360\rho^{n4}} (61 - 58t^2 + t^4) \right\} \quad (21.18.1.9)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y = \frac{l^n}{\rho^n} N \cos B \left\{ 1 + \frac{l^{n2} \cos^2 B}{6\rho^{n2}} (1 - t^2 + \eta^2) + \right. \\ \left. + \frac{l^{n4} \cos^4 B}{120\rho^{n4}} (5 - 18t^2 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) \right\} \quad (21.18.1.10)\end{aligned}$$



EHM dan foydalanib  $B$ ,  $L$  asosida  $x$  va  $u$  larni hisoblash uchun quyidagi formulalardan foydalanish maqsadga muvofiq:

$$\left. \begin{aligned} x &= 63675584969 \frac{B^*}{\rho^*} - \left\{ a_0 - \left[ 0.5 (a_4 + a_6 l^2) l^2 \right] l^2 N \right\} \sin B \cos B \\ y &= \left[ 1 + (a_3 + a_5 l^2) l^2 \right] l N \cos B \end{aligned} \right\} \quad (8.1.11)$$

(21.18.1.11) formulalarda quyidagi belgilashlar kiritilgan:

$l \approx \frac{(L - L_0)^*}{\rho^*}$  - berilgan nuqta uzoqligi bilan o'q meridianuzoqligi ayirmasi, radian o'lchovida ifodalangan.

$$N = 6399698,902 - [2562,267 - (108,973 - 0,612 \cos^2 B) \cos^2 B] \cos B;$$

$$a_0 = 32140,404 - [135,3302 - (0,7092 - 0,0040 \cos^2 B) \cos^2 B] \cos^2 B;$$

$$a_4 = (0,25 + 0,00252 \cos^2 B) \cos^3 B - 0,04166;$$

$$a_6 = (0,166 \cos^2 B - 0,084) \cos^2 B;$$

$$a_3 = (0,3333333 + 0,001123 \cos^2 B) \cos^2 B - 0,1666667;$$

$$a_5 = 0,0083 - [0,1667 - (0,1968 + 0,0040 \cos^2 B) \cos^2 B] \cos^2 B$$

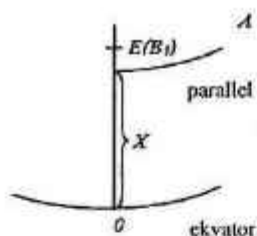
1-klass triangulyatsiyada kengliklar va uzoqliklar  $0,0001''$ ;  $x, u$  koordinatalar  $0,001 \text{ m}$  gacha hisoblanadi. Ordinata qiymati  $u$ , zona o'q meridianiga nisbatan hosil qilinadi.

## §21.18.2 To'g'ri burchakli koordinatalardan foydalanib geodezik koordinatalarni hisoblash (teskari masala)

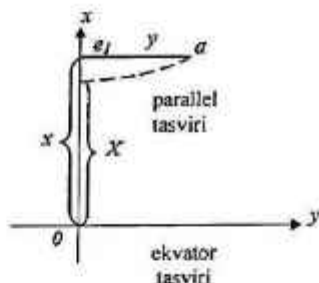
### PROEKSIIYA SHARTIGA KO'RA

$$\left. \begin{aligned} B &= f(x, y); \\ L &= f(x, y); \end{aligned} \right\} \text{ yoki } \left. \begin{aligned} q + il &= F(x + iy); \\ q - il &= F(x - iy); \end{aligned} \right\} \quad (21.18.2.1)$$

bo'lishi kerak.



ellipsoidda



tekislikda

(21.18.2.1)ni Teylor qatoriga yoyamiz:

$$q + il = F(x + iy) = F(x) + iyF'(x) - \frac{1}{2}y^2F''(x) - \frac{1}{6}iy^3F'''(x) + \frac{1}{24}y^4F^{(4)}(x) + \dots \quad (21.18.2.2)$$

$$q - il = F(x - iy) = F(x) - iyF'(x) - \frac{1}{2}y^2F''(x) + \frac{1}{6}iy^3F'''(x) + \frac{1}{24}y^4F^{(4)}(x) + \dots \quad (21.18.2.3)$$

(21.18.2.2) va (21.18.2.3)dan quyidagilarni topamiz:

$$q = F(x) - \frac{1}{2}y^2F''(x) + \frac{1}{24}y^4F^{(4)}(x) - \dots \quad (21.18.2.4)$$

$$l = yF'(x) - \frac{1}{6}y^3F'''(x) + \dots \quad (21.18.2.5)$$

Tekislikda nuqta abssissasi  $oe_1$  kesma bilan aniqlanadi, bu kesmaga ellipsoidda  $OE$ ,  $B_1$  kengligacha bo'lgan meridian yoyi mos keladi.  $E$  nuqta uchun  $l = 0$ ; ( $y = 0$ ), va o'z navbatida shu nuqta uchun

$$q_1 = F(x), \quad (21.18.2.6)$$

bu yerda  $q_1$  kenglik  $V_1$ ni funksiyasi sifatida hisoblanadi.  $V_1$ -kenglik esa  $x$  argument asosida jadvaldan olinadi.

(21.18.2.6) tenglikni inobatga olib, (21.18.2.4), (21.18.2.5) formularni qayta yozamiz

$$q = q_1 - \frac{1}{2}y^2 \left( \frac{d^2q}{dx^2} \right)_1 + \frac{1}{24}y^4 \left( \frac{d^4q}{dx^4} \right)_1 - \dots, \quad (21.18.2.7)$$

$$l = y \left( \frac{dq}{dx} \right)_1 - \frac{1}{6}y^3 \left( \frac{d^3q}{dx^3} \right)_1 + \dots, \quad (21.18.2.8)$$

MA'LUMKI

$$dq = \frac{MdB}{N \cos B}.$$

Bu tenglik asosida yozishimiz mumkin:

$$\left. \begin{aligned} B &= \varphi(q) = \varphi[q_1 + (q - q_1)] \\ B_1 &= \varphi(q_1) \end{aligned} \right\} \quad (21.18.2.9)$$

(21.18.2.9)ni Teylor qatoriga yoyamiz:

$$B = \varphi(q_1) + (q - q_1)\varphi'(q_1) + \dots$$

$(q-q_1)$ ni (21.18.2.7) formula bilan almashtiramiz, unda

$$B = B_1 - \left[ \frac{1}{2} y^2 \left( \frac{d^2 q}{dx^2} \right)_1 - \frac{1}{24} y^4 \left( \frac{d^4 q}{dx^4} \right) \right] \frac{dB_1}{dq_1} \quad (21.18.2.10)$$

Ishchi formulalarni olish uchun hosila olamiz:

**Birinci hosila:** Bizga ma'lumki

$dq = \frac{M dB}{N \cos B}$ ; lekin  $M dB = dx$ ; shu sababli

$$\left( \frac{dq}{dx} \right)_1 = \frac{1}{N_1 \cos B_1} \quad (21.18.2.11)$$

$N \cos B = r$  bo'lganligi uchun

$$\left( \frac{dq}{dx} \right)_1 = \frac{1}{r_1} \quad (21.18.2.12)$$

**Ikkinchi hosila:**

$$\frac{d^2 q}{dx^2} = \frac{d \left( \frac{dq}{dx} \right)}{dB} \frac{dB}{dx} \quad (21.18.2.13)$$

$$\frac{dB}{dx} = \frac{1}{M} \text{ ligi ma'lum, u holda} \quad (21.18.2.14)$$

$$\frac{d}{dB} \left( \frac{dq}{dx} \right) = \frac{d}{dB} \left( \frac{1}{r} \right) = -\frac{1}{r^2} \frac{dr}{dB} \quad (21.18.2.15)$$

Bundan  $\frac{dr}{dB}$  ni topamiz

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dB} &= \frac{d(N \cos B)}{dB} = -N \sin B + \cos B \frac{d}{dB} \left[ \alpha (1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}} \right] = \\ &= -N \sin B + \cos B \left[ -\frac{1}{2} \alpha (1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{3}{2}} (-2e^2 \sin B \cos B) \right] = \\ &= -N \sin B + \cos B \left[ \frac{\alpha e^2 \sin B \cos B}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} \right] = -\frac{\alpha \sin B}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\alpha e^2 \sin B \cos^2 B}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} = \\ &= \frac{-\alpha \sin B (1 - e^2 \sin^2 B) + \alpha e^2 \sin B (1 - \sin^2 B)}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} = \\ &= \frac{-\alpha \sin B + \alpha e^2 \sin^3 B + \alpha e^2 \sin B - \alpha e^2 \sin^3 B}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} = \frac{-\alpha \sin B (1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}} \end{aligned}$$

agarda  $M = \frac{\alpha(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}}$  ekanligini inobatga olsak,

$$\frac{dr}{dB} = -M \sin B \quad (21.18.2.16)$$

(21.18.2.13); (21.18.2.14); (21.18.2.15); (21.18.2.16) formulalardan foydalanib ikkinchi hosilani topamiz

$$\frac{d^2 q}{dx^2} = \left(-\frac{1}{r^2}\right) (-M \sin B) \cdot \frac{1}{M} = \frac{1}{r^2} \sin B$$

yoki

$$\left(\frac{d^2 q}{dx^2}\right)_1 = \frac{\sin B_1}{N_1^2 \cos^2 B_1} = \frac{t_1}{N_1^2 \cos B_1} \quad (21.18.2.17)$$

(21.18.2.8), (21.18.2.10), (21.18.2.11), (21.18.2.17) formulalardan foydalanib va  $\frac{dB_1}{dq_1} = \frac{N_1 \cos B_1}{M_1}$  ekanligini hisobga olib, quyidagini topamiz:

$$B = B_1 - \left[ \frac{1}{2} y^2 \frac{t_1}{N_1^2 \cos B_1} - \dots \right] \frac{N_1 \cos B_1}{M_1} \text{ yoki } B = B_1 - \frac{y^2 t_1}{2 M_1 N_1} \rho'' - \dots \quad (21.18.2.18)$$

$$\rho'' = \frac{y}{N_1 \cos B_1} \rho'' - \dots \quad (21.18.2.19)$$

To'liq (hisoblashda yuqori aniqlikni ta'minlovchi) formulalarni olish uchun yuqori tartibdagi hosilalarni topib, (21.18.2.8), (21.18.2.10) formulalarga qo'yib ishchi formulalar keltirib chiqariladi:

$$\rho'' = \frac{y}{N_1 \cos B_1} \rho'' \left[ 1 - \frac{y^2}{6 N_1^2} (1 + 2t_1^2 + \eta_1^2) + \frac{y^4}{120 N_1^4} (5 + 28t_1^2 + 24t_1^4 + 6\eta_1^2 + 8\eta_1^2 t_1^2) \right]$$

$$B = B_1 - \frac{y^2}{2 M_1 N_1} t_1 \rho'' \left[ 1 - \frac{y^2}{12 N_1^2} (5 + 3t_1^2 + \eta_1^2 - 9\eta_1^2 t_1^2) + \frac{y^4}{360 N_1^4} (61 + 90t_1^2 + 45t_1^4) \right]$$

EHM dan foydalanib  $x, u$  asosida  $B, L$  ni hisoblash uchun quyidagi formulalardan foydalanish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} B &= B_1 - \left[ 1 - (b_4 - 0.12z^2) \right] z^2 b_2 \rho''; \\ L &= L_0 + l; \\ l &= \left[ 1 - (b_1 - b_3 z^2) \right] z^2 \rho''; \end{aligned} \right\} \quad (21.18.2.20)$$

bunda

$$B_x = \beta + \left\{ 50221746 + [293622 + (2350 + 22 \cos^2 \beta) \cos^2 \beta] \cos^2 \beta \right\} 10^{-10} \sin \beta \cos \beta \rho''$$

$$\beta = (x / 6367558.4969) \rho''$$

$$z = y / (N_x \cos B_x)$$

$$N_x = 6399698.902 - [21562.267 - (108.973 - 0.612 \cos^2 B_x) \cos^2 B_x] \cos^2 B_x$$

$$b_2 = (0.5 + 0.003369 \cos^2 B_x) \sin B_x \cos B_x$$

$$b_3 = 0.333333 - (0.166667 - 0.001123 \cos^2 B_x) \cos^2 B_x$$

$$b_4 = 0.225 + (0.16161 + 0.00562 \cos^2 B_x) \cos^2 B_x$$

$$b_5 = 0.2 - (0.1667 - 0.0088 \cos^2 B_x) \cos^2 B_x$$

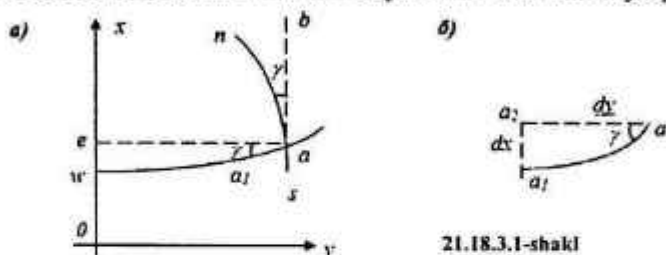
$B, L$  asosida to'g'ri burchakli Gauss-Kryuger koordinatalari  $x, u$  ni hisoblash formulalari (21.18.1.11) va  $x, u$  asosida  $B, L$  larni hisoblash formulalari (21.18.2.20) 1 klass triangulyatsiya va poligonometriyani

hisoblashda ishlatiladi. Bu formulalar to'g'ri burchakli koordinatalarni 0,001 m, geodezik koordinatalarni 0,0001" aniqlikda hisoblashni ta'minlaydi.

Geodezik ishlar amaliyotida bu kabi aniqlikdagi hisoblash kam talab etiladi. Shu sababli yuqori aniqlik talab etilmaydigan hisoblash ishlarida (21.18.1.11) va (21.18.2.20) formulalarni soddalashtirish mumkin.

### 21.18.3 Tekislikda meridianlar yaqinlashishini hisoblash

#### 1. Geodezik koordinatalar funksiyasida meridianlar yaqinlashishi



21.18.3.1-shakl

21.18.3.1-shaklda:

$an$ -ellipsoiddagi  $A$  nuqtani tekislikdagi tasviri,

$ns$ - $A$  nuqtadan o'tgan meridian tasviri,

$aw$ - $A$  nuqtadan o'tgan parallel tasviri,

$ab$ -abssissa o'qiga parallel to'g'ri chiziq,

$ae$ -ordinata o'qiga parallel to'g'ri chiziq,

$\gamma$ -tekislikda meridianlar yaqinlashish burchagi keltirilgan.

Parallel tasvirda  $a$  nuqtaga yetarlicha yaqinlikda  $a_1$  nuqta olamiz.

Hosil bo'lgan elementar  $aa_1a_2$  uchburchakdan yozishimiz mumkin:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{dx}{dy} \quad (21.18.3.1)$$

(21.18.3.1) formulani quyidagi o'zgarishda yozamiz,

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\frac{dx}{dl}}{\frac{dy}{dl}} \quad (21.18.3.2)$$

To'g'ri masala yechishda ishlatiladigan formulalarni differensiallash orqali  $\frac{dx}{dl}$  va  $\frac{dy}{dl}$  larni topamiz:

$$x = X + \frac{r^2}{2\rho'^2} N \cos B \sin B + \dots \text{dan}$$

$$\frac{dx}{dl} = \frac{l''}{\rho''^2} N \cos B \sin B + \dots \quad (21.18.3.3)$$

$$y = \frac{l''}{\rho''} N \cos B + \dots \text{ dan}$$

$$\frac{dy}{dl} = \frac{l}{\rho''} N \cos B + \dots \quad (21.18.3.4)$$

(21.18.3.2), (21.18.3.3), (21.18.3.4) formulalardan foydalanib, quyidagini topamiz:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{l''}{\rho''} \sin B + \dots \quad (21.18.3.5)$$

Bizga ma'lumki  $\gamma = \operatorname{tg} \gamma - \frac{1}{3} \operatorname{tg}^3 \gamma + \frac{1}{5} \operatorname{tg}^5 \gamma - \dots$  (teskari trigonometrik qator).

Shu sababli

$$\gamma'' = l'' \sin B + \dots \quad (21.18.3.6)$$

Bundan tashqari meridianlar yaqinlashishini hisoblashning qator formulalari mavjud, ulardan yana birini keltiramiz. Agar to'g'ri burchakli koordinatalardan foydalanib 0,001'' aniqlikda. I klass triangulyatsiyada  $\gamma$  ni hisoblash talab etilsa quyidagi formuladan foydalanish mumkin

$$\gamma = \left\{ 1 - \left[ 0,33333 - 0,00225 \cos^4 B_x \right] - (0,2 - 0,067 \cos^2 B_x) z^2 \right\} z \sin B_x \rho'', (18.3.7)$$

bu formulada (21.18.2.20) formuladagi belgilash ishlatilgan.

2. To'g'ri burchakli koordinatalar funksiyasida meridianlar yaqinlashishi

(21.18.3.6) formuladagi  $\sin B$  ni quyidagicha ko'rinishda yozamiz

$$\sin B = \sin [B_1 - (B_1 - B)]$$

Bu ifodani Teylor qatoriga yoyamiz,

$$\sin B = \sin B_1 - \frac{(B_1 - B)''}{\rho''} \cos B_1 - \dots \quad (21.18.3.8)$$

(21.18.2.18) dan,

$$(B_1 - B)'' \approx \frac{y^2 l_1}{2 M_1 N_1} \rho'' - \dots \quad (21.18.3.9)$$

(21.18.3.9) ni inobatga olsak, (21.18.3.8) ni quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\begin{aligned}
\sin B &= \sin B_1 - \frac{y^2 l_1}{2M_1 N_1} \cos B_1 = \sin B_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{2M_1 N_1} \right] = \sin B_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{\frac{2N_1 a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B_1)^{1/2}}} \right] = \\
&= \sin B_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{2N_1^2 \frac{1-e^2}{1-e^2 \sin^2 B_1}} \right] = \sin B_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{2N_1^2} \cdot \frac{1-e^2 \sin^2 B_1}{1-e^2} \right] = \\
&= \sin B_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{2N_1^2} \cdot \frac{1 - \frac{e^2}{1+e^2} \sin^2 B_1}{1 - \frac{e^2}{1+e^2}} \right] = \sin B_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{2N_1^2} \cdot \frac{1+e^2 - e^2(1-\cos^2 B_1)}{1+e^2 - e^2} \right] = \\
&= \sin B_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{2N_1^2} (1+e^2 \cos^2 B_1) \right],
\end{aligned}$$

Yoki 
$$\sin B = \sin B_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{2N_1^2} (1 + \eta_1^2) \right] \quad (21.18.3.10)$$

Bizga ma'lumki

$$l'' = \frac{y}{N_1 \cos B_1} \rho'' \dots \quad (21.18.3.11)$$

(21.18.3.6), (21.18.3.11), (21.18.3.10) formulalar asosida, topamiz:

$$r'' = \frac{y}{N_1 \cos B_1} \rho'' \sin B_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{2N_1^2} (1 + \eta_1^2) \right], \quad (21.18.3.12)$$

$$\text{yoki } r'' = \frac{y}{N_1} \rho'' l_1 \left[ 1 - \frac{y^2}{2N_1^2} (1 + \eta_1^2) \right] \quad (21.18.3.13)$$

Bundan tashqari geodezik koordinatalar  $B$  va  $l = L - L_0$  berilgan bo'lsa,  $\gamma$  ni hisoblashda quyidagi formuladan foydalanish mumkin.

$$\begin{aligned}
\gamma = \left\{ 1 + \left[ (0.33333 + 0.00674 \cos^2 B_1) + \right. \right. \\
\left. \left. + (0.2 \cos^2 B - 0.0067) l^2 \right] l^2 \cos^2 B_1 \right\} l \sin B_1 \rho'' \quad (21.18.3.14)
\end{aligned}$$

Hisoblash 0,01" aniqlikda bajarish talab etilganda

$$\gamma = l \sin B + \frac{1}{3} \frac{l^3}{\rho''} \sin B \cos^2 B (1 + 3\eta^2) \quad (21.18.3.15)$$

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 B; e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}}$$

0,01" aniqlik talab etilganda

$$\gamma = l \sin B + \frac{1}{3} \frac{l^3}{\rho''} \sin B \cos^2 B \quad (21.18.3.16)$$

0,1' aniqlik talab etilganda

$$\gamma = l \sin B$$

(21.18.3.17)

formulalardan foydalaniladi.

## 21.18.4 Tasvirlash masshtabini hisoblash

1. Geodezik koordinatalar funksiyasida tasvirlash masshtabi

Bizga ma'lumki  $m = \frac{dS}{ds}$ ,

$$ds = N \cos B \sqrt{\left(\frac{MdB}{N \cos B}\right)^2 + (dl)^2}$$

$$dS = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2},$$

U holda

$$m^2 = \left(\frac{dS}{ds}\right)^2 = \frac{(dx)^2 + (dy)^2}{(MdB)^2 + (N \cos B)^2 (dl)^2};$$

$$m^2 = \frac{(dy)^2 \left[ \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 + 1 \right]}{(dl)^2 \left[ \left(\frac{MdB}{dl}\right)^2 + (N \cos B)^2 \right]};$$

$$m^2 = \left(\frac{dy}{dl}\right)^2 \cdot \frac{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2}{(N \cos B)^2 \left[ 1 + \left(\frac{MdB}{N \cos B dl}\right)^2 \right]}; \quad (21.18.4.1)$$

$\frac{dx}{dy} = \operatorname{tg} \gamma$  bo'lganligi uchun,

$$1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 = 1 + \operatorname{tg}^2 \gamma = \sec^2 \gamma$$

Shartga ko'ra kenglik doimiy kattalik bo'lganligi sababli (kenglik uzoqliklar farqiga bog'liq emas):

$$\frac{dB}{dl} = 0,$$

Buni inobatga olsak (21.18.4.1) quyidagi ko'rinishni oladi

$$m = \frac{dy}{dl} \frac{\sec \gamma}{N \cos B} \quad (21.18.4.2)$$

$\sec \gamma$  ni Makloren qatoriga yoyamiz:

$(f(x) = f(0) + x f'(0) + \frac{x^2}{2!} f''(0) + \frac{x^3}{3!} f'''(0) + \dots \text{formula yordamida})$



$$\sec \gamma = 1 + \frac{\gamma'^2}{2\rho'^2} \quad (21.18.4.3)$$

Bizga ma'lumki  $\gamma'' = l'' \sin B + \dots$  unda,

$$\sec \gamma = 1 + \frac{l'^2 \sin^2 B}{2\rho'^2} + \dots \quad (21.18.4.4)$$

(21.18.1.10)dan foydalanib  $\frac{dy}{dl}$  ni topamiz, unda

$$\frac{dy}{dl} = N \cos B \left[ 1 + \frac{l'^2}{2\rho'^2} \cos^2 B (1 - t^2 + \eta^2) \right] \quad (21.18.4.5)$$

(21.18.4.4) va (21.18.4.5) ni (21.18.4.2) ga qo'ysak

$$m = \left[ 1 + \frac{l'^2}{2\rho'^2} \cos^2 B (1 - t^2 + \eta^2) \right] \left( 1 + \frac{l'^2 \sin^2 B}{2\rho'^2} \right)$$

Kerakli bo'lgan aniqlikni ta'minlaydigan formulani topamiz:

$$m = 1 + \frac{l'^2}{2\rho'^2} \cos^2 B (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{l'^2 \sin^2 B}{2\rho'^2} = 1 + \frac{l'^2}{2\rho'^2} \cos^2 B - \frac{l'^2}{2\rho'^2} \sin^2 B +$$

$$+ \frac{l'^2}{2\rho'^2} \cos^2 B \eta^2 + \frac{l'^2}{2\rho'^2} \sin^2 B.$$

$$\text{Bundan } m = 1 + \frac{l'^2}{2\rho'^2} \cos^2 B (1 + \eta^2) \quad (21.18.4.6)$$

21.18.5 To'g'ri burchakli koordinatalar funksiyasida tasvirlash  
masshtabi

(21.18.2.19) ni (21.18.4.6) ga qo'ysak

$$m = 1 + \frac{y^2}{2N_1^2} (1 + \eta_1^2) \quad (21.18.5.1)$$

[ (21.18.4.6) formuladagi  $B$  va  $\eta$ ,  $B_1$  va  $\eta_1$  bilan almashtirilgan ]

$\frac{1 + \eta_1^2}{N_1^2}$  o'zgartiramiz,

$$\frac{1 + \eta_1^2}{N_1^2} = \frac{1 + e^2 \cos^2 B_1}{\left[ \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 B_1)^{1/2}} \right]^2} = \frac{\left[ 1 + \frac{e^2}{1 + e^2} (1 - \sin^2 B_1) \right] (1 - e^2 \sin^2 B_1)}{a^2} =$$

$$= \frac{(1 - e^2 \sin^2 B_1) (1 - e^2 \sin^2 B_1)}{a^2 (1 - e^2)} = \frac{(1 - e^2 \sin^2 B_1)^2}{a^2 (1 - e^2)}$$

Bizga ma'lumki

$$R = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{(1-e^2 \sin^2 B)},$$

shu sababli

$$\frac{1+\eta_1^2}{N_1^2} = \frac{1}{R_1^2} \quad (21.18.5.2)$$

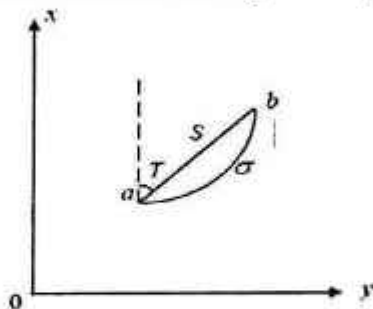
(21.18.5.2) ni inobatga olsak (21.18.5.1) quyidagi ko'rinishga keladi,

$$m = 1 + \frac{y^2}{2R_1^2} + \dots \quad (21.18.5.3)$$

(21.18.5.3) ning to'liqroq ko'rinishi

$$m = 1 + \frac{y^2}{2R_1^2} + \frac{y^4}{24R_1^4} + \dots \quad (21.18.5.4)$$

### 21.18.6 Masofani tekislikga reduksiyalash



21.18.6.1-shakl

21.18.6.1-shaklda:

$S$ - $a$  va  $b$  nuqtalar orasidagi to'g'ri chiziq bo'yicha masofa

$\sigma$ -geodezik chiziq tasviri;

$T$ - $ab$  chiziq direksion burchagi;

$u$ - $a$  nuqta ordinatasi;

$u$ - $b$  nuqta ordinatasi;

$R_m$ - $ab$  chiziqni o'rtacha egrilik radiusi keltirilgan.

Bizga ma'lumki  $m = \frac{dS}{ds}$ , bundan

$$s = \int_0^s \frac{dS}{m} \quad \text{yoki} \quad s = \int_0^s \left(1 + \frac{y^2}{2R^2}\right)^{-1} dS \quad (21.18.6.1)$$

Integral ostidagi ifodani binom qatoriga yoyib,

$((1+x)^{-1} = 1 - x + x^2 - x^3 + \dots$  formula yordamida) birinchi hadini saqlab, quyidagini topamiz:

$$s = \int_0^S \left( 1 - \frac{y^2}{2R^2} \right) dS \quad (21.18.6.2)$$

$b$  nuqta uchun  $y = y_1 + S \sin T$ , u holda (21.18.6.2) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$S = \int_0^S \left[ 1 - \frac{(y_1 + S \sin T)^2}{2R^2} \right] dS \text{ yoki } S = \int_0^S \left( 1 - \frac{y_1^2 + 2y_1 S \sin T + S^2 \sin^2 T}{2R^2} \right) dS \quad (21.18.6.3)$$

(21.18.6.3)ni integrallaymiz

$$s = \left( s - \frac{y_1^2 S}{2R^2} - \frac{y_1 S^2 \sin T}{2R^2} - \frac{S^3 \sin^2 T}{6R^2} \right) s$$

va integrallash chegaralarini hisobga olib,  $S$  ni qavsdan tashqariga chiqarsak

$$s = S \left( 1 - \frac{y_1^2}{2R^2} - \frac{y_1 S \sin T}{2R^2} - \frac{S^2 \sin^2 T}{6R^2} \right) = S \left( \frac{6R^2 - 3y_1^2 - 3y_1 S \sin T - S^2 \sin^2 T}{6R^2} \right) \quad (21.18.6.4)$$

Bizga ma'lumki  $y_1 = y_m - \frac{\Delta y}{2}$ ;  $\Delta y = S \sin T$ ;  $\Delta y = y_2 - y_1$ . Buni hisobga olsak (21.18.6.4) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$s = S \left[ \frac{6R^2 - 3 \left( y_m - \frac{\Delta y}{2} \right)^2 - 3 \left( y_m - \frac{\Delta y}{2} \right) \Delta y - \Delta y^2}{6R^2} \right] \text{ yoki} \\ s = S \left( 1 - \frac{y_m^2}{2R^2} - \frac{\Delta y^2}{24R^2} \right) \quad (21.18.6.5)$$

(21.18.6.5) ni  $S$  ga nisbatan yechsak:

$$S = s \left( 1 - \frac{y_m^2}{2R^2} - \frac{\Delta y^2}{24R^2} \right)^{-1} \quad (21.18.6.6)$$

(21.18.6.6) ni qatorga yoyib birinchi hadini saqlab qolsak:

$$S = s \left( 1 + \frac{y_m^2}{2R_m^2} + \frac{\Delta y^2}{24R_m^2} \right) \quad (21.18.6.7)$$

(21.18.6.7.) formulani keltirib chiqarish soddaroq bo'lishi uchun hadlar soni chegaralangan edi. Bu formula 2 klass triangulyatsiyaga ishlov berishda qo'llaniladi, 3-4 klass triangulyatsiyaga ishlov berishda formulaning ikki xadi bilan chegaralanish mumkin.

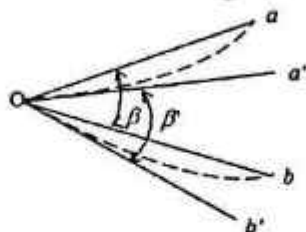
1 klass triangulyatsiyaga ishlov berishda quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$S = s \left( 1 + \frac{y_m^2}{2R_m^2} + \frac{\Delta y^2}{24R_m^2} - \frac{y_m^4}{12R_m^4} \right) \quad (21.18.6.8.)$$

(21.18.6.8.)ning logarifmli ko'rinishi:

$$\lg S = \lg s + \frac{\mu}{2} \left( \frac{y_m}{R_m} \right)^2 + \frac{\mu}{24} \left( \frac{\Delta y}{R_m} \right)^2 - \frac{\mu}{12} \left( \frac{y_m}{R_m} \right)^4 \quad (21.18.6.9)$$

## 21.18.7 Yo'nalishni tekislikga reduksiyalash



21.18.7.1-shakl

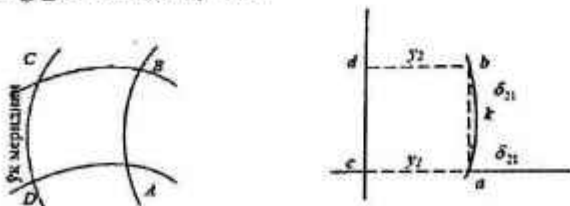
21.18.7.1-shaklda:

$\beta$ -geodezik chiziqlar tasviri orasidagi burchak,

$\beta$ -vatarlar orasidagi burchak keltirilgan

Gauss-Kryuger proeksiyasi konformligi sababli burchaklarda o'zgarish bo'lmaydi, ya'ni  $\angle \beta = \angle \beta'$

Lekin geodezik chiziqlar tasviri egriligicha qoladi, ulardan to'g'ri chiziqqa o'tish uchun yo'nalishiga tuzatma kiritiladi. Bu tuzatmalarni yo'nalish reduksiyasiga tuzatmalar yoki geodezik chiziqning tekislikdagi tasvirini egriligiga tuzatma deyiladi.



21.18.7.2-shakl

Ellipsoid sathida AV geodezik chiziq olaylik, uni tekislikdagi tasviri  $akb$  bo'lsin 21.18.7.2-shakl.

Belgilash kiritamiz:  $x_1, y_1$  va  $x_2, y_2$  —  $a$  va  $b$  nuqtalar koordinatasi;  $\delta_{12}$  va  $\delta_{21}$  yoʻnalish reduksiyasiga tuzatmalar.

Tekislikdagi  $akbdc$  shaklga ellipsoidda  $ABDC$  shakl mos keladi.

$ADCB$  burchaklarining yigʻindisi  $360^\circ + \xi$  ga,  $akbdc$  burchaklarini yigʻindisi  $360^\circ + \delta_{12} + \delta_{21}$  ga teng. Proeksiya konformligini inobatga olsak:

$$360^\circ + \xi = 360^\circ + \delta_{12} + \delta_{21},$$

$$\text{bundan } \xi = \delta_{12} + \delta_{21} \quad (21.18.7.1)$$

kelib chiqadi. Agarda  $\delta_{12} \approx \delta_{21}$  desak, u holda

$$\xi = 2\delta_{12}, \quad \text{bundan} \quad \delta_{12} = \frac{\xi}{2} \quad (21.18.7.2)$$

$$\xi'' = \frac{(x_2 - x_1)(y_1 + y_2)}{2R^2} \rho'' \text{ ekanligini hisobga olsak}$$

$$\delta''_{12} = \frac{(x_2 - x_1)(y_1 + y_2)}{4R^2} \rho'' \quad (21.18.7.3)$$

$$x_2 - x_1 = \Delta x; \quad (y_1 + y_2)/2 = y_m \text{ desak}$$

$$\delta''_{12} = \frac{\Delta x y_m}{2R^2} \rho'' \quad (21.18.7.4)$$

Ishoralarni inobatga olgan holda:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{12} &= + \frac{\Delta x y_m}{2R^2} \rho'' \\ \delta_{21} &= - \frac{\Delta x y_m}{2R^2} \rho'' \end{aligned} \right\} \quad (21.18.7.5)$$

(21.18.7.5) formula 3 va 4 klass triangulyatsiyada yoʻnalish reduksiyalariga tuzatmalarini hisoblashda ishlatiladi, 2 klass triangulyatsiyada quyidagi formulalardan foydalaniladi:

$$\left. \begin{aligned} \delta''_{12} &= + \frac{1}{3} f (x_2 - x_1)(2y_1 + y_2) \\ \delta''_{21} &= - \frac{1}{3} f (x_2 - x_1)(2y_2 + y_1) \end{aligned} \right\} \quad (21.18.7.6)$$

$$\text{bunda } f = \frac{\rho''}{2R_m^2}$$

Agarda tuzatmalarni 0,01" aniqlikda hisoblash talab etilsa quyidagi formuladan foydalanish mumkin

$$\delta''_{12} = -\delta''_{21} = -0,00253(x_2 - x_1)y_m$$

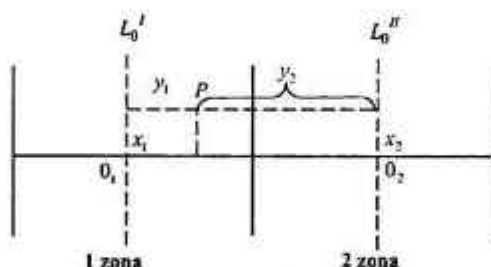
## § 21.19. Gauss-kryuger koordinatalarini bir zonadan boshqa zonaga qayta hisoblash

Bunday masala quyidagi hollarda kelib chiqadi:

1. Ikki qo'shni zonalar birikish joyida bo'lgan triangulyatsiya tarmog'ini tenglashtirishda tarmoq koordinatalari bir zonaga o'tkaziladi;
2. Ikki qo'shni zonalar birikishi joyida yirik masshtabda planga olish bajarilayotganda olti graduslik zonadan uch gradusli zonaga o'tiladi.

Koordinatalarni zonadan-zonaga qayta hisoblashni turli usullari mavjud, ulardan ayrimlarini ko'rib chiqamiz:

a)  $R$  punkt koordinatalari  $x_1, y_1$  ni bir zonadan ikkinchi zonaga o'tkazish talab etilsin, 21.19.1-shakl.



21.19.1-shakl

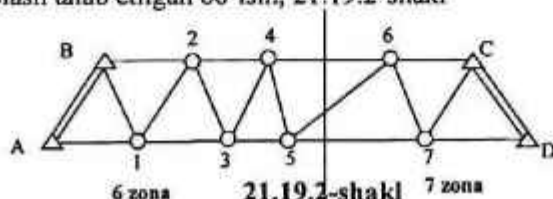
$x_1, y_1$  berilgan koordinatalar asosida,  $P$  punktni  $B_1, L_1$  –geodezik koordinatalari hisoblanadi (teskari masala). So'ngra  $P$  nuqtaning ikkinchi zona o'q meridiani uzoqligiga nisbatan farqi aniqlaniladi:

$$l = L_1 - L_0^{II}$$

Bundan keyin  $R$  punktni ikkinchi zonadagi to'g'ri burchakli koordinatalari  $x_2, y_2$  hisoblanadi (to'g'ri masala).

Bu usul koordinatalari qayta hisoblanishi zarur bo'lgan punktlar soni kam bo'lganda va katta aniqlikda hisoblash talab etilganda qo'llaniladi.

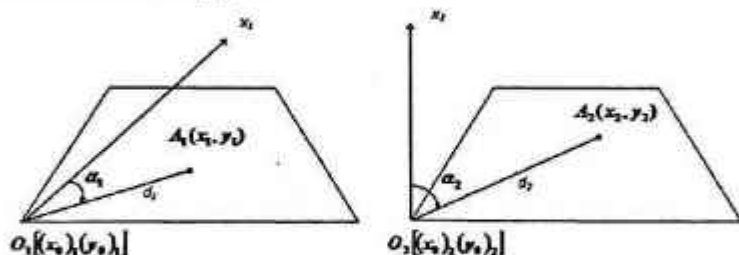
b) Bir nechta punktlar koordinatalarini bir zonadan boshqa zonaga qayta hisoblash talab etilgan bo'lsin, 21.19.2-shakl



21.19.2-shakl

Berilgan triangulyatsiya to'ri 6 zonada tenglashtiriladi. So'ngra 1-5 nuqtalar koordinatalarini 6 zonada, 6 va 7 nuqtalar koordinatalari 7 zonada hisoblaniladi. Bundan tashqari zonalarga bo'luvchi meridiani ikkala tomonidan 30' kenglikda yopilma (perekro'tiya) beriladi. Bu jarayon quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1. C va D nuqtalar koordinatalari 6 zonaga qayta hisoblanadi;
  2. Oltinchi zona tizimida barcha punktlarni taqribiy koordinatalari aniqlaniladi. Yo'nalishlarni reduksiyalari hisoblanib o'lchangan yo'nalishlarga tuzatmalar beriladi;
  3. Triangulyatsiya to'ri 6-zonada tenglashtiriladi;
  4. 1-5 punktlarni 6-zonada yakuniy koordinatalari hisoblaniladi;
  5. Yettinchi zonada joylashgan triangulyatsiya to'ri punktlarining ellipsoid sathi qayta hisoblanadi, ya'ni tenglashtirilgan yo'nalishlarga yo'nalish reduksiyasi uchun tuzatmalar kiritiladi;
  6. Yettinchi zonadagi C va D punktlar koordinatalaridan foydalanib 7 va 6 punktlar taqribiy koordinatalari aniqlaniladi va yo'nalishlar uchun reduksiyalar hisoblanadi. Topilgan tuzatmalar tenglashtirilgan sferik yo'nalishlarga kiritiladi va natijada tenglashtirilgan yo'nalishlar hosil qilinadi;
  7. Yettinchi zonadagi C va D punktlar koordinatalaridan foydalanib 6 va 7 punktlarni yettinchi zonadagi natijaviy koordinatalari aniqlaniladi;
  8. Maxsus jadvallardan foydalanib koordinatalarni bir zonadan boshqa zonaga qayta hisoblash.
- A.M. Virovs, B.N. Rabinovich va S.P. Gerasimenko, A.V. Butkevichlar tomonidan ishlab chiqilgan jadvallar eng ko'p qo'llaniladi.
- Virovs va Rabinovich jadvallaridan foydalanib, masalani yechish qoidalarini ko'rib chiqaylik.



21.19.3-shakl

21.19.3-shakl bo'yicha quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$x_1 y_1 - A$  nuqtaning birinchi zonada berilgan koordinatalari.

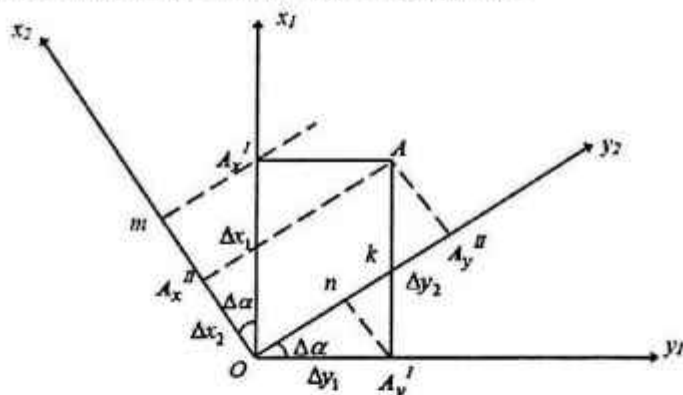
$x_2 y_2 - A$  nuqtaning ikkinchi zonadagi qidirilayotgan koordinatalari.

$O_1 x_1$  va  $O_2 x_2$  - birinchi va ikkinchi zonalarining abssissa o'qlariga parallel bo'lgan chiziqlari.

$\alpha_1$  va  $\alpha_2$  -  $OA$  chiziqlarning direksion burchaklari.

Birinchi zonada joylashgan  $A$  nuqta koordinatalarini ikkinchi zonaga qayta hisoblash talab etilgan bo'lsin. Maxsus jadvalardan foydalanib, trapesiya ramka uchlarining koordinatalari aniqlaniladi. Birinchi zonada  $O_1$  va  $A_1$  nuqtalar orasidagi koordinatalar orttirmalari  $\Delta x_1$  va  $\Delta y_1$  lar topiladi.

$OA$  chiziqlarni direksion burchaklari mos kelmaydi, shu sababli ular orasidagi farqni  $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ , koordinatalar o'qlarining burilish burchagi deb qarash mumkin. Shu nuqtai nazardan  $O_2$  va  $A_2$  nuqtalarning ikkinchi zonadagi koordinatalar orttirmalari  $\Delta x_2$  va  $\Delta y_2$  topiladi.



21.19.4-shakl

21.19.4-shakldan quyidagilarni yozishimiz mumkin

$$\Delta x_2 = (\Delta x_1 \cos \Delta\alpha - \Delta y_1 \sin \Delta\alpha) \Delta m$$

$$\Delta y_2 = (\Delta y_1 \cos \Delta\alpha + \Delta x_1 \sin \Delta\alpha) \Delta m$$

$$x_2 = (x_0)_2 + \Delta x_2$$

$$y_2 = (y_0)_2 + \Delta y_2$$

bu yerda

$$\Delta\alpha = (\gamma_0)_1 - (\gamma_0)_2 + \Delta\delta$$

$\gamma$  va  $\Delta\delta$  qiymatlari  $\Delta x$  va  $\Delta y$  argumentlar asosida jadvaldan olinadi;

$$\Delta m = 1 + (m-1)_2 - (m-1)_1$$

$(m-1)_i$  - jadvaldan olinadi.



Gauss-Kryuger to'g'ri burchakli koordinatalarini bir zonadan boshqasiga o'zgartirish aniqlik jihatdan yuqori va universalroq usulda quyidagicha amalga oshiriladi:

O'q meridiani  $L_0'$  bo'lgan zonada to'g'ri burchakli koordinata  $x_I$ ,  $u_I$  lar geodezik koordinatalar  $B_I$ ,  $L_I$  lar asosida (21.18.2.20) formuladan foydalanib, topiladi.

So'ngra o'q meridiani  $L_0''$  bo'lgan zonadagi to'g'ri burchakli koordinata  $x_{II}$ ,  $y_{II}$  largeodezik koordinatalar  $B_I$ ,  $L_I$  lar asosida (21.18.1.11) formuladan foydalanib hisoblanadi.

Hisoblash ishlari to'g'ri bajarilganligini tekshirish uchun o'tishni ikki marta amalga oshirish tavsiya etiladi, ya'ni agar o'tish g'arbiy zonadan sharqiy zonaga bajarilgan bo'lsa, so'ngra uni sharqiy zonadan g'arbiy zonaga amalga oshirish kerak.

#### § 21.20. Geografik to'rga to'g'ri burchakli koordinatalar to'rini tushirish

Topografik xaritalarni romi meridian va parallellardan iborat, ular kesishi natijasida xaritani geografik to'ri hosil bo'ladi. Geografik to'rdan tashqari topografik xaritalarda to'g'ri burchakli koordinatalar to'ri ham bo'ladi. To'g'ri burchakli koordinatalar to'ri geografik to'rga quyidagicha tushiriladi:

Planshetda to'g'ri burchakli koordinatalar to'ri chiziladi. So'ngra koordinatalar to'ridan foydalanib geografik to'r chiziladi. Misol uchun, M-38-129-(224) nomenklaturali 1:5000 masshtabdagi topoxarita planga tushirish (s'yomka) trapesiyasi berilgan bo'lsin. Nomenklaturadan foydalanib ramka uchlarini geodezik koordinatalari aniqlanadi. Ushbu trapesiya uch gradusli zonani №15 da joylashgan, uni o'q meridiani  $L_0' = n \cdot 3^\circ = 15 \cdot 3^\circ = 45^\circ$ . Uzoqliklar farqi hisoblanadi

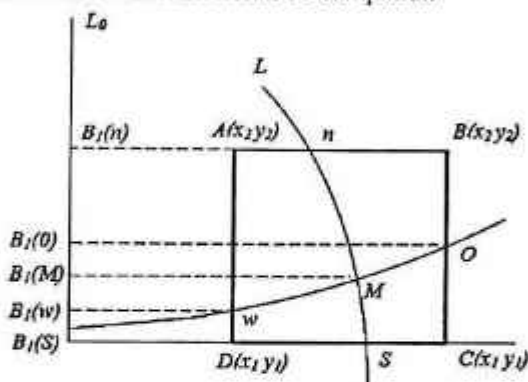
$$l_1 = L_1 - L_0'$$

$$l_2 = L_2 - L_0'$$

Geodezik koordinatalar  $B$  va  $l$  dan foydalanib, jadvaldan trapesiya romining burchak uchlarining to'g'ri burchakli koordinatalari olinadi, so'ngra burchak uchlarining koordinatalaridan foydalanib trapesiya planshetga tushiriladi.

## § 21.20.1 To'g'ri burchakli koordinatalar to'riga geografik to'rni tushirish

1:2000 va undan mayda bo'lgan masshtabdagi Topoxaritalarni geografik to'ri bor, chunki ularni romi meridian va parallellar bilan chegaralangan. 1:1000 va undan yirik masshtabdagi topografik planlarda geografik to'r bo'lmaydi, ular abssissa va ordinata chiziqlari bilan chegaralangan bo'ladi. Demak 1:1000 va undan yirik masshtabdagi topografik planlar shakli trapesiya shaklida emas to'g'ri to'rt-burchak shaklida bo'ladi. Ayrim masalalarni yechishda shunday planshetlarga meridian va parallellarni tushirish kerak bo'lib qoladi.



21.20.1.1-shakl

Meridianni tushirish uchun  $n$  va  $S$  nuqtalarni  $y_n$  va  $y_S$  ordinatalarini topish kerak. (21.20.1.1.-shaklga qarang).

Parallelni tushirish uchun  $w$  va  $O$  nuqtalarning  $x_w$  va  $x_O$  abssissalarini topish kerak.

Meridian va parallelni egriligini hisobga olish uchun  $M$  nuqta geodezik koordinatalari  $B$  va  $L$  orqali nuqtaning to'g'ri burchakli koordinatalari  $x_m$  va  $y_m$  hisoblanadi (to'g'ri masala).  $n$  nuqta holatini aniqlash uchun  $AB$  chiziq abssissasi  $x_2$  va berilgan uzoqlik  $L$  ga egamiz. To'g'ri masaladan foydalanib quyidagini yozishimiz mumkin:

$$y = \frac{r}{\rho} N \cos B + \dots, \quad (21.20.1.1)$$

bu yerda  $r = L - L_0$ ;  $B$  -  $n$  nuqtaning noma'lum kengligi.  $B$  kenglik  $B_1$  kenglik bilan almashtiriladi, uni  $x_2$  argument orqali jadvaldan olinadi. quyidagini yozaylik

$$B = B_1 - (B_1 - B)$$

Bu ifodani Teylor qatoriga yoyamiz:

$$\cos B = \cos[B_1 - (B_1 - B)] = \cos B_1 + \frac{(B_1 - B)^n}{\rho^n} \sin B_1 - \dots$$

Bizga ma'lumki

$$\frac{(B_1 - B)^n}{\rho^n} = \frac{y^2 t}{2M_1 N_1} + \dots,$$

Shu sababli

$$\cos B = \cos B_1 + \frac{y^2}{2M_1 N_1} \cdot \frac{\sin^2 B_1}{\cos B_1} \quad (21.20.1.2)$$

Birinchi yaqinlashishda  $y = \frac{\rho^n}{\rho^n} N_1 \cos B_1 + \dots$ ,

Buni inobatga olsak

$$\cos B = \cos B_1 + \frac{\rho^{n-2}}{\rho^{n-2}} \cdot \frac{N_1 \cos B_1}{2M_1} \sin^2 B_1 \quad (21.20.1.3)$$

(21.20.1.3)ni (21.20.1.1)ga qo'ysak

$$y = \frac{\rho^n}{\rho^n} N_1 \cos B_1 \left[ 1 + \frac{\rho^{n-2}}{6\rho^{n-2}} \cos^2 B_1 (1 + 2t_1^2) \right] \quad (21.20.1.4)$$

$x_w$  va  $x_o$ larni topish uchun quyidagi ifodaga egamiz

$$\frac{(B_1 - B)^n}{\rho^n} = \frac{y^2}{2M_1 N_1} t_1,$$

bunda  $B - wMO$  parallelni bizga ma'lum bo'lgan kengligi  $y-w$  (yoki  $O$ ) nuqta ordinatasi.

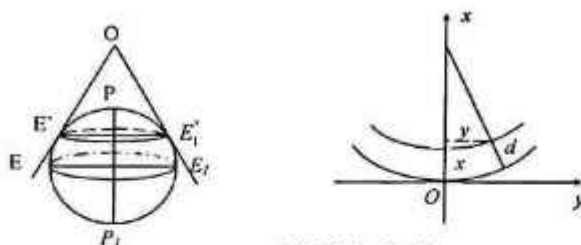
Bundan foydalanib, ordinata va o'q meridianing kesishish nuqtasi kengligi quyidagi formula bilan topiladi

$$B_1 = B + \frac{y^2}{2M_1 N_1} \rho^n t_1 + \dots$$

( $M_1$ ,  $N_1$  va  $t_1$  lar  $M$ ,  $N$ ,  $t$  bilan almashtiriladi). So'ngra  $B_1$  argument asosida jadvaldan abssissa qiymati  $x_w$  (yoki  $x_o$ ) olinadi.

## § 21.21. Ayrim boshqa proeksiyalar va koordinata sistemalari to'g'risida tushunchalar

### §21.21.1 Lambert-Gauss konform konusaviy proeksiyasi to'g'risida tushuncha



21.21.1-shakl

Bu proeksiya parallel yo'nalishi bo'yicha cho'ziq, tor maydonlar tasvirlash uchun qulay hisoblanadi. Absissa o'qi yo'nalishi o'q meridian yo'nalishiga mos keladi. Parallel tasviriga urinma holda ordinata o'qi olinadi.

Urinma parallel bilan o'q meridian kesishi nuqtasi koordinata boshi qilib olinadi. Urinma parallel yo'nalishida tasvirlash masshtabi birga teng bo'ladi. Tekislikda to'g'ri burchakli koordinatalar quyidagi formulalar bilan hisoblanadi:

$$y = (N_0 \cos B_0 - d) \sin \gamma ;$$

$$x = d + y \tan \frac{\gamma}{2}$$

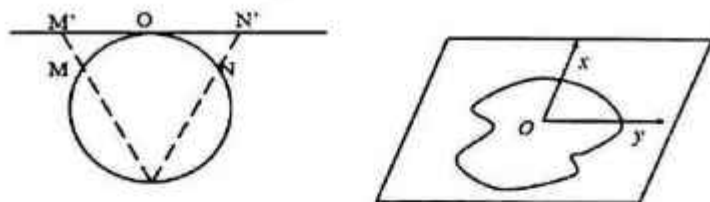
Meridianlar yaqinlashish burchagi

$$\gamma = (L - L_0) \sin B_0 ,$$

bunda  $V_0$ -urinma parallel kengligi;

$L_0$ -o'q meridian uzoqligi.

### § 21.21.2 Russel konform stereografik proektsiyasi to'g'risida tushuncha



21.21.2-shakl

Bu proeksiya aylanaga yaqin shakllarni tasvirlash uchun qulay hisoblanadi.

Koordinata boshi qilib tasvirlanishi kerak bo'lgan maydon markazi olinadi. O'q meridiani abssissa o'qi, o'q meridianiga perpendikulyar bo'lgan chiziq ordinata o'qi qilib olinadi.

O'q meridian nuqtalarining abssissalari quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$x_0 = 2R_0 \operatorname{tg} \frac{S}{2R_0},$$

Bu yerda  $R_0$ -koordinata boshini o'rtacha egrilik radiusi;

$S$ -koordinata boshidan o'tgan parallel bilan berilgan nuqtadan o'tgan parallellar orasidagi meridian yoyini uzunligi.

Geodezik koordinatalar yordamida to'g'ri burchakli koordinatalar quyidagi formulalar orqali hisoblanadi:

$$x = a_1 \Delta B + a_2 \Delta B^2 + a_3 l^2 + a_4 \Delta B^3 + \dots,$$

$$y = b_1 l + b_2 \Delta B l + b_3 \Delta B^2 l + b_4 l^3 + \dots,$$

Bu yerda  $a_i$  va  $b_i$  qiymatlari maxsus jadvallardan olinadi

$\Delta B$  va  $l$ -o'q meridiani bilan koordinata boshi orasidagi kenglik va uzoqliklar ayirmasi.

$$\Delta B = B - B_0$$

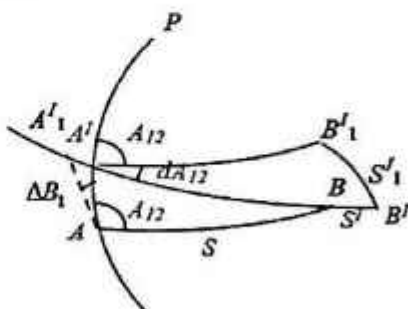
$$l = L - L_0$$

### § 21.22. Birinchi turdagi differensial formulalar

Triangulyatsiyaga ishlov berishda boshlang'ich ma'lumotlar noto'g'ri berilgan deb faraz qilaylik, u holda olingan natijalar noto'g'ri bo'ladi. Bu xatoni ikki xil usulda tuzatish mumkin:

Yangi boshlang'ich ma'lumotlar yordamida triangulyatsiyaga qayta ishlab chiqish yoki maxsus tuzatmalar hisoblab topish orqali.

Boshlang'ich ma'lumotlardagi xato sababli punktlarni geodezik koordinatalari va yo'nalish azimutlarida kelib chiqadigan xatoni tuzatish uchun kiritiladigan tuzatmalarni hisoblash formulalariga **birinchi turdagi differensial tuzatmalar** deyiladi.



21.22.1-shakl

21.22.1-shaklda:

$A (B, L)$  va  $B (B_2, L_2)$ -koordinatalari ma'lum triangulyatsiya punktlari.

$A_{12}$  va  $A_{21}$ — $AB$  chiziqli to'g'ri va teskari azimutlari

$S$ — $A$  va  $B$  punktlar orasidagi masofa.

$A$  punkt kengligi  $dB$  ga;  $AB$ -chiziqli uzunligi  $ds$  ga;  $AB$  chiziqli azimuti  $dA_{12}$  ga o'zgargan deb faraz qilaylik. Unda ikkinchi nuqta  $dB_2$ ;  $dL_2$ ;  $dA_{21}$  orttirmalarni oladi. Bu orttirmalarni differensial tenglamalar ko'rinishida yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} dB_2 &= dB_2^{B_1} + dB_2^S + dB_2^{A_{12}}; \\ dL_2 &= dL_2^{B_1} + dL_2^S + dL_2^{A_{12}}; \\ dA_{21} &= dA_{21}^{B_1} + dA_{21}^S + dA_{21}^{A_{12}}; \end{aligned} \right\} \quad (21.22.1)$$

Tenglamalar hadlarini yuqorisida keltirilgan indekslar nima ta'sirida koordinatalar orttirmalari kelib chiqanligini ko'rsatadi.

**Boshlang'ich nuqta kengligi  $B_1$  o'zgarishi natijasida koordinatalarda kelib chiqadigan**

**o'zgarishlar  $dB_2^{B_1}$ ;  $dL_2^{B_1}$ ;  $dA_{21}^{B_1}$**

**1.  $dB_2^{B_1}$  - kenglikning o'zgarishi:**

BA chiziqli shunday buramizki u A nuqtadan o'tsin. S chiziqli uzunligi o'zgarishsiz uchun, chiziqli AR meridiandan chiqib BA', holatni egallaydi. BA', chiziqli o'ziga tortib A' nuqtani A nuqta ustiga tushiramiz, unda chiziqli A'B' holatni egallaydi. So'ngra A'B' chiziqli A nuqtada A<sub>12</sub> azimuti xolatini olguncha buramiz. BB' va B'B<sub>1</sub> yoylar kengliklarini o'zgarishi hisobiga kenglik o'zgarishi dB<sub>2</sub><sup>B<sub>1</sub></sup> bo'ladi. Chizmadan yozishimiz mumkin:

$$\frac{A_1 A'}{AA_1} = \sin(90^\circ - A_{12})$$

Shu sababli

$$A_1 A' = BB' = S' = AA_1 \cdot \sin(90^\circ - A_{12}) = M_1 dB_1 \cos A_{12} \quad (21.22.2)$$

Bosh geodezik masalani yechishdan bizga ma'lumki,

$$B_2 - B_1 = \frac{\cos A}{M} S$$

O'z navbatida kenglikni BB' yoyiga o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi

$$B_2 - B_1 = dB = -\frac{\cos A_{21}}{M_2} S' \quad (21.22.3)$$

(21.22.2) va (21.22.3) formulalar asosida BB' yoy uchun yozishimiz mumkin,

$$dB_{BB'} = -\frac{\cos A_{21}}{M_2} M_1 dB_1 \cos A_{12} \quad (21.22.4)$$

Xuddi shunday B'B<sub>1</sub> yoy uchun topamiz:

$$AA' = B'B_1 = S'_1 = AA_1 \cos(90^\circ - A_{12}) = M_1 dB_1 \sin A_{12} \quad (22.5)$$

B'B<sub>1</sub> yoyida kenglikning o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$dB = B_2 - B_1 = -\frac{\cos(90^\circ - A_{21})}{M_2} S'_1 \quad (21.22.6)$$

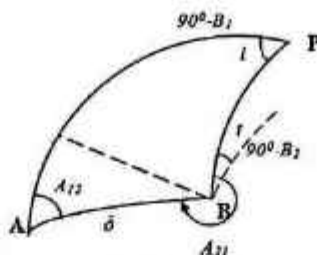
(21.22.5) va (21.22.6) asosida topamiz:

$$dB_{B'B_1} = -\frac{\sin A_{21}}{M_2} M_1 dB_1 \sin A_{12} \quad (21.22.7)$$

Boshlang'ich nuqtaning kengligi o'zgarishi natijasida ikkinchi nuqtaning kengligini to'liq o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} dB_2^{B_1} &= dB_{BB'} + dB_{B'B_1} = \left( -\frac{\cos A_{21}}{M_2} M_1 dB_1 \cos A_{12} \right) + \left( -\frac{\sin A_{21}}{M_2} M_1 dB_1 \sin A_{12} \right) = \\ &= -\frac{M_1}{M_2} (\cos A_{12} \cos A_{21} + \sin A_{12} \sin A_{21}) dB_1 ; \end{aligned}$$

(21.22.8) formulani o'zgartiramiz, buning uchun APB sferoidik qutub uchburchagini olamiz (21.22.2-shakl).



21.22.2-shakl

Bilamizki

$$\cos l = -\cos A_{12} \cos(360^\circ - A_{21}) + \sin A_{12} \sin(360^\circ - A_{21}) \cos \delta$$

$90^\circ - B_1$  va  $90^\circ - V_2$  larga nisbatan  $\delta$  kichik kattalik bo'lganligi uchun  $\cos \delta \approx 1$  deb qabul qilishimiz mumkin,

U holda  $\cos l = -\cos A_{12} \cos A_{21} - \sin A_{12} \sin A_{21}$   
yoki

$$-\cos l = \cos A_{12} \cos A_{21} + \sin A_{12} \sin A_{21} \quad (21.22.9)$$

O'z navbatida (21.22.8) va (21.22.9) formulalardan foydalanib, topamiz:

$$dB_2^{B_1} = \frac{M_1}{M_2} \cos l dB_1 \quad (A)$$

Bu yerda  $l = L_2 - L_1$

2.  $dL_2^{B_1}$  - uzoqlikni o'zgarishi:

$BB'$  va  $B'B_1$  yoylarni uzoqliklarini o'zgarishi oqibatida  $dL_2^{B_1}$  uzoqlik o'zgarishi hosil bo'ladi. Bizga ma'lumki

$$L_2 = L_1 = \frac{\sin A}{N \cos B} S,$$

Shu sababli yozishimiz mumkin:

$$\begin{aligned} dL_2^{B_1} &= -\frac{\sin A_{21}}{N_2 \cos B_2} S_{BB'} + \frac{\sin(90^\circ + A_{21})}{N_2 \cos B_2} S_{B'B_1} = \\ &= -\frac{\sin A_{21}}{N_2 \cos B_2} M_1 dB_1 \cos A_{12} + \frac{\cos A_{21}}{N_2 \cos B_2} M_1 dB_1 \sin A_{12} \end{aligned}$$

yoki

$$dL_2^{B_1} = \frac{M_1 dB_1}{N_2 \cos B_2} (-\sin A_{21} \cos A_{12} + \sin A_{12} \cos A_{21}) \quad (21.22.10)$$

Chizmadan:

$$\cos A_{21} \sin(360^\circ - A_{21}) = \cos(90^\circ - B_2) \sin l - \cos \delta \sin A_{12} \cos(360^\circ - A_{21})$$

yoki  $-\cos A_{12} \sin A_{21} = \sin B_2 \sin l - \cos \delta \sin A_{12} \cos A_{21}$

O'z navbatida ( $\cos \delta \approx 1$ )



$\sin B_2 \sin l = -\cos A_{12} \sin A_{21} + \sin A_{12} \cos A_{21}$ ,  
shu sababli (21.22.10) formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$dL_2^{B_1} = \frac{M_1 dB_1}{N_2 \cos B_2} \sin B_2 \sin l \text{ yoki } dL_2^{B_1} = \frac{M_1}{N_2} \operatorname{tg} B_2 \sin l dB_1 \quad (B)$$

3.  $dA_{21}^{B_1}$  – teskari azimutning o'zgarishi. Sferoidik qutb uchburchagidan yozamiz:

$$\angle PBC = 90^\circ - l; \quad A_{21} = A_{12} + 180^\circ + l; \quad dA_{21} = dl$$

VSR uchburchagidan yozamiz:

$$\cos(90^\circ - B_2) = \operatorname{ctg} l \operatorname{ctg}(90^\circ - l) \text{ yoki } \operatorname{tg} l = \operatorname{tg} l \sin B_2$$

Bundan ko'rinadiki azimut o'zgarishi  $V$  nuqta kengligi va uzoqligining o'zgarish funksiyasi ekan.

Oxirgi tenglikni differensiallaymiz

$$\frac{dl}{\cos^2 l} = \frac{dl}{\cos^2 l} \sin B_2 + \operatorname{tg} l \cos B_2 dB_2$$

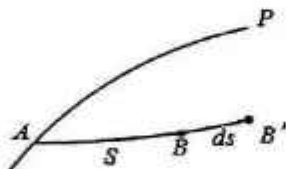
Faraz qilaylik  $\cos^2 l \approx 1$ ;  $\cos^2 l \approx 1$ ;  $dl = dL_2^{B_1}$ ;  $dB_2 = dB_2^{B_1}$

(A) va (B)ni hisobga olsak, oxirgi tenglik quyidagi ko'rinishni oladi

$$dA_{21}^{B_1} = \sin B_2 \frac{M_1}{N_2} \operatorname{tg} B_2 \sin l dB_1 + \operatorname{tg} l \cos B_2 \frac{M_1}{M_2} \cos l dB_1 \quad (V)$$

$S$  masofa uzunligining o'zgarishi natijasida  $dB_2^S$ ;  $dL_2^S$ ;  $dA_{21}^S$  koordinatalar o'zgarishi

Faraz qilaylik  $S$  masofa  $dS = BB'$ ga uzaydi,  $BB'$  yo'nalish azimuti  $A_{BB'} = A_{21} - 180^\circ$  bo'ladi.



Oldingi keltirilgan formulalar asosida quyidagi formulalarga ega bo'lamiz:

kenglik uchun  $dB_2^S = -\frac{\cos A_{21}}{M_2} dS \quad (G)$

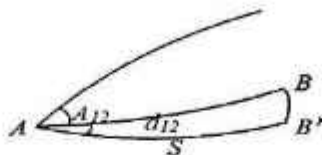
Uzoqlik uchun  $dL_2^S = -\frac{\sin A_{21}}{N_2 \cos B_1} dS \quad (D)$

Azimut uchun  $dA_{21}^S = -\frac{\sin A_{21} \operatorname{tg} B_1}{N_1} dS \quad (Ye)$

### Azimut o'zgarishi natijasida $dB_2^{A_{12}}$ ; $dL_2^{A_{12}}$ ; $dA_{21}^{A_{12}}$ koordinatalar o'zgarishi

Boshlang'ich azimutni  $dA_{12}$  ga o'zgarishida  $S$  masofaga buriladi, ya'ni uning oxirgi nuqtasi  $B$  holatdan  $B'$  holatiga o'tadi.

$BB'$  uzunligini topaylik.  $ABB'$  sferik uchburchakdan yozishimiz mumkin:



$$\frac{\sin \frac{BB'}{R}}{\sin dA_{12}} = \frac{\sin \frac{S}{R}}{\sin \frac{\pi}{2}}$$

$\frac{BB'}{R}$  va  $dA_{12}$  burchaklar kichik bo'lganlari uchun

$$BB' = R \sin \frac{S}{R} dA_{12}$$

deb olishimiz mumkin.

Bosh geodezik masalani yechish formulasidan foydalanib, boshlang'ich azimut o'zgarishi natijasida koordinatalarda bo'ladigan o'zgarishlarni topamiz:

$$dB_2^{A_{12}} = -\frac{\cos A_{BB'}}{M_2} BB'; \quad \text{lekin} \quad A_{BB'} = A_{21} + 90^\circ,$$

shu sabali

$$dB_2^{A_{12}} = \frac{\sin A_{21}}{M_2} R \sin \frac{S}{R} dA_{12} \quad (J)$$

Shu tariqa uzoqlikda bo'ladigan o'zgarishni topamiz

$$dL_2^{A_{12}} = \frac{\cos A_{21}}{N_2 \cos B_2} R \sin \frac{S}{R} dA_{12} \quad (Z)$$

To'g'ri azimutning o'zgarishi natijasida teskari azimutga tuzatma  $dA_{21}^{A_{12}}$  ikki qismdan iborat:

1. Meridianlar yaqinlashishi burchagini o'zgarishi hisobiga tuzatma;

2. Chiziqli uzunligi funksiyasi va geodezik chiziqli azimuti o'zgarishi hisobiga tuzatma.

Tuzatma birinchi qismi quyidagicha bo'ladi:

$$dA_{21}^{A_{12}} = dL_2^{A_{12}} \sin B_2$$

yoki (Z) formulani hisobga olsak

$$dA_{21}^2 = \frac{\cos A_{21}}{N_2} \operatorname{tg} B_2 R \sin \frac{s}{R} dA_{12} \quad (21.22.11)$$

Tuzatmani ikkinchi qismi:

$$\frac{dm}{ds} dA_{12} = \cos \frac{s}{R} dA_{12} \quad (21.22.12)$$

Bu yerda

$$m = R \sin \frac{s}{R}$$

(21.22.11) va (21.22.12) formulalar asosida teskari azimutga to'liq tuzatma quyidagiga teng.

$$dA_{21}^2 = \cos \frac{s}{R} dA_{12} - \frac{\cos A_{21}}{N_2} \operatorname{tg} B_2 R \sin \frac{s}{R} dA_{12} \quad (I)$$

(A), (B), (V), (G), (D), (Ye), (J), (Z), (I) formulalarni qo'shish natijasida birinchi turdagi differensial formulalar hosil bo'ladi, shunday qilib:

$$dB_2 = \frac{M_1}{M_2} \cos l dB_1 - \frac{\cos A_{21}}{M_2} ds + \frac{\sin A_{21}}{M_2} R \sin \frac{s}{R} d_{12} \quad (21.22.13)$$

$$dL_2 = \frac{M_1}{M_2} \operatorname{tg} B_2 \sin l dB_1 - \frac{\sin A_{21}}{N_2 \cos B_1} dS + \frac{\cos A_{21}}{N_2 \cos B_1} R \sin \frac{s}{R} dA_{12} + dL_1 \quad (21.22.14)$$

$$dA_{21} = \frac{\sin l}{\cos B_2} \left( \frac{M_1}{N_2} \sin^2 B_2 + \frac{M_1}{M_2} \cos^2 B_2 \right) dB_1 - \frac{\sin A_{21} \operatorname{tg} B_2}{N_2} ds + \quad (21.22.15)$$

$$+ \cos \frac{s}{R} dA_{12} = R \sin \frac{s}{R} \cos A_{21} \frac{\operatorname{tg} B_2}{N_2} dA_{12}$$

### § 21.23. Ikkinchi turdagi differensial formulalar

Yer ellipsoidi parametrlari (o'lchamlari, kattaliklari) o'zgarishi triangulyatsiya punktlarini koordinatalarini qayta hisoblashni keltirib chiqaradi. Bu masalani odatda, oldingi ellipsoid sathida hisoblangan punkt koordinatalariga maxsus tuzatmalar kiritish yo'li bilan yechiladi. Yer ellipsoidi parametrlari o'zgarishi oqibatida geodezik koordinatalar, yo'nalish azimutlariga kiritiladigan tuzatmalarni hisoblash formulalarning ikkinchi turdagi differensial formulalari deb nomlanadi. Bu formulalarni keltirib chiqarish uchun bosh geodezik masalani yechishda qo'llaniladigan formulalardan foydalaniladi.

Bizga ma'lumki kengliklar farqini topish uchun

$$b'' = S \cos A_m (l)_m \quad \text{yoki} \quad b'' = \frac{S \cos A_m (1 - e^2 \sin^2 B_m)^{3/2}}{a(1 - e^2)} \rho'' \quad (21.23.1)$$

formuladan foydalaniladi.

Bu ifodani  $a$  va  $e^2$  bo'yicha differensiallaymiz, differensiallashdan oldin uni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$b'' = S \cos A_m \rho'' \left[ \frac{(1 - e^2 \sin^2 B_m)^{3/2}}{a(1 - e^2)} \right] \cdot$$

$$db'' = S \cos A_m \rho'' \left\{ \frac{1}{a^2} \frac{(1 - e^2 \sin^2 B_m)^{3/2}}{(1 - e^2)} d\alpha + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{a} \left[ \frac{\frac{3}{2}(1 - e^2 \sin^2 B_m)^{1/2}(-\sin^2 B_m)(1 - e^2) - (1 - e^2 \sin^2 B_m)^{3/2}(-1)}{(1 - e^2)} de^2 \right] \right\}$$

yoki

$$db'' = \frac{S \cos A_m (1 - e^2 \sin^2 B_m)^{3/2}}{a(1 - e^2)} \rho'' \left\{ -\frac{da}{a} + \left[ -\frac{3}{2} \sin^2 B_m \frac{de^2}{(1 - e^2 \sin^2 B_m)} + \frac{de^2}{(1 - e^2)} \right] \right\}$$

Bizga ma'lumki  $e^2 = 2\alpha$ ;  $de^2 = 2d\alpha$  (21.23.1) formulani hisobga olib topamiz:

$$db'' = b'' \left\{ -\frac{da}{a} + \left[ -\frac{3}{2} \sin^2 B_m \frac{2d\alpha}{(1 - e^2 \sin^2 B_m)} + \frac{2d\alpha}{(1 - e^2)} \right] \right\}$$

yoki

$$db'' = -b'' \left\{ \frac{da}{a} + \left[ \frac{2}{1 - e^2} - \frac{3 \sin^2 B_m}{(1 - e^2 \sin^2 B_m)} \right] d\alpha \right\};$$

$(1 - e^2)$  va  $(1 - e^2 \sin^2 B_m)$  larni tashlab yuborsak,

$$db'' = -b'' \left\{ \frac{da}{a} - (2 - 3 \sin^2 B_m) d\alpha \right\} \quad (21.23.2)$$

\*Izoh:  $y = \frac{1}{a}$ ; birinchi hosila  $y' = -\frac{1}{a^2}$ ;  $e^2$ -birinchi

darajali o'zgaruvchi deb qabul qilinadi.

Uzoqliklar farqini topish uchun

$$\rho'' = S \sin A_m \sec B_m (2)_m \text{ yoki } \rho'' = \frac{S \sin A_m (1 - e^2 \sin^2 B_m)^{1/2}}{a \cos B_m} \rho'' \quad (21.23.3)$$

formulalardan foydalanib, (21.23.3) formulani quyidagi ko'rinishda yozib olamiz:

$$\rho'' = \frac{S \sin A_m}{\cos B_m} \rho'' \left[ \frac{(1 - e^2 \sin^2 A_m)^{1/2}}{a} \right]$$

va uni  $a$  va  $ye^2$  bo'yicha differensiallaymiz

$$d\rho'' = \frac{S \sin A_m}{\cos B_m} \rho'' \left\{ -\frac{1}{a^2} (1 - e^2 \sin^2 B_m)^{1/2} da + \frac{1}{a} \left[ \frac{1}{2} (1 - e^2 \sin^2 B_m)^{-1/2} (-\sin^2 B_m) de^2 \right] \right\}$$

$$\text{yoki } dI'' = \frac{S \sin A_m (1 - e^2 \sin^2 B_m)^{\frac{1}{2}}}{a \cos B_m} \rho'' \left\{ -\frac{d\alpha}{a} - \frac{\sin^2 B_m}{2(1 - e^2 \sin^2 B_m)} d\epsilon^2 \right\}.$$

Maxrajdagi  $(1 - e^2 \sin^2 B_m)$ ni tashlab yuborib,  $d\epsilon^2 = 2d\alpha$  ekanligini inobatga olib, (21.23.3) formulani hisobga olib topamiz:

$$dI'' = I'' \left\{ -\frac{d\alpha}{a} - \frac{\sin^2 B_m}{2} 2d\alpha \right\} \text{ yoki } dI'' = -I'' \left\{ \frac{d\alpha}{a} + \sin^2 B_m d\alpha \right\} \quad (21.23.4)$$

**Azimetlar farqini topish uchun**

$$I'' = S \sin A_m \operatorname{tg} B_m (2)_{m'} \text{ yoki } I'' = I'' \sin B_m,$$

formulalardan foydalanamiz. Oxirgi tenglikni differensiallab quyidagini topamiz:

$$dI'' = dI'' \sin B_m$$

yoki (21.23.4)ni hisobga olsak,

$$dI'' = -I'' \left\{ \frac{d\alpha}{a} + \sin^2 B_m d\alpha \right\} \sin B_m$$

$$dI'' = dA'' \text{ shu sababli } dA'' = -I'' \left\{ \frac{d\alpha}{a} + \sin^2 B_m d\alpha \right\} \sin B_m \quad (21.23.5)$$

## ADABIYOTLAR:

1. Akoveskiy V.G., Paramonov A.G. Topogeodezicheskoe obespechenie mestorojdeniy nefi i gaza. Kniga I. M., Maks press, 2006, 471str.
2. Asur V.L., Kutuzov M.N., Muravin M.M. Vsshaya geodeziya. M., "Nedra" 1979, 398str.
3. Baranov V.N., Boyko Ye.G, Krasnorlov I.I., idr. Kosmicheskaya geodeziya. M., "Nedra" 1986.
4. Viroves A.M. Vsshaya geodeziya. M., "Nedra" 1970.
5. Zakatov P.S. Kurs vsshey geodezii. M., "Nedra" 1976.
6. Instruksiya po nivelirovaniyu I, II, III i IV klaasov M., "Nedra" 1974.
7. Instruksiya po postroeniyu gosudarstvennoy geodezicheskoy seti. M., "Nedra" 1966.
8. Kochetov F.G. Nivelir s kompensatorami. M., "Nedra" 1985.
9. Mashimov M.M. Uravnivanie geodezicheskix setey. M., "Nedra" 1989.
10. Muborakov X., Axmedov S. Geodeziya va kartografiya. Toshkent, "O'qituvchi" 2002, 303 bet.
11. Muborakov X., Ma'rufov Yu.D. Topografiya-geodeziya atamalarining ruscha-o'zbekcha lug'ati. Toshkent, "Mehnat", 1999, 79 bet.
12. Neumvakin Yu.K., Perskiy M.I. Geodezicheskoe obespechenie zemleustroitel'nykh i kadastr'nykh rabot. M., «Geodezizdat», 1996, 344str.
13. Pellinen L.P. Vsshaya geodeziya. M., "Nedra" 1978.
14. Plotnikov V.S. Geodezicheskie pribor. M., "Nedra" 1987.
15. Spridonov A.I. Teodolit. M., "Nedra" 1985.
16. Toshpo'latov S.A., Avchiev Sh.Q., Kovalev N.V. Oliy geodeziya. O'quv qo'llanma. TAQI.2003y.
17. Yakovlev N.V. Vsshaya geodeziya. M., "Nedra" 1989 g, 445 str.
18. Toshpo'latov S.A., Avchiev Sh.Q., "Serdyuidek geodeziya" o'quv qo'llanma TAQI 2002 y, 173 bet.
19. Yakovlev N.V., Bepalov N.A. idr. Praktikum po veshey Geodezin M., Noura 1982, 368 str.
20. Karsunskaya M.M. geodezicheskie pribor M. OOO "Institut otsenki prirodnykh resursov", 2002 g, 185 str
21. Zakatov P.S. – Kurs vsshey geodezii. M., «Nedra», 1976, 511 s.
22. Yakovlev N.V., Bepalov N.A., Glumov V.P. Praktikum po vsshey geodezii, M., Nedra 1982 g.
23. Morozov N.P. Kurs sferoidicheskoy geodezii M., Nedra 1979 g.

24. Tashpulatov S.A., Avchiev Sh.K. Sferoidik geodeziya T., 2002 y.  
25. Tashpulatov S.A., Maxsudov B.Yu. Sferoidik geodeziyadan masalalar to'plami T., 2003y.

**Internet ma'lumotlari:**

1. Geocentric Dat of Australia Technical Manual.  
<http://www.anzlik.org.au/icsm/gdatm/xyzcd.htm>
2. Transformation from local ellipsoidal coordinate system to global ellipsoidal coordinate system. <http://www.lsgl.polyu.edu.hk/cyber-class/geodesy4.htm>
3. Conversion of ellipsoidal coordinate to Cartesian coordinates.  
<http://www.lsgl.polyu.edu.hk/cyber-class/geodesy/geodesy5.htm>
4. Geocentric Datum of Australia Technical Manual.  
<http://www.anzlik.au/icsm/molodens.htm>
5. Reference Ellipsoids and Geodetic Datum Transformation Parameter (Local to WGS-84).  
<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/datum/edlist/html>.

# MUNDARIJA

|                  |   |
|------------------|---|
| Soʻz boshi ..... | 3 |
| Kirish .....     |   |

## I-BO'LIM. YERNING SHAKLI VA KELTIRISH SIRTLARI

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1-Bob. Yerning shakli va gravitatsiya maydoni haqida asosiy ma'lumotlar</b> ..... | 9  |
| 1.1. Og'irlik kuchi va Yerning sathiy yuzasi .....                                   | 9  |
| 1.2. Geoid va kvazigeoid .....                                                       | 13 |
| 1.3. Umumiy yer ellipsoidi .....                                                     | 14 |
| 1.4. Normal Yer va Yerning haqiqiy shakli .....                                      | 17 |
| <b>2-Bob. Ko'chirish sirti. Reduksion masala</b> .....                               | 24 |
| 2.1. Ko'chirish sirti. Krasovskiy referens-ellipsoidi .....                          | 24 |
| 2.2. Geodezik va astronomik koordinatalar va azimutlar .....                         | 26 |
| 2.3. Shovun chizig'ining og'ishi .....                                               | 27 |
| 2.4. Laplas azimutlari .....                                                         | 29 |
| 2.5. Reduksion masala tug'risida tushincha .....                                     |    |

## II-BO'LIM. TAYANCH GEODEZIK TARMOQ

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>3-Bob. Davlat geodezik tarmog'i</b> .....                                                                  |    |
| 3.1. Geodezik tarmoqlar. Ularning ahamiyati .....                                                             | 33 |
| 3.2. Davlat geodezik tarmog'ini barpo etishning asosiy prinsipi .....                                         | 36 |
| 3.3. Davlat geodezik tarmog'i punktlarning zichligi .....                                                     | 37 |
| 3.4. Davlat geodezik tarmog'ini barpo etishning zaruriy aniqligi .....                                        | 41 |
| 3.5. Davlat geodezik tarmog'ini barpo etishning asosiy usullari .....                                         | 43 |
| 3.6. Tayanch geodezik tarmoq barpo etishning boshqa usullari .....                                            | 47 |
| 3.7. Davlat triagnulyatsiyasini barpo etishda F.N. Krasovskiy taklif etgan sxema va dastur .....              | 51 |
| 3.8. Davlat geodezik tarmog'ini asosiy qoidalarga binoan qurish .....                                         | 55 |
| 3.9. Asosiy geodezik ishlarni bajarish ketma-ketligi .....                                                    | 60 |
| 3.10. Davlat geodezik tarmog'ini takomillashtirishning istiqbolli yo'llari .....                              | 61 |
| <b>4-Bob. Geodezik tarmoqlarni loyihalash va rekognossirovka qilish. Geodezik belgilar va markazlar</b> ..... | 63 |
| 4.1. Geodezik to'rlarini loyihalash to'g'risida umumiy ma'lumot .....                                         | 63 |
| 4.2. Geodezik punktlarni rekognossirovka qilish .....                                                         | 66 |
| 4.3. Geodezik belgilar balandligini hisoblash .....                                                           | 69 |
| 4.4. Geodezik belgilar .....                                                                                  | 72 |



|                                                                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.5. Geodezik punktlarning markazlari.....                                                                                        | 78        |
| <b>5-Bob. Geodezik tarmoq aniqligini aprior (taqribiy) baholash .....</b>                                                         | <b>81</b> |
| 5.1. Umumiy ma'lumot.....                                                                                                         | 81        |
| 5.2. O'lchanuvchi miqdorlar vazinini aniqlash.....                                                                                | 83        |
| 5.3. Geodezik tarmoq tenglashtirilgan elementlarini teskari vazni va o'rta kvadratik xatosini hisoblash.....                      | 86        |
| 5.4. O'lchash natijalarini modellashtirish bilan geodezik tarmoq aniqligini aprior kompyuterda (taqribiy) baholash.....           | 90        |
| 5.5. Taqribiy formula bo'yicha triangulyatsiya aniqligini baholash .....                                                          | 91        |
| 5.6. Azimut va bazis tomonlarni joylashtirish chastotasi.<br>Uchburchaklarning eng qulay shakli.....                              | 96        |
| 5.7. Trilateratsiya tarmog'i va qatorlari aniqligini taqribiy formulalar bilan baholash.....                                      | 98        |
| 5.8. Poligonometriya zvenosi aniqligini baholash .....                                                                            | 102       |
| 5.9. Geodezik tarmoqlarda gorizontal yo'nalishlar, azimutlar va tomonlar uzunliklarini o'lchash aniqligini muvofiqlashtirish..... | 102       |

### **III-BO'LIM. YUQORI ANIQLIKDA BURCHAK O'LCHASH**

|                                                                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6-Bob Yuqori aniqlikdagi teodolitlar. Teodolitlarni tadqiq qilish....</b>                                            | <b>104</b> |
| 6.1. Yuqori aniqlikdagi teodolitlar va ulardan foydalanish xususiyatlari                                                | 104        |
| 6.2. Yuqori aniqlikdagi teodolitlar haqida ma'lumotlar .....                                                            | 106        |
| 6.3. Yuqori aniqlikdagi optik teodolit geometrik chizmasi .....                                                         | 113        |
| 6.4. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarning o'qiy sistemalari va adilaklari...                                              | 114        |
| 6.5. Yuqori aniqlikdagi optik teodolitning limbi .....                                                                  | 117        |
| 6.6. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarning qarash trubasi .....                                                            | 118        |
| 6.7. Optik teodolitning sanoq olish qurilmasi.....                                                                      | 121        |
| 6.8. Birlashtirib sanoq olish prinsipi. Optik mikrometrar.....                                                          | 123        |
| 6.9. Yuqori aniqlikdagi teodolitlarning tekshirish va tadqiqqlari.....                                                  | 126        |
| 6.10. Optik mikrometr renini aniqlash.....                                                                              | 128        |
| 6.11. Optik mikrometr shkalasining xatolari .....                                                                       | 130        |
| 6.12. Alidada va limb eksentrisitetini aniqlash .....                                                                   | 131        |
| 6.13. Teodolitning gorizontal va vertikal o'qlarini perpendikulyar emasligini aniqlash.....                             | 136        |
| 6.14. Limb diametrlari to'la xatolarini aniqlash .....                                                                  | 136        |
| <b>7-Bob. Yuqori aniqlikda bo'rchaklarini o'lchashda xatolar manbai va ularning ta'sirini kamaytirish usullari.....</b> | <b>140</b> |
| 7.1. Yuqori aniqlikda burchaklarni o'lchashdagi xatolarning turlari .....                                               | 140        |
| 7.2. Vizirlashning sistematik xatolari .....                                                                            | 141        |
| 7.3. Yuqori aniqlikdagi burchak o'lchashda asbob xatolari .....                                                         | 143        |

|                                                                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.4. Burchak o'lchash natijalariga limb diametrlari xatosining ta'sirini kamaytirish .....                                                      | 143        |
| 7.5. Qarash trubasi kollimatsiya xatosining ta'siri .....                                                                                       | 144        |
| 7.6. Qarash trubasi gorizontaal aylanish o'qi qiyaligining ta'siri .....                                                                        | 145        |
| 7.7. Teodolitni vertikal o'qi va limb qiyaliklari ta'siri .....                                                                                 | 146        |
| 7.8. Lagerlarda qarash trubasi o'qining azimutal siljishi, ko'targich vintlarning lyufti, teodolitni harorat o'zgarishidan deformatsiyasi ..... | 150        |
| 7.9. O'lchash natijalariga tashqi muhitning ta'siri .....                                                                                       | 151        |
| 7.10. Keltirish elementlarini aniqlash xatosi .....                                                                                             | 152        |
| 7.11. Keltirish elementlarini aniqlashning xatosi .....                                                                                         | 153        |
| <b>8-Bob Burchak o'lchashda va azimutal aniqlashda yorug'lik refraksiyasi .....</b>                                                             | <b>154</b> |
| 8.1. Yorug'lik refraksiyasi .....                                                                                                               | 154        |
| 8.2. Refraksiya burchagining metrologik elementlar bilan bog'liqligi va ularning gradientlari .....                                             | 157        |
| 8.3. Harorat, refraksiya va o'lchanadigan miqdorlar gradientlarining kvazi davriy o'zgarishi .....                                              | 160        |
| 8.4. Yon tomon refraksiya ta'siri uchun tuzatmani aniqlash .....                                                                                | 163        |
| 8.5. Yuqori aniqlikda burchak o'lchash va azimut aniqlashda kuzatishning eng qulay vaqti .....                                                  | 167        |
| <b>9-Bob. Yuqori aniqlikda burchak o'lchash nazariyasi va usullari ...</b>                                                                      | <b>168</b> |
| 9.1. Umumiy tushunchalar .....                                                                                                                  | 168        |
| 9.2. Punktda teng aniqlikdagi yo'nalishlarni olish sharti .....                                                                                 | 168        |
| 9.3. Doiraviy priyom usuli .....                                                                                                                | 172        |
| 9.4. Barcha kombinatsiyalarda burchak o'lchash usuli .....                                                                                      | 180        |
| 9.5. Kombinatsiyalarda burchaklarni o'lchashning o'zgartirilgan usuli .....                                                                     | 187        |
| 9.6. To'la bo'lmagan priyom usuli .....                                                                                                         | 188        |
| 9.7. Yo'nalishlarining simmetrik kombinatsiyalar usuli .....                                                                                    | 190        |
| 9.8. Orientir nuqtalarini bog'lash .....                                                                                                        | 191        |
| 9.9. Keltirish elementlarini aniqlash .....                                                                                                     | 192        |

#### **IV-BO'LIM. YUQORI ANIQLIKDAGI GEOMETRIK VA TRIGONOMETRIK NIVELIRLASH**

|                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>10-Bob. Davlat nivelirlash tarmoqlari .....</b>                                                  | <b>196</b> |
| 10.1. Nivelirlash tarmoqlari va ularning ahamiyati .....                                            | 196        |
| 10.2. Zamonaviy davlat nivelirlash tarmog'i .....                                                   | 197        |
| <b>11-Bob. Nivelirlash yo'llarini loyihalash, rekognos-sirovka qilish va joyda mahkamlash .....</b> | <b>201</b> |
| 11.1. I va II klass nivelirlash yo'llarini loyihalash .....                                         | 201        |

|                                                                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.2. I va II klass nivelirlash yo'llarini rekognossirovka qilish .....                                                 | 202        |
| 11.3. Nivelirlash yo'llarini joyda mahkamlash.....                                                                      | 203        |
| 11.4. Nivelirlash yo'llarini gravimetrik ta'minlash .....                                                               | 205        |
| <b>12-Bob. Yuqori aniqlikdagi nivelirlar va invar reykalalar.....</b>                                                   | <b>206</b> |
| 12.1. Yuqori aniqlikdagi nivelirlar va invar reykalarga bo'lgan<br>asosiy talablar.....                                 | 206        |
| 12.2. Yuqori aniqlikdagi nivelirlarning geometrik chizmasi va asosiy<br>qismlari.....                                   | 210        |
| 12.3. Adilakli yuqori aniqlikdagi nivelirlar .....                                                                      | 212        |
| 12.4. Yuqori aniqlikdagi kompensatorli nivelirlar.....                                                                  | 216        |
| 12.5. Nivelirlash invar reykalari .....                                                                                 | 221        |
| <b>13-Bob. Yuqori aniqlikdagi nivelirlarni tadqiq qilish.....</b>                                                       | <b>224</b> |
| 13.1. Silindrik adilakli nivelirlarni tadqiq qilish dasturi.....                                                        | 224        |
| 13.2. Yuqori aniqlikdagi nivelirlar kontaktli adilagini tadqiq qilish .....                                             | 224        |
| 13.3. Optik mikrometr ishlashini tadqiq qilish .....                                                                    | 229        |
| 13.4. Nivelir elevatsiya vintining ishlashini va truba fokuslovchi<br>linzasining to'g'ri yurishini tadqiq qilish.....  | 232        |
| 13.5. Kompensatorli nivelirlarni tadqiq qilish .....                                                                    | 233        |
| 13.6. Nivelir vizir nurini o'zi o'rnatish xatosini aniqlash.....                                                        | 236        |
| 13.7. Kompensator ishlashini sistematik xatosini aniqlash .....                                                         | 238        |
| 13.8. Nivelir haroratini o'zgarishida qarash trubasining vizir o'qi<br>holatining barqaror emasligini aniqlash.....     | 242        |
| <b>14-Bob. Yuqori aniqlikda geometrik nivelirlashda xatolar manbai va<br/>ular ta'sirini kamaytirish usullari .....</b> | <b>244</b> |
| 14.1. Geometrik nivelirlashda shaxsiy xatolik.....                                                                      | 244        |
| 14.2. Geometrik nivelirlashda asbob xatoligi .....                                                                      | 245        |
| 14.3. Invar reyka xatolarining ta'siri.....                                                                             | 250        |
| 14.4. Tashqi muxit ta'siri. Nivelir refraksiyasi .....                                                                  | 253        |
| 14.5. Shtativ va kostillarning vertikal siljishi .....                                                                  | 256        |
| 14.6. Yer sirtining gidrotermik harakati .....                                                                          | 257        |
| 14.7. Yuqori aniqlikda nivelirlash natijalariga tektonik va boshqa<br>hodisalarning ta'siri.....                        | 259        |
| <b>15-Bob. Yuqori aniqlikda nivelirlash usullari. O'lchash natijalarini<br/>ishlab chiqish.....</b>                     | <b>261</b> |
| 15.1. I klass nivelirlash usuli va dasturi.....                                                                         | 261        |
| 15.2. II klass nivelirlash usuli va dasturi.....                                                                        | 265        |
| 15.3. Tog'li hududlarda va yirik shaxarlarda yuqori aniqlikda<br>nivelirlashning xususiyatlari .....                    | 269        |
| 15.4. Nivelirlash balandlik sistemalari haqida tushuncha .....                                                          | 271        |

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 15.5. Yuqori aniqlikda nivelirlash natijalarini ishlab chiqishda dastlabki hisoblashlar.....    | 275        |
| 15.6. Yuqori aniqlikda nivelirlash natijalarining aniqligini baholash .....                     | 279        |
| 15.7. I va II klass nivelirlash tarmoqlarini normal balandliklar sistemasida tenglash.....      | 283        |
| <b>16-Bob. Trigonometrik nivelirlash .....</b>                                                  | <b>289</b> |
| 16.1. Umumiy ma'lumotlar.....                                                                   | 289        |
| 16.2. Bir tomonlama trigonomentrik nivelirlashda geodezik balandliklar farqini hisoblash.....   | 292        |
| 16.3. Bir tomonlama trigonomentrik nivelirlashda normal balandliklar farqini hisoblash .....    | 295        |
| 16.4. Ikki tomonlama trigonomentrik nivelirlashda geodezik balandliklar farqini hisoblash ..... | 297        |
| 16.5. Ikki tomonlama trigonomentrik nivelirlashda normal balandliklar farqini hisoblash .....   | 297        |
| 16.6. Yerning sindirish koeffitsientini aniqlash usullari.....                                  | 299        |
| 16.7. Normal refraksiya vaqti.....                                                              | 304        |
| 16.8. Trigonometrik nivelirlash natijalarini ishlab chiqish.....                                | 306        |

## **V-BO'LIM.TEKISLIKDA GEODEZIK TARMOQLARNI TENGLASH**

|                                                                                                       |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>17-Bob. Geodezik tarmoqlarda dastlabki hisoblashlar.....</b>                                       | <b>308</b> |
| 17.1. Dastlabki hisoblashlar vazifasi. O'Ichangan miqdorlarni punktlar markaziga keltirish .....      | 308        |
| 17.2. O'Ichangan qiymatlarni yer yuzasidan referens-ellipsoid yuzasiga reduksiyalash .....            | 307        |
| 17.3. O'Ichangan miqdorlarni ellipsoiddan tekislikka reduksiyalash .....                              | 314        |
| <b>18-Bob. Geodezik tarmoqlarni korreilat usulida tenglashtirish .....</b>                            | <b>318</b> |
| 18.1. Umumiy holat.....                                                                               | 318        |
| 18.2. Triangulyatsiyada shartli tenglamalar soni .....                                                | 319        |
| 18.3. Triangulyatsiyada mustaqil shartli tenglamalar soni .....                                       | 331        |
| 18.4. Trilateratsiyada shartli tenglamalar soni .....                                                 | 335        |
| 18.5. Shartli tenglamalar ozod hadlarining chekli qiymatlarini aniqlash .....                         | 336        |
| 18.6. Tenglashtirish hisoblarining ketma-ketligi. Aniqlikni baholash .....                            | 342        |
| <b>19-Bob. Geodezik tarmoqlarni parametrik usulda tenglashtirish.....</b>                             | <b>347</b> |
| 19.1. Tenglashtirish hisoblarining ketma-ketligi. O'Ichangan miqdorlar vaznlarining muvofiqligi ..... | 347        |
| 19.2. O'Ichangan miqdorlar tuzatmalari tenglamasi.....                                                | 349        |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 19.3. Triangulyatsiya va poligonometriya punktlarida reduksiyalangan normal tenglamalarni tuzish..... | 355 |
| 19.4. Tarmoqning tenglashtirilgan elementlarini hisoblash. Aniqlikni baholash.....                    | 357 |

## **VI-BO' LIM. GEODEZIK TAYANCH TARMOQLARNI RIVOJLANTIRISHNI KOSMIK USULLARI**

|                                                                                                       |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>20-Bob. Sun'iy yo'ldosh geodezik tarmoqlarini rivojlantirish usullari va texnologiyalari .....</b> | <b>362</b> |
| 20.1. Umumiy ma'lumotlar .....                                                                        | 362        |
| 20.2. GPS va mahalliy koordinatalar sistemalari.....                                                  | 366        |
| 20.3. Sun'iy yo'ldosh o'lchashlarini kinematik asosi.....                                             | 368        |
| 20.4. Joy ob'ekti koordinatalarini aniqlash usullari.....                                             | 369        |
| 20.5. Nuqtalar koordinatalarini transformatsiyalash .....                                             | 371        |
| 20.6. Sun'iy yo'ldosh GPS priyomniklari.....                                                          | 374        |

## **VII-BO' LIM. SFEROIDIK GEODEZIYA NAZARIY ASOSLARI**

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 21.1. Yer ellipsoidining asosiy formulalari va uzaro bog'lanishlari .....                               | 380 |
| 21.1.1. Sferoidik geodeziyada qo'llaniladigan koordinata sistemalari.....                               | 382 |
| 21.2. Ayrim koordinata sistemalari orasidagi bog'lanishlar.....                                         | 386 |
| 21.3. Ellipsoidda berilgan nuqtada bosh egrilik radiusi .....                                           | 393 |
| 21.4. Meridian yoy uzunligini hisoblash.....                                                            | 400 |
| 21.5. Xarita trapesiyasining yuzasini hisoblash.....                                                    | 406 |
| 21.6. Ellipsoid sathidagi egri chiziqlar .....                                                          | 408 |
| 21.7. Geodezik chiziqning asosiy tenglamalari .....                                                     | 417 |
| 21.8. Normal kesim yoy uzunligi.....                                                                    | 425 |
| 21.9. Sferoidik uchburchaklarini yechish .....                                                          | 429 |
| 21.10. Ellipsoid sathida geodezik masalalarni yechish .....                                             | 436 |
| 21.11. Yordamchi nuqta usulida to'g'ri geodezik masalani yechish.....                                   | 440 |
| 21.12. O'rtacha argumentli formulalardan foydalanib to'g'ri geodezik masalani yechish .....             | 451 |
| 21.13. Katta masofalarda bosh geodezik masalalarni yechish (Bessel usuli) .....                         | 456 |
| 21.14. Normal kesimlardan foydalanib bosh geodezik masalani yechish.....                                | 466 |
| 21.15. Bosh geodezik masalani fazoda yechish (Molodenskiy usuli) topotsentrik koordinata sistemasi..... | 470 |
| 21.15.1 To'g'ri geodezik masala.....                                                                    | 474 |
| 21.15.2 Teskari geodezik masala .....                                                                   | 475 |

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 21.16. Fazoda asosiy geodezik masalalarni yechishda qo'llaniladigan formulalar va bog'lanishlar .....                  | 477 |
| 21.17. Gauss-Kryuger yassi to'g'ri burchakli koordinata sistemasi.....                                                 | 481 |
| 21.18. Gauss-Kryuger proeksiyasining asosiy formulalari.....                                                           | 485 |
| 21.18.1 B,L geodezik koordinatalardan foydalanib x,y to'g'ri burchakli koordinatalarni hisoblash (to'g'ri masala)..... | 488 |
| 21.18.2 To'g'ri burchakli koordinatalardan foydalanib geodezik koordinatalarni hisoblash (teskari masala).....         | 490 |
| 21.18.3 Tekislikda meridianlar yaqinlashishini hisoblash.....                                                          | 494 |
| 21.18.4 Tasvirlash masshtabini hisoblash.....                                                                          | 497 |
| 21.18.5 To'g'ri burchakli koordinatalar funksiyasida tasvirlash masshtabi .....                                        | 498 |
| 21.18.6 Masofani tekislikka reduksiyalash.....                                                                         | 499 |
| 21.18.7 Yo'nalishni tekislikka reduksiyalash.....                                                                      | 501 |
| 21.19. Gauss-Kryuger koordinatalarini bir zonadan boshqa zonaga qayta hisoblash.....                                   | 503 |
| 21.20. Geografik to'rga to'g'ri burchakli koordinatalar to'rini tushirish .....                                        | 506 |
| 21.20.1 To'g'ri burchakli koordinatalar to'riga geografik to'rni tushirish .....                                       | 507 |
| 21.21. Ayrim boshqa proeksiyalar va koordinatalar sistemalari to'g'risida tushunchalar.....                            | 509 |
| 21.21.1 Lambert-Gauss konform konusaviy proeksiyasi to'g'risida tushuncha.....                                         | 509 |
| 21.21.2 Russel konform stereografik proeksiyasi to'g'risida tushuncha.....                                             | 510 |
| 21.22. Birinchi turdagi differensial formulalar .....                                                                  | 510 |
| 21.23. Ikkinchi turdagi differensial formulalar.....                                                                   | 516 |
| Adabiyotlar.....                                                                                                       | 517 |

**TASHPO'LATOV SARVAR ANVAROVICH**

# **OLIY GEODEZIYA**

**Darslik**

Muharrir: X. Tahirov  
Texnik muharrir: S. Meliquziyeva  
Musahhih: M. Yunusova  
Sahifalovchi: A. Muhammad

Nashr. lits № 2244. 25.08.2020.  
Bosishga ruxsat etildi 12.08.2022.  
Bichimi 60x84  $\frac{1}{16}$ . Ofset qog'ozi. "Times New Roman"  
garniturasi. Hisob-nashr tabog'i. 33,0.  
Adadi 100 dona. Buyurtma № 112.

«ZEBO PRINT» MCHJ bosmaxonasida chop etildi.  
Manzil: Toshkent sh., Yashnobod tumani, 22-harbiy shaharcha





ISBN 978-9943-8465-6-2



9 789943 846562