



G'. A. ARTIKOV

KOSMIK GEODEZIYA VA GLOBAL NAVIGASIYA SUN'IY YO'LDOSHLAR TIZIMI

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI**

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
ARXITEKTURA-QURILISH INSTITUTI**

G‘. A. ARTIKOV

**KOSMIK GEODEZIYA VA GLOBAL
NAVIGATSIYA SUN‘IY YO‘LDOSHLAR
TIZIMI**

Darslik

5A311502 – Geodeziya va kartografiya (amaliy geodeziya)

TOSHKENT – 2021

UDK: 528.2:629.78

BBK: 26.1

A11

A 11

Artikov G‘.A. Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun’iy yo‘ldoshlar tizimi. Darslik. –T.: «Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи», 2021, 412 bet.

ISBN 978–9943–7421-4-7

Darslikda Rossiya va Amerika GLONASS va NAVSTAR GPS yo‘ldoshli radionavigatsiya tizimlari, tizim foydalanuvchilarining apparaturalari, qo‘llaniladigan koordinatalar va vaqt tizimlari, harakat nazariyasining asoslari va kosmik apparatlar efemeridalarini hisoblash, muhitning signallarning tarqalishiga ta’siri, geodezik kuzatishlarning asoslangan usullari, xatolar tahlili, dala ishlari texnologiyasi, hisoblash ishlari va boshqalar yoritib berilgan.

Ushbu darslik 5A311502 – Geodeziya va kartografiya (amaliy geodeziya) magistratura mutaxassisligi talabalari, tayanch doktorantlar va doktorantlar hamda ilmiy va muhandis-texnik xodimlar foydalanishlari uchun mo‘ljallangan

UDK: 528.2:629.78

BBK: 26.1

Muallif:

G‘.A. Artikov – Samarqand davlat arxitektura-qurilish instituti “Geodeziya va kartografiya” kafedrasi dotsenti, texnika fanlari nomzodi.

Taqrizchilar:

S.A. Toshpo‘latov – Toshkent arxitektura-qurilish instituti professori, texnika fanlari nomzodi.

A.S. Suyunov – Samarqand davlat arxitektura-qurilish instituti “Geodeziya va kartografiya” kafedrasi mudiri, texnika fanlari doktori, professor.

N.T. Xusanov – “Samarqandaerogeodeziya” korxonasi bosh muhandisi.

Ushbu darslik Mirzo Ulug‘bek nomidagi Samarqand davlat arxitektura-qurilish instituti Kengashining 2021-yil 1-martdagi 4-son yig‘ilish qarori bilan nashrga tavsiya etilgan.

ISBN 978–9943–7421-4-7

© «Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи» 2021.

SO‘Z BOSHI

Ushbu darslik matni “KOSMIK GEODEZIYA VA GLOBAL NAVIGATSIYA SUN’IY YO‘LDOSHLAR TIZIMI” fanining o‘quv rejasi, namunaviy o‘quv dasturi va ishchi o‘quv rejalari asosida 5A311502 – Geodeziya va kartografiya (amaliy geodeziya) magistratura mutaxassisligi talabalariga mo‘ljallangan.

Hozirgi kunda, geodeziya, kartografiya va kadastr sohasida bajarilayotgan ishlarni, yo‘ldoshli radionavigatsiya tizimlaridan foydalanmasdan tasavvur qilib bo‘lmaydi. Chunki, barcha bajarilayotgan davlat miqyosidagi ishlar, ya’ni koordinatalarni aniqlash, bevosita Yerning sun’iy yo‘ldoshlariga bog‘liq ravishda aniqlanadi. Koordinatalarni to‘g‘ri aniqlash bu, geodezik, kartografik va kadastr ishlarida, eng muhim vazifalardan hisoblanadi.

Darslikda Rossiyaning “GLONASS” va Amerikaning “NAVSTAR GPS” yo‘ldoshli radionavigatsiya tizimlari yordamida koordinatalarni aniqlash usullari bilan tanishish mumkin. Bundan tashqari, tizim foydalanuvchilarining apparaturalari, qo‘llaniladigan koordinatalar vaqt tizimlari, harakat nazariyasining asoslari va kosmik apparatlar efemeridalarini hisoblash, muhitning signallar tarqalishiga ta’siri va boshqalar to‘liq yoritib berilgan. Darslik 22 ta jadval va 85 ta rasmni o‘z ichiga olgan. Bu darslikning yanada tushunarli bo‘lishiga xizmat qilgan.

Darslik texnik tilda ravon yozilgan, foydalanuvchilar mavzularni o‘qish jarayonida bunga amin bo‘ladilar. Bu albatta, muallifning ushbu sohadagi tajribalaridan yaxshi foydalanganligini ko‘rsatadi. Yana shuni unutmash kerakki, aynan, radionavigatsiya tizimlarini o‘rganish sohasi bo‘yicha texnik lug‘atlar yo‘qligiga qaramasdan, muallif ushbu darslikni tayyorlashni ijobiy amalga oshirgan.

Muallif darslik matnini nashrga tayyorlashda o‘zlarini qimmatli maslahatlarini bergan SamDAQI “Geodeziya va kartografiya” kafedrasining professorlari A.S. Suyunov va E.X. Isakovlarga hamda SamDAQI “Bino va inshootlar kadastr” kafedrasining dotsenti D.O. Jurakulovga chin qalbdan minnatdorchilik bildiradi.

Shuningdek, darslik matni to‘g‘risida bildirilgan barcha tanqidiy fikr va mulohazalarni mamnuniyat bilan qabul qiladi.

KIRISH

Yo‘ldoshli texnologiyalar sobiq SSSRda 1990-yillarning boshlarida, AQSH ga qaraganda, deyarli 10 yil keyinroq paydo bo‘ldi. Geodeziyaning oddiy usullari oldida, ularning ustunliklari hayratlanarli edi. Uskunalarining yuqori narxiga qaramasdan, ular tezlik bilan topografik-geodezik ishlab chiqarishda keng qo‘llanila boshlandi. Ammo, ishlarni bajarishda tajribaning va adabiyotlarning hamda yangi texnologiya bo‘yicha bilimlarning yetarli bo‘lmaganligi, ulardan samarali foydalanish imkoniyatini bermadi. Eng avvalo, *GPS* texnologiyalari bo‘yicha 1985-yilda Avstraliyada chop etilgan va 1987-yilda Berlinda [113] qayta chop etilgan, haqiqatan ham, “Surveying with Global Positioning Systems (GPS)” birinchi kitobini aytish kerak bo‘ladi. Ushbu kitobning rus tilidagi tarjimasi Moskvada A.A. Genike tomonidan bajarilgan.

Keyinchalik Bottonning *GPS* bo‘yicha [68] Fransiyada chop etilgan kitobi paydo bo‘ldi. Undan keyin T. Logsdon, A. Leyka, P. Tyunissen va A. Kleysberg, A. El-Rabbani, Dj. Streng va K. Borr, B. Xofmann-Vellenxof hammualliflari bilan va boshqa bir qator kitoblar paydo bo‘ldi. Bu kitoblar turli ilmiy darajaga va turli xil yo‘nalishlarga ega, ular yo‘ldoshli texnologiyalar to‘g‘risida turli xil nuqtayi nazardan ma’lumotlarni beradi. Nihoyat, rus tilidagi kitoblar ham paydo bo‘ldi. Eng avvalo, “*GLONASS*” kitobi, mualliflar jamoasi tomonidan tayyorlangan va ikkita nashrga bardosh bergan, A.K. Sinyakin va B.B. Serapinaslarning o‘quv qo‘llanmasi, Yu.A. Solovevning ikkita kitobi, A.A. Genike va G.G. Pobedinskiylarning kitoblaridir. Yo‘ldoshli texnologiyalar bo‘yicha ba’zi kerakli va qimmatli ma’lumotlar [24, 36, 51] ishlarida keltirilgan. Ko‘p qiziqarli ma’lumotlar, professor Yu.V. Surnin guruhi tomonidan deyarli, XX asrning to‘rtinchi yilidan birida to‘plangan, Sibir Davlat Geodezik Akademiyasi (SGGA)ning “Astronomiya va gravimetriya” kafedrasining kutubxonasidan olingan.

Eng muhim muammolardan biri, mutaxassis u bilan muqarrar uchrashadigan yangi texnologiyalar bo‘yicha – bu atamalar muammosidir. *GPS/GLONASS* texnologiyalari sohasidagi atamalar ham – bundan mustasno emas, chunki bu texnologiyalar bizga g‘arbdan kirib keladi. Buni ko‘p mualliflar ta’kidlaydilar [21]. Moskva shahridagi Markaziy geodeziya, aerofotosyomka va kortografiyailmiy tadqiqot institut tomonidan garchi, “Руководящий технический материал по

терминам и определениям” [41] chiqargan, ammo, bu yerda barchasi muvaffaqiyatli emas. Misollardan biri – fazali farqlar bo‘yicha atamalar single difference, double difference va triple difference. B.B. Serapinasning [44] o‘quv qo‘llanmasida qilinganidek, to‘g‘ri tarjimadan foydalanilganida, mantiqli bo‘lar edi: birlamchi, ikkilamchi va uchlamchi farqlar. Ammo, ko‘plab hurmatli mualliflar “birinchi, ikkinchi va uchinchi farqlar” atamalaridan, ya’ni first, second and third differences dan tarjima qilinganidek foydalanadilar. M.B. Kaufman bu masala bo‘yicha o‘z fikrini bildiradi. “Ayrim hollarda, bu farqlar xato nomlanadi “birinchi” va “ikkinchi”, ammo, matematikada bu atamalar, bir qator ketma-ket elementlar orasidagi farqlarni belgilash uchun qo‘llaniladi, bu yerda gap turli qator o‘lchashlarni birlashtirish to‘g‘risida bormoqda” [36] .

Atamalar bilan bog‘liq boshqa misol, navigatsiyadan va geodeziyadan “to‘qnashuv” atamasi hisoblanadi. Masalan, “clock error” – “soatlar xatoligi” – geodezistlar uchun, ayniqsa, astronom-geodezistlar uchun, soatlarga tuzatmalardek, tushunarli. Bir va xuddi shunday obyektlar uchun turli tavsiflar uchraydi (masalan, kosmik apparatlar parametrlari bo‘yicha: bir ma’lumotlar loyihaviy, boshqasi – haqiqiy), birgina va xuddi shunday nomlanishlar uchun turli tushunchalar va boshqalar.

Topografik-geodezik ishlar sistemasida zamonaviy texnologiyalarga asoslangan *GPS* va *GLONASS* sun’iy yo‘ldosh tizimlarini, geoinformatsion tizimlarni, raqamli va lazerli-elektron o‘lchash hamda hisoblash texnikalarini, shuningdek, lazerli skanerlash texnologiyalarini ishlab chiqarishga tatbiq etish hozirgi zamon talabidir.

Hozirgi taraqqiy etgan elektronika davrida, geodezik asbobshunoslik ham o‘z yo‘nalishi bo‘yicha yutuqlarga ega bo‘lmoqda. Bulardan Shveysariyaning “LEICA” firmasining geodezik asboblari ishlab chiqaruvchi fabrikasi, Yaponiyaning “SOKKIA” firmasi, AQSHning “ASHTECH”, “TRIMBLE”, “ZEISS” va boshqalar. Bu firmalarda, aytib o‘tilgan zamonaviy geodezik asboblari qurilish uchun yuqori aniqlikda ishlab chiqariladi. Ushbu asboblari qulayligi inson mehnati sarfini kamaytirishga mo‘ljallangan.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Sh. Mirziyoyev boshchiligidagi amalga oshirilayotgan “Harakatlar strategiyasi”da ustuvor besh yo‘nalishdan to‘rtinchi yo‘nalish “Ijtimoiy sohani rivojlantirish”

yoʻnalishi ham, aynan, taʼlim-tarbiya jarayonini tubdan yaxshilashga qaratilgan. 2017-yil 20-apreldagi “Oliy taʼlim tizimini rivojlantirish toʻgʻrisida”gi Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining qarorida kadrlarga qoʻyiladigan talablar ehtiyoji ham, sifati ham, samara jihatidan oshib borayotganligiga alohida eʼtibor qaratilgan. Ushbu qarordan kelib chiqqan holda, Oliy taʼlim tizimida ham, katta islohotlar amalga oshirila boshlandi. Albatta, bularning zamirida dunyo amaliyotida qoʻllanilayotgan ilgʻor texnologiyalardan foydalanish anʼanasi mujassamlangan. Bunga erishish uchun, kadrlarni yuqori darajada tayyorlashimiz kerak boʻladi. Shu maqsadda, “Kosmik geodeziya va global navigatsiya sunʼiy yoʻldosh tizimlari” fani oʻquv dasturlariga kiritilgan.

“Kosmik geodeziya va global navigatsiya sunʼiy yoʻldoshlar tizimi” fanidan darslik, shu sohaga tegishli magistratura mutaxassisligi talabalari, tayanch doktorantlar va doktorantlar hamda ilmiy hamda muhandis-texnik xodimlar foydalanishlari uchun moʻljallangan.

1-BOB. KOSMIK GEODEZIYA VA GLOBAL NAVIGATSIYA SUN'IY YO'LDOSHLAR TIZIMI FANI TO'G'RISIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

1.1. Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun'iy yo'ldoshlar tizimi fanining mazmuni, predmeti va uslublari

“Kosmik geodeziya” fani, fan sifatida XX asrning 60-yillarida Yerning birinchi sun'iy yo'ldoshi kosmosga uchirilgandan keyin paydo bo'ldi. 30 yillar mobaynida yo'ldosh geodeziyasi usullari faqatgina, ilmiy jihatdan qaraldi. Yer yuzidagi punktlar joylashuvini aniqlashda aniqlik, eng yaxshi hollarda, metrlar birligini tashkil qilardi. Bu ham, juda qimmat apparaturalarni, davomli va mashaqqatli katta hajmdagi qo'l mehnatini talab qilardi. Kosmik geodeziyadagi tubdan o'zgarish 1980-yillarning boshlarida *NAVSTAR GPS* Amerika va *GLONASS* sobiq sovet tizimlari – yo'ldoshli radionavigatsiya tizimlarining, ikkinchi avlodlarini yaratilishi natijasida yuzaga keldi. SRNS (yo'ldoshli radionavigatsiya tizimi) tizimlari signallari bo'yicha ishlaydigan apparaturalar yordamida bajarilgan o'lchashlarning, dastlabki amaliy natijalari, geodeziya an'anaviy usullari o'lchashlari aniqliklaridan yuqori ekanligini namoyish etdi.

“Kosmik geodeziya” fani yangidan, “Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun'iy yo'ldoshlar tizimi” faniga qayta o'zgartirildi.

Hozirgi kunda, fan yutuqlaridan, geodeziya, kartografiya va kadastr sohalarida keng foydalanilmoqda. Bularga quyidagilarni misol sifatida: Yerning doimiy nazorati, koordinatalarni aniqlash, yer maydonlarining aniq konturlarini o'rnatish, plan olishlari qiyin joylarning kartalarining tuzish, geografik axborot tizimlari uchun kadastr kartalarini yaratish va boshqalar.

Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun'iy yo'ldoshlar tizimi – geodezik fanlarning bir bo'limi bo'lib, unda ilmiy va amaliy vazifalarni yechish uchun, obyekt sifatida, Yerning sun'iy yo'ldoshlari (YeSY), kosmik apparatlar (KA) va Oyning kuzatishlar natijalaridan foydalaniladi.

Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun'iy yo'ldoshlar tizimining asosiy vazifalari bo'lib quyidagilar hisoblanadi:

- punktlarning o‘zaro joylashishini, bir qator koordinata tizimlarida aniqlash;
- referens-ellipsoid markazi joylashishini, Yer massasi markaziga nisbatan aniqlash;
- koordinata punktlarini absolut tizimda, Yer massasi markaziga keltirilgan, yagona dunyo geodezik tizimini yaratishni aniqlash;
- alohida geodezik tizimlar orasidagi bog‘liqlikni o‘rnatish;
- Yerning shakli va tashqi gravitatsion maydonini o‘rganish;
- bir qator fundamental geodezik doimiylikni aniqlashtirish.

Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun‘iy yo‘ldoshlar tizimining uslublari, an‘anaviy uslublarga nisbatan, bir qator ustunliklarga ega. Bir necha ming kilometrlarga, Yer massasi markaziga keltirilgan koordinatani uzatishda va absolut koordinata tizimida qurilmalarni yaratishda tez imkoniyatlar paydo bo‘ladi. YeSYi kuzatishlari bo‘yicha gravitatsion maydonning parametrlarini aniqlash, Yer yuzasida nisbatan, ko‘p bo‘lmagan stansiyalarni talab etadi. Hozirgi vaqtda qo‘llanilayotgan an‘anaviy usullarda esa, quruqlikda va dengizda ham, punktlarning zich to‘rlari bo‘lishiga asoslanadi. Yo‘ldoshli altimetriyani qo‘llash, qisqa vaqt ichida okeanlarda, geoid shaklini batafsil o‘rganish, boshqa geodezik va okeanografik ma’lumotlarni olish imkonini beradi.

Hozirgi vaqtda lazerli va dopler YeSYlari kuzatishlaridan erishilgan yuqori aniqlik, ularni quyidagi geodinamik muammolarni yechishda: Yerning aylanish parametrlarini aniqlash, suv sathlari ko‘tarilishlarini o‘rganish, litosfera plitasining harakatini o‘rganish, zilzilani oldindan taxmin qilish, uslublarni ishlab chiqishda samarali qo‘llashni ta’minlaydi. Ushbu masalalarni yechishda, Oyning lazerli lokatsiyasi, juda uzun bazali radiointerferometriya va fazobarqaror radiointerferometriyalaridan foydalanishning katta imkoniyatlarini ochib beradi.

Yo‘ldoshli dinamik uslubni yo‘ldoshli gradiyentometriya bilan birgalikda qo‘llash va “yo‘ldosh-yo‘ldosh” chizig‘i bo‘yicha kuzatishlar, nafaqat, gravitatsion maydonning tuzilishini batafsil o‘rganishnigina emas, balki uning vaqt bo‘yicha o‘zgarishlarini o‘rganish imkoniyatlarini ham beradi. Dinamik uslub bilan olingan ma’lumotlar, Yerning ichki tuzilishi haqidagi xulosalar uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun'iy yo'ldoshlar tizimi-ning uslublari, masalalarni rivojlanishi va umumlashtirilishi, Oy va sayyoralarni sun'iy yo'ldoshlardan foydalanib, ushbu obyektlarni o'rganish uchun quyidagi geodezik uslublari: tayanch to'rlarini barpo etish, gravitatsion maydon parametrlarini aniqlash, shakllarni o'rganish, topografik va maxsus kartalarni tuzish bo'lib hisoblanadi.

Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun'iy yo'ldosh tizimlarining vazifalari, odatda geometrik va dinamiklarga bo'linadi. Birinchi guruh vazifasida, yo'ldosh yuqori vizir nishonidek qaraladi va uning harakat nazariyasini bilish talab etilmaydi. Geodezik masalalarni yechishda, bir necha punktdan YeSYlarining sinxron yoki kvazisinxron kuzatishlaridan foydalaniladi. Ikkinchi guruhning vazifasiga, YeSYlarining harakat nazariyasi, sun'iy yo'ldoshlarning kuzatish natijalari bo'yicha Yerning gravitatsion maydoni, Yer massasi markaziga keltirilgan absolut tizimda punktlarning koordinatalarini aniqlash, atmosfera parametrlari, Yerning aylanish parametrlari va fundamental geodezik doimiyliklar haqidagi xulosalarda asos sifatida qo'llaniladi. Bulardan tashqari, YeSYlari boshqa kosmik apparatlarni kuzatishlarda ham foydalaniladi.

“GPS texnologiyasi” (yoki *GLONASS / GPS* texnologiyasi) atamaları yo'ldoshli radionavigatsiya tizimlari SRNS – *GPS* Amerika va *GLONASS* Rossiya tizimlaridan foydalanib, koordinatalarni aniqlash usullari uchun qo'llaniladi. SRNSning har qaysisi to'liq joylash-tirishlarda 24 ta yo'ldoshlardan iborat bo'lib, orbitada, taxminan, 20000 km balandlikda aylanadi. Yo'ldoshlar joylashgan o'rni va aniq vaqt hamda masofani o'lchash imkonini beruvchi, dalnomer kodlari to'g'risidagi ma'lumotlarni signallar yordamida to'xtovsiz ravishda uzatadi SRNS foydalanuvchisi, koordinatalarni aniqlashni, bir nechta yo'ldoshdan priyomnikgacha signallarning o'tish vaqtini yoki tashuvchi chastotada signalning fazasini o'lchash orqali, maxsus *yo'ldoshli priyomniklarda* (1.1-rasm) aniqlaydi. Birinchi holatda, masofa metrli aniqlik darajasida, ikkinchi holatda – millimetrli aniqlik darajasida o'lchanadi. Unda masofa o'lchashning bir yo'nalishli usuli ishlatilgan, chunki *GPS* va *GLONASS* tizimlaridan bir vaqtda, ko'plab foydalanuvchilarning foydalanishiga ruxsat beriladigan, so'rash imkoniyatlari cheklangan yo'ldoshli tizimlar hisoblanadi.



1.1-rasm. Priyomnik antennalarining oʻrnatilishi.

Har qaysi priyomnik, boshqa priyomniklardan mustaqil yoki boshqa priyomniklar bilan birgalikda, sinxron tarzda oʻlchashlarni olib boradi. *Absolut usul* deb nomlanadigan, birinchi holatda, kodlar boʻyicha bir martalik aniqligi 1–15 m ga yetadi. Bunday usul har qanday harakatlanuvchi obyektlar navigatsiyasi uchun, piyodalardan raketalarigacha toʻliq mos keladi. Ammo, juda yuqori aniqlikni, fazalar boʻyicha oʻlchashlarni bir necha priyomniklar bilan bir vaqtda, yoʻldoshlarni kuzatishlardan olish mumkin. Bunday usuldagi kuzatishlarda, odatda priyomniklardan biri koordinatasi aniq boʻlgan punktda joylashtiriladi. Unda qolgan priyomniklarning oʻrnini, bir necha millimetr aniqlik bilan, birinchi priyomnikga nisbatan aniqlash mumkin. *GPS* ning bu usuli, *nisbiy usul* nomini olgan. Unda bir necha metrdan ming kilometrlargacha masofalarni oʻlchash mumkin.

Maʼlumotlarni *haqiqiy vaqtda* qayta ishlashlarda, yaʼni nuqtadagi kuzatish jarayonida, yoʻldoshli apparatura radiomodemlar va boshqa priyomniklar orasidagi maʼlumotlarni oʻzaro almashinuvi uchun simsiz aloqa vositalari bilan toʻldiriladi. *Qayta ishlashlar-posti*, odatda, juda qatʼiy ravishda bajariladi, ammo dalada yoʻl qoʻyilgan chalkashliklar, oʻlchashlarga takroran chiqishni, talab qilishi mumkin.

GPS o'lchash usullarini *statik* va *kinematiklarga* bo'lish mumkin. *Statik o'lchashlarda*, seansda qatnashuvchi priyomniklar punktlarda harakatsiz holatda bo'ladi. Kuzatishlarning davomiyligi, 5 minutdan (tez statika) bir necha soatlar va hatto sutkalargacha, talab etilgan aniqlikka va priyomniklar orasidagi masofalarga bog'liq ravishda bo'lishi mumkin. *Kinematik o'lchashlarda*, priyomniklardan biri doimo, tayanch punktda joylashadi, ikkinchi priyomnik (mobil) esa, harakatda bo'ladi. Kinematik kuzatishlar aniqligi, statikaga qaraganda (odatda, 10 km gacha bo'lgan chiziqlarga 2–3 sm), bir muncha past.

SRNSning geodeziyaga intensiv kiritilishi, bir qator zamonaviy imkoniyatlardan kelib chiqqan. Ularning asosiylari quyidagilar:

- aniqlikning keng diapazoni – amalda har qanday masofalarga metr birligidan subsantimetrlargacha. Atmosferaning ta'siri baland nishonlarni kuzatishlarni zaiflashtiradi. Bunday aniqlikdagi yutuq 1-2 tartibga yetadi;

- geodezik to'rlarni qurishda, punktlar orasidagi to'g'ri ko'rish bog'liqligiga ehtiyoj bo'lmaydi. Shuning uchun, tepaliklarda joy tanlab, baland belgilar-signallarni qurish kerak bo'lmaydi. Geodezik belgilarning qurilishi, ish narxining 80% igacha tashkil qilardi. Yangi belgilar, borish qulay bo'lgan joylarga o'rnatiladi;

- yo'ldoshli texnologiyalarda ishlab chiqarish, an'anaviy texnologiyalarga qaraganda 10-15 marta yuqoridir;

- kinematik o'lchashlarni, ya'ni harakatdagi o'lchashlarni bajarish, ayniqsa, dengiz geodeziyasi va aerofotoplan olishlarda bunday usullarning qo'llanilishi juda muhim o'rin tutadi. Shu bilan birgalikda, yer usti asoslarini yaratish va opoznaklarni bog'lashni olib borish shart emas;

- uzluksiz kuzatishlarni, masalan, deformatsiyalar monitoringi uchun haqiqiy vaqt rejimida, ta'minlash;

- bir vaqtning o'zida uchta koordinata aniqlanishi mumkin. An'anaviy geodezik to'rlarni planli va balandliklarga bo'linishi natijasida, triangulyatsiya punktlarida qo'pol balandlik o'tmetkalari paydo bo'ladi, reperlarda esa planli koordinatalar bo'lmaydi;

- yuqori darajadagi avtomatlashtirishning sharofati bilan, tez qayta ishlashlar va subyektiv xatolarning kamayishi ta'minlanadi;

- ob-havo ta'siridan to'lig'icha mustaqildir.

- SRNSning kamchiliklari quyidagilar:

- balandlik va koordinatani lokal geodezik tizimda, balandlikni esa – qo‘shimcha normal (yoki ortometrik) balandlikka o‘zgartirishdagi muammo;
- to‘siqlar va radioto‘lqinlarga bog‘liqlik;
- balandliklarni aniqlash aniqligi, planli koordinatalarni aniqlash aniqligiga qaraganda 2–5 marta pastdir;
- uskunalar narxlarining yuqoriligi va dasturlar bilan ta’minlashdagi murakkabliklar.

Birinchi *GPS* priyomniklar paydo bo‘lganida, “endi geodezistga hech qanday ish qolmadi, koordinatani aniqlash uchun faqat tugmachani bosish kifoya” – degan fikr paydo bo‘ldi. Ammo, priyomnik kerakli koordinatani bermasdan, boshqa koordinatani berganligini, dastlabki olib borilgan ishlar ko‘rsatdi. Hozirda yetarlicha, yo‘ldoshli texnologiyalarni qo‘llab, geodezik ishlarni bajarish tajribasi to‘plangan. Me’yoriy hujjatlar paydo bo‘ldi. Hozirgacha ham, yechilmagan savollar yetarlicha.

“Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun’iy yo‘ldoshlar tizimi” fani, bir qator geodezik fanlar: “Geodeziya”, “Oliy geodeziya”, “Sferik geodeziya” va boshqalar bilan chambarchas bog‘liq. Chunki, bu fanlarda yechiladigan masalalar, an’anaviy usullarda yechilgan bo‘lsa, “Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun’iy yo‘ldoshlar tizimi”da esa, YeSYlaridan foydalanib yechiladi.

1.2. Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun’iy yo‘ldoshlar tizimi fanining ilmiy-amaliy ahamiyati

Birinchi Amerika navigatsiya yo‘ldoshli tizimi *NAVSTAR* 1978-yili ishga tushirildi, Rossiya *GLONASS* tizimi 1982-yilda uchta yo‘ldoshni ishga tushirib shakllana boshlandi. Bu vaqtda, Yer atrofidagi orbitalarda, allaqachon, Amerikaning oltita yo‘ldoshlari aylanar edi. Aynan, ulardan birinchi hayratlanarli geodezik o‘lchash natijalari olingan edi. 1982-yilda Massachusetti texnologiyalari institutida (AQSH) Charlz Kunselman rahbarligi ostida tadqiqot guruhi tashkil etildi. Unga Ieguda Bok, Robert King, Djeys Kollinz, Alfred Leyk va boshqalar kirdilar. Bu guruh, Ch. Kunselman tomonidan ishlab chiqilgan, «Makrometr» priyomnigining prototipini sinovini o‘tkazdilar. Asos chiziqlari bir

necha soatli seanslardagi statik o'lchashlarda, $(1-2) \cdot 10^{-6}$ ga teng nisbiy xatoliklarga erishildi. Keyinchalik A. Leyk o'zining kitobida "Bu, lol qoldiradigan kashfiyot edi. To'satdan, birinchi klass geodezik to'rlari aniqligidan o'zib ketishga qodir, o'lchash tizimi paydo bo'ldi" deb yozadi [123].

1983–1984-yillar mobaynida *Macrometr V* – 1000 priyomnigi bilan plan olishlar *GPS* texnologiyalarining ishga qodirligini isbotladi. Massachusetti texnologiyalari institutining bir guruh olimlari tomonidan G'arbiy Germaniyadagi Shimoliy Reyn-Vestfalliya provinsiyasi Eyfel rayonining 30 ta stansiyalaridan iborat, 1-klass to'rlarini zichlashtirish tashkil etilgan edi [66]. 1984-yilning boshlarida Montgomeri (Pensilvaniya shtati, AQSH) okrugidagi to'rlarni zichlashtirish o'tkazildi. Ikkala holatda ham, o'lchashlar aniqligi 10 km lar atrofidagi uzunliklarda, $(1-2) \cdot 10^{-6}$ darajada edi va mavjud to'rlarning aniqligi oshdi [123].

1984-yilda yo'ldoshli texnologiya Stanford universitetida (Kaliforniya, AQSH) chiziqli tezlatgichni qurish uchun, yuqori aniqlikdagi muhandislik to'rini yaratishda qo'llanilgan edi [149]. Masofa va burchaklarning oddiy o'lchashlari, asos chiziqlarini *GPS* kuzatuvlari bilan birlashtirgan edi. Unda to'g'ri chiziqni 0.1 mm gacha aniqlik bilan hosil qiluvchi, lazerli trassalash tezlatgichi bilan taqqoslab, tasdiqlangan, millimetrli aniqlikka erishilgan edi.

Ammo, yo'ldoshli va an'anaviy to'rlarni birlashtirishda, yuzalar nisbiyligini mos kelmasligi bilan kelib chiqadigan, ayrim qiyinchiliklar paydo bo'ldi. Yo'ldoshli usulda, to'r umumyer ellipsoidi bilan kuzatiladi (masalan, *WGS-84*), an'anaviy geodeziyada o'lchashlar geoidga (yoki kvazigeoidga) nisbatan olib boriladi.

T. Engelis, R. Rapp va I. Boklar Eyfel to'rlari ortometrik balandlik punktlarini topib, an'anaviy nivelirlashni *GPS* – o'lchashlardan aniqlanishi bilan geodezik balandliklar farqlarini qanday birlashtirish kerakligini ko'rsatdi [90]. Dj. Ladd, Ch. Kunselman va S. Gurevichlar birgalikda, *Macrometr II* kodsiz ikki chastotali priyomnigi bilan 15 minut vaqt kuzatishlarida 10^{-6} aniqlikka erishganliklarini xabar qildilar. Bu tez statika texnikasini ishlab chiqishga turtki berdi [132]. Tenglashtirish, koordinatalarni o'zgartirish va geoidni qurishni o'z ichiga olgan, o'lchashlarni qayta ishlashlar uchun tijorat dasturlariga ham, erishish mumkin bo'ldi [127].

1984-yilda Bendjamin Remondi *GPS* o'lchashlar nazariy asoslarini e'lon qildi. U kishi tomonidan kinematik o'lchashlar texnologiyasi ham ishlab chiqildi. Bunday o'lchashlarda, priyomniklardan birini antenasi harakatsiz qoladi va ikkinchi priyomnik esa antenna bilan birgalikda, doimo harakatda bo'ladi yoki bir stansiyadan boshqasiga, ularning har qaysisida bir necha sekund to'xtab harakatlanadi. Birinchi o'lchash turi, uzluksiz kinematika, ikkinchisi esa – "to'xta-yur" kinematikasi deb nomlana boshlandi. Keyingi ikki yilda Dj. Mader tomonidan aeroplan olishlar jarayonidagi koordinatalarni aniqlash amalga oshirilgan edi [123]. Harakatda bo'lgan apparaturalarning koordinatalarini aniqlash, masofadan zondlash, aerofotoplan olish, daryo, shelflar tubining plan olishlaridek va boshqa ko'plab, shunday ishlar uchun istiqbollidir.

Kinematik o'lchashlar, boshlanish asos chiziqlari fazali sanoqlariga xilma-xil yondashuvlarni talab etadi. Bu jarayon kinematik o'lchashlarning inisializatsiyasi deb nomlanadi. Kinematik o'lchashlar jarayonida, kamida to'rtta yo'ldoshdan signallarni tutilishini ta'minlash kerak bo'ladi. Agar kuzatilayotgan yo'ldoshlarning soni to'rttadan kam bo'lsa, unda inisializatsiyani takrorlash kerak. Buning qanchalik noqulayligini havoda yoki suvda ishlaganda, tasavvur qilish mumkin. Shunday qilib, kinematik rejim uchun "yozda inisializatsiya" (On-the-fly, OTF) deb nom olgan usuli juda muhim bo'ldi. Uni 1989-yili nemis olimlari G. Seeber va G. Vyubbenlar ishlab chiqdilar. Usulni, qayta ishlash-postlari uchun, haqiqiy vaqtda o'lchashlar uchun, jumladan, aniq navigatsiya uchun qo'llash mumkin.

1987-yilda S. Lixten va Dj. Borderlar statik rejimda olingan, vektorning barcha uchta komponentlarida $2 \cdot 10^{-8}$ – $5 \cdot 10^{-8}$ natijalarni takrorlaganliklariga erishganligi to'g'risida xabar berdi [125]. Ammo, bu yerda, boshqa tafsilotlardek, haqiqiy xatolar va ichki o'xshashlikni tavsiflovchi, absolut aniqlikni farqlash kerak bo'ladi. So'nggi holatda, barcha natijalar ko'pincha umumiy, kattaligi va ishorasi bo'yicha bir xil sistematik xatolarga ega bo'lishi mumkin.

1980-yillarning ikkinchi yarmida, bir necha tajribalar va tadqiqot loyihalari olib borilgan edi, ularda *GPS* o'lchashlar aniqligiga turli xil omillarning ta'siri o'rganildi. Juda uzun asosli radiointerferometriya usuli bilan, asos chiziqlarini o'lchashlarni yaxshi o'xshashliklari

namoyish etildi. Agar efemerida aniqligi oshirilsa, yoʻldoshli oʻlchashlar aniqligini oshirish mumkinligi toʻgʻrisida fikr shakllantirildi. Aniq efemerida xizmatini tashkil etish toʻgʻrisidagi masala, Xalqaro geodinamik *GPS* xizmatlari Xalqaro geodezik toʻr (XGT) tashkil etilgandan soʻng hal etildi [121].

A. Braun “Keng zonalar uchun *GPS* differensial usuli” (Wide area differensial *GPS*, WADGPS) hozir shunday nomlanadigan, *GPS* plan olish usulini ishlab chiqdi [66]. Haqiqiy vaqtda *GPS* differensial usulini standartlashtirish uchun, koʻplab urinishlar qilingan edi. Ular dengiz kemasozligi xizmatlari uchun Radiotexnik komissiya (Radio Technical Commission for Maritime Services, *RTCM*) tomonidan ishlab chiqilgan, *RTCM* –104 standarti paydo boʻlganidan soʻng koʻpaydi. *DGPS* usulini rivojlanishi, global differensial usulning paydo boʻlishiga olib keldi.

1991 va 1992-yillar mobaynida Xalqaro geodeziya assotsiatsiyasi geodezik hamjamiyat bilan birgalikda, global masshtabda *GPS* imkoniyatlari chegaralarini tadqiq qilishga urinishlarni olib bordi. Tadqiqotlar *GIG*–91 (*GIG* - *GPS* experiment for IERS and Geodynamics, yaʼni Yer aylanishi Xalqaro xizmati uchun va geodinamika uchun *GPS* ni qoʻllash boʻyicha tajriba deb, shifri ochiladi) kampaniyasidan boshlandi. *GPS* oʻlchashlari boʻyicha, Yer aylanishi-ning aniq parametrlarini olish mumkinligi koʻrsatilgan edi. Alohida qiziqishni geotsentrik koordinatalarni chiqarish omili ifodaladi, ular yoʻldoshli lazerli dalnometriya baholashlari bilan muvofiqlashtirildi. Har sutkada 10^{-9} tartibini takrorlashni taʼminlab, global masshtabda *GPS* oʻlchashlari bir xil boʻlmaganlariga ham, ruxsat berish mumkinligi koʻrsatilgan edi. *GPS* yoʻldoshlari aniq orbitalarini doimo, olish imkoniyati mumkinligi isbotlangan edi. 1994-yil 1-yanvardan Xalqaro *GPS* xizmati oʻz ishini boshladi. Ushbu yildan, Yer aylanishi Xalqaro xizmati Yerning oriyentirlash parametrlarini chiqarish uchun, *GPS* maʼlumotlaridan foydalana boshladi [102].

Rossiya *GLONASS* tizimidan geodeziya maqsadlari uchun foydalanish, uni Xalqaro tashkilotda 1988-yilda qayd etganidan keyin faollashdi. Ushbu voqeadan soʻng, tezlik bilan Lids shahridagi (Angliya) universitetda *GPS* boʻyicha ham, *GLONASS* boʻyicha ham, ishlaydigan,

kodli priyomnik yaratilgan edi [78]. Rossiya navigatsiya tizimining qo'llanilishi, kuzatiladigan yo'ldoshlar sonini oshirdi, bu kerakli o'lchashlar hajmini to'plashda tezlik va aniqlik ustunliklarini, jumladan, haqiqiy vaqtdagi o'lchashlarda berdi. Ammo, aniq geodeziyada GLONASS ni qo'llanilishi bir qator qiyinchiliklarga olib keldi. Qayta ishlashlar nazariyasiga aniqlashtirishlar talab etildi [123, 159]. WGS-84 va PZ-90 koordinata tizimlari parametrlarini bog'lash talab etildi, ularda yo'ldoshlar harakati parametrlari beriladi [12]. Shu bilan birgalikda, 1990-yillar, bir qator firmalar (*Ashtech, Javad, 3S Navigation*) bir va ikki chastotali *ikki tizimli* geodezik apparaturalarni ishlab chiqardi. 1998–1999-yillarda global masshtabda GLONASS (IGEX-international GLONASS experiment) yo'ldoshlarini kuzatish bo'yicha birinchi xalqaro tajriba kampaniyasining dala qismi o'tkazilgan edi. Asosiy e'tibor GLONASS aniq efemeridasini olishga qaratilgan edi. Yakunida, sifatning oshirilishi va orbitani hisoblash barqarorligiga erishilganligi ko'rsatilgan edi [160].

1995-yil AQSHda Milliy geodezik xizmati tomonidan (*CORS*) (Continuously operating reference stations) to'xtovsiz ishlovchi tayanch stansiyalarning faol to'rlarini qurish boshlangan edi. Bunday to'rlarning har qaysi nuqtasida doimiy ishlovchi GPS priyomniklar o'rnatilgan. Ularni kuzatish ma'lumotlariga va koordinatalariga aloqa chizig'i bo'yicha kirish mumkin. Geodezist dala ishlariga bitta priyomnik bilan borishi mumkin, qaytishida esa, to'rlarning yaqin nuqtasidan, kerakli ma'lumotlarni oladi. Mehnat va material resurslarning tejalganligi ko'rinib turibdi (ikkinchi priyomnik va operator kerak emas). Shunga o'xshash kichik o'lchamlardagi faol stansiyalar boshqa davlatlarda, shu jumladan Rossiyada ham yaratilmoqda (<http://www.agp.ru>).

GPS faoliyatning turli sohalarida qo'llanilishi, uning yuqori aniqligi va kuzatish tezligi bilan tushuntiriladi. Ikki chastotali GPS priyomnigi bilan qisqa asos chiziqlarini (taxminan 30–50 km gacha) o'lchash oddiy aniqligi planli o'rnini aniqlash o'rta kvadratik xatoligi: statik rejimda $2 \div 3 \text{ mm} + 0.5 \cdot D \cdot 10^{-6}$ (10 km li masofa uchun xatolik 7–8 mm ga teng), kinematik rejimda $10 \text{ mm} + 2 \cdot D \cdot 10^{-6}$. Balandlik bo'yicha aniqlik 2–5 marta past. Aniq efemeridadan foydalanilganda, ming kilometr masofaga $10^{-7} - 10^{-9}$ aniqlikka erishish mumkin.

1.1-jadvalda yo‘ldoshli texnologiyalar aniqligi qanday oshirilgan va qaysi sabablar natijasida bu sodir bo‘lganligi ko‘rsatilgan [138].

1.1-jadval

Yo‘ldoshli texnologiyalarda koordinatalarni aniqlash aniqligining oshirilishi va unga erishish imkonini beruvchi omillar

Yil	Nisbiy xato b	Yaxshilanish manbalari	Xatolarning asosiy manbalari
1983	10^{-6}	geodezik priyomniklar (tashuvchi to‘lqin fazasini o‘lchash)	atmosfera refraksiyasi, orbitalarning xatosi
1986	10^{-7}	fazalarni ikki chastotali o‘lchash	troposfera refraksiyasi, orbitalarning xatosi
1989	10^{-8}	kuzatuv global to‘ri (<i>CIGNET</i>)	troposfera refraksiyasi, orbitalarning xatosi
1992	$5 \cdot 10^{-9}$	(<i>XGT</i>) yo‘ldoshlarni kuzatuvlarni global yaxshilanishi	troposferadan, orbitadan, faza markazlaridan xatolar
1997	10^{-9}	orbitalar aniqligini oshirilishi, troposfera va antenna fazali markazlarini modellashtirish	global sanoq tizimining xatosi, punktlarning spetsifik xatosi, atmosfera gradiyentlari
Plandagi o‘rta kvadratik xatolik $M_D(mm) = [(0.1 - 1.0mm)^2 + (2 \cdot b \cdot D)^2]^{1/2}$, bu yerda, D – punktlar orasidagi masofa			

Yo‘ldoshlar efemeridasining sifati (va soatlar parametrlari), tayanch to‘rlarning aniqligi va xatolarni modellashtirilishi qanchalik muhim hisoblanishi jadvaldan ko‘rinib turibdi.

X. Xopfild, Yu. Saastamoynen, A. Nayell va boshqalarning ishlari-dagi, troposfera kechikishlari modellarini takomillashtirish va meteoparametrlarni aniqlash usullari, *GPS* meteorologiyasining paydo bo‘lishiga olib keldi. Zilzila vaqtida, to‘g‘ridan to‘g‘ri siljishlar monitoringi bo‘yicha ajoyib natijalarni, kanadalik geodezist Yana Kouba [116] o‘z ishlarida namoyish etdi.

Har xil aniqlikdagi koordinatalarni aniqlashning yo‘ldoshli usuli ko‘plab ishlarda qo‘llanilishini topdi. Ularga, masalan, quyidagilar kiradi: geodinamika (lokaldan globalgacha, tektonik plitalar harakatini

ham qo‘shganda, Yerning oriyentirlash parametrlarini aniqlash va boshqalar); glyasiologiya (Antarktida va Grelandiyadagi muzliklarning harakati); gidrologiya (shelflarni planlarini olish, portlar akvatoriyasi, daryolarning tublari va boshqalar); shahar va yer kadastri; vaqt va chastota xizmatlari; turli xil inshootlarni qurishdagi nazorat (avtomobil yo‘llari, temir yo‘llar, elektrostansiyalar, dengiz platformalari va boshqalar); mashina va mexanizmlarni boshqarish va nazorati; arxeologiya [39]; qishloq xo‘jaligi (qishloq xo‘jalik mahsulotlari nazorati, mashinalarni boshqaruvi); turli yo‘nalishlarga mo‘ljallangan geoinformatsion tizimlar (GAT); xavfsizlikni ta‘minlash tizimi (masalan, shaxtalarda, yuk terminallarida, aeroportlarda, ko‘chki rayonlarida va boshqalar).

So‘nggi yillarda, yo‘ldoshli texnologiyalarni mexanizmlar, mashinalar, yuklar va boshqa obyektlar, shu jumladan, odamlarning monitoringiga qo‘llashga qiziqishlar sezilarli darajada oshdi. Joylashgan o‘rnini aniqlashga asoslangan, xizmatlar paydo bo‘ldi (Location based service, LBS) [81]. Yo‘ldoshli usullarning samaradorligini oshirish uchun, inersial tizimlar, psevdoyo‘ldoshlar va joylashgan o‘rnini boshqa usullar bilan aniqlashlar hamda ma‘lumotlarni to‘plash va olishlar bilan birlashtiriladi.

Yo‘ldoshli texnologiyalar bir necha yo‘nalishlar bo‘yicha tez sur‘atlar bilan rivojlanayotganligini qayd etamiz [5]: tizimni va yo‘ldoshlarning o‘zini ishlashini takomillashtirish; *GPS / GLONASS* usullari nazariyasini ishlab chiqish (nisbiy aniqlashlar usullari umumiy nazariyasi, Yerda va harakatdagi va boshqalar inisializatsiyasi bilan kinematik plan olish nazariyasi) [152]; koordinata va balandliklarni o‘zgartirish usullarini takomillashtirish; juda mukammallashtirish apparaturalarni yaratish [121]; qayta ishlash usullarini universallashtirish – ma‘lumotlar almashinishi formatlarini ishlab chiqish, geofizik hodisalarning modellarini yaxshilash, koordinata tizimlari aniqligini oshirish [104]; *GPS / GLONASS* tizimlarini turli faoliyat sohalarida qo‘llash usullarini ishlab chiqish; maxsus xizmatlarni (*XGT*, faol to‘rlar) paydo qilish.

Geodeziyada yo‘ldoshli texnologiyalarni bundan keyingi rivojlantirishni, umumiy ruxsat beriluvchi signallarning yangi turlarining paydo qilish bilan, *GLONASS* tizimini tiklash va Galileo tizimining yaratilishi bilan bog‘laydilar. Bu juda qisqa kuzatish vaqtida, katta aniqlikka erishish imkoniyatlarini beradi [65, 112]. Bu nihoyatda katta ilmiy-amaliy ahamiyatga egaligini ko‘rsatadi.

2-BOB. KOSMIK GEODEZIYA VA GLOBAL NAVIGATSIYA SUN'IY YO'LDOSHLAR TIZIMIDA KOORDINATA TIZIMLARI

2.1. Koordinata tizimlarini aniqlash

Yo'ldoshli texnologiyalarda turli xil koordinata tizimlaridan foydalanish kerakligi tushunarli bo'lib bormoqda. Agar yo'ldosh orbitalarini hisoblash va ularning harakatlarini bashorat qilishda, bir koordinata tizimi qo'llanilsa, punktlarning koordinatalarini aniqlash uchun, kuzatishlar jarayonida boshqa tizimdan foydalaniladi va turli xil amaliy masalalarni yechishda va topilgan koordinatalardan foydalanishda esa, umuman boshqa tizimlardan foydalaniladi. Bundan tashqari, adekvat vaqt nazariyasi kerak, chunki kosmik geodeziyada masalalarni yechish, ko'pincha katta tezlik bilan harakatlanayotgan, obyektlarni kuzatishlar bo'yicha olib boriladi.

Osmon jismlarini kuzatishlar, xoh sun'iy, xoh tabiiy bo'lsin, Yerni ham qo'shganda, agar kuzatish parametrlari koordinata o'qlari tizimiga tegishli bo'lsa, ularning harakatini ifodalash uchun foydalanish mumkin, ular fazoda qayd qilingan yoki boshqa qayd qilingan o'qlarga nisbatan, yaxshi ma'lum vaqt o'zgarishlarida deb, taxmin qilinadi. Bunday fazoda qayd qilingan tizimlar *inersial* deb ataladi. Ularning o'qlari juda uzoq galaktikadan tashqaridagi obyektlarga nisbatan ham, o'z yo'nalishini o'zgartirmaydi. Bunday tizimdagi ozod material nuqta, bir tekis va to'g'ri chiziqli harakatlanadi. Ushbu tizimlar, Yerning sun'iy yo'ldoshlari (YESY)ni o'rganish uchun juda mos keladi. Ammo bunday tizimda, kuzatuvchining joylashgan o'rni va yerning tortish potentsiali, vaqtning funksiyalari bo'lishi kerak. Shuning uchun, ularni tasvirlashda, Yer bilan mustahkam bog'langan koordinata tizimlari qo'llaniladi. Yer bilan birgalikda aylanadigan, tizimlar, *yer tizimlari* deb ataladi, sutkalik aylanishda qatnashmaydigan inersial tizimlar esa, *osmon* yoki *yulduzli* tizimlar deb ataladi.

Yer massasi markazi bilan mos keluvchi, tizimlar, *geotsentrik* deb ataladi. Shuningdek, Yer geotsentrik tizimlari *umumyer* yoki *global*, *yer referensi* (tayanch) yoki *shartli yer* (shartli – kelishuv bo'yicha qabul qilingan ma'nosida) tizimlari deb ataladi. Umumyer tizimlari *GPS* va *GLONASS* yo'ldoshlari bo'yicha, Oy va yo'ldoshlarning lazerli

lokatsiyasi, juda uzun bazali radiointerferometrlarda (*RSDB*) kosmik geodeziya uslublari yordamida hosil qilinadi. Yo‘ldoshlarning lazerli lokatsiyasi bilan yaratilgan, bir qator umumiyer koordinata tizimlarining tahlili, shuni ko‘rsatdiki, ularning boshlanishini geotsentr bilan mos kelmasligi 5 m yaqin oraliqlarda joylashgan [50].

Geotsentrik tizim bilan bir qatorda, *kvazigeotsentrik* yoki *lokal referens* tizimlardan ham foydalaniladi. Ularning boshlanishi, materik yoki davlat territoriyasiga, eng qulay tarzda mos keluvchi, qaysidir referens-ellipsoid markazida joylashgan. Lokal referens tizimlar an’anaviy geodeziya gradus o‘lchashlari (triangulyatsiya, trilateratsiya, poligonometriya, astronomik aniqlashlar) yordamida hosil qilinadi. Geotsentr bilan lokal referens-ellipsoid markazlarining mos kelmasligi bir necha yuz metrlarni tashkil etadi. Umumiyer va lokal referens tizimlar orasidagi farq, koordinata tizimi qurilish texnologiyasini aks ettiradi: kosmik geodeziyada joylashgan o‘rnini aniqlash, odatda Yer massasi markazi atrofida aylanuvchi, yo‘ldoshlar bo‘yicha olib boriladi, an’anaviy geodeziyada ushbu vaqtda, planli va balandlik koordinatalarini aniqlash geoidga nisbatan, o‘lchashlarning fizik prinsiplari asosida, alohida olib boriladi.

Kuzatishlar vaqtida yo‘ldoshga yo‘nalish, gorizont nuqtasiga nisbatan yoki kuzatishlar nuqtasi boshlanishi bilan turli topotsentrik tizimlardagi yulduzga nisbatan olinadi. Kosmik geodeziyaning ayrim masalalarini ko‘rib chiqishda, quyidagi tizimlar qo‘llaniladi: boshlanishi Quyosh markazida (*geliosentrik*), Quyosh tizimi baritsentrida, “Yer – Oy” tizimi baritsentrida (*baritsentrik*), qaysidir sayyoralar massasi markazida (*planetotsentrik*) va yo‘ldosh markazida (*sputniksentrik*).

Tizimning asosiy koordinata tekisligi uchun, yer yoki osmon ekvatori tekisligi, gorizonti va YeSY orbitalari qabul qilinadi, shunga bog‘liq ravishda, *ekvatorial*, *gorizontli* va *orbital* koordinata tizimlariga ajratiladi. Ayrim hollarda, *ekliptik* va *galaktik* koordinata tizimlaridan ham foydalaniladi [1].

Koordinata tizimlari o‘qlari yo‘nalishi, qaysidir osmon sferasi nuqtasiga yoki yer yuzasiga nisbatan beriladi. *Fundamental vektorlar* to‘g‘risida ham gapirish mumkin, ularning yordamida koordinata o‘qlari yo‘nalishi beriladi. Bu vektorlarga Yerning kinetik momenti, uning aylanish lahzalik o‘qi yo‘nalishi, og‘irlik kuchi yo‘nalish vektori,

Yer orbitasiga normal (ekliptikaga), yer orbitasi chiziq tugunlari vektori (bahorgi teng kunlik nuqtasiga yoʻnalish) va boshqalar. Shovun chizigʻi bilan bogʻlangan, koordinatalar, *astronomik* koordinatalar deb ataladi.

Har qaysi tizimdagi nuqtalarning joylashgan oʻrni, *toʻgʻri burchakli* (*dekart*) yoki *sferik* koordinata shaklida, ellipsoidlar bilan bogʻliqlari uchun esa – *geodezik* (*sferoid*, *ellipsoid* yoki *egri chiziqli*) koordinata shaklida taqdim etilishi mumkin.

Buning natijasida, tizimni oriyentirlash uchun tanlangan nuqta, oʻzining joylashgan oʻrnini oʻzgartirishi mumkin, oʻqlar yoʻnalishi qaysiga tegishli boʻlsa, oʻsha moment – *davri* albatta koʻrsatiladi. Koordinata tizimini qurishda, relyativistik effekt hisobga olinadi, vaqt tizimi va koordinata tizimidan iborat, *tizim hisobi* kiritiladi.

Topografik-geodezik ishlarni olib borishda va navigatsiyada koʻpincha, turli xil kartografik proyeksiyalardagi tekis koordinatalardan foydalaniladi. MDH davlatlarida Gauss – Kryuger proyeksiyasi keng tarqalgan. Yoʻldoshli apparatura va uni dasturiy taʼminlashda foydalanuvchilar koʻpincha, unga yaqin Merkatorning *UTM* koʻndalang proyeksiyasi bilan ishlashiga toʻgʻri keladi.

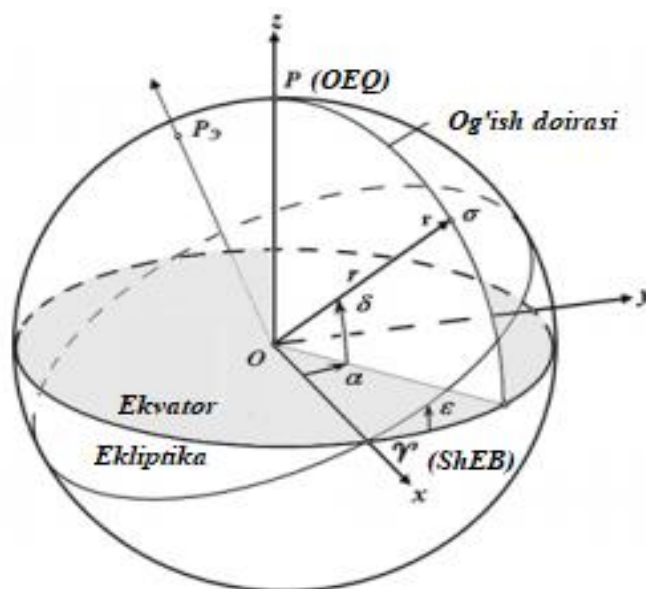
Shunga bogʻliq ravishda, odatda koordinata tizimi unga tegishli, birgina va ushbu tizimlar, qandaydir aniqlik darajasidagi turli xil variantlar, har xil nuqtalar toʻplamida beriladigan va har xil maʼlumotlar toʻplami boʻyicha qabul qilinadigan, koordinata nuqtalari jamlanmasi koʻrinishida amalga oshiriladi.

2.2. Geotsentrik koordinatalar tizimi

2.2.1. Osmon koordinatalar tizimi

Nyuton qonunlariga mos ravishda, Yer atrofida yoʻldoshlarning harakatlanish vazifalarini quyidagicha shakllantirish mumkin, buning uchun inersial koordinata tizimi kerak boʻladi, unda tezlanish kuchlari vektorlarini, tezlik va joylashuvini ifodalash mumkin. Inersial tayanch tizim aniqlanishi boʻyicha fazoda statsionar yoki doimiy tezlik bilan harakatlanuvchi (tezlanishsiz) boʻlishi kerak:

- boshlanishi O Yer massasi markazida joylashadi (2.1-rasm);
- z oʻqi Yerning aylanish lahzalik oʻqi boʻyicha haqiqiy shimoliy dunyo qutbi P ga yoʻnalgan;



2.1-rasm. Haqiqiy osmon koordinata tizimi.

- x o‘qi – ekvatorial tekisligida bahorgi teng kunlik Υ haqiqiy nuqtasiga (Yer orbitasi bilan Yer ekvatori haqiqiy tekisligi kesishish nuqtasi, ε burchak bilan ekvatorga qiya) yo‘nalgan;
- y o‘qi tizimni to‘g‘rigacha to‘ldiradi.

Qat’iy aytganda, bu aniqlash, oldin aytilganidek, talabga javob bermaydi. Yer massasi markazi bunday tizimda, Quyosh atrofida Kepler qonunlariga mos ravishda, o‘zgaruvchan tezlikda harakatlanadi. Ammo, vaqtning qisqa intervallarida, bu koordinata tizimini inersial deb hisoblash mumkin.

Osmon sferasida obyektning o‘rnini σ sferik koordinatalar – to‘g‘ri α ko‘tarilish va δ og‘ish yoki to‘g‘ri burchakli koordinatalarni x, y, z bilan berish mumkin. To‘g‘ri burchakli koordinatalar $r = (x, y, z)^T$ holatdagi vektor komponentlari bo‘lib hisoblanadi. To‘g‘ri ko‘tarilish α – bu ekvatorial tekisligidagi burchak bo‘lib, bahorgi teng kunlik nuqtasidan og‘ish aylanisigacha soat strelkasiga teskari o‘lchangan (ayrim hollarda soat aylanasi deb ham ataladi). Obyektning og‘ishi δ – bu burchak, ekvator tekisligidan yoritgichgacha o‘lchanadigan: shimoliy yarim shardagi obyektlar uchun musbat va janubiy yarim shardagilar uchun manfiydir. Yo‘ldoshlarni bunday tizimda berishda r geotsentrik masofalar kiritiladi, yulduzlar uchun esa, odatda u birga teng deb hisoblanadi.

Z o‘qi dunyo haqiqiy P qutbga yo‘nalgan, u amaliyotda osmon efemeridasi qutbi ko‘rinishida qo‘llaniladi, tizimlarning no‘l-punkti esa shartli efemerida boshlanishi ($ShEB$) ko‘rinishida qo‘llaniladigan, bahorgi teng kunlik Y nuqtasi hisoblanadi.

Nuqtaning to‘g‘ri burchakli va sferik koordinatalari quyidagi nisbat bilan bog‘langan:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \delta \\ \sin \alpha \cos \delta \\ \sin \delta \end{bmatrix}; \quad (2.1)$$

$$\alpha = \arctg(y/x); \quad (2.2)$$

$$\delta = \arcsin(z/r) = \arctg \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}; \quad (2.3)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (2.4)$$

Keltirilgan koordinata tizimi haqiqiy osmon tizimi deb nomlanadi. Bundagi asosiy tekislik, har qaysi vaqt momentlarida Yer lahzalik ekvatori tekisligi bilan mos keluvchi, haqiqiy osmon ekvatori hisoblanadi. Haqiqiy osmon tizimi qat’iy inersial hisoblanmaydi (shu sababli, uni ayrim hollarda, kvaziinersial deb ham ataydi): uning o‘qlarini oriyentirlashlari, oyli-quyoshli pretsessiya va yer o‘qining astronomik nutatsiyasi natijasida, fazodagi vaqti bilan o‘zgaradi; shu bilan birga, P haqiqiy qutb asriy va ekliptika qutbi atrofida P_E tebranishli harakatni sodir etadi. Ekliptikaning fazodagi joylashgan o‘rni ham, sayyoralaridan pretsessiya ta’siri ostida o‘zgaradi.

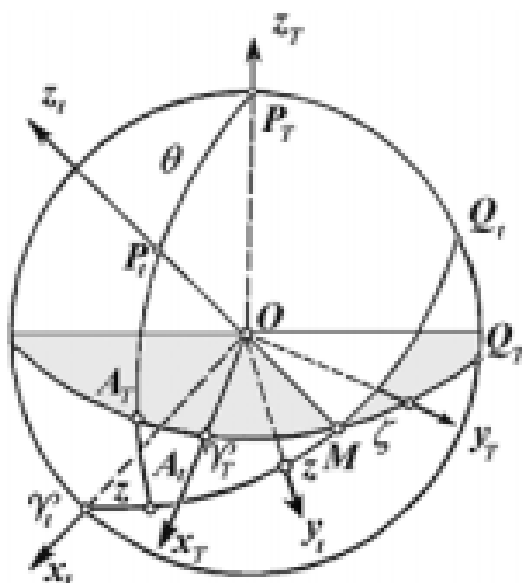
2.2.2. Pretsessiya va nutatsiya

Pretsessiya va nutatsiya sababi, Quyosh, Oy (hamda kichik darajada – sayyoralar) va Yer massasi elementlari doimiy ravishda, o‘zgaruvchan gravitatsion tortishlarida yotadi. Bu jarayon, Yer va Oyni orbital harakati ta’sirida paydo bo‘ladi. Shunchaki, bu o‘zgarishlar masofalarda davriy bo‘lib, unda pretsessiya va nutatsiyalar vaqtning davriy funksiyalari bo‘lib, Quyosh va Oy orbital harakatlarining davriy aksi sifatida namoyon bo‘ladi; sayyoralaridan pretsessiya – bundan mustasnodir.

Quyosh va Oy ta’sirlari natijasidagi, Yerni nosferik gravitatsion tortishishi Yerni fazoda to‘lqinsimon ko‘rinishda (25700 yil davrlarga

b) (P_T, P_t) o'rta qutb holatlarida faqat, pretsessiya hisobga olinadi. P haqiqiy qutbga o'tish uchun $\Delta\psi + d\psi$ uzoqlik bo'yicha nutatsiya va $\Delta\varepsilon + d\varepsilon$ og'ish nutatsiyalaridan iborat bo'lgan, nutatsiya hisobga olinadi.

2.3-rasmda T va t davrlardagi o'rta osmon koordinata tizimlari ko'rsatilgan. Ekvatorlar tizimi, mos ravishda Q_T va Q_t nuqtalar bilan belgilangan, bahorgi teng kunlik Y_T va Y_t nuqtalarini ifodalaydi va to'g'ri chiziq OM bo'yicha kesishadi. T davr katalogi o'rta osmon tizimidan, to'g'ri burchakli koordinatalar orqali t kuzatishlar davriga o'tishi quyidagi formula bo'yicha bajariladi:



2.3-rasm. T va t davrlardagi o'rta osmon koordinata tizimlari orasidagi bog'liqlik ζ, z va θ pretsession parametrlar orqali amalga oshiriladi.

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = P \cdot \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

undagi P - $t-T$ vaqt intervallari uchun pretsessiyani hisobga olish matritsasi. U ζ, z va θ *ekvatorial pretsessiya parametrlari* orqali hisoblanadi:

$$P = R_3(\zeta) \cdot R_2(-\theta) \cdot R_3(z) \quad (2.6)$$

yoki matritsa ko‘paytirilgandan keyin quyidagidek ko‘rinishga keladi:

$$P = \begin{bmatrix} -\sin \zeta \sin z + \cos \zeta \cos z \cos \theta & -\cos \zeta \sin z - \sin \zeta \cos z \cos \theta & -\cos z \sin \theta \\ \sin \zeta \cos z + \cos \zeta \sin z \cos \theta & \cos \zeta \cos z - \sin \zeta \sin z \cos \theta & -\sin z \sin \theta \\ \cos \zeta \sin \theta & -\sin \zeta \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Xalqaro astronomik ittifoq tomonidan 1976-yilda qabul qilingan pretsessiya modelida, bu parametrlar, Liske (Lieske) tomonidan aniqlashtirilgan [102], Nyukoma – Anduaye taqsimlanishiga ko‘ra joylashtirilgan. Ular uchinchi tartibdagi a‘zolargacha aniqlik bilan quyidagidek taqdim etilgan:

$$\begin{aligned} \zeta &= 2306,2181''\Delta t + 0.30188''\Delta t^2 + 0.017998\Delta t^3; \\ z &= 2306.2181''\Delta t + 1.09468''\Delta t^2 + 0.018203\Delta t^3; \\ \theta &= 2004.3109''\Delta t - 0.42665''\Delta t^2 - 0.041833\Delta t^3, \end{aligned} \quad (2.8)$$

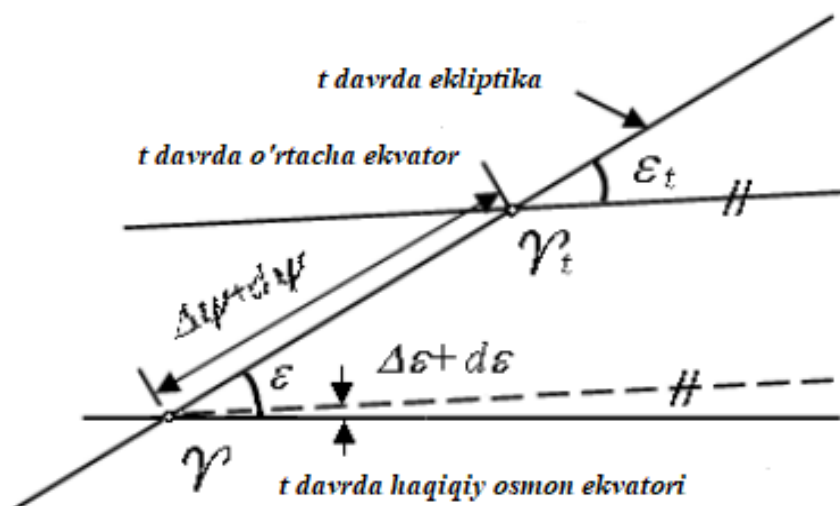
bu yerda: Δt – baritsentrik dinamik vaqt bo‘yicha Yulian yuz yilliklarida fundamental davr $J2000.0$ va $JD(t)$ davr orasida o‘lchangan, interval:

$$\Delta t = \frac{JD(t) - 24515450}{36525} \quad (2.9)$$

Yulian sanasining 24515450 qiymati $J2000.0$ davrga mos keladi.

Haqiqiy osmon ekvatori Yerning aylanish o‘qiga ortogonal va pretsessiya va nutatsiya ta’siriga uchragan, ya’ni nutatsiya natijasida, $JD(t)$ ning kerakli davriga hisoblanadigan, o‘rta ekvator bilan mos kelmaydi. Nutatsiya, uzoq va qisqa davrli (35 sutkadan kam bo‘lmagan) nutatsiyalarga taqsimlanadi, $\Delta\psi + d\psi$ uzoqlik bo‘yicha (ekliptika bo‘ylab) va $\Delta\varepsilon + d\varepsilon$ uzoq va qisqa davrli qiyalik nutatsiyalari (ekliptikaga perpendikulyar). 2.4-rasmda t davr uchun, haqiqiy va o‘rta ekvatorlar, shuningdek, ekliptikaning ekvatorga ε_t o‘rta qiyaligi va ε haqiqiy qiyaligi ko‘rsatilgan, ular $\Delta\varepsilon + d\varepsilon$ nutatsiya qiyaligi orqali bog‘langan.

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \Delta\varepsilon + d\varepsilon \quad (2.10)$$



2.4-rasm. Nutatsiya natijasida haqiqiy va oʻrta ekvatorlarning mos kelmasligi.

t davr uchun oʻrta koordinatalardan, shu davrdagi haqiqiy koordinatalarga oʻtish, N nutatsiya matritsasi orqali bajariladi:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = N \cdot \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

N nutatsiya matritsasi, $\Delta\psi + d\psi$ uzoq va qisqa davrli nutatsiya uzoqligi boʻyicha, $\Delta\varepsilon + d\varepsilon$ qisqa va uzoq davrli qiyalik nutatsiyasi va ε oʻrta va $\varepsilon_t + \Delta\varepsilon + d\varepsilon$ haqiqiy ekliptika qiyaliklari boʻyicha hisoblanadi:

$$N = R_1(-\varepsilon - \Delta\varepsilon - d\varepsilon) \cdot R_3(-\Delta\psi - d\psi) \cdot R_1(\varepsilon). \quad (2.12)$$

Birinchi tartibli aʼzolarigacha aniqlik bilan taqsimlanganida formula quyidagi koʻrinishni qabul qiladi:

$$N = \begin{bmatrix} 1 & -(\Delta\psi + d\psi)\cos\varepsilon & -(\Delta\psi + d\psi)\sin\varepsilon \\ (\Delta\psi + d\psi)\cos\varepsilon & 1 & -(\Delta\varepsilon + d\varepsilon) \\ (\Delta\psi + d\psi)\sin\varepsilon & \Delta\varepsilon + d\varepsilon & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.13)$$

Faqat pretsessiya taʼsirida oʻzgaruvchi, ekliptikani ekvatorga oʻrtacha qiyaligi, quyidagi tenglama bilan beriladi.

$$\varepsilon_t = 23^\circ 26' 21.448'' - 46.8150''\Delta t - 0.00059''\Delta t^2 + 0.001813''\Delta t^3. \quad (2.14)$$

T fundamental davr $JD(T)$ yulian sanasidagi oʻrta holatdan, $JD(t)$ yulian sanasidagi haqiqiy holatgacha, toʻliq qayta hosil qilish quyidagi koʻrinishni oladi:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = N \cdot R \cdot \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix}. \quad (2.15)$$

α haqiqiy toʻgʻri koʻtarilish va δ haqiqiy ogʻishni (2.2) va (2.3) tenglamalardan hisoblash mumkin. r masofa bu oʻzgartirishda oʻzgarmaydi.

Nutatsiya elementlari quyidagi taqsimlashlar bilan beriladi [94]:

$$\Delta\psi + d\psi = \sum_{i=1}^{106} (A_i + A'_i \Delta t) \cdot \sin\left(\sum_{j=1}^5 N_j F_j\right); \quad (2.16)$$

$$\Delta\varepsilon + d\varepsilon = \sum_{i=1}^{106} (B_i + B'_i \Delta t) \cdot \cos\left(\sum_{j=1}^5 N_j F_j\right). \quad (2.17)$$

Qatorlarda keltirilgan A_i va B_i parametrlar amplituda koeffitsiyentlari, A'_i va B'_i – ularning tezliklari hisoblanadi. Δt qiymat (2.9) formula bilan aniqlanadi. Nutatsiya aʼzolarining toʻliq toʻplami qabul qilingan modelga bogʻliq. Xalqaro astronomik ittifoq nutatsiya modeli 1980-yildan, Yer qattiqligi nazariyasiga va Kinoshita va Djilbert va Dzevonski geofizik modellariga (qattiq ichki yadro, suyuq tashqi yadro va elastik parametrlarning taqsimlanishi, katta toʻplamdagi seysmik maʼlumotlar boʻyicha chiqarilgan) asoslangan boʻlib, 106 aʼzodan, 1996-yildagisida, har qaysi komponent boʻyicha 263 aʼzodan [102], ($XAI\ 2000A$) va $2000B$ modellarida esa oyli-quyoshli 678 aʼzolar nutatsiyasidan iborat, sayyoralar nutatsiyasi 263 aʼzolari, har qaysi komponent boʻyicha qoʻshiladi [98]. Aʼzolar sonini oshishi, koordinatalarni oʻzgartirish aniqligiga talabning oshishi bilan bogʻliqdir. Nutatsiyadagi birinchi aʼzolar 17.2" uzoqlik boʻyicha va 9.2" qiyalik boʻyicha teng. Qatorlardagi raqamlar joylashuvining oshib borishi bilan amplituda koeffitsiyentlari kichiklashib boradi. Xalqaro astronomik ittifoq ($XAI\ 2000$) nutatsiya modelida, qutbga yoʻnaltirish 0.0000002" aniqlik bilan taʼminlanadi.

Sinus va kosinuslardagi argumentlar, fundamental argumentlar (Delone oʻzgaruvchilari)ning chiziqli kombinatsiyalarini taqdim etadi:

- $F_1 \equiv l$ – Oyning oʻrtacha anomaliyasi;
- $F_2 \equiv l'$ – Quyoshning oʻrtacha anomaliyasi;

- $F_3 \equiv F = L - \Omega$ – Quyoshning o‘rtacha uzoqligi va Oy orbitasi chiquvchi tugunlarining farqi;
- $F_4 \equiv D$ – Quyoshdan Oyniing o‘rtacha elongatsiyasi;
- $F_5 \equiv \Omega$ – Oy orbitasi chiquvchi tugunlarining o‘rtacha uzoqligi.

Fundamental argumentlar vaqtinchalik qatorlar bo‘yicha, (2.14) o‘xshash formula bilan hisoblanadi, ular bu yerda keltirilmagan. N_j koeffitsiyentlar fundamental argumentlarda butun sonlar hisoblanadi.

(2.16) va (2.17) formulalardagi nutatsiya davrlari, taxminan, 18.6 yil (6798.4 sutka)dan 5 sutkagacha o‘zgaradi. (l, l', F, D, Ω) elementlar Quyosh va Oyniing o‘rtacha joylashgan o‘rnini ifodalaydi. Ω element muhim qiziqish uyg‘otadi, u (2.16) va (2.17) tenglamalarda argument sifatida, birinchi a‘zolarida paydo bo‘ladi. Bu 18.6 yillik vaqt oralig‘idagi, eng katta nutatsiya a‘zolaridan, bu ekliptika qutbi atrofida oy orbitasi tekisligini to‘liq aylanishiga mos keladi.

Dunyo haqiqiy qutbi, *Osmon efemeridasi qutbi* (OEQ) degan nomni oldi, uning joylashgan o‘rni pretsessiya va nutatsiya nazariyalari asosida o‘rnatiladi. *Osmon efemeridasi qutbi* orqali o‘tuvchi, referens-o‘q, Yer aylanishi lahzalik o‘qi, kinetik vektor momenti bilan mos kelmaydi va inersial tizimda ham, yer tizimida ham, sutkalik tebranishga deyarli ega emas [2, 34]. *Osmon efemeridasi qutbini*, haqiqiy osmon qutbidan uzoqlashish darajasi pretsessiya va nutatsiyalarning qabul qilingan, modellari aniqligiga bog‘liq. *Osmon efemeridasi qutbi* konsepsiyasi, haqiqiy qutbga murojaat qilmasdan, yetarli aniqlik bilan qat’iy o‘zgartirish imkoniyatiga ega, Xalqaro osmon tizimi hisobi *ICRS* aniqligi chegaralarida, uning joylashgan o‘rni ta’minlanmaydi. Bundan tashqari, *osmon efemeridasi qutbi* konsepsiyasi qo‘shimcha tushunchalar va cheklovlar kiritmasdan, koordinata tizimlari nazariyasini, operativ ravishda mukammallashtirish imkoniyatiga ega.

Xalqaro astronomik ittifoq (*XAI* 2000) tomonidan 1998-yilning 1-yanvaridan boshlab, foydalanishga kiritilgan, Xalqaro osmon tizimlari (*ICRS*) va ko‘pchilik zamonaviy modellarda erishilgan aniqlik hamda Yerning aylanishlarini kuzatishlar, Yerning oriyentirlash Parametrlarini oldindan aniqlashni talab qiladi. Birinchidan, pretsessiya-nutatsiya va Grinvich yulduz vaqti, oldindan aniqlangan bo‘lishi kerak, ular hozirgi vaqtda, *ICRS* bilan muvofiqlashtirilgan bo‘lishi

uchun, *FK5* tizimi bilan aniqlanadi. Ikkinchidan, qabul qilingan osmon efemeridasi qutbi, ko'pchilik nutatsiya modellariga va mikrosekund aniqligigacha qutbiy harakatga to'g'ri kelishi uchun, sutkalik va subsutkalik komponentlarni qo'shganda, kuzatishlarning yangi usullaridek, kengaytirilgan bo'lishi kerak. Bu muammolar, "Hisoblashlar ketma-ketligi" deb, nomlanadigan *XAI / XYeAX* ishchi guruhi, *T5* quyi guruhining ko'rib chiqishida turibdi [75].

XAI 2000 pretsessiya va nutatsiya modellarida sutkalik va subsutkalik a'zolar paydo bo'ldi. Bu pretsessiya va nutatsiya nazariyalarini, yer va osmon koordinata tizimlari bilan bog'liq, sezilarli darajadagi murakkabliklarga olib keldi. 1988-yilda Xalqaro Yer aylanishi xizmati (*XYeAX*)ning paydo bo'lishi bilan, kuzatishlar bo'yicha osmon efemeridasi qutbi (*OEQ*) joylashgan o'rnini nazariya asosida hisoblab, tezlik bilan aniqlashtirish mumkin bo'ldi. Osmon qutbini siljishlari *XYeAX* ning *A* byulletenida, $\delta(\Delta\psi)$ uzoqlik bo'yicha va $\delta(\Delta\epsilon)$ og'ish bo'yicha nutatsiyalarga tuzatmalardek, nashr qilindi. Bu osmon koordinata tizimini inersial fazoga bog'lash aniqligini oshiradi. Pretsessiya va nutatsiyalarni hisobga olish juda to'liq ma'lumotlarini, quyida keltirilgan manbalardan [2, 30, 102, 106] olishingiz mumkin.

2.2.3. Xalqaro osmon tizimining ICRF sanog'i

Eng aniq inersial osmon tizimlari *Xalqaro Yer aylanishi xizmatlarida* (*XYeAX*) *Xalqaro osmon tizimlari* International Celestial Reference Frame, ICRF sanog'i shaklida qo'llaniladi. Ularning birinchi qo'llanilishi 1995-yilga tegishlidir. Bu tizimlar, juda uzun asosli radiointerferometrlarda, kuzatishlar bo'yicha olingan, galaktikadan tashqari 200 tadan ortiq kompaktli obyektlarning ekvatorial koordinatalari orqali aniqlanadi [74].

ICRF katalogidagi obyektlar uchta kategoriyaga bo'linadi: "aniqlovchi", "aniqlovchiga nomzodlar" va "boshqalar". Aniqlovchi manbalar ko'p sonli (kamida 20) kuzatishlarga ega bo'lishi kerak, kuzatishlar davomiyligi ikki yildan kam bo'lmasligi kerak. 1995-yilda qo'llanilgan, bunday manbalarning soni 212 taga teng.

Kam sonli kuzatishlar yoki yetarlicha davomiylikda kuzatishlar o'tkazilmagan manbalar, aniqlovchi manbalar nomzodlariga kiradi. Bunday manbalarning soni 294 taga teng. "Boshqalar" kategoriyasiga joylashuvi yomon aniqlangan, ammo, ular *ICRF* ning boshqa tizimlar bilan aloqalarni o'rnatishda, foydali bo'lishi mumkin bo'lgan, manbalar kiritilgan. Barcha manbalarning to'liq soni 667 taga teng.

Radiomanbalarning koordinatalari, har yili bir necha Xalqaro Yer aylanishi xizmatlari tahlil Markazlari va juda uzun asosli radiointerferometrlar ma'lumotlarini qayta ishlash mustaqil guruhlar tomonidan hisoblanadi. Bu qayta ishlashlar natijasida, manbalarning o'rtacha vaznli koordinatalari keltirib chiqariladi. Radiomanbalarni aniqlashlar uchun xatoliklari: to'g'ri ko'tarilishlarda $\pm 0.00035''$, og'ishlarda esa $\pm 0.00040''$. Radiodiapazondagi nurlanish manbalari struktura nobarqarorligi aniqlik chegarasini qo'yadi [106].

Fazodagi *ICRF* o'qlari yo'nalishlari doimiysi, galaktikadan tashqaridagi obyektlar hech qanday xususiy harakatga ega emas degan, taxminlarga asoslangan. *ICRF* katalogi sanoq tizimlari o'qlari yo'nalishlarini noaniq aniqlaydi. Nisbiylik nazariyasining umumiy ramkalaridagi kuzatishlarni modellash tirish yordamida, boshlanish joriy qilingan. *ICRF* dagi o'qlar yo'nalishi Xalqaro astronomik ittifoq (*XAI*) ning tavsiyanomalariga muvofiq, beshinchi fundamental katalog (*FK5*) tizimi bilan kelishilgan. Hozirgi vaqtgacha bajarilgan, *ICRF* ning muvaffaqiyatli joriy etilishi, fazodagi o'qlar yo'nalishini $\pm 0.00002''$ oraliqlarda ta'minlaydi [29, 103].

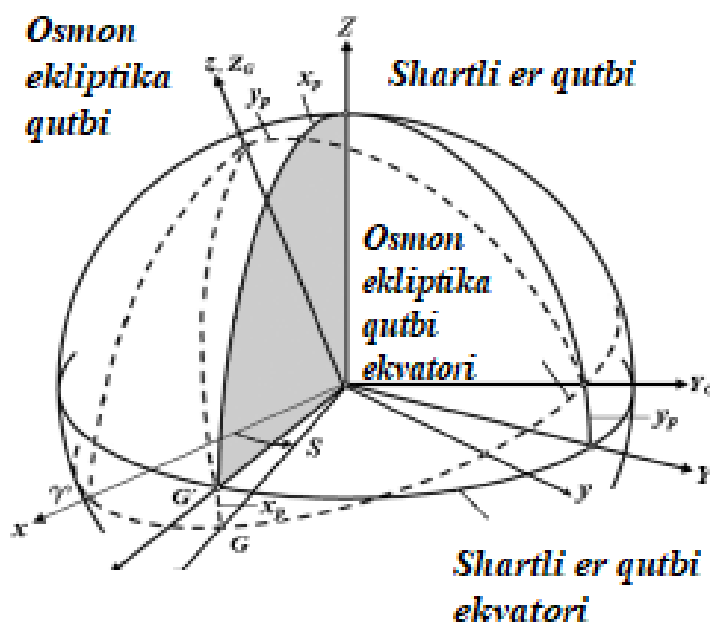
2.2.4. Umumyer va haqiqiy osmon tizimi koordinatalari orasidagi bog'liqlik

Osmon efemeridasi qutbining shartli yer qutbiga, nisbatan joylashishi x_p, y_p koordinatalar yordamida aniqlangan, unda haqiqiy osmon va shartli yer koordinata tizimlarini, oraliq koordinata tizimlari yordamida bog'lash mumkin (2.5-rasmga qarang):

- Z_G o'qi osmon efemeridasi qutbiga yo'nalgan;
- X_G o'qi osmon efemeridasi qutbining ekvator tekisligi (ya'ni haqiqiy ekvator tekisligi) va G bilan belgilangan lahzalik Grinvich meridiani kesishish nuqtasiga yo'nalgan;

– Y_G o‘qi osmon efemeridasi qutbining ekvator tekisligida joylashgan va tizimni to‘g‘rigacha to‘ldiradi.

$OX_GY_GZ_G$ koordinata tizimi to‘lig‘icha yer qobig‘i bilan bog‘lanmagan, shuning uchun uni, ayrim hollarda, *lahzalik yer tizimi* deb ham ataydilar. Osmon efemeridasi qutbi G ekvator tekisligi nuqtasi va Υ bahorgi teng kunlik haqiqiy nuqtasi orasidagi burchak s Grinвич haqiqiy yulduz vaqti hisoblanadi. Shuni qayd etish kerakki, lahzalik Grinвич meridiani (osmon efemeridasi qutbi nuqtasi va G orasida) shunday tarzda o‘tadiki, u ekvator tekisligi bilan o‘rta Grinвич meridianida yotuvchi G nuqtada kesishadi.



2.5-rasm. Haqiqiy osmon sferasi va umumiyer tizimlari orasidagi bog‘liqlik, oraliq lahzalik yer tizimi koordinatalari yordamida amalga oshiriladi.

Bundan quyidagilarni keltirib chiqarish mumkin:

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = R_3(S) \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad (2.18)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R_2(-x_p) \cdot R_1(-y_p) \cdot \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = W(t) \cdot \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix}. \quad (2.19)$$

$W(t)$ matritsa o'rtachaga nisbatan lahzalik qutbning harakatini hisobga olish uchun xizmat qiladi:

$$W(t) = R_1(-y_p) \cdot R_2(-x_p) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_p \\ 0 & 1 & -y_p \\ -x_p & y_p & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.20)$$

x_p, y_p qutb koordinatalari radianlarda bo'lishi kerak. (2.18) va (2.19) formulalarni birlashtirib quyidagini hosil qilamiz:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = W(t) \cdot R_3(S) \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}; \quad (2.21)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_3(-S) \cdot W^t(t) \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \quad (2.22)$$

2.2.5. GPS80 umumyer ellipsoidi

GRS80 (Geodetic Reference System – geodezik referens tizim) ellipsoidi Kanberradagi geodeziya va geofizika Xalqaro ittifoqining XVII bosh assambleyasida 1979-yilning dekabrda umumyer referens-ellipsoidi sifatida qabul qilingan [139, 140]. *GRS80* aniqlovchi parametrlari (a katta yarim o'q, GM Yerning geotsentrik gravitatsion doimiysi, J_2 geopotensialning ikkinchi zonal garmonikasi koefitsiyenti va ω Yerning aylanish burchak tezligi) va boshqa ma'lumotlar 2.1-jadvalda keltirilgan. *GRS80* parametrlari boshqa koordinata tizimlarini qurish uchun qo'llaniladi (masalan, (*NAD-83*)).

GRS80, WGS –84, PZ –90 ellipsoidlari va Xalqaro Yer aylanishi xizmati (XYeAX) 1996 va 2000-yillar standartlari uchun asosiy (1-4) va qo‘shimcha (5-9) parametrlar

2.1-jadval

№	Parametrlarning nomlanishi	O‘lchami	Umumiy ellipsoidlari				
			GPS 80	WGS – 84	PZ – 90	(XYeAX) 1996-yil standarti	(XYeAX) 2000-yil standarti
1	Katta yarim o‘q, a	m	6378137	6378137±2	6378136	6378136.49 ±0.1	6378136.6 ±0.1
2	Atmosfera hisobga olingandagi geotsentrik gravitatsion doimiylik, GM	m^3s^{-2}	398600.5 $\times 10^9$	(398600.5 ±0.06) $\times 10^9$	398600.44 $\times 10^9$	398600.4418 $\times 10^9 \pm 8 \times 10^5$	398600.4418 $\times 10^9 \pm 8 \times 10^5$
3	2-zonal garmonika koeffitsiyenti, J_2	O‘lchamsiz	1.08263 $\times 10^{-3}$	1.08263 $\times 10^{-3}$	1.08263 $\times 10^{-3}$	1.0826359 $\times 10^{-3} \pm 1.0 \times 10^{-10}$	1.0826359 $\times 10^{-3} \pm 1.0 \times 10^{-10}$
4	Yer aylanishi burchak tezligi, ω_E (yoki ω_0)	rad/s	7292115 $\times 10^{-11}$	7292115 $\times 10^{-11}$ +4.3 $\times 10^{-15}$ x Δt *	7292115 $\times 10^{-11}$	7292115 $\times 10^{-11}$ **	7292115 $\times 10^{-11}$ **
5	Siqilish maxraji, l/α	O‘lchamsiz	298.257222101	298.257223563	298.257839303	298.25645 ±0.00001	298.25642 ±0.00001
6	Birinchi eksentrisitetning kvadrati, e^2	O‘lchamsiz	6.69438002290 $\times 10^{-3}$	6.69437999013 $\times 10^{-3}$	6.69436619310 $\times 10^{-3}$	6.694397236 $\times 10^{-3}$	
7	2-zonal garmonika normallashgan koeffitsiyenti $\bar{C}_{20}^{***}$	O‘lchamsiz		-(484.16685 ±0.00130) $\times 10^{-6}$	-484164.953 $\times 10^{-9}$		
8	Atmosfera uchun gravitatsion doimiylik	m^3s^{-2}		±0.01 $\times 10^9$	0.35 $\times 10^9$		
9	Normal potensial U_0	m^2s^{-2}	62636860.850	62636860.8497	62636861.074	62636856.85 ±1.0	62636856.0 ±0.5

* $J_{2000.0}$ davridan tizimni aniqlash davriga keltirilgan.

** O‘zgaruvchan kattalik.

*** $\bar{C}_{20}$ va J_2 parametrlar $\bar{C}_{20} = -J_2 / (5)^{1/2}$ quyidagi nisbat bilan bog‘langan.

Jadvalda keltirilgan barcha ellipsoidlar va koordinata tizimlari yorug‘lik tezligi $c = 299792458 \pm 1,2$ m/s ga asoslangan.

Tizimlar to‘g‘risidagi ma’lumotlar [11, 83, 102, 106, 139] lardan olingan.

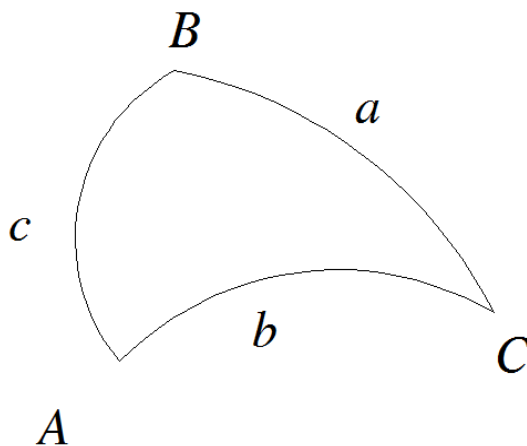
*GRS80*ning kichik o‘qi Xalqaro shartli boshlanishga parallel, boshlang‘ich meridian esa, uzoqlik hisobidan nol meridianiga paralleldir. *GRS80* ekvipotensial ellipsoid nazariyasiga asoslanadi. Agar ellipsoid a va b yarim o‘qlar bilan berilgan bo‘lsa, unda u normal potensial deb ataluvchi, ekvipotensial yuza bilan tasvirlanishi mumkin:

$$U = U_o = const, \quad (2.23)$$

U funksiya Stoks-Puankare nazariyasiga mos ravishda, M massani chegaralovchi, ω burchak tezligi va zichlikning ichki tarqalishidan qat’i nazar ellipsoid yuzasidan (a va b yarim o‘qlar bilan) aniqlanadi. *GRS80* ellipsoidi geodezik ishlarni olib borish va Yer yuzasida hamda tashqi fazodagi gravitatsion maydonning tavsiflarini hisoblashlarda tavsiya etiladi.

2.2.6. Sferik trigonometriyaning asosiy formulalari

Sferik uchburchak tomonlari va burchaklari orasidagi bog‘liqlikni ko‘rib chiqamiz. Buning uchun sferada A, B, C burchakli hamda burchaklarga qarama-qarshi yotuvchi va o‘lchamida ifodalanuvchi a, b, c tomonlariga ega ABC sferik uchburchakni olamiz (2.6-rasm). Ushbu uchburchakning elementlari quyidagi formulalar bilan bog‘langandir.



2.6-rasm. Sferik uchburchak.

Sinuslar formulasi. Istalgan sferik uchburchakdagi tomonlar sinuslarining munosabati ularga qarama-qarshi burchaklar sinuslarining munosabatiga tengdir:

$$\begin{aligned}\sin a \cdot \sin B &= \sin b \cdot \sin A \\ \sin b \cdot \sin C &= \sin c \cdot \sin B \\ \sin c \cdot \sin A &= \sin a \cdot \sin C\end{aligned}\tag{2.24}$$

Sinuslar formulasini quyidagi ko‘rinishda ham yozish mumkin:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}\tag{2.25}$$

Sferik uchburchak tomonlarining kosinuslari formulasi. Har qanday sferik uchburchakda tomon kosinusi qiymatan ikki boshqa tomon kosinuslari ko‘paytmasiga, ushbu tomonlar sinuslari ko‘paytmasini, ular orasidagi burchak kosinusiga, ko‘paytirib qo‘shilganiga tengdir:

$$\begin{aligned}\cos a &= \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A \\ \cos b &= \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B \\ \cos c &= \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C\end{aligned}\tag{2.26}$$

Sferik uchburchak burchak kosinuslari formulasi. Sferik uchburchak burchak kosinusi unga qo‘shni burchaklar kosinuslari ko‘paytmalarini teskari ishorasiga ushbu burchaklar sinuslari ko‘paytmasini ular orasidagi tomon kosinusiga ko‘paytirib qo‘shilganiga tengdir:

$$\begin{aligned}\cos A &= -\cos B \cdot \cos C + \sin B \cdot \sin C \cdot \cos a \\ \cos B &= -\cos A \cdot \cos C + \sin A \cdot \sin C \cdot \cos b \\ \cos C &= \cos A \cdot \cos B + \sin A \cdot \sin B \cdot \cos c\end{aligned}\tag{2.27}$$

Beshta element formulasi. Istalgan sferik uchburchakda, tomon sinusini tomon yonidagi burchak kosinusiga ko‘paytmasi – ushbu burchak qarshisidagi tomon kosinusini uchinchi tomon sinusiga ko‘paytmasidan qarshi tomon, sinusini uchinchi tomon kosinusiga va ushbu tomonlar orasidagi burchak kosinusi ko‘paytmasini ayrilganiga tengdir:

$$\begin{aligned}
\sin a \cdot \cos B &= \cos b \cdot \sin c - \sin b \cdot \cos c \cdot \cos A \\
\sin b \cdot \cos C &= \cos a \cdot \sin c - \sin a \cdot \cos c \cdot \cos B \\
\sin c \cdot \cos A &= \cos a \cdot \sin b - \sin a \cdot \cos b \cdot \cos C \\
\sin a \cdot \cos B &= \cos b \cdot \sin c - \sin b \cdot \cos c \cdot \cos A \\
\sin b \cdot \cos A &= \cos c \cdot \sin a - \sin c \cdot \cos a \cdot \cos B \\
\sin c \cdot \cos B &= \cos b \cdot \sin a - \sin b \cdot \cos a \cdot \cos C
\end{aligned}
\tag{2.28}$$

Kotangenslar formulasi. Sferik uchburchakning chet tomoni kotangensini, uni yonboshidagi tomon sinusiga ko‘paytmasi qiymatan, ushbu yonbosh tomon va bu ikki tomon orasidagi qo‘shni burchak kosinuslari ko‘paytmasiga, ushbu qo‘shni burchak sinusini chet tomon qarshisidagi burchak kotangensi ko‘paytmasini qo‘shilganiga tengdir:

$$\begin{aligned}
ctga \cdot \sin b &= \cos b \cdot \cos C + \sin C \cdot ctgA \\
ctga \cdot \sin c &= \cos c \cdot \cos B + \sin B \cdot ctgA \\
ctgb \cdot \sin a &= \cos a \cdot \cos C + \sin C \cdot ctgB \\
ctgb \cdot \sin c &= \cos c \cdot \cos A + \sin A \cdot ctgB \\
ctgc \cdot \sin a &= \cos a \cdot \cos B + \sin B \cdot ctgC \\
ctgc \cdot \sin b &= \cos b \cdot \cos A + \sin A \cdot ctgC
\end{aligned}
\tag{2.29}$$

2.2.7. Kosmik geodeziyada qo‘llaniladigan koordinata tizimlari

Kosmik geodeziyada bir necha koordinata tizimlaridan foydalanishga to‘g‘ri keladi. Fotografik kuzatishlarni qayta ishlashda, masalan, α' topotsentrik to‘g‘ri chiqish va δ' sun‘iy yo‘ldoshning qiyaligi berilgan tayanch yulduzlar koordinata tizimida aniqlanadi. Bunda yulduz va sun‘iy yo‘ldoshning suratdagi tasviri lahzalik koordinata tizimida namoyon bo‘ladi, berilganlar esa yulduzlar katalogining bir qator tizimidagi tayanch yulduzlarning koordinatalari hisoblanadi. Bu tizim gravitatsion maydon parametrlari va koordinata punktlarini berish uchun yaroqsizdir, chunki unda, bular vaqt funksiyalari hisoblanadi. Yuqorida keltirilgan kattaliklar vaqti bilan o‘zgarmasligi uchun Yer bilan mustahkam bog‘langan, koordinata tizimidan foydalanish kerak.

Shuni qayd etish kerakki, dinamik uslublarda qo‘llaniladigan koordinata tizimlari inersial bo‘lishi kerak. Bunday tizimni barpo etish

zamonaviy bosqichdagi astrometriyaning asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi.

Kosmik geodeziyani o'rganish va tekshiruvlarida ko'p qo'llaniladigan koordinata tizimlarini keltiramiz.

Yulduz geotsentrik koordinata tizimi

I. $x, y, z(\alpha, \delta, \rho)$ – lahzalik yulduz geotsentrik koordinata tizimi. x o'qi Y bahorgi teng kunlik lahzalik nuqtasiga, z o'qi – Yerning lahzalik aylanish o'qi bo'ylab, xOy tekisligi ekvator lahzalik tekisligi bilan mos keladi, y o'qi tizimni to'g'rigacha to'ldiradi (2.7-rasm). Bu tizimlarda yulduzlarga yo'naltirish to'g'ri chiqish bilan beriladi $\alpha[0 \leq \alpha \leq 24^h]$ va $\delta[-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ]$ og'ishi bilan, ρ – geotsentrik radius-vektor

$$\alpha, \delta, \rho \rightarrow x, y, z:$$

$$x = \rho \cos \alpha \cos \delta, \quad (2.30)$$

$$y = \rho \sin \alpha \cos \delta,$$

$$z = \rho \sin \delta;$$

$$x, y, z \rightarrow \alpha, \delta, \rho:$$

$$\operatorname{tg} \alpha = y / x,$$

$$\operatorname{tg} \delta = z / \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (2.31)$$

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}.$$

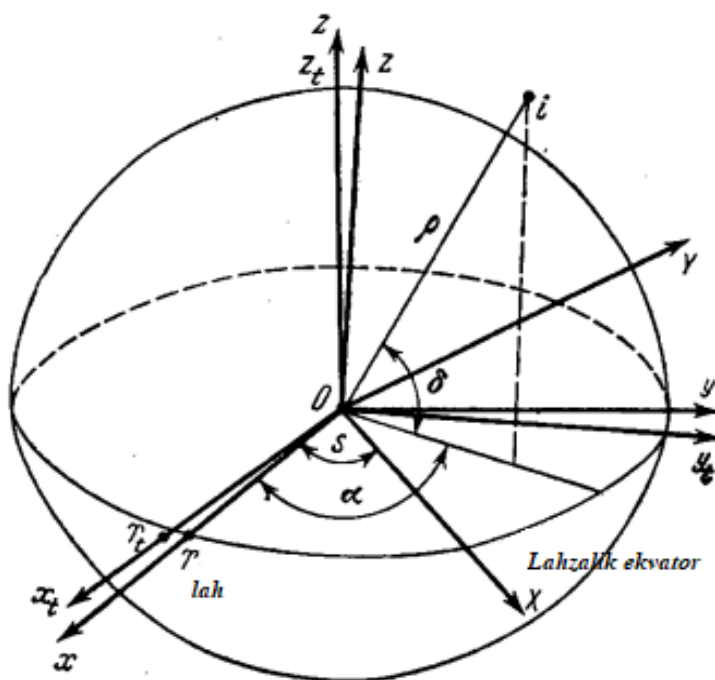
II. $x_t, y_t, z_t(\alpha_t, \delta_t, \rho_t)$ – o'rta yulduz geotsentrik koordinata tizimi. x_t o'qi t davridagi Y_t bahorgi teng kunlik lahzalik nuqtasiga, z_t o'qi – Yerning o'rtacha aylanish o'qiga mos keladi, x_tOy_t tekisligi ekvator o'rtacha tekisligi bilan mos keladi, y_t o'qi tizimni to'g'rigacha to'ldiradi (2.7-rasm).

III. $x_0, y_0, z_0(\alpha_0, \delta_0, \rho)$ – yulduz katalogi davridagi o'rta yulduz geotsentrik koordinata tizimi.

IV. $X, Y, Z(\alpha_0, \delta_0, \rho)$ – grinvich yulduz geotsentrik koordinata tizimi. X o‘qi Grinvich meridiani tekisligiga parallel, Z o‘qi Yerning aylanish o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan, Y o‘qi tizimni to‘g‘rigacha to‘ldiradi. X, Y, Z tizimi Yerning aylanishida qatnashadi; qutbiy koordinatalar: δ qiyalik va γ burchak, teskari ishora bilan olingan, Grinvich meridiani T soat burchagiga teng:

$$\gamma = -T = (\alpha - S),$$

bu yerda: s – Grinvich yulduz vaqti. Yechilayotgan topshiriqlarga bog‘liq ravishda, Grinvich yulduz tizimii lahzalikdek yoki o‘rtachadek berilishi mumkin.



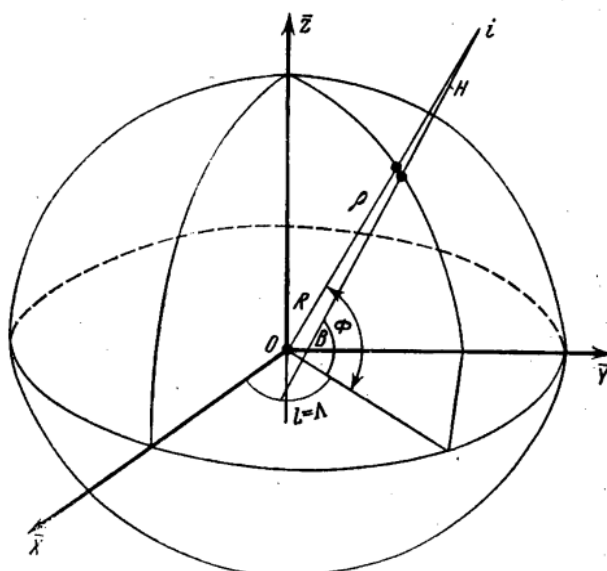
2.7-rasm. Yulduz geotsentrik koordinata tizimi.

Yulduz topotsentrik koordinata tizimi

V. $x', y', z'(\alpha', \delta', z')$ – lahzalik yulduz topotsentrik koordinata tizimi Yerning fizik yuzasidagi boshlang‘ich nuqtaga ega, uning o‘qi I tizim o‘qlariga paralleldir (2.8-rasm). Odatda, quyidagi tizimga kiritiladi.

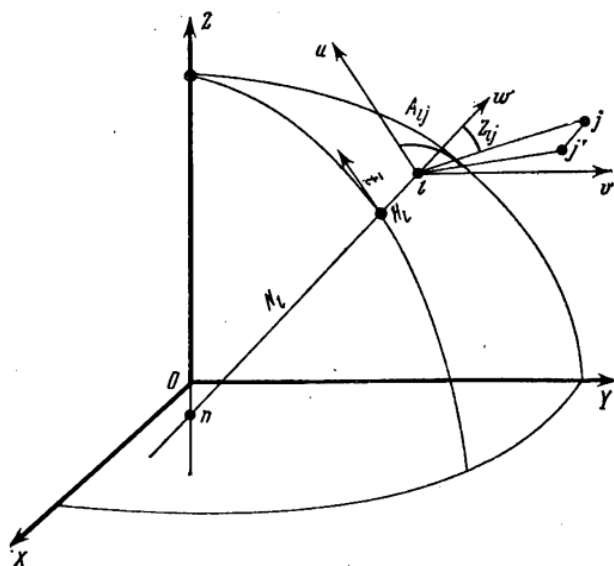
VI. $x_t', y_t', z_t'(\alpha_t', \delta_t', z_t')$ – o‘rtacha yulduz topotsentrik koordinata tizimi.

VII. $X', Y', Z'(\gamma', \delta', r')$ – Grinvich yulduz topotsentrik koordinata tizimi.



2.9-rasm. Yer kvazigeotsentrik koordinata tizimi.

X. $u, v, w(A_g, Z_g, r')$ – to‘g‘ri burchakli gorizontall geodezik koordinata tizimi (2.10-rasm). Bu tizimni boshlanishi Yerning fizik yuzasida $l(B, L, H)$ joylashadi, o‘q va $\bar{t}$ geodezik meridianga parallel urinma esa, shimolga yo‘nalgan, w o‘q referens-ellipsoidga normal bo‘ylab yo‘nalgan va markazdan yo‘nalishi musbat, v o‘q tizimni o‘nggacha to‘ldiradi. Qutbiy koordinatalar: A_g geodezik azimuth, Z_g geodezik zenit masofa va r' joriy nuqtadan koordinata boshigacha bo‘lgan masofa.

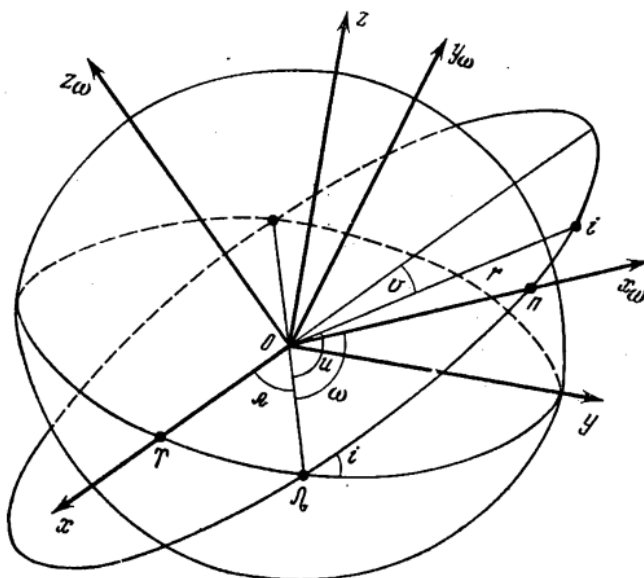


2.10-rasm. To‘g‘ri burchakli gorizontall geodezik koordinata tizimi.

XI. φ, λ, H^g – astronomik koordinatalar: λ astronomik uzoqlik – grinvich va mahalliy astronomik meridian tekisliklari orasidagi ikki qirrali burchak. Astronomik meridian tekisligi berilgan nuqtadagi shovun chizig‘i orqali o‘tadi va Yerning aylanish o‘qiga paralleldir; φ astronomik kenglik – berilgan nuqtadagi shovun chizig‘i va ekvator tekisligi orasidagi burchakdir; H^g ortometrik balandlik – nuqtadan shovun chizig‘i bo‘yicha Yerning fizik yuzasidan geoid yuzasigacha bo‘lgan masofa.

XII. $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}(A, \bar{Z}, r')$ – to‘g‘ri burchakli gorizontal astronomik koordinata tizimi, unda $\bar{u}$ o‘qi astronomik meridiangan urinma parallel va shimolga musbat, $\bar{w}$ o‘qi shovun chizig‘i bo‘yicha yo‘nalgan va Yer markazidan tomonga musbat, $\bar{v}$ o‘qi tizimni to‘g‘rigacha to‘ldiradi. Qutbiy koordinatalar: A – astronomik azimuth, $\bar{Z}$ – astronomik zenit masofasi va r' – berilgan nuqtadan koordinata boshigacha bo‘lgan masofa.

XIII. x_w, y_w, z_w – orbital koordinata tizimi (2.11-rasm). Boshlanishi – yer massasi markazida. x_w o‘qi – orbitaning peritsentriga yo‘nalgan, z_w o‘qi – orbita tekisligiga perpendikulyar, y_w – orbita tekisligida tizimni to‘g‘rigacha to‘ldiradi.



2.11-rasm. Orbital koordinata tizimi.

XIV. x_s, y_s, z_s – yo‘ldoshli markaziy koordinata tizimi. y_s o‘qi (radial) markaziy jism massasiga yo‘nalgan, x_s o‘qi (transversal) yo‘ldosh harakat yo‘nalishidagi y_s orbita tekisligiga perpendikulyar, z_s o‘qi (binormal) orbita tekisligiga perpendikulyar (shimolga musbat). x_s, y_s, z_s o‘qlar bo‘ylab birlik vektorlar ko‘pincha mos ravishda $\bar{T}, \bar{S}, \bar{W}$ lar bilan belgilanadi.

2.2.8. Vaqtni o‘lchash tizimlarining tahlili

Vaqtni o‘lchash kosmik geodeziyaning asosiy masalalaridan biridir. Sferik koordinata tizimlarini o‘rganishda yoritgich gorizontalar koordinatalari (z va A) va birinchi ekvatorial koordinata tizimidagi soat burchagi t vaqt funksiyalari bo‘lib, osmon sferasining aylanma harakati natijasida, uzluksiz o‘zgarishlarini ko‘rdik. Shu sababdan, yoritgichning joylashgan o‘rnini bildiruvchi koordinatalarni aniqlashda, ushbu koordinatalarga tegishli vaqt momentlarini ko‘rsatish kerakdir.

α va δ ekvatorial koordinatalari hamda b va l ekliptika koordinatalari osmon sferasining sutkalik aylanishiga bog‘liq emas, ammo, ular ham, vaqt o‘tishi bilan boshqa refraksiya, aberratsiya, parallaks kabi salbiy omillar ta’sirida o‘zgaradi.

Ko‘p holda, yoritgichning chiqishi va botishi, elongatsiyasi, meridiandan o‘tishi, Quyosh yoki Oy tutilishi kabi, osmon holatlaridagi vaqt momentini aniqlash zaruriyati tug‘iladi. Vaqtni o‘lchash uchun *vaqtni o‘lchash birligi* va *sanoq tizimini* belgilash zarur. Vaqtni o‘lchash birligini ixtiyoriy tanlash mumkin, ammo u doimiy va amaliyotda qo‘llashga qulay bo‘lishi zarur. Agar o‘lchash birligi doimiy bo‘lmasa, uning o‘zgarish qonuniyati ma’lum bo‘lishi kerak.

Istalgan davriy qaytariluvchi jarayon vaqtni o‘lchash uchun ishlatilishi mumkin. Ushbu jarayonning bir yoki bir nechta davrlarini davom etish oralig‘i *vaqtni o‘lchash birligining etaloni* tarzida qabul qilinadi. Hozirgi kunda vaqt birligining etalonini olish uchun quyidagi doiraviy jarayonlar olinadi:

- Yerning o‘z o‘qi atrofida aylanishi;
- Yerni Quyosh atrofida aylanishi;

– ba’zi moddalarni bir energetik holatdan ikkinchisiga o’tishida, modda atomlari yoki molekulalarining yutayotgan yoki tarqatayotgan elektromagnit tebranishlari.

Inson hayoti yerning sutkalik aylanishi bilan chambarchas bog’liqdir, shu sababdan, ushbu jarayon dunyo *vaqti* deb nomlanuvchi vaqt birligini olishda qo’llaniladi.

Yerni o’z o’qi atrofida bir marta aylanish davri *sutka* deyiladi. Sutka dunyo vaqtining o’lchash birligi bo’lib, uning qisqaroq oraliqlarini o’lchash uchun sutka 24 soat(*h*)ga, bir soat 60 minut (*m*)ga, minut 60 sekund (*s*) ga, sekundlar esa, sekundning undan bir, yuzdan bir, mingdan bir qismlariga bo’linadi. Uzoq vaqtgacha, bu etalon vaqt o’lchash uchun, doimiy qiymat deb, hisoblab kelingan. XX asr o’rtasida olimlar yerning o’z o’qi atrofidagi harakati notekis ekanligini isbotlaganlar, demak sutkalar vaqti doimiy emasdir. Ammo, yerning o’z o’qi atrofida notekis aylanish jarayonidagi chetlashishlarni aniqlash va hisobga olish mumkin. Sutkalar nisbatan qisqa vaqt oralig’ini ifodalaydi. Katta vaqt oralig’ini o’lchash uchun, Yerning Quyosh atrofida aylanib chiqish davri ishlatiladi. Yerning Quyosh atrofidagi harakatini Quyoshni ekliptika bo’yicha ko’rinuvchi harakatini aks ettiradi.

Quyosh markazini bahorgi teng kunlik nuqtasidan o’tishlari vaqt oralig’i tropik *yil* deyiladi. Tropik yil katta oraliqlardagi vaqtlarni o’lchashda asosiy o’lchov birligi bo’lib, bir tropik yilda 365.2422 ta o’rta quyosh sutkasi bor.

Quyosh markazi o’zining ko’rinuvchi yillik harakati davomida, Yer atrofida to’liq aylanib yulduzlarga nisbatan, dastlabki holatiga qaytish vaqt oralig’i *yulduz yili* yoki *siderik yil* deyiladi. Bir yulduz yilida 365.2564 ta o’rta quyosh sutkasi bor.

Yer harakati nazariyasida tropik va siderik yillardan tashqari *anomolistik yil* ham bor. Bu yil Yerni orbitasi bo’yicha Quyoshga eng yaqin bo’lgan nuqtasidan, ya’ni perigeydan ketma-ket o’tish vaqt oralig’idir. Anomolistik yilda 365.2596 ta o’rta quyosh sutkasi bor.

Tavqim tizimlarini tuzishda oy deb nomlanuvchi vaqt birligi qo’llaniladi. Oy davom etishining bir nechta turlari: *sinodik*, *siderik*, *tropik va anomolistik oylarga* bo’lish mumkin.

Ketma-ket bir xil nomdagi oy fazalari o’rtasidagi 29.5306 o’rta Quyosh sutkasiga teng vaqt oralig’i *sinodik* oy deyiladi.

Har qanday harakat, nisbiy bo'lgani uchun, Yerning sutkalik yoki yillik harakatini ham Yerdan tashqarida, uning harakatida ishtirok etmagan boshqa jism yoki nuqtaga nisbatan, kuzatish mumkin. Bu maqsaddagi qo'zg'almas nuqta osmon sferasi bilan bog'liq bo'lishi kerak. Ammo, bunday nuqta osmon sferasida yo'q, sababi barcha yulduzlar to'liq o'rganilmagan o'z harakatiga egadir. Shu sababdan, yerning o'qi atrofida aylanishini bahorgi teng kunlik nuqtasiga, haqiqiy Quyosh markazi (osmon sferasida biz ko'rayotgan Quyosh diskining markazi)ga, o'rta ekvatorial Quyosh (haqiqiy Quyoshning ekliptikadagi o'rtacha harakat tezligiga teng, tezlik ekvatorida harakatlanuvchi haqiqiy bo'lmagan nuqta)ga nisbatan hisoblanadi. Hisoblanayotgan vaqtlar esa, ushbu nuqталarga mos tarzda: *Yulduz vaqti*, *haqiqiy Quyosh vaqti* va *o'rta Quyosh vaqti* degan nomlarni oladi.

Osmon sferasining sutkalik aylanishi doiraviy jarayon bo'lib, yerni o'z o'qi atrofida aylanishining aks etishi ekanligini va bu jarayon vaqtini o'lchash uchun, asos bo'lishi ma'lum bo'ldi.

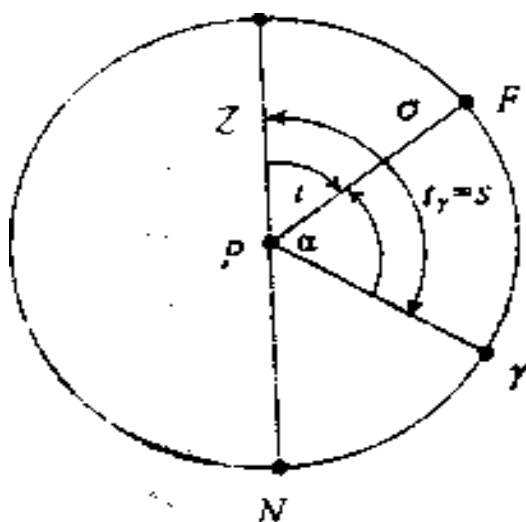
Yerni o'z o'qi atrofida yulduzlar va Quyoshga nisbatan aylanish davri turlichadir. Yulduzlarga nisbatan, Yerning bitta to'liq aylanishi Quyoshga nisbatan, qisqa vaqtda bo'ladi. Bunga sabab, Quyosh ekliptika bo'yicha, Yer aylanishining yo'nalishiga mos harakatlanadi. Shu sababdan, yulduz vaqti va Quyosh vaqti farqlanadi. Yulduz vaqtida ham va Quyosh vaqtida ham, vaqt o'lchash – bu burchak o'lchashlar bo'ladi: buning uchun osmon sferasida nuqta olib, bu nuqtaning og'ish doirasidan o'tuvchi tekislik va osmon meridiani tekisligi orasidagi burchakni o'lchash kerak. Albatta, bu burchak kuzatuvchini yerning qaysi qismida turganiga bog'liq bo'ladi.

Barcha yulduzlar, o'z harakatiga ega bo'lib, qo'zg'almas yulduzni topish imkoniyati yo'q. Shu sababli *yulduz vaqti uchun, sanoq boshi sifatida Y bahorgi teng kunlik nuqtasi olinadi*. Bu nuqta ham, qo'zg'aluvchandir, ammo, uning harakati yaxshi o'rganilgan va doimo uni inobatga olish mumkin. *Ma'lum bir punkt meridianida bahorgi teng kunlik nuqtasining ketma-ket keluvchi yuqori (yoki quyi) kulminatsiyalari oralig'idagi vaqt yulduz sutkasi* deyiladi. Yulduz sutkasi 24 yulduz soatiga, yulduz soati 60 yulduz minutiga, yulduz minuti esa 60 yulduz sekundiga bo'linadi. Bir yulduz sutkasida 86 400 yulduz sekundi bor.

Yulduz sutkasining boshlanishi deb, bahorgi teng kunlik nuqtasining yuqori kulminatsiya momenti olinadi. Bu momentda nuqtaning soat burchagi nol, yulduz vaqti esa $0^h0^m0^s$ bo'ladi. Bahorgi teng kunlik nuqtasi, osmon sferasi bilan o'zgaras holda bog'liq bo'lgani uchun va Yerning notekis aylanishini vaqtincha inobatga olmagan holda, γ nuqtaning sutkalik harakati bir maromda bo'ladi deyish mumkin. Har bir yulduz soati davomida γ kuzatish punktining osmon meridianidan 15° ga uzoqlashadi va uning soat burchagi 15° ga orta boradi. Shu sababli, bahorgi teng kunlik nuqtasining soat o'lchamida ifodalangan soat burchagi t_γ yulduz sutkasi boshidan berilgan momentgacha o'tgan vaqtning o'lchovi hisoblanadi.

Yulduz sutkasini boshlanishidan to istalgan boshqa momentgacha o'tgan, bahorgi teng kunlik holatini aniqlovchi hamda yulduz soati, minuti va sekundlarida ifodalangan vaqt *yulduz vaqti* deyiladi va s harfi bilan belgilanadi. s yulduz vaqti son jihatdan, bahorgi teng kunlik soat burchagini soat o'lchamida ifodalanganiga tengdir (2.12-rasm) ya'ni:

$$s = t_\gamma \quad (2.32)$$



2.12-rasm. Osmon sferasining ekvatorial tekislikdagi proyeksiyasi.

Agar bahorgi teng kunlik nuqtasining t_γ soat burchagi gradus o'lchamida ifodalangan bo'lsa, mahalliy yulduz vaqtini olish uchun,

gradus va soat birliklari orasidagi munosabatdan foydalanib, t_γ ning gradusli ifodasini soat o'lchamiga o'tkazish mumkin.

Birinchi va ikkinchi ekvatorial koordinata tizimlarining bog'liqligini ko'rganimizda, bahorgi teng kunlik nuqtasining soat burchagi yoritgichning α to'g'ri chiqishi va t soat burchaglarining yig'indisiga tengligini bilgan edik. 2.13-rasmda osmon sferasini ekvatorial tekislikdagi proyeksiyasi ko'rsatilgan. SFN – osmon ekvatori, SZN – osmon meridiani proyeksiyasi, $P\sigma F$ – yoritgich og'ish doirasining proyeksiyasi va P_γ – bahorgi teng kunlik nuqtasining og'ish doirasini proyeksiyasidir. 2.13-rasmdan ko'rinadiki

$$t_\gamma = \alpha + t \quad (2.33)$$

demak, (2.32) formuladagi $t_\gamma = s$ ekanligi uchun

$$S = \alpha + t \quad (2.34)$$

Ya'ni, yer sirtidagi istalgan nuqtada istalgan momentdagi yulduz vaqti qiymatan, yoritgichning to'g'ri chiqishi va soat burchagining yig'indisiga teng bo'ladi.

Yuqori kulminatsiya momentida yoritgichning soat burchagi ($t = 0$) bo'ladi, demak

$$s = \alpha \quad (2.35)$$

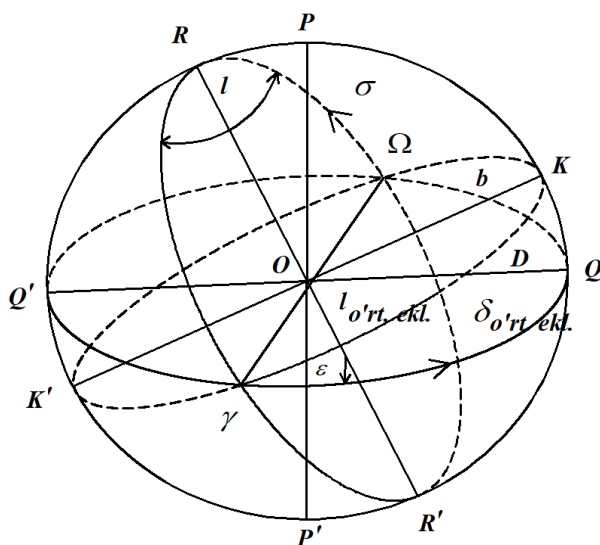
ya'ni, yoritgichning yuqori kulminatsiya momentida yulduz vaqti qiymatan, ushbu yoritgichning to'g'ri chiqishiga teng bo'ladi.

Yoritgichning quyi kulminatsiya momentida uning soat burchagi ($t = 12^h$) bo'ladi, demak

$$s = \alpha + 12^h \quad (2.36)$$

$l_{o'rt.ekl_\oplus}$ – uzoqligi, $\alpha_{o'rt.ekl_\oplus}$ – to'g'ri chiqishi, $\delta_{o'rt.ekl_\oplus}$ – og'ishi

Ya'ni yoritgichning quyi kulminatsiya momentida yulduz vaqti qiymatan, ushbu yoritgichning to'g'ri chiqishiga 12^h ni qo'shilganiga teng. Agar (2.36) formuladagi $(\alpha + 12^h)$ yig'indi 24^h dan oshib ketsa, ushbu formulaning o'ng qismidan 24^h ni ayirish kerak.



2.13-rasm. O'rta ekliptik quyosh koordinatalari.

Yulduz vaqti astronomik kuzatishlar va turli ilmiy masalalarni yechish uchun qulay, ammo, kundalik hayot va ba'zi ilmiy tadqiqotlarda noqulaydir. Inson hayotidagi kun tartibi asosan, osmon sferasidagi Quyoshning ko'rinishiga mos keladi. Yulduz sutkasining boshi, ya'ni 0^h yulduz vaqti Quyosh sutkasining turli momentlariga mos kelib, ba'zan kunga, ba'zan tunga to'g'ri keladi. Bu noqulaylik sababli, kundalik hayotda Quyosh bo'yicha vaqtni o'lchash asos hisoblanadi.

Quyosh bo'yicha vaqtni o'lchashda, Yerni o'z o'qi atrofida aylanishini hisoblash uchun, bosh nuqta sifatida *haqiqiy Quyosh* deb ataluvchi quyosh diskining markazi olinadi. Haqiqiy Quyosh diski markazining yuqori va quyi kulminatsiya momentlari *haqiqiy yarim kun* (tush vaqti) *haqiqiy yarim tun* deyiladi.

Ma'lum punktning osmon meridianida, haqiqiy Quyoshni bir xil nomdagi ketma-ket keluvchi ikkita kulminatsiyalarining orasidagi vaqt *haqiqiy quyosh sutkasi* deyiladi. 1925-yilgacha astronomiyada, haqiqiy quyosh sutkasining boshlanishi sifatida, haqiqiy Quyoshning yuqori kulminatsiya momenti olinardi. Bunday hisob, astronomik kuzatishlar uchun qulay edi, ammo kundalik turmushda sana o'zgarishi tushlik vaqtiga to'g'ri kelishi noqulaylik tug'diradi. Shu sababdan, 1925-yil 1-yanvardan boshlab *haqiqiy quyosh sutkasining boshlanishi haqiqiy Quyoshning quyi kulminatsiya momenti, ya'ni yarim tun* deb qabul qilingan. Bu momentda *haqiqiy quyosh vaqti* $0^h 0^m 0^s$ bo'lib, *haqiqiy quyoshning soat burchagi* esa 12^h bo'ladi. *Haqiqiy quyosh sutkasi* 24

haqiqiy quyosh soatiga, bir haqiqiy quyosh soati 60 haqiqiy minutga va haqiqiy minut esa 60 haqiqiy quyosh - sekundiga tengdir.

Ma'lum punkt meridianidagi istalgan momentning *haqiqiy quyosh vaqti* $m_{\odot}$ soat o'lchamida ifodalangan haqiqiy quyosh soat burchagiga 12^h ni qo'shilganiga tengdir, ya'ni

$$m_{\odot} = t_0 + 12^h \quad (2.37)$$

Shunday qilib, istalgan momentdagi haqiqiy quyosh vaqtini aniqlash uchun, ushbu momentdagi kuzatishlardan haqiqiy quyosh soat burchagini olish yetarlidir. Haqiqiy quyosh vaqti $m_{\odot}$ amaliy maqsadlarda foydalanilmaydi. Bunga ikkita sabab bor.

1-sabab: *Quyoshning ko'rinuvchi harakatini ekliptika bo'yicha notekisligi*. Bu notekislik Yerning orbitasi bo'yicha notekis harakati, ya'ni perigeydagi maksimal va apogeydagi minimal tezlikda harakat qilishi natijasidir. Quyoshning ekliptikadagi notekis harakati sababli, uning soat burchaklari ham notekis bo'ladi.

2-sabab: *Ekliptikani osmon ekvatoriga og'ishidir*. Yil davomidagi Quyosh og'ishi quyidagi oraliqda bo'ladi:

$$-23^{\circ}27' \leq \delta_0 \leq +23^{\circ}27'.$$

Ekliptikani ekvatorga og'ishi natijasida ekvatorga tushuvchi bir xil ekliptika yo'ylarining proyeksiyalari o'zaro teng bo'lmaydi. Shu sababli, ekvatoridan hisoblanuvchi Quyoshning soat burchaklari notekis o'zgaradi. Bu aytilgan ikkita omil natijasida, haqiqiy sutkaning davomiyligi yil davomida o'zgarib boradi. Haqiqiy sutkaning o'tish vaqtini farqi 50^s gacha boradi ($24^h00^m30^s$ dan $23^h59^m39^s$ gacha).

Haqiqiy quyosh sutkasi doimiy bo'lmay, qishda (yanvarda) uzun, yozda (iyulda) qisqaroq bo'lgani uchun, vaqtni o'lchash birligiga qo'yilgan talabini qoniqtirmaydi. Zamonaviy kundalik hayot uchun, vaqtni aniqroq belgilovchi vaqt o'lchovi kerak bo'ladi.

Quyosh bo'yicha takomillashgan vaqtni o'lchash tizimini yaratish uchun *o'rta ekvatorial quyoshga* mos vaqtni o'lchash tizimi qo'llaniladi.

Yerning o'rtacha harakat tezligiga mos, haqiqiy Quyoshning o'rtacha tezligida ekliptika bo'yicha, bir tekis harakat qiluvchi soxta nuqtani tasavvur qilamiz. Bu nuqta *o'rta ekliptik Quyosh* deb ataladi. O'rta ekliptik Quyosh haqiqiy Quyosh bilan birgalikda, faqat perigey va

apogeydan o'tadi, boshqa vaqt momentlarida, ular uchrashmaydi. Bunga sabab, ularning har xil tezlikda harakat qilishidir.

Ma'lum bir vaqt oralig'i uchun o'rtacha ekliptik Quyoshning uzoqligi haqiqiy Quyosh uzoqligiga teng bo'ladi, ya'ni

$$l_{o'rt.ekl_{\odot}} = (l_0)_{o'rt} \quad (2.38)$$

Ammo, o'rtacha ekliptik quyoshni qo'llash bilan ham, doimiy vaqt birligiga erishmaymiz. Bunga sabab, haqiqiy quyosh vaqtidan ma'lum bo'lgan ikkita salbiy omilning faqat bittasini, ya'ni Quyosh notekis harakatining ta'siri yo'qoladi. Ikkinchi omil, ya'ni osmon ekvatorini ekliptikaga og'ishi, o'rta ekliptik quyoshning ($\alpha_{o'rt.ekl_{\odot}}$) to'g'ri chiqishini notekis o'sishiga, demak, uning ($t_{o'rt.ekl_{\odot}}$) soat burchagini notekis o'zgarishiga olib keladi (2.13-rasm).

O'rta ekliptik quyosh soat burchagining notekis o'zgarishi natijasida, u aniqlovchi vaqt ham, notekis o'sib boradi.

O'rta ekliptik quyosh ($\delta_{o'rt.ekl_{\odot}}$) og'ishining o'zgaruvchan ta'sirini yo'qotish maqsadida, haqiqiy bo'lmagan boshqa nuqtani olamiz. Bu nuqta ekvator bo'ylab, bir tekis harakat qiladi va uni *o'rta ekvatorial quyosh* deb ataymiz. O'rta ekvatorial quyosh o'rta ekliptik quyosh bilan quyidagi shartlarda bog'liqdir:

- o'rta ekvatorial quyosh ekvator bo'ylab o'rta ekliptik quyoshni ekliptikadagi tezligiga teng, tezlikda harakat qiladi;

- bahorgi va kuzgi teng kunlik nuqtalaridan, ular bir vaqtda o'tadi.

Demak, o'rta ekvatorial quyoshning to'g'ri chiqishi doimo, o'rta ekliptik quyoshning uzoqligiga yoki haqiqiy quyoshning o'rtacha uzoqligiga teng bo'ladi, ya'ni

$$\alpha_{o'rt.ekl_{\odot}} = l_{o'rt.ekl_{\odot}} = (l_{\odot})_{o'rt.} \quad (2.38^*)$$

O'rta ekvatorial quyosh, ekvator bo'ylab, bir maromda harakat qilgani sababli, uning ($t_{o'rt.ekl_{\odot}}$) soat burchagi vaqtga proporsional tarzda ko'payib boradi. Shuning uchun, o'rta ekvatorial quyosh vaqtini o'lchashlarida qo'llanishi mumkin. O'rta ekvatorial quyoshning kuzatish nuqtasini meridianidagi yuqori kulminatsiya momenti *o'rta yarim kun*, quyi kulminatsiya momenti *o'rta yarim tun* deyiladi. 1925-yil 1-yanvar-gacha *o'rta quyosh sutkasining boshlanishi* deb, o'rta ekvatorning yuqori kulminatsiya momenti, ya'ni yarim kun olingan. 1925-yil 1-yanvardan boshlab o'rta quyosh sutkasining boshlanishining sifatida o'rta yarim tun olinadi.

O'rta quyosh sutkasi deb o'rta ekvatorial quyoshni kuzatish nuqtasining meridianidagi ikkita ketma-ket keluvchi yuqori kulminatsiya momentlari, ya'ni *yarim tunlar oralig'idagi vaqtga aytiladi*. O'rta quyosh sutkasi 24 o'rta soatga, o'rta quyosh soati 60 o'rta minutga, o'rta quyosh minuti 60 quyosh sekundiga bo'linadi. O'rta ekvatorial quyoshning, quyosh kulminatsiyasi, ya'ni yarim tunda o'rta quyosh vaqti $0^h 0^m 0^s$, o'rta ekvatorial quyoshning soat burchagi esa 12^h ga teng bo'ladi. O'rta quyosh sutkasining boshidan to istalgan boshqa momentgacha bo'lgan vaqti, o'rta quyosh soat, minut, sekundlarida ifodalanib, *o'rta quyosh vaqti deyiladi va m bilan belgilanadi*.

O'rta quyosh vaqti qiymatan, o'rta ekvatorial quyoshning soat burchagini soat o'lchamida ifodalanganligiga 12 soatni qo'shilganligiga tengdir, ya'ni

$$m_{o'rt.ekl_0} + 12^h. \quad (2.39)$$

Grinvich o'rta quyosh vaqti, *dunyo vaqti* deb ataladi va astronomik yilnomalarda M harfi bilan belgilanadi. Agar, o'rta ekvatorial quyoshning soat burchagini Grinvich meridianida $T_{o'rt.ekl_0}$ deb belgilasak,

$$M = T_{o'rt.ekl_0} + 12^h \quad (2.40)$$

bo'ladi.

Vaqtni o'lchashda asosiy astronomik birlik sifatida, Yer sharini biror-bir osmon jismiga nisbatan, o'z o'qi atrofida to'liq aylanishiga ketgan vaqt, ya'ni sutka (86400 sek) qabul qilingan. Vaqtni aniq o'lchash uchun, pretsessiya va nutatsiyani hisobga olish kerak. Bundan tashqari, Yer o'z o'qi atrofida bir xil tekis aylanmaydi, shuning uchun ham, sutka har xil vaqtga o'zgaradi. 1967-yilda og'irlik va o'lchov birliklari bo'yicha XIII Bosh konferensiya qarori bilan atom sekundi qabul qilindi. Atom sekundi – tashqi ta'sirlarsiz Seziy – 133 atomining 9192631770 marta tebranishiga sarflanadigan vaqt oralig'idir. Hozirda atom sekundi SI sistemasiga qabul qilingan.

Har bir yo'ldosh o'z soati bilan ta'minlangan bo'lib, ularning vaqtni o'lchash nisbiy xatoligi $1 \cdot 10^{-13}$ ga teng, ya'ni bu yo'ldoshlarga o'rnatilgan soatlar bir yilda 0.000003 sekundga oldinga yoki orqaga qoladi deganidir. Ammo, xatolik juda katta hisoblanganligi uchun soatlar doimo nazorat qilib turiladi va Yerdagi etalon soatlar bilan tuzatiladi. Bu jarayonga sinxronizatsiyalash deyiladi. GPS vaqt sanog'i tizimining boshlanishi 1980-yil 5-yanvar 0^h dan belgilangan. Shuning

uchun, *GPS* haftasining boshlanishi shanbadan yakshanbaga o'tar kechasi yarim tundan boshlangan. *GPS* tizimi vaqti o'z shkalasiga ega va bosh nazorat stansiyasidagi soatlar bilan aniqlanadi.

GPS soatlarining sekundlari uzunligi UTS vaqt shkalasidan farq qiladi. Bu farq, navigatsiya ma'lumotlari bilan kuzatiladi va to'g'ri-
lanadi. 1992-yil 1-iyulda bu farq, 7 sekundni tashkil etgan, ya'ni *GPS* vaqti UTS vaqtidan oldinga ketgan.

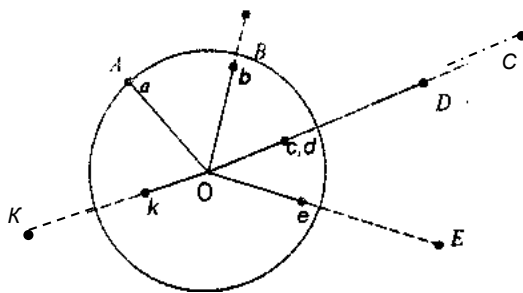
Geodeziya sohasida qo'llaniladigan priyomniklar yengil, arzon bo'lishi uchun ularga, yo'ldosh soatlariga nisbatan, million marta kam barqarorlashgan soatlar o'rnatilgan. Shuning uchun, har bir seansni o'lchash jarayonida, priyomnik soatlari yo'ldosh soatlari bilan sinxronizasiya qilinadi.

2.2.9. Osmon sferasining asosiy nuqtalari, chiziqlari va tekisliklari to'g'risidagi ma'lumotlarning tahlili

Yer sirtidagi istalgan nuqtalarning geografik koordinatalari va yo'nalish azimutlari osmon yoritgichlarini kuzatish natijasida aniqlanadi. Buning uchun, yoritgichni o'zini joylashish koordinata tizimini bilish kerak. Osmon yoritgichlari Yerdan turli masofada joylashgan bo'lib, hatto ba'zi masofalar aniqlanmagandir. Bir qator astronomik masalalarni yechishda, yoritgichgacha bo'lgan masofa emas, balki yoritgichdan kuzatish nuqtasiga kelayotgan yorug'lik nurining yo'nalishini aniqlash talab qilinadi. Bunda matematik hisob va geometrik qurilmalarni soddalashtirish maqsadida, barcha yoritgichlarni kuzatish nuqtasidan bir xil uzoqlikda, ya'ni ixtiyoriy radiusdagi sfera sirtiga proyeksiyalangan holda ko'riladi (2.16-rasm).

Yoritgichlardan tushirilgan, bu osmon sferasidagi chiziqlar, sferik uchburchaklarni hosil qiladi va bu uchburchak elementlari orasidagi bog'liqliklar sferik trigonometriya formulalari yordamida yechilishi mumkin.

Masalaning qo'yilishiga qarab, osmon sferasining markazi fazoning istalgan nuqtasida bo'lishi mumkin, masalan, kuzatish nuqtasida, Yer markazida yoki Quyosh markazida. Sfera markazini qaerda bo'lishiga qarab, osmon sferasining nomi ham turlicha bo'ladi: agar Yer sirtida bo'lsa – *topotsentrik sfera*, Yer markazida bo'lsa — *geotsentrik sfera* va Quyosh markazida bo'lsa *geliotsentrik sfera* deyiladi.



2.14-rasm. Osmon sferasi va yoritgichlar.

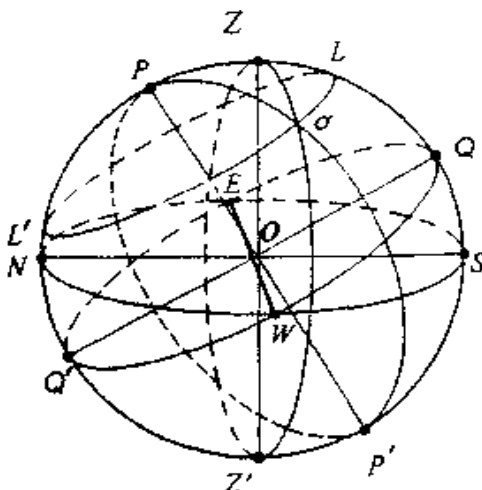
Osmon yoritgichlari va turli qurilmalar holatini aniqlash uchun osmon sferasidagi asosiy chiziq va nuqtalarning oʻrnini bilish kerak.

Fazodagi istalgan nuqtada qurilgan osmon sferasining markazi orqali oʻtkazilgan chiziq, yer sirtidagi maʼlum bir nuqtadan oʻtuvchi shovun chizigʻiga parallel oʻtsa, bu chiziq ham *shovun chizigʻi* yoki *vertikal chiziq* deb nomlanadi.

Tasavvur qilamizki, 2.15-rasmdagi osmon sferasining markazi kuzatish joyiga mos keladi, yaʼni topotsentrik osmon sferasini koʻrib chiqamiz. Bu holda, vertikal chiziq ZZ yer sirtidagi kuzatish nuqtasidan oʻtuvchi, shovun yoʻnalishiga mos keladi va osmon sferasini ikkita qarama-qarshi nuqtada kesib oʻtadi. Kuzatish nuqtasini yuqorisidagi kesishish oʻrni, *zenit nuqtasi* deb ataladi va Z harfi bilan belgilanadi.

Unga diametral qarama-qarshi boʻlgan ikkinchi nuqta *nadir nuqtasi* deb ataladi va Z' bilan belgilanadi. NESW katta doira tekisligi shovun chizigʻi ZZ' ga perpendikulyar boʻlib, u *osmon gorizonti* yoki *astronomik gorizont* deb ataladi. Osmon gorizonti koʻrinish gorizonti bilan mos kelmaydi. *Koʻrinish gorizonti* osmon sferasida kichik doira koʻrinishida namoyon boʻlgan va yer sirtidagi koʻrinishni cheklovchi chiziqdir. Osmon gorizontining tekisligi osmon sferasini ikkita yarim sharga: zenit nuqtali – *koʻrinuvchn yarim sharga* va nadir nuqtali *koʻrinmaydigan yarim sharga* boʻladi.

Osmon sferasining markazi osmon orqali yer aylanish oʻqiga parallel boʻlgan PP' oʻqini oʻtkazamiz. Bu oʻq *dunyo oʻqi* deb ataladi va oʻqni sfera sirti bilan kesishish nuqtalari *dunyo qutblari* deb ataladi: P – *dunyo shimoliy qutbi*, P' esa – *dunyo janubiy qutbi* deyiladi.



2.15-rasm. Topotsentrik osmon sferasi.

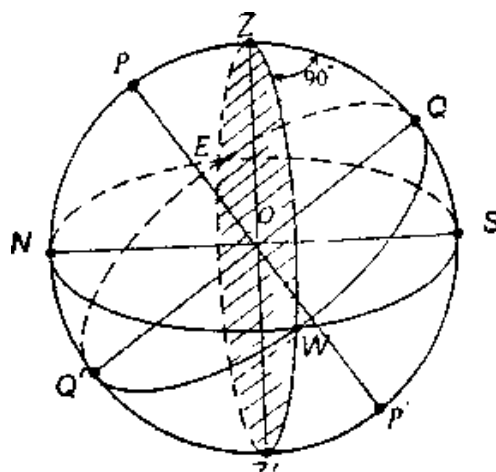
O‘z o‘rnida, PP' o‘qi osmon sferasini ikki qismga bo‘ladi: zenit nuqtasini o‘z ichiga olgan, PZP' *yuqori qism* va nadir nuqtali $PZ'P'$ *pastki qism*. PP' dunyo o‘qiga tekisligi perpendikulyar bo‘lgan, $QWQ'E$ – katta doirasi *osmon ekvatori* deb ataladi. Dunyo o‘qi, yer aylanish o‘qiga parallel bo‘lganligi sababli, ekvator tekisligi yer ekvatori tekisligiga perpendikulyardir. Geotsentrik osmon sferasi qo‘llanganda, osmon ekvatori tekisligi yer ekvatori tekisligiga mos tushadi.

Osmon ekvatori astronomik gorizont bilan ikkita qarama-qarshi nuqtada E – *sharqiy nuqtada* va W – *g‘arbiy nuqtada* kesishadi. Ekvator tekisligi osmon sferasini ikkita yarim sferaga: *shimoliy* va *janubiy yarim sferalarga* ajratadi. ZZ' shovun chizig‘i bo‘yicha o‘tuvchi, har qanday tekislik vertikal tekislik bo‘ladi. Berilgan σ yoritgich orqali vertikal tekislik o‘tkazamiz (2.15-rasm). Ushbu tekislikni osmon sferasi bilan kesishishidan hosil bo‘lgan $Z\sigma Z'$ – katta doira *vertikal* yoki *yoritgich balandlik doirasi* deb ataladi. Shunday qilib, istalgan nuqta yoki yoritgichning vertikasi zenit va nadir nuqtalari orqali o‘tadi va gorizont tekisligiga perpendikulyar bo‘ladi. Ekvatorga parallel tarzda yoritgich σ orqali o‘tgan $L\sigma L'$ kichik doira *yoritgich sutkalik paralleli* deb ataladi. Sutkalik parallel osmon sferasini sutkalik aylanishi natijasidagi yoritgich harakatini ko‘rinuvchi izidir. Yoritgich qutbga nisbatan, qanchalik yaqin joylashgan bo‘lsa, uning sutkalik parallelini radiusi ham, shuncha kichik bo‘ladi. Yoritgich sutka davomida, o‘z sutkalik paralleli bo‘yicha soat strelkasi yo‘nalishida harakatda bo‘lib, osmon meridianini ikki marta kesib o‘tadi. Yoritgichni meridianning

yuqori qismidan kesib o'tish momenti *yoritgich yuqori kulminatsiyasi* deyiladi. Yoritgich yuqori kulminatsiya mometidan o'tgach, osmon sferasini sharqiy qismidan g'arbiy yarim qismiga o'tadi va meridianning pastki qismiga qarab harakatlanadi. Yoritgichni osmon meridianining pastki qismidan kesib o'tish momenti *yoritgich pastki kulminatsiyasi* deyiladi. 2.15-rasmdagi L nuqta yoritgichning yuqori kulminatsiyasi, L' nuqta esa, pastki kulminatsiyasidir.

Dunyo qutblari PP' orqali o'tuvchi vertikal *osmon meridiani* deb ataladi. Demak, osmon meridiani deb, dunyo qutblarining zenit va nadir nuqtalari orqali o'tuvchi $PZP'Z'$ katta doiraga aytiladi. Meridian tekisligi gorizont tekisligiga va ekvator tekisligiga perpendikulyardir. Osmon meridiani, osmon sferasini ikkita qismga, ya'ni *g'arbiy va sharqiy qismlarga* bo'ladi.

Osmon meridiani tekisligi, yer meridiani tekisligi bilan o'zaro paralleldir. Agar geotsentrik yoki topotsentrik osmon sferasi qo'llanilganda, osmon meridianining tekisligi, Yer meridiani tekisligiga mos keladi. Osmon meridianini ekvator bilan kesishish nuqtalari QQ' bo'lib, Q – *nuqtasi ekvatorning yuqori nuqtasi*, Q' – *ekvatorning quyi nuqtasi* deb ataladi. Osmon meridiani tekisligiga perpendikulyar bo'lgan vertikal, *birinchi vertikal* deyiladi (2.18-rasm). Birinchi vertikal *sharqiy nuqta* – E va *g'arbiy nuqta* – W orqali o'tadi va osmon meridianiga perpendikulyardir.

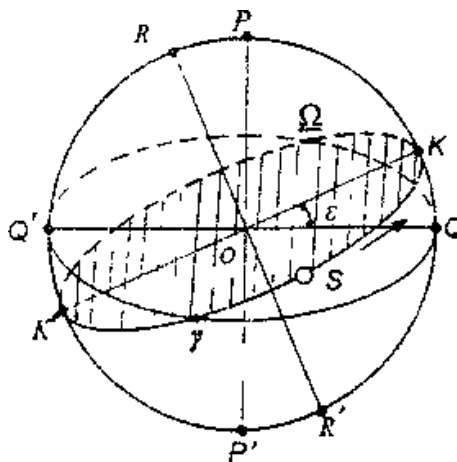


2.16-rasm. Birinchi vertikal.

NS chizig'i *yarim kunlik chizig'i* deb ataladi. Bu chiziq gorizont tekisligi bilan osmon meridiani tekisligining kesishishidan hosil bo'ladi. *Shimoliy* – N va *janubiy* – S nuqtalari, osmon meridianining gorizont tekisligi bilan kesishish nuqtalaridir. *Sharqiy, janubiy, g'arbiy va shimoliy nuqtalar* gorizontning asosiy nuqtalari bo'lib, o'zaro 90° oraliqda joylashadi.

Osmon sferasining asosiy doiralari *ekliptika* doirasi ham kiradi. Yer Quyoshning yo'ldoshi sifatida, uning atrofida orbita bo'yicha harakatda bo'lib, Yerni Quyosh atrofida bir marta to'liq aylanish davri bir yilga tengdir.

Yer orbitasi yassi ellips shaklida bo'ladi. Yer sirtida turgan kuzatuvchiga, Quyosh Yerga nisbatan, harakatda bo'lganday tuyuladi. Shuning uchun, sferik astronomiyada *Quyoshni yillik ko'rinuvchi harakati* haqida aytish qabul qilingan. Yer orbitasi tarzida qabul qilinuvchi ellips tekisligi *ekliptika tekisligi* deb ataladi. Yer orbitasi, ya'ni ekliptika tekisligi bilan osmon sferasining kesishishidan hosil bo'lgan $K\gamma K'\Omega$ – katta doira (2.17-rasm) *ekliptika* deb ataladi. Ekliptika tekisligi, osmon ekvatori tekisligiga nisbatan, taxminan, $23^\circ 27'$ ga teng burchak ostida og'gan bo'ladi. Bu burchak *ekvatorni ekliptikaga og'ishi* deyiladi va ε harfi bilan belgilanadi. Osmon sferasining markazidan o'tuvchi va ekliptika tekisligiga perpendikulyar bo'lgan chiziq RR' – ekliptika o'qi deyiladi. Bu o'qni osmon sferasi bilan kesishishidan hosil bo'lgan nuqtalari esa, ekliptika qutblari deyiladi. R – *ekliptika shimoliy qutbi*, R' – *ekliptika janubiy qutbi*.



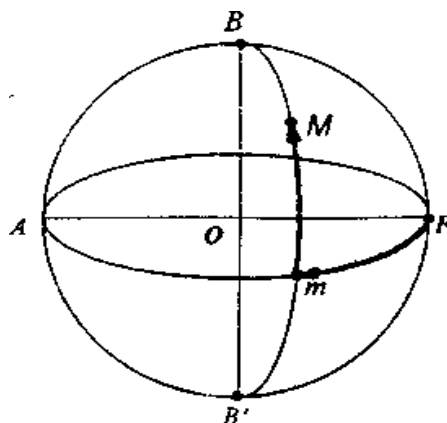
2.17-rasm. Ekliptika doirasi.

Ekliptika tekisligi va ekvatorning o‘zaro kesishuvi, 21-mart va 23-sentabr, ikkita diametrial qarama-qarshi nuqtalarda bo‘ladi. 21-martga to‘g‘ri keladigan nuqta *bahorgi teng kunlik nuqtasi* deyiladi va Υ - belgisi bilan ifodalanadi. 23-sentabrga to‘g‘ri keladigan nuqta esa *kuzgi teng kunlik nuqtasi* deyiladi va Ω bilan belgilanadi.

Yer sirtidagi nuqtalarning holati ikkita koordinata – kenglik va uzoqlik orqali aniqlanadi. Osmon sferasidagi nuqtaning joylashgan o‘rni ham, shu tarzda ikkita koordinata orqali aniqlanadi. Yoritgichlarni osmon sferasidagi joylashgan o‘rni, sferik koordinatalar yordamida aniqlanadi. Bunda yulduzni nuqta tarzida ko‘rish mumkin. Yoritgichlarni, ya’ni Quyosh, Oy va sayyoralarning osmon sferasidagi joylashgan o‘rni disk ko‘rinishda bo‘lib, ularning o‘rnini aniqlash mohiyati esa, ushbu disk nuqtalarni (disk markazi, o‘qning eng baland yoki eng past nuqtasi)ni aniqlashdir. Bu masalani yechish uchun, sferada ikkita o‘zaro perpendikulyar katta doira olinadi. Ulardan *biri tizimning asosiy doirasi, ikkinchisi esa boshlang‘ich doirasi* deyiladi. Asosiy va boshlang‘ich doiralarning kesishish nuqtalaridan biri *koordinata tizimining boshlang‘ich nuqtasi* deyiladi.

Astronomiyada bir necha sferik koordinata tizimlari qo‘llaniladi. Ular bir-biridan asosiy va boshlang‘ich doirani tanlashlari bilan farqlanadi. Shuningdek, turli sferik koordinatalar tizimlari koordinata boshlanish nuqtasi va sanoq yo‘nalishlarini tanlash bilan ham, farq qiladi. Har bir koordinata tizimi o‘z ustunligi va kamchiligiga egadir.

Sferik koordinata tizimlaridan barchasi quyidagi prinsipda quriladi. Ma’lumki, nuqtaning sferadagi o‘rni ham, tekislikdagi o‘rni ham, ikkita koordinata qiymatlari orqali aniqlanadi. Birinchi koordinatani aniqlash uchun tanlangan, asosiy doiraning B va B' qutblari orqali (2.18-rasm) hamda aniqlanuvchi nuqta M orqali BMB' katta doira o‘tkaziladi. Asosiy doiradan aniqlanish nuqtasigacha bo‘lgan mM yoyi *birinchi koordinata* hisoblanadi. *Ikkinchi koordinata* esa, har doim koordinata tizimining tanlangan boshlang‘ich nuqtasi (F nuqtasi)dan birinchi koordinata doirasining asosiy doira bilan kesishish nuqtasigacha hisoblanadi, ya’ni ikkinchi koordinata FM yoyidir.



2.18-rasm. Sferik koordinata tizimi.

Yerda biz faqat, bir asosiy doira – yer ekvatoriga ega bo‘lsak, osmon sferasida uchta asosiy doiralarga egamiz. Bular *gorizont*, *ekvator* va *ekliptika* doiralari. Bu asosiy doiralarni, har biri asosida, alohida sferik koordinata tizimini qurish mumkin. Ularning nomi esa, ushbu tizim uchun, asosiy deb qabul qilingan, doiraning nomiga mos keladi.

Astronomiyada ko‘p qo‘llaniladigan quyidagi asosiy koordinata tizimlarini ko‘rib chiqamiz:

- gorizont koordinata tizimi;
- birinchi ekvatorial koordinata tizimi;
- ikkinchi ekvatorial koordinata tizimi;
- ekliptik koordinata tizimi;
- geografik koordinata tizimi.

Bu aytilgan koordinata tizimlari osmon sferik koordinatalar tizimi bo‘lib, katta doirasining nomiga mos tarzda nomlanadi (katta doira, ushbu tizimlar uchun, asosiy deb qabul qilingan).

3-BOB. LOKAL REFERENS KOORDINATALAR TIZIMI

3.1. Tizimning aniqlanishi

Bu yer tizimlari, alohida mamlakat yoki bir guruh mamlakatlarda qabul qilingan lokal referens-ellipsoidlar (hisoblash ellipsoidlari [53]) bilan bog'langan. Bunday ellipsoidlarning markazlari, qoidadagidek, oriyentirlash xatoligi natijasida, Yer massasi markazi bilan mos kelmaydi, shuning uchun, bu tizimlarni ayrim hollarda *kvazigeotsentrik* deb ataydilar.

Lokal referens tizimdagi asosiy tekislik, referens-ellipsoidning ekvator tekisligi hisoblanadi. z o'qi, ellipsoid kichik o'qi bo'ylab, ekvatorga normal bo'yicha yo'nalgan. x o'qi geodezik tizimlar boshlang'ich meridiani tekisligiga yo'nalgan, ya'ni $B=0$, $L=0$ nuqtalari orqali o'tadi. y o'qi oldingi ikkita o'qlar koordinata tizimlarini to'g'rigacha (yoki chapgacha) to'ldiradi. O'zining oriyentirlashi (berilgan geodezik sanalari bilan) bilan ajralib turuvchi, o'lchamlari va shakllari bir xil bo'lgan ellipsoidni, turli xil koordinata tizimlarida qo'llash mumkin.

Referens tizimlarda, odatda geodezik (sferoidli) koordinatalar qo'llaniladi: B geodezik kenglik, L geodezik uzoqlik va H ellipsoiddan balandliklar bilan belgilanadi.

Geodeziyaning oldingi shartlarida qo'yilgan, kuzatishlardagi cheklashlar natijasida, ikkita har xil turlardagi geodezik tizimlarda bajarilganlari tarixiy ahamiyatga ega bo'ldi:

- geodezik to'r punktlari B' , L' koordinatalari bilan mahkamlangan, ikki o'lchamli kontinental planli geodezik tizimlar, masalan, 1942-yil ($SK-42$), 1995 yil ($SK-95$) koordinata tizimlari;

- nivelirlash kuzatishlarini tenglashtirish asosida quriladigan va ellipsoiddan qat'i nazar, fizik geodezik asos bilan, mohiyati bo'yicha, to'liq mustaqil kontinental balandlik tizimlari hisoblanadi.

Bunday tizimlarga, 1942-yilda Rossiyada qabul qilingan, Boltiq balandlik tizimi va 1929-yilda AQSHda qabul qilingan, Milliy balandlik geodezik tizimi (National Geodetic Vertical Datum, NGVD29) kiradi. Ushbu tizimlarda, nuqta balandliklari geoid (kvazigeoid) ga nisbatan beriladi. Bu yo'nalishda ilmiy tadqiqotlar olib borilayotgan

bo'lsada, global balandlik tizimi, hozircha aniqlanmagan va qabul qilinmagan [54].

AQSHda qabul qilingan *NAD-83*, *GPS-80* ellipsoidiga tegishli, global planli koordinata tizimiga misolni o'zida ifodalaydi. Ushbu tizimni o'rnatilishida garchi, *RSDB* ma'lumotlari va yo'ldoshlarni doplerli kuzatishlari qo'llanilgan bo'lsa ham, to'rni tenglashtirishda ellipsoiddan nuqtalar balandligiga tuzatmalar, ya'ni *NAD-83*- planli koordinata tizimi, kiritilmagan edi [150].

An'anaviy geodezik o'lchashlar bo'yicha o'rnatilgan, kontinental planli koordinata tizimlari geotsentrik hisoblanmaydi. Kuzatilgan kenglik va uzoqlik qiymatlari, qabul qilingan shovun chizig'ining og'ishi va geoid balandligi to'rning boshlang'ich nuqtalarida (*SK-42* uchun Pulkovo punkti yoki *NAD-27* uchun AQSHda Meades Ranch), shuningdek, ellipsoidlarga mos keluvchi tanlangan parametrlar geotsentrga nisbatan, tizim boshlanishi siljishlariga ta'sir qiladi. Laplas qisqartirilgan tenglamasini va astronomik azimutlarda o'lchangan xatoliklarning qo'llanilishi, lokal referens va umumiyer tizimlari o'qlarini parallel bo'lmasligiga olib keladi. Turli o'lchash usullari va asoslarni qayta ishlashlar hamda metrning turli etalonlaridan foydalanish, tizim masshtabini bir-biridan farq qilishlariga olib keladi.

Ayrim lokal referens-ellipsoidlar parametrlari 3.1-jadvalda keltirilgan.

3.1-jadval

Ayrim lokal referens-ellipsoidlarning parametrlari

Tizim	Ellipsoid	Katta yarim o'q, a (m)	Siqqlik maxraji, $1/a$
<i>SK-42</i>	Krasovskiy, 1940	6378245	298.3
<i>SK-95</i>	Krasovskiy, 1940	6378245	298.3
<i>NAD-27</i>	Klark, 1886	6378206.4	294.9786982
<i>NAD-83</i>	<i>GPS80</i>	6378136	298.257222101
<i>ED-50</i>	Xeyford, 1924	6378388	297.0

3.1.1. SK-42 va SK-95 tizimlari

1942-yil tizimi ($SK - 42$) Rossiya (sobiq SSSR)da foydalanish uchun qabul qilingan. 1946-yil yangi ellipsoid parametrlari qabul qilingandan keyin, MDH davlatlarida kartografiya va astronomik-geodezik qurilmalarni qayta ishlash uchun, Pulkovo punktida berilgan geodezik sana boshlang'ich tizimi va Krasovskiy referens-ellipsoidi ko'rinishiga nisbatan yuza o'rnatilgan. Yangi referens-ellipsoid parametrlari xulosalari bo'yicha ishlar Moskva shahridagi "Geodeziya, aerofotoplan olish va kartografiya markaziy ilmiy tadqiqot instituti (SNIIGAiK)"da professor F.N.Krasovskiy rahbarligi ostida 10 yil mobaynida olib borildi. Ellipsoid parametrlarni chiqarish uchun, dastlab, sobiq SSSR va chet-el territoriyasidagi gravimetrik ma'lumotlar jalb etildi. Bu tizim "194-yil tizimi" ($SK - 42$)nomini oldi [31, 53].

1942-yil koordinata tizimining ($SK - 42$) boshlanishi, nazariy aniqlashlar bo'yicha, yer massasi markaziga yaqindir. Z_{42} o'qi umumiyer tizimidagi Z o'qiga paralleldir, X_{42} o'qi uzoqlik hisobi qabul qilingan tizimlari no'l-punktidan aniqlanadi, Y_{42} o'qi tizimni to'g'rigacha to'ldiradi.

$SK - 42$ referens-ellipsoidining markazi to'g'ri burchakli koordinata tizimi (X_{42}, Y_{42}, Z_{42})boshlanishi bilan mos keladi, aylanish o'qi Z_{42} o'qi bilan mos keladi, boshlang'ich meridian tekisligi $(XOZ)_{42}$ tekisligi bilan mos keladi.

Tizim Rossiya territoriyasi Yevropa qismining to'liq qoplovchi va sharq tomonga ingichka poligonlar zanjiri ko'rinishida tarqatilgan 1-klass 87 ta triangulyatsiya tenglashtirilgan poligonlari to'rlari ko'rinishida qo'llanilgan. Triangulyatsiya to'rlari alohida bloklarda tenglashtirilgan. Bloklar chegarasida oldingi tenglashtirish natijalari xatolarsiz qabul qilindi va shunday qilib koordinatalar sharqqa tomon uzatildi. 1-klass poligonlari karkasiga 2-klass triangulyatsiya to'ldiruvchi to'rlari kiritildi. Bunday to'rlarni qurish prinsipi to'rda muqarrar deformatsiyani paydo bo'lishiga olib keldi.

1991-yilda mamlakat territoriyasida qurilgan 164000 punktlardan astronomik-geodezik to'r (AGT) bitta butundek tenglashtirilgan. Tenglashtirish natijalari to'rda sezilarli, ya'ni shimolda va sharqda 20-30 metrga yetadigan, deformatsiyaning borligini tasdiqladi.

Bloklar chegarasidagi lokal deformatsiyalar, ayrim hollarda, 10 m ga yetardi. Tenglashtirilgan toʻrdagi oʻzaro punktlarning joylashishi 10, 100, 1000 va 10000 km masofalarda, mos ravishdagi oʻrta kvadratik xatoligi 6, 20, 60 va 200 sm dan iboratdir.

Astronomik-geodezik toʻrlarning oʻtkazilgan tenglashtirishlari, butun mamlakat boʻyicha, yangi bir xil aniqlikdagi koordinata tizimi kerakligini koʻrsatdi. Aniqlikni oshirish uchun, harbiy geodezistlar tomonidan qurilgan, Kosmik geodezik toʻrning (*KGT*) 26 punktlari yuqori aniqlikdagi yoʻldosh oʻlchashlari va Roskartografiya tomonidan yaratilgan Dopler geodezik toʻrlarining (*DGT*) 134 punktlari natijalarini qoʻllash masalasi yechilgan edi. Qoʻshimcha oʻlchashlar sifatida, kvazigeoidning gravimetrik balandligidan foydalanib, geodezik punktlarning geotsentrik masofalari kiritildi. 1995-yilda oʻtkazilgan, birgalikdagi tenglashtirish natijalari, *SK-95* geodezik koordinata tizimi uchun asos boʻldi.

SK-95 tizimining oʻqi *PZ-90* umumiyer tizimi oʻqiga parallel, yaʼni ushbu tizimlar orasidagi bogʻliqlik faqat uchta koʻchirish parametrlari bilan oʻrnatiladi. Tizimni qoʻllashning boshqa shartlari Pulkovo punkti geodezik koordinatasini oʻzgarmasligi bilan bogʻliqdir, yaʼni *SK-42* va *SK-95* tizimlarida geodezik toʻr koordinata tizimlari bir xil qabul qilingan. Bu nostandart qaror shunga olib keldiki, Rossiyaning Yevropa qismi va Sibir janubidagi koordinata punktlaridagi tuzatmalar juda kichik boʻlganligi sababli, 1:10000 masshtabgacha kartalarni qayta chop ettirish talab etilmadi. Mamlakat shimoli-sharqiy rayonlari uchun esa, bunday masshtabdagi kartalar yoʻq hisobi.

SK-95 Yer massasi markaziga bogʻlash aniqligi 1 m atrofida tavsiflanadi. *SK-95* tizimidagi davlat geodezik toʻrlari koordinata punktlari barcha toʻrlar uchun bir xil aniqlikka ega. Qoʻshni punktlar uchun, oʻzaro joylashish xatosi 3–5 sm, 200–300 km uzoqdagi punktlar uchun 20–30 sm, 500 va undan koʻp kilometrda punktlar uchun esa, xatolik 50–80 sm gacha oshib boradi. Hisobiy yuza sifatida Krasovskiy referens-ellipsoidi qabul qilingan [31].

3.2. Balandlik tizimlari

3.2.1. Balandlik tizimlarini aniqlash

Geoid yuzasidagi A nuqtadan B nuqtaga – nivelir to‘ri boshlanishidan balandlikni uzatish uchun (3.1-rasm), geometrik nivelirlash usulida barcha stansiyalarda o‘lchangan nisbiy balandliklar yig‘iladi:

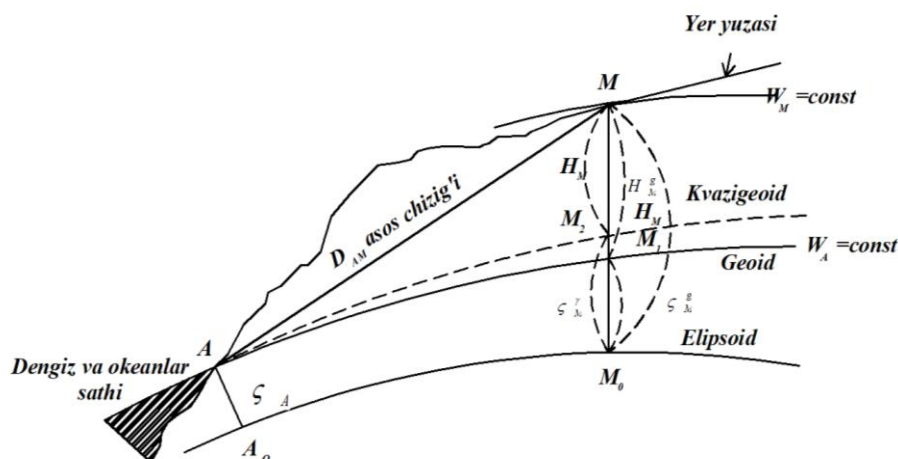
$$H_B = \sum_O^B \Delta h = \int_{(OB)} dh \quad (3.1)$$

Bunday tarzda olinadigan balandlik nivelirlash yo‘liga bog‘liq. Bu anomal massa borligi shartlaridan, sathiy yuzalarni parallel emasligidan kelib chiqadi.

A va B nuqtalardan sathiy (ekvipotensial) $W_A = const$ va $W_M = const$ yuzalarni o‘tkazamiz. A nuqta orqali o‘tuvchi va dengiz sathiga mos keluvchi, sathiy yuza, *geoid* hisoblanadi. Shuni nazarda tutish kerakki, tinch holatdagi dengizning topografik yuzasi ekvipotensial yuza hisoblanmaydi. Ular orasidagi mos kelmaslik 2,5 metrga yetishi mumkin. Xuddi shunday, AA_0 va MM_0 kuch chiziqlarini, ularni ellipsoid bilan kesishish-guncha o‘tkazamiz. Nuqta orqali o‘tuvchi, kuch chiziqlari bo‘yicha hisoblanadigan, geoid va berilgan nuqta orasidagi masofa *ortometrik balandlik* deyiladi. M nuqta uchun ortometrik balandlik quyidagi formula bo‘yicha hisoblanishi mumkin:

$$H_M^g = \frac{1}{g_m} \int_A^M g dh \quad (3.2)$$

bu yerda: g_m – MM_1 kesmadagi haqiqiy og‘irlik kuchining o‘rtacha qiymati, g esa – AM nivelirlash chizig‘i bo‘ylab, og‘irlik kuchi qiymati.



3.1-rasm. Balandlik tizimlaridagi yuzalarni solishtirish.

Ortometrik balandlik aniqligi uchun, zarar yetkazmasdan, ellipsoidga normal bo'yicha sanoqni olish mumkin. Ortometrik balandlikning kamchiligi bo'lib, ularni aniq hisoblashda, yer qobig'i tuzilishini bilish talab etiladi, boshqacha aytganda, ortometrik balandlikni hisoblash aniqligi, yer qobig'i tuzilishi haqida qabul qilingan gipotezaga bog'liqdir.

M.S. Molodenskiy tomonidan taklif etilgan normal balandlik tizimi, ushbu kamchilikdan xolidir, unda nuqta balandligi quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$H_M^\gamma = \frac{1}{\gamma_m} \int_A^M g dh \quad (3.3)$$

bu yerda: γ_m – ellipsoiddan $H = \frac{1}{2} H_M^\gamma$ balandlikdagi og'irlik kuchi qiymati. Ellipsoid yuzasida γ_o normal og'irlik kuchi Gelmertning formulasi (yoki Somilyana formulasi) bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$\gamma_o = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B) \quad (3.4)$$

bu yerda:

$$\beta = \frac{\gamma_z - \gamma_e}{\gamma_e} = 0.00530248 \quad (3.5)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{8} \alpha^2 - \frac{1}{4} \alpha \beta = 0.00000585 \quad (3.6)$$

bu yerda: H – ellipsoiddan balandlik. $\alpha = 1/298.257 \pm 0.001$ – ellipsoid siqirligi va $\gamma_e = 978033 \text{ mgal}$ – ekvatoridagi og'irlik kuchi uchun, koeffitsiyent qiymatlari keltiriladi.

Normal balandliklar nazariy jihatdan qat'iy aniqlanadi, chunonchi, γ_m amaliy jihatdan xatosiz hisoblanishi mumkin. (3.3) formula bo'yicha hisoblangan, normal balandliklar, kvazigeoid yuzasidan hisoblanadi. Ortometrik va normal balandliklar orasidagi farqni quyidagi formula bilan baholash mumkin [33]:

$$H^g - H^\gamma = (g_m - \gamma_m) H^\gamma / g_m \quad (3.7)$$

Tog'lik rayonlarda kvazigeoid geoiddan 2–3 metr ga cheklanishi mumkin, ammo, ko'p hollarda, bu qiymat bir necha santimetrlarni tashkil etadi. Dengiz va okeanlarda kvazigeoid geoid bilan mos keladi.

GPS texnologiyalarni qo'llab, asos chiziqlarini nisbiy usullarda o'lchashlarda, *ellipsoidal balandlik* farqlari o'lchanadi:

$$\Delta H_{AM} = H_M - H_A \quad (3.8)$$

M nuqtaga normal (yoki ortometrik) balandlikni uzatish uchun, asos chizig'ining boshlanishi va oxiri uchun ellipsoiddan kvazigeoid (yoki geoid) balandligini bilish kerak, ya'ni kvazigeoid (yoki geoid) haqidagi ma'lumotlarni jalb etish kerak:

$$H_M^\gamma = H_A^\gamma + \Delta H_{AM} + \zeta_A^\gamma - \zeta_M^\gamma, \quad H_M^g = H_A^g + \Delta H_{AM} + \zeta_A^g - \zeta_M^g. \quad (3.9)$$

GPS/GLONASS o'lchashlarida geoidni aniqlash usullari keyingi boblarda ko'rib chiqiladi.

3.2.2. Boltiq balandlik tizimi

Rossiya (MDH) zamonaviy nivelir to'rlari *I, II, III* va *IV* klass to'rlariga bo'linadi. Balandlik bosh asosi temir yo'llar, shosse, yaxshi grunt yo'llar, katta daryolarning qirg'oqlari bo'ylab, ayrim hollarda, gruntli yo'llar va so'qmoqlar bo'ylab o'tkaziladigan *I* va *II* klass to'rlari hisoblanadi.

Nivelir to'ri yopiq poligonlar va katta uzunlikdagi alohida chiziqlar ko'rinishida quriladi. *II* klass nivelir to'rlari *I* klass reperlariga tayanadi va poligonlar ko'rinishida yashash rayonlarida 400 dan 800 km gacha va yashamaydigan rayonlarda 1000-2000 km perimetrlar bilan quriladi. Mamlakat sharqida *I* va *II* klass nivelir chiziqlari, ayrim hollarda, 6000-7000 km ga yetadi. *III* va *IV* klass to'rlari yuqori klass poligonlari ichida o'tkaziladi, chunonchi, *III* klass poligoni perimetrlarining chegaraviy qiymati – 150 km (sharqiy rayonlarda 300 km gacha)dan ko'p emas, *IV* klass chiziq uzunliklari 50 km dan ko'p emas. Barcha klassdagi nivelir to'rlari joylarda, har 5 kilometrda reper yoki devor markalari bilan mahkamlanadi. *I, II, III* va *IV* klass nivelirlashlaridagi xatolik millimetrlarda $3\sqrt{L}$, $5\sqrt{L}$, $10\sqrt{L}$ va $20\sqrt{L}$ dan mos ravishda oshmasligi kerak, bu yerda L yo'lining uzunligi, kilometrda.

1970-yillarning o'rtalarida sobiq SSSRda yuqori aniqlikdagi *I* va *II* klass nivelirlash to'ri qurilgan edi. *I* klass chizig'ining umumiy uzunligi 70000 km, *II* klass chizig'i esa – 360000 km. *I* va *II* klass nivelirlash to'rini tenglashtirishda “G'arb” va “Sharq” bloklariga bo'lingan edi, ular orasidagi chegara “Arxangelsk – Kazan – Orol dengizi - Aris” *I* klass chizig'i bo'yicha o'tkazilgan. Hisoblashlar, Kronshadt futshtoki nolidan normal balandlik tizimida bajarilgan. Bir kilometr yo'ldagi o'rtacha kvadratik xatolik quyidagidan iborat: “G'arb” blokida

I klassda 1.6 mm, *II* klassda 2.7 mm – “Sharq” blokida *I* klassda 2.1 mm, *II* klassda 3.6 mm.

Bu shundan dalolat beradiki, uzoqlik bo'yicha 10000 km va kenglik bo'yicha 3000 km. dan ko'proq cho'zilgan, 1977-yil Boltiq balandlik tizimida mahkamlangan to'r (*BSV-77*), juda yuqori aniqlik bilan qurilgan. Kronshtadt futshtogidan eng uzoqdagi punktlar 15 sm. dan ko'p bo'lmagan o'rta kvadratik xatolik bilan aniqlangan [52]. SNIIGAiK ma'lumotlari bo'yicha, tenglashtirish natijalariga ko'ra, nivelir to'rining aniqligi bir kilometr yo'lga, quyidagi o'rta kvadratik xatolik bilan tavsiflanadi: *I* klass 0.5 mm, *II* klass 0.8 mm, *III* klass 1.6 mm va *IV* klass 6 mm [35].

3.2.3. Topotsentrik koordinatalar tizimi

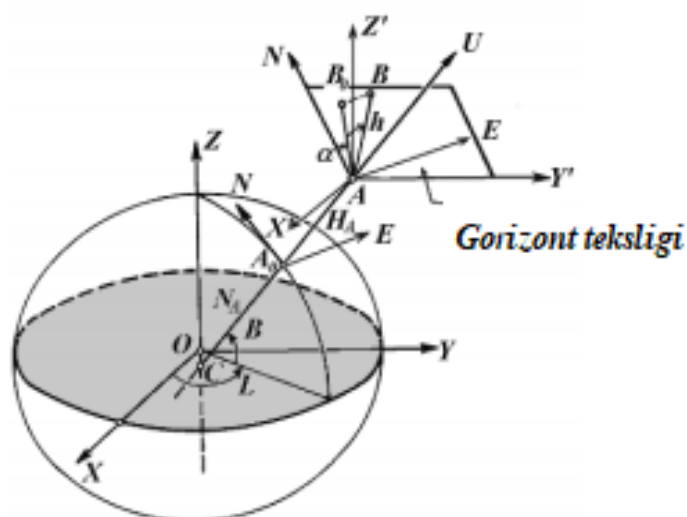
Topotsentrik tizimning boshlanishi qaysidir *A* kuzatish nuqtasida joylashgan, o'qlari esa mos keluvchi geotsentrik koordinata tizimi o'qlariga paralleldir. Shuningdek, haqiqiy osmon topotsentrik tizimini $Ax'y'z'$, *t* – davrdagi o'rtacha osmon topotsentrik tizimini $t - Ax_t'y_t'z_t'$, umumiyer topotsentrik tizimini $AX'Y'Z'$ va boshqalarni hosil qilish mumkin. Bunday koordinatalar yordamida, punktlarning o'zaro joylashuvi beriladi. Bu tizimlar orasidagi bog'liqlik, geotsentrik tizimlar orasidagidek, formulalar bilan ifodalanadi.

Yo'ldoshli usullar bilan geodezik to'rlarni qurishda ko'p hollarda, lokal geodezik tizimlar qo'llaniladi, ularning asosiy tekisligi bo'lib, geodezik gorizont tekisligi hisoblanadi, *U* o'qi geodezik zenit punktga, *N* o'qi – shimolga, *E* o'qi – sharqqa yo'naltirilgan (3.2-rasm). *ENU* koordinatalarni $X'Y'Z'$ topotsentrik koordinatalar bilan bog'liqligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ U \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}. \quad (3.10)$$

R matritsa *A* punktning geodezik koordinatalari orqali ifodalanadi:

$$R = R_1(90 - B)R_3(90 + L) = \begin{bmatrix} -\sin L & \cos L & 0 \\ -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B \end{bmatrix}. \quad (3.11)$$



3.2-rasm. NEU lokal koordinata tizimi.

Ushbu tizimdagi B punktning sferik koordinatalari bo'lib quyidagilar hisoblanadi:

α geodezik azimut va h gorizontdan geodezik balandlik:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{E}{N}; \quad \operatorname{tgh} = \frac{U}{\sqrt{E^2 + N^2}}. \quad (3.12)$$

Ma'lumki, E, N, U koordinatalar A punktdan B ga va B punktdan A ga nafaqat ishoralari bo'yicha, balki qiymatlari bo'yicha ham farq qiladi.

4-BOB. VAQT TIZIMI

4.1. Yo‘ldosh texnologiyasida vaqtning funksiyasi

Kosmik geodeziya, asosan, Yer tashqarisidagi obyektlardan signal-larning o‘tish vaqtini o‘lchaydi. Shunga ko‘ra, kuzatuvchi ham, kuza-tilayotgan obyektlar ham, doimiy harakatda bo‘ladi. Shuning uchun, vaqtni aniqlash fundamental bo‘lib hisoblanadi. Vaqtning ikkita funksiyasi: davr va interval ko‘rib chiqiladi. Davr voqealar momentini, interval esa vaqt shkalasiga mos keluvchi qaysidir birliklarda o‘lchan-gan, ikki davr orasida oquvchi vaqtni aniqlaydi.

Kosmik geodeziya vazifalarini yechishda, vaqt ikkita funksiyani bajaradi:

- Yer koordinata tizimini, osmon koordinata tizimiga nisbatan, burilish burchagini ko‘rsatadi, bu bir tizimdan boshqasiga o‘tishda keraklidir;

- tabiiy va sun‘iy osmon jismlarining harakat tenglamalarida mustaqil o‘zgaruvchi sifatida qatnashadi.

Yechiladigan vazifaga mos ravishda, vaqt tizimining ikki turi qo‘llaniladi: *astronomik* va *atom* vaqtlari. Astronomik vaqt tizimi Yerning sutkalik aylanishi bilan bog‘liq. Yerning aylanishi doimiy hisoblanmaydi. Uning tezligi davriy o‘zgarishlarni va yiliga sekundlar tartibidagi, uzoq muddatli siljishlarni ko‘rsatadi. Unga qarama-qarshi, atom vaqt tizimi qat‘iy bir tekis shkalaga ega. Ularning vaqtdagi doimiyligi yiliga mikrosekundlar tartibidagi aniqlikda tavsiflanadi, ya‘ni astronomik vaqt tizimiga qaraganda, olti martadan ko‘p, tartibga yuqoridir. Ammo, juda yuqori natijalar aniqligi talab etilganda, davriy tavsifga ega, umumiy va maxsus nisbiylik nazariyasi effekti hisobga olinmaganligi natijasida, atom vaqt tizimi yetarli bo‘lmay qoladi. Bunday hollarda, *dinamik vaqt* qo‘llaniladi. Bundan tashqari, turli xil vaqt tizimlari orasidagi ishonchli o‘zaro bog‘liqlik ta‘minlanishi shart.

Yuqorida ko‘rsatilgan, barcha holatlarda, nol punkt tizimiga nisbatan, momentlarni bilish kerak, ya‘ni mos keluvchi vaqt shkalasiga voqealarni absolut bog‘lash kerak bo‘ladi. Uning qanday tezlik bilan ishlashi: Yerning aylanish tezligi, yo‘ldoshni orbita bo‘ylab, harakat tezligi yoki elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish tezligi shartlariga bog‘liqdir. Masalan, inersial tizimdan, yer tizimiga o‘tishda,

koordinatalarni millimetr aniqlikda, qayta hosil qilishga erishish uchun, vaqtni 10 mks atrofidagi aniqlikda bilish kerak bo'ladi. Bunday vaqt oralig'ida yo'ldosh 5 santimetrgacha uchib o'tadi. Bundan yuqori aniqlik esa, vaqt intervallarini o'lchashda kerak bo'ladi. Yo'ldosh priyomniklaridagi asosiy o'lchashlar, yo'ldoshdan priyomnikkacha signallarni o'tish vaqtini aniqlashdan iboratdir. Bu vaqtni, elektromagnit to'lqinlariga ko'paytirib, yo'ldoshgacha uzoqlik topiladi. Bu yerdagi 10 mks xatolik, uzoqlikda 3 km xatolikni beradi. Zamonaviy navigatsiya tizimlarda qo'llaniladigan, uzoqlikni bir yo'nalishli usulda aniqlash, vaqt intervallarini o'lchashni, juda yuqori darajadagi aniqligini va vaqt shkalasiga bir vaqtda bog'lashni talab etadi. Buning uchun, yo'ldoshlarda atom soatlari (seziyli va rubidiyli)dan foydalaniladi. Priyomniklarda, odatda qimmat bo'lmagan va kam aniqlikdagi kvars soatlar o'rnatiladi. Monitoring maqsadlari uchun, davomiyli kuzatishlarni bajarishda, priyomnik vodorod standart chastotasiga ulanishi mumkin. So'nggi ikki o'n yillikdagi vaqtni o'lchash va saqlash uchun, ishlab chiqarilgan asboblarning jarayonini kuzatishlar, jumladan, atom soatlarining paydo bo'lishi, yo'ldoshli texnologiyalarni ishlab chiqarish uchun prinsipial imkoniyatlarni ochib berdi.

4.1.1. Astronomik vaqt tizimi

Astronomik vaqt tizimi, Yerning sutkalik aylanishiga asoslangan. Astronomik vaqt shkalasini qurish uchun etalon bo'lib, osmon sferasiga bog'liq va u bo'yicha vaqtni o'lchash olib boriladigan, Quyosh yoki yulduz sutkasi xizmat qiladi. *s* haqiqiy yulduz vaqti deb, bahorgi teng kunlik haqiqiy nuqtasining soat burchagiga aytiladi. Bu vaqtni, qaysidir yulduzni kulminatsiya momentida kuzatganda, ya'ni meridian joyidan o'tayotganida aniqlash mumkin. Yulduzlar yuqori kulminatsiyasi uchun, soat burchagi nolga teng, unda yulduz vaqti, uning haqiqiy to'g'ri chiqishiga teng:

$$s = \alpha. \quad (4.1)$$

Har qaysi observatoriya yulduz vaqti, vaqtni ushbu tarzda aniqlovchi, Grinvich meridianiga keltiriladi:

$$S = s - \lambda, \quad (4.2)$$

bu yerda: λ – kuzatish momentidagi observatoriyaning astronomik uzoqligi, s – Grinvich haqiqiy yulduz vaqti. Osmon efemerida qutbi bilan bog‘langan s vaqt va λ uzoqlik.

s haqiqiy Grinvich yulduz vaqtiga (Greenwich Apparent Siderial Time – *GAST*) *teng kunlikni tenglashtirish* deb nomlanadigan, to‘g‘ri ko‘tarilish nutatsiyasi uchun tuzatma kiritiladi va $\tilde{S}$ Grinvich o‘rtacha yulduz vaqti (Greenwich Mean Siderial Time – *GMST*) hosil qilinadi:

$$\tilde{S} = S - \Delta\psi \cos(\varepsilon + \Delta\varepsilon) \quad (4.3)$$

$\tilde{S}$ o‘rtacha yulduz vaqti *kuzatishlardan olingan, dunyo vaqti* deb ataladigan va *UTO* bilan belgilangan, Grinvich meridianning o‘rtacha quyosh vaqtiga o‘tkaziladi:

$$UTO = (\tilde{S} - \tilde{S}_o) - \nu(\tilde{S} - \tilde{S}_o). \quad (4.4)$$

So‘nggi formulada: ν – yulduz vaqtidan o‘rtacha Quyosh vaqtiga o‘tish koeffitsiyenti, 0.0027304336 ga teng, $\tilde{S}_o$ – dunyo vaqti bo‘yicha yarim tundagi Grinvich o‘rtacha yulduz vaqti ($UT1 = 0^h$ momentida):

$$\tilde{S}_o = 6^h 41^m 50.54841^s + 840184812866^s \cdot \Delta t' + 0.093104^s \cdot (\Delta t')^2 - 6.2 \cdot 10^{-6} \cdot (\Delta t')^3 \quad (4.5)$$

bu yerda: $\Delta t' = JD(t) - 24515450 - 2000$ -yil davridan sutkalar soni, 1-yanvar, $12^h UT1$, $\pm 0.5, \pm 1.5, \dots$ va h.k. qiymatga ega [102].

φ va λ astronomik koordinatalari mavjud, observatoriya uzoqligiga, Yer qutbi harakatining ta’siri *UTO* dan istisno qilingandan keyin, dunyo vaqti *UT1* hosil bo‘ladi:

$$UT1 = UT0 - (x_p \sin \lambda - y_p \cos \lambda) \cdot \tan \varphi / 15. \quad (4.6)$$

Bu vaqt, Grinvich meridiani o‘rtacha Quyosh vaqti (Greenwich Mean Time – *GMT*) hisoblanadi. Uni, ekvator bo‘yicha tekis harakatlanuvchi, uzoqlik hisobi boshlang‘ich (tayanch) meridiani bilan va sohta nuqta – Quyosh ekvatorial o‘rtachasi orasidagi burchakdek qarash mumkin. Aynan, shu vaqt Yerning fazodagi haqiqiy oriyentirlashini beradi.

UTO va *UT1* vaqt, observatoriyalarda Oyning lazer lokatsiyasi va geodezik yo‘ldoshlarning natijalari bo‘yicha aniqlanadi. *UT1* vaqt kuzatishlaridan olinganlar, dunyo muvofiqlashtirilgan vaqti *UTC* bilan taqqoslanadi, bu *UT1–UTC* Yerning aylanish parametrlaridan birining qiymatini beradi.

4.1.2. Atom vaqt tizimi

Xalqaro atom vaqti *TAI* 1955-yilning iyulida asosiy vaqt standarti sifatida kiritilgan edi. Atom vaqtigacha doimiy vaqtga, eng yaqini efemerid vaqt *ET* edi, unda aylanish tezligidagi barcha ma'lum o'zgarishlarni yo'qotish uchun, Yer aylanishining eng yaxshi nazariyasidan foydalanilgan. Efemerid vaqtdan foydalanish 1984-yilgacha davom etgan. Bu vaqtgacha u, sayyora efemeridlari uchun, mustaqil o'zgaruvchan vaqtinchalik edi.

Atom sekundi, 133 seziyning ikkita energetik darajasi orasidagi 9192631770 o'tishlarning qarshiliksiz tebranishlaridek aniqlangan. Bu son, Xalqaro tizim *SI* ilmiy birligidan astronomik vaqt tizimi sekundiga, vaqt birligi fundamental kattaligini yaqinlashtirish uchun tanlangan. *TAI* vaqti turli davlatlarning 50 dan ziyod markaziy ilmiy laboratoriyalari atom guruhlari tomonidan hisoblanadi. Buni Parij yaqinidagi, Sevreda joylashgan, o'lchov va vazn Xalqaro byurosi (*BIN*) bajaradi, buning uchun soatlarni taqqoslashning turli usullari, shu jumladan, radionavigatsiya tizim signallari *Loran-C*, teletranslyatsiya va *GPS* ham qiradi. *TAI* vaqt shkalasi *UT1* shkalasi bilan 1958-yilning 1-yanvarida moslashtirilgan edi.

TAI atom vaqti va *UT1* xalqaro vaqt orasidagi bog'liqlik *UT1-AT1* farqlar orqali yoki *UTC* xalqaro muvofiqlashtirilgan vaqt orqali olib boriladi, shuning uchun ham, *UT1-UTC* shkala farqlari umumlashtiriladi. *UTC* vaqti o'zining tabiatiga ko'ra, atomli hisoblanadi. Undan aniq vaqt signallarini uzatish uchun foydalaniladi. Ammo, *UT1-UTC* qiymatlari farqi, vaqt aniqligi *UTC* bo'yicha 0.9 sekunddan oshmasligi kerak. Uni, bu qiymatga yaqinlashtirishda, *UTC* shkalasi 1 sekundga sozlanadi. Shuning uchun, *UTC* vaqt shkalasi pog'onali-tekis hisoblanadi.

UTC shkalasini ± 1 sekundga sozlash o'lchov va vazn Xalqaro byurosi tomonidan Xalqaro Yer aylanishi xizmati tavsiyasi bo'yicha olib boriladi. Buni amalga oshirish, yiliga bir marta kvartal oxirida, barcha foydalanuvchilar bilan bir vaqtda bajariladi. Sozlash qiymati va momenti to'g'risida ogohlantirish oldindan (kamida uch oy) foydalanuvchiga xabar qilinadi.

Kuzatishlardan aniqlangan, *UT1-UTC* va *UT1-TAI* qiymatlarining farqi, doimiy ravishda "Butunjahon vaqti va qutb koordinatalari" (*E*

seriyasi) byulletenlarida chop etib boriladi. UT_1-UTC shkalalar farqi 7 haftaga, haftalik taxmin qilinadi. Oldindan hisoblangan qiymatlar A seriyasidagi byulletenlarda chop etiladi, iste'molchilarga xabar beriladi va aniq vaqt radiosignallari tarkibida uzatiladi.

Xalqaro Yer aylanishi xizmati (MCB_3), Rossiya vaqt va chastotalar Davlat xizmati ($GSVCh$) va AQSH Dengiz observatoriyasi ($USNO$) tomonidan qo'llaniladigan, atom va dunyo vaqti shkalalarini farqlash kerak bo'ladi. ($GSVCh$) vaqt tizimi belgilanishida (SU) qo'shimchaga ega, $USNO$ vaqt shkalasi esa – (US), masalan, $TA(SU)$ va $TA(US)$. Xalqaro shkalalar hech qanday eslatmaga ega emas. Ushbu izoh, Yerni oriyentirlash boshqa parametrlariga ham tegishli.

Vaqt shkalasi ba'zi farqlarini keltiramiz:

- $TAI - TA(SU) = 2.8272c$,
- $TA(SU) - UTC = 26.1728c$ (1.07.94 yildan),
- $TAI - UTC = 29.0000c$ (1.07.94 yildan).

4.1.3. Dinamik vaqt tizimi

Dinamik vaqt nisbiylik umumiy nazariyasi (OTO)ga mos ravishda gravitatsion maydonda, jismlarning harakatlanish tenglamalaridagi, mustaqil o'zgaruvchi hisoblanadi. Eng yaqin inersial sanoq tizimi, unga Quyosh tizimi (baritsentr) massasi markazi boshlanishiga ega, OTO orqali kirishdir. Dinamik vaqt, ushbu tizimda o'lchanadigan, Baritsentrik dinamik vaqt (Barycentric Dynamical Time, TDB) deb nomlanadi. Yerda joylashgan, soatlar, Quyosh gravitatsion maydonida, Yerning harakatlanishi natijasida, TDB ga nisbatan, 1.6 ms gacha davriy o'zgarishlarni ko'rsatadi. TDB vaqti $RSDB$ uchun muhim, bu yerda, yer observatoriyalari galaktikadan tashqaridagi radiomanbalarning signallarini yozib boradi. Yer yo'ldoshlari harakati tenglamalarini yozish uchun, TDT (Terrestrial Dynamical Time – TDT) dan foydalanish yetarlidir, u Yerning gravitatsion maydonida harakatlanishi uchun, yagona vaqt shkalasini taqdim etadi. U (aniqlanishi bo'yicha) ham, Yerdagi atom soatlari tezligiga ega.

TDT vaqti, Yer sirtida SI tizimida soatlar bo'yicha sekundlar bilan o'lchanadigan, Baritsentrik vaqt uchun o'xshashdek, 1976-yilda Xalqaro astronomik ittifoq (XAI)da aniqlangan edi. TDT vaqti xalqaro

atom vaqti *TAI* ning nazariy ideal ko‘rinishi bo‘lishi mumkin. Natijada, *XAI* shunday yechim topdi, *TDT* deb nomlanishi aniq emas, chunonchi, Quyosh tizimida, osmon jismlari harakat nazariyasining qandaydir dinamik vaqtiga mos kelmaydi. 1991-yilda Xalqaro astronomik ittifoq *TDT* vaqtini *yer vaqti* (Terrestrial Time, *TT*) ga qayta nomladi.

XAI kelishuviga mos ravishda

$$TDB = TT + 0.001658^s \sin(g) + 0.000014^s \sin(2g), \quad (4.7)$$

bu yerda: g –Quyoshning o‘rtacha anomaliyasi,

$$g = (357,528^\circ + 35999,050^\circ \Delta t)(\pi / 180^\circ), \quad (4.8)$$

Δt esa yulian yuz yilliklari *TDB* ga mos ravishda beriladi.

TT Yer vaqti, foydalanishdan chiqarilgan efemerid vaqtni o‘rnini egallagan, zamonaviy vaqt shkalasi hisoblanadi. *TT* Yer vaqti Xalqaro astronomik ittifoq tomonidan, Yer sirtidagi kuzatuvchi uchun, nisbiylik nazariyasi bilan kelishuvchi, koordinata vaqtidek kiritilgan edi. *TT* va *TDB* vaqt shkalalari shunday aniqlanganki, ularning notekisligi faqat, Quyosh tizimi baritsentriga nisbatan, Yerning orbital harakatlanishi natijasida, davriy xarakterga ega. Yer qachon perigeliy (Quyoshga yaqin)da joylashganda, bu jarayon yanvarda sodir bo‘ladi, maxsus va umumiy nisbiylik nazariyasi birgalikdagi, ta’sirlari natijasida *TDB* ga qaraganda, *TT* sekin yuradi. Yer perigeliyda tez harakatlanadi, hamda Quyosh gravitatsion maydoniga chuqurroq kirib borishida esa, bu ikki ta’sir Yerdagi soat yurishi tezligini sekinlashtiradi. Afeliyda (iyulda) teskari voqealar sodir bo‘ladi. Ko‘pchilik amaliy maqsadlar uchun, *TT* vaqtni quyidagi formula bilan hisoblash mumkin:

$$TT = TAI + 32.184c. \quad (4.9)$$

4.1.4. Radionavigatsiya tizimidagi vaqtlar

GPS yo‘ldoshlaridan uzatiladigan signallar, *GPS Time (GPST)* vaqt tizimiga tegishlidir. *GPST* vaqti, kuzatish stansiyalarida va yo‘ldosh bortlarida joylashgan, seziyli va rubidiyli chastota standartlari to‘plamidan o‘lchashlar asosida aniqlanadi. Ushbu, atom vaqti nol-punkt shkalasi 1980-yilda *UTC* vaqt shkalasi bilan moslashtirilgan edi. Ammo, *GPST* va *UTC* orasida ikkita muhim farq bor. Birinchidan, *GPST* haqiqiy vaqtda aniqlanadi, ikkinchidan esa, bu uzluksiz vaqt shkalasidir, unda sekund sakrashlari e’tiborsiz qoldiriladi. *GPST* vaqti, *UTC(USNO)*

vaqtlari bilan 1 mks (sekund sakrashlarini hisobga olmaganda) oraliqlarda qolishi uchun, shunday tarzda tartibga solinadi. Natijada, $GPST$ UTC dan butun sekund soniga musbat mikrosekundlar ulushiga farq qiladi. Aynan, 1.01.2001 yilda $GPST = UTC + 13c$.

$GPST$ vaqt davri GPS hafta raqami va hafta sekundlari raqami orqali aniqlanadi. GPS hafta raqami 1024 modul bo'yicha navigatsiya xabarida beriladi, chunonchi, buning uchun, unga 10 bit ajratiladi. GPS 1024 haftasidan birinchi sikl 1980-yil 5-yanvar shanbadan 6-yanvar yakshanbaga o'tar kechasi boshlandi 0:00:00 UTC , 6-yanvar 1980-yil, yulian sanasi 2444244.500). Nol orqali birinchi o'tish $GPST$ (UTC emas) vaqti bo'yicha 1999-yil 21/22-avgustga o'tar kechasi sodir bo'ldi. Bu voqeadan keyin, $WNRO$ (Week Number Roll Over, ya'ni hafta sonlari hisobi tugatilgan) qisqacha nomlangan, shunga olib keldiki, bir qator eski priyomniklar va dasturlar ishonchsiz ishlay boshladi [92].

Yulian sanasi JD uchun $GPSWN$ hafta raqamini quyidagi formula bo'yicha topish mumkin:

$$WN = INT[(JD - 2444244.5) / 7], \quad (4.18)$$

bu yerda, INT haqiqiy sonni bo'lish natijasida topilganidan butun qismni belgilaydi.

Haftadagi sekund soni oldingi yarim tundan ($GPST$ shkalasi bo'yicha), shanbadan yakshanbaga GPS haftasi 604800 sekunddan iborat.

GPS yo'ldoshlari borti seziyli va rubidiyli chastotalar standartlariga ega. II va IIA blok yo'ldoshlarda har qaysi turdan, ikkitadan standartga ega. Blok IIR har qaysi yo'ldoshlari uchta rubidiyli standartga ega. Har qaysi generatorning ishlashi Bosh nazorat stansiyasi tomonidan nazorat qilinadi, u generatorlardan birini, signallarni shakllantirish uchun tanlaydi. Yo'ldosh soatlarining dt ko'chishi $GPST$ vaqtga nisbatan, vaqtdan, ikkinchi tartibli polinomdek modellashtiriladi, bu model parametrlari esa, Bosh stansiya tomonidan baholanadi va yo'ldoshlarga yuklanadi, keyin esa, navigatsiya xabar qismidek uzatiladi. $GPST$ sekundiga t raqamli yo'ldosh soati tuzatmasi quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$dt = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r, \quad (4.19)$$

bu yerda: t_{oc} – tayanch davr. a_o , a_1 va a_2 parametrlar ayrim hollarda, ko‘chish, siljish va soatlarning eskirishi parametrlaridek, identifikatsiyalanadi. Odatda, a_o parametr $1ms$ va $1mks$ oraliqlarda joylashadi, parametr $a_1 \approx 10^{-11} c/c$, seziyli soatlar uchun, parametr $a_2 \approx 0 c/c^2$. Δt_r a’zo relyativistik effektni hisobga oladi. Bunday tuzatma a’zolari bilan, sutka uchun bir marta, odatda yo‘ldoshga yuklanadigan va hisoblanadigan, yo‘ldosh soatlari sinxronlashini $5-10ns$ oraliqlarda ta’minlaydi.

UTC vaqtini baholashni ta’minlash uchun, har qaysi yo‘ldosh bilan uzatilayotgan *GPS* navigatsiya xabarlarini bir sekund va ularning o‘zgarish tezligi *UTC(USNO)* moduli bo‘yicha hamda *GPST* orasidagi vaqt farqlarini o‘z ichiga oladi. Navigatsiya xabar sekund sakrashlari natijasida ikki shkala orasidagi butun sekundlar farqini ham o‘z ichiga oladi. Bu parametrlar *UTC(USNO)* aniq qiymatini priyomnikka hisoblash imkonini beradi. Bunday baholash joriy aniqligi – $25ns$ ga yaqin.

Yo‘ldosh bortidagi soatlar *relyativistik effekt* bilan quvvatlantirilgan. Maxsus nisbiylik nazariyasiga muvofiq, doimiy tezlik bilan harakatlانuvchi, yo‘ldosh bortidagi soatlar, Yerdagi soatlar bilan taqqoslaganda, orqada qolishi kerak. Umumiy nisbiylik nazariyasiga muvofiq, yo‘ldoshdagi soatlar, gravitatsion potensialning farqlari natijasida, Yerdagilarga qaraganda, tez yurishi kerak. 26560 km radius bilan doiraviy orbitadagi yo‘ldosh soatlariga to‘liq ta’sirni yo‘qotish uchun soatlarga, oldinga sutkasiga $38.4mks$ qo‘shish kerak. Bu ta’sirni kompensatsiyalash uchun, asosiy chastota $10.23Mqs$ nominal qiymatga, yo‘ldosh generatori soati esa $0.00455Gs$ ga past o‘rnatiladi.

Agar orbita to‘liq doiraviy bo‘lganida, hech qanday qo‘shimcha relyativistik tuzatmalar talab etilmas edi. Haqiqatda yo‘ldosh orbitalarining eksentrisiteti 0.02 gacha yetishi mumkin. Elliptik orbitalarda, tezlik va ta’sir etuvchi gravitatsion potensial yo‘ldoshni orbitada joylashuviga bog‘liq holda o‘lchanadi. Orbital parametrlar Nazorat segmenti bilan hisoblanadi va har qaysi yo‘ldosh bilan uzatiladi. Priyomnik *ICD* Interfeys nazorat hujjatiga mos ravishda yo‘ldosh soatlari vaqtiga relyativistik tuzatma qo‘llaniladi. Vaqtga bog‘liq tuzatmaning qiymati yo‘ldoshni orbitada joylashuviga bog‘liq holda, noldan $45ns$ gacha o‘zgaradi [137]. Bu tuzatmani hisobga olish uchun formula quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\Delta t_r = -\frac{2}{c^2} \sqrt{a\mu e \sin E}, \quad (4.20)$$

bu yerda: c – yorug‘likning tezligi; a va e – mos ravishda, katta yarim o‘q va orbita ekssentrisiteti; E – ekssentrik anomaliya; μ – geot-sentrik gravitatsion doimiylik [112].

GLONASS tizimi yo‘ldoshlari bortida seziyli standart chastotalarga ega, ularning shkalasi o‘zaro 20 ns o‘rta kvadratik xato bilan sinxronlashtirilgan. *GLONASS* tizimli vaqti $5 \cdot 10^{-14}$ sutkalik nobarqarorlikka ega, Markaziy sinxronizator tizimi vodorod standart chastotasi bo‘yicha shakllanadi. O‘z navbatida, tizimli vaqt shkalasi Davlat etaloni jahon muvofiqlashtirilgan vaqti *UTC(SU)* bilan bog‘lanadi, ular orasidagi farq 1 ms dan oshmaydi, bog‘lash xatosi esa 1 mks dan oshmasligi kerak.

GLONASS vaqt tizimi shkalasi *UTC* shkalasiga nisbatan $+3$ soatga ko‘chirilgan, ya‘ni o‘zida Moskva soat belbog‘ini ifodalaydi. *GLONASS* tizimi vaqtidagi sekundlar *UTC* shkalasiga butun sekundni qo‘shish bilan bir vaqtda sozlanadi.

Shunday qilib, ikki tizimdagi yo‘ldoshlarni kuzatishlarini birgalikdagi qayta ishlashda, vaqtni hisoblashlarda quyidagilarni: *GPS* va *GLONASS* shkalalarini 3 soatga siljishini, 1980 -yil boshidan *UTC* shkalasiga butun sekundlar sakrashlar sonini va *UTC(SU)* va *UTC(US)* shkalalarini mos kelmasligi natijasida sekund ulushlarini (nanosekund birliklari) e‘tiborga olish kerak bo‘ladi [10, 18].

5-BOB. YERNING SUN'IY YO'LDOSHI (YeSY)NI KUZATISH USULLARI

5.1. YeSYni kuzatishning yer usti usullari

Birinchi YeSYidan, yer yaqinidagi fazo to'g'risida umumiy ma'lumotlarni ustunlik bilan olishda foydalanilgan. Keyinchalik, aniq maxsus vazifalarni yechish uchun mo'ljallangan, yo'ldoshlar paydo bo'ldi. Hozirgi vaqtda, ixtisoslik bilan mos ravishda, yo'ldoshlarning quyidagi: aloqa, meteorologik, navigatsiya, geodezik, okeanografik, resursli (tabiiy resurslarni tadqiq qilish uchun mo'ljallangan), astronomik va harbiy – klassifikatsiyalarini keltirish mumkin.

Quyosh yorug'ligi aks etishidagi YeSYlarini kuzatishlari *passiv* deb ataladi. Bortida impulsli lampa-chaqnagichlar yoki maxsus uzatish apparaturalari bo'lgan yo'ldoshlar kuzatishlari *aktiv* deb ataladi. Lazerli kuzatishlar uchun, burchakli nur qaytargichlar bilan jihozlangan, yo'ldoshlar muhim o'rin tutadi.

YeSYlarini kuzatish usullari, odatda *optik* va *radiotexnik* (radioelektronlik) larga bo'linadi.

Optiklarga – vizualli, fotografikli, fotoelektrikli va lazerli kuzatishlar kiradi. Radioelektronikga – interferensionli, doplerli va dalnomerli kuzatishlar kiradi. Hozirgi vaqtda, ko'pincha radioelektronikali kuzatishlarning birlashtirilgan kombinatsiyalari qo'llaniladi.

Optik usullar punkt va yo'ldosh orasida to'g'ridan to'g'ri ko'rish bog'liqligi bo'lishini hamda punkt, yo'ldosh va Quyoshning o'zaro aniq joylashishini talab qiladi. So'nggi talab, passiv yo'ldoshlar kuzatishlarida muhim cheklashlarni kiritadi.

Radiotexnik usullar *so'rovli* va *so'rovsiz* usullarga ajratiladi. So'rovli usullarda yer usti uzatgichlari bilan nurlanadigan va yo'ldoshda joylashgan qabul qiluvchi – javob beruvchi bilan qayta nurlanadigan, chastotalar taqqoslanadi. So'rovsiz usulda, yo'ldosh bortida joylashgan uzatgich, yuqori barqaror chastotalar tebranishlarini nurlantiradi, ular yer usti priyomniklari bilan qabul qilinadi. Qabul qilingan chastota tebranishlari, priyomnikdagi etalon generator chastotasi bilan taqqoslanadi.

Yo'ldoshli kuzatishlarni olib borishda, quyidagi usullar qo'llaniladi. Usullarning bajarish texnologiyasi, priyomniklarning turiga va model-lariga hamda o'lchashlarni qayta ishlashga bog'liq. Ishlarni bajarishda, yo'ldoshli priyomnikdan foydalanish bo'yicha foydalanuvchi

Yo‘riqnomasiga tayanish kerak bo‘ladi. Kuzatishlarni bajarishda quyidagi usullardan foydalaniladi.

Statik usul. Statik usul yo‘ldoshli o‘lchashlarning “an’anaviy” usuli hisoblanadi. Usul, o‘lchashlarni bir vaqtda ikkita va ko‘p harakatsiz priyomniklar bilan davomli vaqt davrida bajarilishini, taxmin qiladi. O‘lchash vaqtida yo‘ldoshlarning geometrik joylashuvlari o‘zgaradi, ular noaniqliklarni yechishda sezilarli rol o‘ynaydi. O‘lchashlarning katta hajmi, sikllarni o‘tkazib yuborishlarini qayd qilish va ularni to‘g‘ri modellash tirish imkonini beradi.

Statik usul yuqori aniq ishlarni bajarishda, 15–20 km dan ko‘p vektorlarni o‘lchashda va yana minimal yo‘ldoshlar soni bilan kuzatishlar cheklangan oynalarda qo‘llaniladi.

Seansning davomiyligi, seansda o‘lchanadigan chiziqli uzunligiga, bir vaqtda kuzatiladigan yo‘ldoshlar soniga, priyomniklarning turiga va talab etilgan aniqlikka bog‘liq bo‘ladi.

Zamonaviy geodezik yo‘ldoshli priyomniklar bilan o‘lchashlar aniqligi priyomnik turiga va tanlangan o‘lchash usuliga bog‘liq. Aniqliklarning standart ko‘rsatkichlari 5.1-jadvalda keltirilgan.

Geodezik balandliklarni aniqlash aniqligi, qoidadagidek, vektorlarni aniqlash aniqligidan 1.5 marta past.

5.1-jadval

Usullar	Punktlar orasi-dagi o‘rtacha masofa, km	Seansning davomiyligi	Masofani o‘lchash absolut va nisbiy xatolari	Izoh
Statik	20 gacha	1 soatga yaqin	$5mm + 1 \times 10^{-6} Dmm$ 1:100000–1:5000000	Ikki chastotali priyomnik uchun
Tez statik	10 gacha	5 – 10 minut	$5 - 10mm + 1 \times 10^{-6} Dmm$ 1:100000–1:1000000	Ikki chastotali priyomnik uchun
Psevdo-kinematik	10 gacha	20 minut (2 marta 10 minutdan)	$10mm + 1 \times 10^{-6} Dmm$ 1:50000–1:500000	Bir chastotali priyomnik uchun ustunlik bilan
Stop & Go	5 gacha	2 minutgacha	$10 - 20mm + 1 \times 10^{-6} Dmm$ 1:100000–1:1000000	
RTK	5 - 10 (radio-modemga bog‘liq)	1 minutgacha	10 – 20mm	Aloqa vositasi (radio-modem) borligida

Tez statik usul. Yo‘ldoshli usullarning tez statik usuli, statik usulning yuqori aniqligini qisqa vaqt kuzatishlarida ustunlik bilan o‘zida ifodalaydi. Bu ikki chastotalarda, barcha bajariladigan sifatli o‘lchashlardan optimal foydalanish hisobiga erishiladi. Tez statik usul ikki chastotali priyomniklar bilan o‘lchashlarni qayta ishlash dasturlari mavjudligida qo‘llaniladi. O‘lchashlarni qisqa davrligi natijasida, tez statik usul o‘lchashlar yetishmasligiga sezuvchandir. Shuningdek, joylashuvga va yozuvlar intervalidagi, tutilgan yo‘ldoshlar soniga ta’sirini ko‘rsatadi.

Tez statik usul, ko‘p sonli punktlar (nuqtalar) bo‘lgan to‘rlarda, 10–15 km gacha vektorlarni o‘lchashlarda qo‘llaniladi. Seansning davomiyligi seansda o‘lchanadigan chiziqli uzunligiga bog‘liq bo‘ladi.

Psevdokinematik usul. Psevdokinematik usul, asosan bir chastotali priyomniklar bilan ishlaganda qo‘llaniladi.

Psevdokinematik usulni, statik usul bilan taqqoslaganda, kuzatiladigan yo‘ldoshlarning o‘zaro joylashuvini o‘zgarishi bilan, soatli (va ko‘p) interval bilan ajratilgan, ikkita 5–10 minutli kuzatish davrlaridan foydalanish hisobiga o‘lchash vaqtini qisqartiradi. Bu mobil priyomniklarni, to‘rda yaratilgan bir nechta punktlar (nuqtalar)ni, taxminan, bir soat davomida har qaysisida 5–10 minut o‘lchashlar bilan qatnashishini bildiradi. Keyin sikl ushbu punktlar bo‘yicha takrorlanadi. O‘lchashlarni post qayta ishlashlar jarayonida, birinchi va takroriy qatnashishlarda olinganlar, bitta yechimga birlashtiriladi. Psevdokinematik usulni kamchiligi – punktlarga ikki martadan qatnashishi, bu punktlarga o‘rnatish va ko‘chirishda sarflanadigan vaqtni ko‘paytiradi.

Psevdokinematik usul, punktlar orasidagi masofa qisqa bo‘lgan to‘rlarda va yana boshqa usullar bilan o‘lchashlarda noaniqliklarni yechish imkoni bo‘lmaganida qo‘llaniladi.

STOP & GO (“to‘xta - yur”) kinematika usuli. Stop & Go usuli, referens va mobil (bitta va ko‘p) priyomniklar orasida, bir vaqtdagi kuzatishlarni bajarishni taxmin qiladi. Koordinatalarni aniqlash, ya’ni o‘lchashlar joyiga mahkamlangan nuqtalarga tegishli, aniqlanadigan punktlarga antennalarni bevosita o‘rnatishda bajariladi. Priyomniklarning to‘xtovsiz ishlashi hisobiga, o‘lchashlar hajmi ortadi, bu statik usul bilan taqqoslangan, aniqlikni olish imkonini beradi.

Stop & Go usuli, ochiq joylarda ko'p sonli punktlar (nuqtalar) bo'lgan to'rlarda qo'llaniladi. Punktdagi o'lchashlar vaqti davomiyligi 1–2 minutgacha.

Haqiqiy vaqt rejimidagi kinematika (RTK – REAL – TIME KINEMATIC) usuli. RTK usuli bilan o'lchashlarni bajarish uchun quyidagi uskunalar: referens stansiya, bitta (yoki ko'p) mobil stansiya, referensdan mobil priyomnik (radiomodem)ga ma'lumotlarni uzatish uchun maxsus uskuna, priyomniklar maxsus dasturiy ta'minoti kerak bo'ladi.

Referens stansiya koordinatasi ma'lum punktga o'rnatiladi. Referens priyomnik, aloqa chizig'i bo'yicha o'lchangan psevdouzoqliklarga tuzatmalarni mobil priyomnikka uzatadi va hisoblaydi. Tuzatmalar, priyomnikka kiritilgan aniq koordinatalar bo'yicha hisoblangan, o'lchangan psevdouzoqliklar va haqiqiy uzoqliklar farqlaridek aniqlanadi. Aniqlashlar har qaysi kuzatishlar davrida bajariladi. Mobil priyomnik, o'zining joylashgan o'rnini hisoblash uchun qabul qilindigan tuzatmalarni kiritadi, ular bilan o'lchanadigan psevdouzoqlik va tuzatilgan uzoqliklar qiymatidan foydalanadi. Koordinatalar zudlik bilan dala sharoitida aniqlanadi.

RTK ochiq joylarda ko'p sonli punktlar (nuqtalar) bo'lgan to'rlarda qo'llaniladi.

Stop & Go usuli, aniqlanadigan punktlarda 1 minut davomida o'lchashlarni bajarish uchun mobil priyomnik antennasining qayd qilinishini taxmin qiladi.

RTK usuli Stop & Go usuliga dala ishlarini bajarish texnologiyasiga ko'ra o'xshashdir, ammo qayta ishlash texnologiyasi bo'yicha farq qiladi. RTK, aloqa moslamasi (radiomodem) orqali referens priyomnikdan mobilga, psevdouzoqliklarni o'lchashdagi tuzatmalarni uzatishga asoslangan. Referens va mobil priyomniklar o'lchashlarini birgalikda qayta ishlashlarda, koordinata punktlari aniqlanadi, ularda mobil priyomniklar o'rnatilgan. Natijalar, qolgan usullardan farqli, o'lchashlar bajarilgandan keyin tezlik bilan beriladi.

5.1.1. Kuzatish uchun asbob va anjomlar

Priyomnik turini tanlash, aniq loyiha talablariga bog'liq. Topografik-geodezik ishlab chiqarishda qo'llaniladigan priyomniklarga

umumiy talablar, kodli va fazali o'lchashlarni bajarish imkoniyati hisoblanadi.

Yuqori aniqlikdagi ishlarni bajarishda, ikkita chastota bo'yicha o'lchashlar hisobiga, vektorlarni aniqlashni to'g'riligini va ishonchliligini oshiradi.

Qisqa masofalarda (15 km gacha) bir chastotali priyomniklardan foydalanishga ruxsat beriladi, ionosferaning ta'siri vektorlar oxirida bir xil va qayta ishlash jarayonida chiqarib tashlanadi.

Priyomnikning mustaqil qabul qiluvchi kanallari soni, to'rttadan kam bo'lmasligi kerak.

Yo'ldoshli o'lchashlarni yozish uchun xotira hajmi, tanlangan o'lchash usulining talablariga to'g'ri kelishi kerak.

Dala ishlariga chiqishdan oldin stansiyaning to'liq jihozlanganligi va alohida tugunlarning ish qobiliyati tekshiriladi:

- priyomnik;
- antenna;
- antenna kabellari;
- akkumulyatorlar va zaryad qurilmalari;
- birlashtiruvchi kabellar;
- adapterlar;
- shtativ;
- taglik;
- stanli vint;
- o'lchas lentasi yoki reyka;
- meteorologik parametrlarni o'lchash uchun to'plam: termometr, barometr, psixrometr (kerak bo'lganida);
- radiostansiyalar (mavjudligida).
- Bundan tashqari quyidagilarga ega bo'lish kerak:
- kartalar, abrislar, marshrutlarning sxemalari;
- kuzatishlar jadvali va punktlar orasida harakatlanish marshrutlari;
- o'rnatilgan namunadagi dala jurnallari;
- qalamlar, ruchkalar va qog'ozlar;
- bayroqlar, moyli bo'yoq, qoziqlar, bolg'a, ogohlantiruvchi signallar va yo'lning o'tish qismidagi ishlarda (sutkaning qorong'u vaqti uchun) yonib-o'chib turadigan chiroqlar.

– Agar ish dasturida ma'lumotlarni dala qayta ishlashlari ko'zda tutilgan bo'lsa, unda brigada uskunalari tarkibiga quyidagilar kiritilishi kerak bo'ladi:

– yo'ldoshli o'lchashlarni qayta ishlash uchun dasturli ta'minot bilan kompyuter;

– kerakli birlashtiruvchi kabellar to'plami;

– statsionar to'rdan iste'mol bloki;

– disketlar;

– dasturiy ta'minotga disketa kalit (yoki elektron kalit).

Stansiyaning barcha mexanik tugunlari to'g'ri ishlashi kerak. Shtativlar mexanik defektlarga ega bo'lmasligi kerak. Optik markazlashtirgichlar dala ishlaridan oldin, tekshirilgan va yustirovka qilingan bo'lishi kerak.

Obyektga chiqishdan oldin, zaryad qurilmasi ishlashini va akkumulyator batareyasi zaryadlanganligini tekshirish kerak bo'ladi.

5.1.2. Kuzatishni loyihalash

Texnik loyiha, texnik topshiriqqa asosan tuziladi. Texnik loyiha ustida ishlash, geodezik ishlarni obyektida oldin bajarilgan materiallarini to'plashdan boshlanadi. Geodezik o'rganilganligi bo'yicha materiallarni to'plash jarayonida quyidagi ma'lumotlar olingan bo'lishi kerak:

– mavjud geodezik to'rlar punktlari materiallarining tadqiqoti;

– koordinata va balandlik punktlari kataloglaridan ko'chirma, ular loyihalanayotgan to'rlarda boshlang'ichlar sifatida ishlatilishi mumkin;

– mavjud to'rlarni o'rnatish kartochkalari va abrislari;

– ayniqsa aniqlikni baholashga kiruvchi, oldin bajarilgan ishlar hisobotidan ko'chirma;

– ish obyektida qabul qilingan, koordinata va balandlik tizimlari to'g'risidagi batafsil ma'lumotlar.

Kartografik (topografik) materiallarni to'g'ri keluvchi masshtablarda to'plash va tizimlashtirilishini olib borish. Kartada barcha mavjud punktlarning joylashgan o'рни ko'rsatiladi, ularni loyihalanayotgan to'rga kiritish yoki bog'lash taxmin qilinadi. Bunda yo'ldoshli o'lchashlar uchun, kuzatish normal shartlariga nisbatan, bu punktlarni baholash kerak bo'ladi.

Loyihalanayotgan to‘rni qurish sxemasi va yo‘ldoshli o‘lchashlar usullarini tanlash, to‘rning vazifasiga va uning aniqligiga bog‘liq. Tanlov mos keluvchi talablarga asosan va yana geodezik o‘rganilganlik va texnik topshiriqni hisobga olib o‘tkaziladi. To‘rni qurish usulini tanlashda, 5.2-jadvalda keltirilgan parametrlarga amal qilish tavsiya etiladi.

Yaratiladigan to‘rdagi punktlarning zichligi, amaldagi ko‘rsatmalarga mos ravishda o‘rnatiladi. Loyihalash jarayonidagi barcha ish obyektlari bo‘yicha aniqlanadigan punktlarni, bir tekis joylashuviga rioya qilish tavsiya etiladi.

5.2-jadval

Parametrlar	To‘rni qurish sxemasi	
	Yopiq geometrik shakl	Radial
Yaratiladigan to‘rning klassi	3 va 4-klass DGT, shahar sinchli, maxsus to‘rlar, 1-razryad	1 va 2-razryad, plan olish to‘rlari
Punktlar orasidagi masofa	20 km gacha	10 km gacha va turli uzunlikdagi vektorlar uchun

Yo‘ldoshli o‘lchashlar uchun loyihalanadigan punktlarning joylashgan o‘rnini tanlashda, quyidagi talablarga rioya qilish kerak bo‘ladi:

- normal kuzatish sharoitini ta‘minlash;
- punkt yaqinida (1–2 km gacha) kuchli nurlanish manbalarini (tele va radiouzatgichlar va boshqalar) bo‘lmasligi;
- punkt atrofidagi gorizontning katta qismi 15^0 dan yuqori to‘siqlarga ega bo‘lmasligi kerak;
- markazni uzoq muddatli saqlanishini ta‘minlash;
- har qanday vaqtda, ob-havo sharoitidan qat’i nazar, punktga qulay kirib borishni ta‘minlash.

Shahar hududlarida, ko‘tarilgan binolarda, yuqorida keltirilgan va amaldagi ko‘rsatma talablari asosida, punktlarni loyihalash tavsiya etiladi.

Kerak bo‘lganida, agar ular yaratiladigan to‘r punktlariga qo‘yiladigan talablarga javob bersa, unda imkon darajasida mavjud davlat geodezik to‘rlari (DGT)dan foydalanish mumkin bo‘ladi.

Punktning joylashgan o‘rnini tanlash haqidagi so‘nggi qaror, dala rekognosirovkasini bajarishdan keyin qabul qilinadi.

Boshlang‘ich punktlarni tanlash, normal kuzatish shartlarini ta‘minlashdagi talablar bilan mos ravishda olib boriladi.

Punktlar orasidagi geometrik bog‘lanishlarni loyihalash, qurish tanlangan sxemasi bilan mos ravishda olib boriladi. Yopiq ko‘rinishdagi geometrik shakllarni qurishda, har qaysi punkt, hech bo‘lmaganda, ikkita mustaqil o‘lchangan vektorlar bilan aniqlanishi kerak. Osmo vektorlarga ruxsat berilmaydi. Cho‘zilgan to‘rlar (yo‘llar)da o‘lchashlarni nazorat qilish uchun, to‘r (yo‘l)ning oxirgi punktlari orasidagi bog‘lamlarni loyihalash tavsiya etiladi.

Loyihalashda aniqlanadigan vektorlarning: 3–4-klass DGT tarkibida loyihalanadigan to‘rlarni zichlashtirish uchun – umumiy o‘lchashlar sonidan mos ravishda 50% va 25% kam bo‘lmagan miqdorda, razryadli va plan olish to‘rlari uchun – kuzatishlar sharoiti yomon bo‘lgan punktlarda, takroriy o‘lchashlarni ko‘zda tutish kerak bo‘ladi. Takroriy o‘lchashlarni boshqa vaqt (kuzatishlar oynasi)da bajarish tavsiya etiladi.

Nazorat uchun boshlang‘ich punktlar orasidagi vektorlarni qo‘shimcha loyihalash tavsiya etiladi, bu boshlang‘ich asosning ishonchliligini baholash imkonini beradi.

Uzun vektorlarni (20 km) aniqlashda meteorologik parametrlarni: harorat, atmosfera bosimi, havoning namligini o‘lchashlarni ko‘zda tutish kerak bo‘ladi. Bu troposfera ta‘siridan kelib chiqadigan, xatolarni chiqarib tashlash imkonini beradi. Ionosferaning ta‘siri ikki chastotali priyomniklar yoki bir chastotali priyomniklar bilan uzoq seanslarda o‘lchashlarda chiqarib tashlash imkonini beradi. Meteorologik parametrlarning hisobi dasturiy ta‘minot bilan bajariladi.

DGT punktlari, boshlang‘ich sifatida to‘rga kiritilmaganlari va 5 km dan ko‘p bo‘lmagan uzoqlikda joylashganlari, loyihalanadigan to‘r bilan bog‘langan bo‘lishi kerak.

Loyihada seans (sessiya)lar yoki kuzatishlar seansi guruhi uchun referens stansiyalarning joylashgan o‘rni aniqlanadi. Referens stansiyalar boshlang‘ich punktlarda ham, aniqlanadigan punktlarda ham, joylashishi mumkin. Referens stansiyalarga, kuzatishlar normal shartlarini ta‘minlashda, juda yuqori talablar qo‘yiladi, chunki seansdagi o‘lchash natijalari referens stansiyaning ishlash sifatiga bog‘liq.

Loyihaning grafik qismida, boshlang'ich va aniqlanadigan punktlarning joylashgan o'rnini, loyihalanganadigan to'rdagi punktlar orasidagi bog'lanishlar, referens stansiyalarning joylashgan o'rnini ko'rsatilib, kartalarda tuziladi.

Texnik loyihani ishlab chiqishning so'nggi bosqichi, tushuntirish xatini tuzish hisoblanadi, u quyidagi ma'lumotlarni o'z ichiga olishi kerak:

- texnik loyihani asoslash, me'yoriy hujjatlar, gedezik o'rganilganlik, ish obyektni fizik-geografik tavsifi, loyihalanganadigan ishlar, koordinata va balandlik tizimlari;
- oldin bajarilgan ishlar: geodezik asoslash punktlarining nomi, ishlarning nomi, ishlarni bajargan tashkilotlarning nomi, bajargan yili, aniqlikni baholash, koordinata va balandliklar tizimi;
- tanlangan sxema va o'lchash usullariga asoslangan holda, ishlarni bajarish dasturi;
- ishlarni bajarish tartibi va vaqti hamda tayyor mahsulotni topshirish batafsil ifodalangan, ishlarni bajarish texnologiyasi;
- loyihalangan ishlarga xarajatlar smetasi.

5.1.3. Kuzatish punktidagi YeSYining ko'rinish shartlari

YeSYining ko'rinish shartlari. Ko'rinish shartlarini hisoblash uchun (5.1-rasm) quyidagi formulalarni qo'llash mumkin:

$$h = R_0 \left[\frac{\cos \gamma}{\cos(\gamma + \beta)} - 1 \right]; \quad (5.1)$$

$$\beta = \arccos \left(\frac{R_0}{R_0 + h} \cos \gamma \right) - \gamma; \quad (5.2)$$

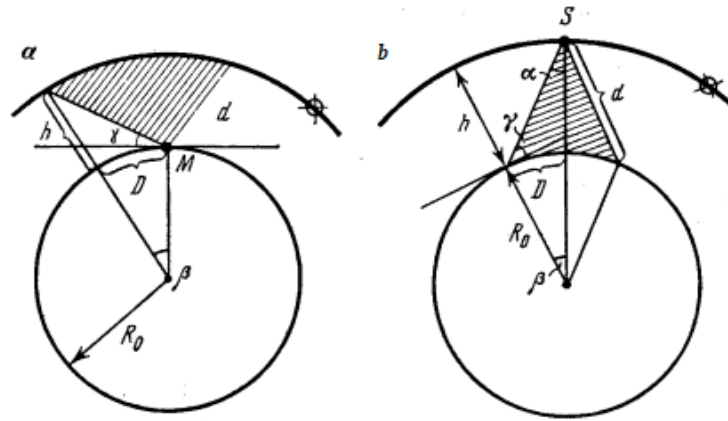
$$h = R_0 \left[\frac{\sin(\alpha' + \beta)}{\sin \alpha'} - 1 \right]; \quad (5.3)$$

$$\beta = \arcsin \left[\left(\frac{h}{R_0} + 1 \right) \sin \alpha' \right] - \alpha'; \quad (5.4)$$

$$\beta = 180^\circ - \alpha' - \delta'; \quad (5.5)$$

$$\delta' = \arcsin \left(\frac{R_0 + h}{R_0} \right) \sin \alpha'; \quad (5.6)$$

$$D = htg \alpha' = \pm 0.02D \quad (h = 100 \text{ km}, \alpha' < 25^\circ).$$



5.1-rasm. YeSYining ko‘rinish shartlarini aniqlash.

a – M punktning ko‘rinish zonasi, b – YeSYining ko‘rinish zonasi

Agar d qiyalik uzoqligi bo‘yicha apparatura ishida cheklash bo‘lganida, unda

$$\beta_{d_{\max}} = \arcsin\left(\frac{d}{R_0 + h} \cos \gamma_{d_{\min}}\right); \quad (5.7)$$

$$h_{d_{\max}} = (R_0^2 + d^2 + 2R_0d \sin \gamma_{d_{\max}})^{1/2} - R_0. \quad (5.8)$$

Yo‘ldoshdan sayyoralar yuzasini ko‘rinishi. Sayyora yo‘ldoshining orbitalari uchastkasini aniqlash talab etilsin, uning harakatida yo‘ldosh – Quyosh planetotsentrik yo‘nalishlari orasidagi burchak, ψ belgilangan qiymatdan oshmaydi. Bunday turdagi masalalar, masalan, KA bortidan sayyoralar yuzasini suratga olishda yechilishi mumkin.

Ekssentrik anomalniyaning chegaraviy qiymati quyidagi tenglamadan aniqlanadi

$$E = \tilde{\gamma} \pm \arccos\left[\frac{\beta e + \cos \psi}{\sqrt{(\beta + e \cos \psi)^2 + (1 + e^2)\xi^2}}\right], \quad (5.9)$$

(5.9) tenglama, agar

$$\frac{\beta e + \cos \psi}{\sqrt{(\beta + e \cos \psi)^2 + (1 - e^2)\xi^2}} \leq 1 \quad (5.10)$$

bo‘lganida, barcha $\psi \leq \pi/2$ uchun yechimga ega bo‘ladi.

Anomalniyaning chegaraviy qiymati mos keluvchi momentlar quyidagiga teng:

$$t_i = \frac{E_i - e \sin E_i}{n} + \tau. \quad (5.11)$$

Yo‘ldoshning Yer soyasiga kelishi. Passiv YeSYlarini kuzatishlar, faqat ular, Quyosh bilan yoritilganida bo‘lishi mumkin. Shunga bog‘liq ravishda, Yerning soyasida joylashgan, orbita qismini chiqarib tashlash kerak bo‘ladi. Bu shuningdek, quyosh batareyalarini zaryadlash uchun qulay, shartlarning tahlilida ahamiyatga ega. Shunga o‘xshash masala, yana YeSYi harakatiga yorug‘lik bosimining ta‘sirini hisobga olishda ham, paydo bo‘ladi.

Soyaning tenglamasi:

$$S^* = A_0 \cos^4 v + A_1 \cos^3 v + A_2 \cos^2 v + A_3 \cos v + A_4 ; \quad (5.12)$$

$$A_0 = \left(\frac{R_0}{\rho}\right)^4 e^4 - 2\left(\frac{R_0}{\rho}\right)^2 (\xi^2 - \beta^2)e^2 + (\beta^2 + \xi^2)^2 ; \quad (5.13)$$

$$A_1 = 4\left(\frac{R_0}{\rho}\right)^4 e^3 - 4\left(\frac{R_0}{\rho}\right)^2 (\xi^2 - \beta^2)e ; \quad (5.14)$$

$$A_2 = 6\left(\frac{R_0}{\rho}\right)^4 e^2 - 2\left(\frac{R_0}{\rho}\right)^2 (\xi^2 - \beta^2) - 2\left(\frac{R}{\rho}\right)^2 (1 - \xi^2)e^2 + ; \quad (5.15)$$

$$+ 2(\xi^2 - \beta^2)(1 - \xi^2) - 4\beta^2 \xi^2$$

$$A_3 = 4\left(\frac{R_0}{\rho}\right)^4 e - 4\left(\frac{R_0}{\rho}\right)^2 (1 - \xi^2)e ; \quad (5.16)$$

$$A_4 = \left(\frac{R_0}{\rho}\right)^4 - 2\left(\frac{R_0}{\rho}\right)^2 (1 - \xi^2) + (1 - \xi^2)^2 . \quad (5.17)$$

Shartlarga rioya qilinganida

$$\beta \cos v + \xi \sin v = 0 \quad (5.18)$$

yo‘ldosh har doim Quyosh bilan yoritilgan bo‘ladi. Soyaga kirishda S^* manfiy ishoradan musbat ishoraga, soyadan chiqishda – musbat ishoradan manfiy ishoraga o‘zgaradi. Keltirilgan formulalarda Yerning siqirligi va uning orbita bo‘yicha harakati hisobga olinmaydi. Soyaga kirish va undan chiqish momentlari (5.11) formula bo‘yicha hisoblanadi.

Yer soyasiga kelish vaqti

$$\Delta t = \frac{a^{3/2}}{\sqrt{fM_{\oplus}}} [E_2 - E_1 + e(\sin E_1 - \sin E_2)], \quad (5.19)$$

shu bilan birga

$$\sin E = \frac{(1 - e^2)^{1/2} \sin v}{1 + e \cos v}; \quad \cos E = \frac{\cos v + e}{1 + e \cos v}. \quad (5.20)$$

Rekognossirovka. Texnik loyiha tuzilganidan keyin, dala ishlaridan oldin, texnik loyihaaning ayrim joylarini aniqlashtirish maqsadida, dala rekognossirovkasi o'tkaziladi. Rekognossirovka natijasida punktlarning oxirgi joylashgan o'rni tanlanadi, to'ra sxemalari kelishiladi va tashkiliy-texnik masalalar yechiladi.

Yo'ldoshli kuzatishlar bajariladigan punktlar, YeSYlari ko'rinishi shartlarining o'rnatilgan talablariga mos kelishi kerak. Punktlarning joylashgan o'rnini rekognossirovka qilishda quyidagilarni hisobga olish kerak bo'ladi:

- punkt yaqinida aks ettiruvchi yuzalarning bo'lmasligi shart, ular ko'pyo'llilikni (daraxt, metall to'siqlar, tekis metall tomlar, transportning intensiv harakati, aks ettiruvchi suv yuzalari va boshqalar) yaratishi mumkin;

- shtativni o'rnatish joyi, o'lchashlarni bajarish uchun kerak bo'lgan (ayniqsa, referens stansiyalar uchun) vaqt mobaynida, uning ustuvorligini va ishlarni olib borish xavfsizligini ta'minlashi kerak;

- kinematik o'lchash usullaridan foydalanishda, punktlar va 4 ta yo'ldosh bilan doimiy tutishni va shovqinlarni yo'qotishni ta'minlash uchun, ular orasidagi harakat marshrutlari puxta tekshirish kerak bo'ladi; harakat yo'lida o'tib bo'lmas to'siqlar (ko'priklar, tunnellar) bo'lganida, to'siqning ikkala tomonida ham, mobil priyomnikni takroriy inisializatsiyasi uchun punktlar loyihalaniishi kerak bo'ladi.

Priyomnikni bevosita punktga o'rnatish imkoni (metall signal, ko'psonli to'siqlar, ko'pyo'llilik va boshqalar) bo'lmaganida, kuzatish normal shartlari bilan, priyomnikni markazmas o'rnatishni bajarish uchun, nuqta (yoki bir nechta nuqtalar, ishchi markaz)ning joylashgan o'rnini tanlash kerak bo'ladi.

Rekognossirovka jarayonidagi so'nggi kelishuvdan keyin, qaytadan aniqlanadigan punktlarda, amaldagi ko'rsatmalar talablarini hisobga olgan holda, markazlarni o'rnatish o'tkaziladi.

Loyihalaniadigan to'rdagi har qaysi aniqlanadigan punktlarga individual raqam (nom) va kod tayinlanadi.

Har qaysi punkt uchun, uning joydagi predmetlarga bog'lash va joylashgan o'rnini tasvirlash bilan kartochka tuziladi. Agar punktda o'lchashlar uchun to'siqlar bo'lganida, to'siqlar joylashuv sxemalari tuzilib, ularning plan olishlari o'tkaziladi. Jurnalda joylashtirilgan ma'lumotlar ishchi loyihalashda ishlatiladi.

Takroran aniqlanadigan vektorlar (punktlar) ko'rsatiladi.

Rekognossirovka jarayonida, punktlar orasidagi harakat marshrutlari punktdan punktga ko'chish taxminiy vaqti aniqlanishi bilan aniqlashtiriladi va sozlanadi.

5.1.4. Yo'ldosh kuzatishlari natijalarini qayta ishlash

SRNS GPS dan geodezik foydalanishda, barcha qayta ishlash jarayoni ikkita asosiy qismga bo'linadi:

- priyomnikda o'tkaziladigan, dastlabki qayta ishlash;
- kameral sharoitda (dala partiyasi bazasida yoki hisoblash markazlarida) o'tkaziladigan, post-qayta ishlash.
- Post-qayta ishlashlar ko'p variantli hisoblanadi va birinchi navbatda, qo'yilgan vazifaga bog'liq bo'ladi. Jumladan, amalda juda ko'p, quyidagi hisoblash jarayonlari strategiyasi qo'llaniladi:
 - alohida vektorlar (asos chiziqlar)ni aniqlash va to'rga ularni keyingi birlashtirish;
 - ko'p stansiyalar uchun bir vaqtda olingan, seanslar natijalarini hisoblash;
 - bir nechta kuzatish seanslari uchun tavsifli, ma'lumotlarni qayta ishlash.

Har qaysi ishlab chiqaruvchi firma, yo'ldoshli priyomniklar to'plamiga, o'lchashlarni qayta ishlash uchun, ular uchun mazmunning farqi va natijalarni taqdim etish tavsifli bo'lgan, o'zining dasturiy ta'minotini qo'yadi. Buning natijasida, ma'lumotlarni birlashtirilgan formatda taqdim etishni yaratish kerakligi paydo bo'ldi, u foydalaniladigan priyomnik modeliga bog'liq bo'lmaydi. Bunday format *RINEX** shartli belgilanishini oldi. Tijorat dasturlari, *GPS* uchun tavsifli va keng geodezik to'rlar qayta ishlashlarini olib borishda, mumkin bo'lgan maksimal aniqlikni olish imkoniga ega emas. Qayd etilgan kamchiliklarni bartaraf etish uchun, olingan natijalarni oraliq tahlili bilan ma'lumotlarni qayta ishlashni bosqichma-bosqich olib borish imkoniga ega bo'lgan, universal "professional dasturlar" ishlab chiqilgan. Bunday dasturlar, juda qat'iy model namoyishiga va ular bilan ishlash, yuqori malakali xodim bilan amalga oshirilishiga mo'ljallangan.

Qayta ishlashlarni bajarishdagi boshlang'ich ma'lumotlar sifatida, qoidaga ko'ra, kuzatishlar bitta seansiga tegishli, *GPS* priyomniklardan chiquvchi "xom" ma'lumotlarni qabul qilishlardan foydalaniladi.

"Xom" ma'lumotlar to'plangandan keyin, qayta ishlash dasturida (masalan, *RINEX* formatida) qo'llaniladigan, formatga o'tkaziladi va qo'pol xatolar borligiga tekshiriladi. Yo'ldoshdan uzatiladigan navigatsiya xabarlarida mavjud, ma'lumotlar, odatda kuzatish natijalaridan ajratiladi. Kerak bo'lgan hollarda, unga yo'ldoshlar orbitalari to'g'risida aniqlashtirilgan ma'lumotlar (aniq efemeridalar)ni o'z ichiga olgan, ma'lumotlar kiritilishi mumkin.

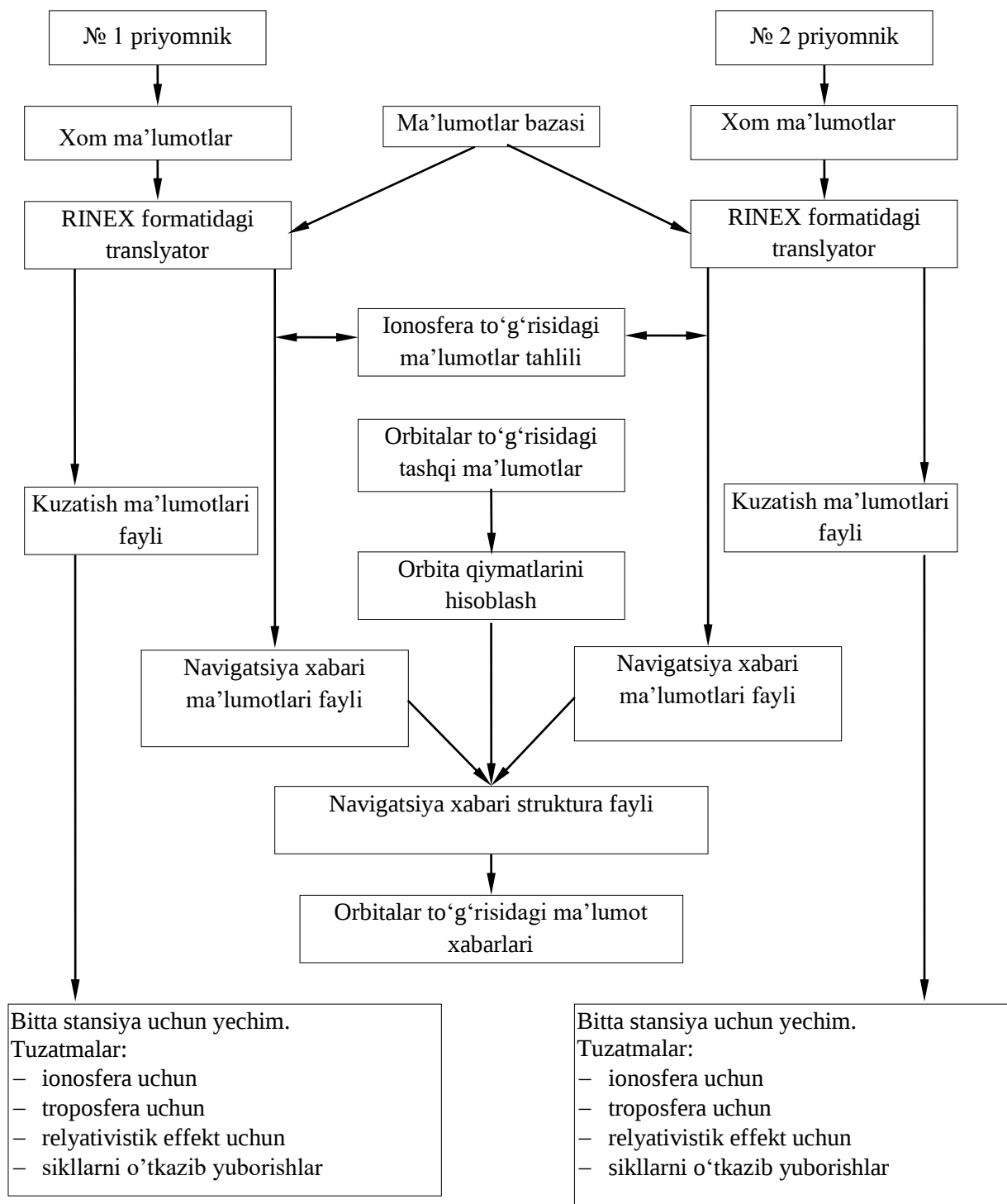
Tayyorlash jarayoni bajarilganidan keyin, har qaysi stansiya uchun alohida yechimlar bajariladi (5.2-rasm). Bunday yechimlar natijasida, qabul qilinadigan ma'lumotlarga, turli manbalar xatolari (ionosfera, troposfera va boshqalar) ta'siri uchun tuzatmalar kiritiladi.

Keyingi bosqichda, alohida stansiyalarning tuzatilgan natijalaridan birgalikda foydalanishga asoslangan, asosiy qayta ishlash dasturi ishga tushiriladi (5.3-rasm).

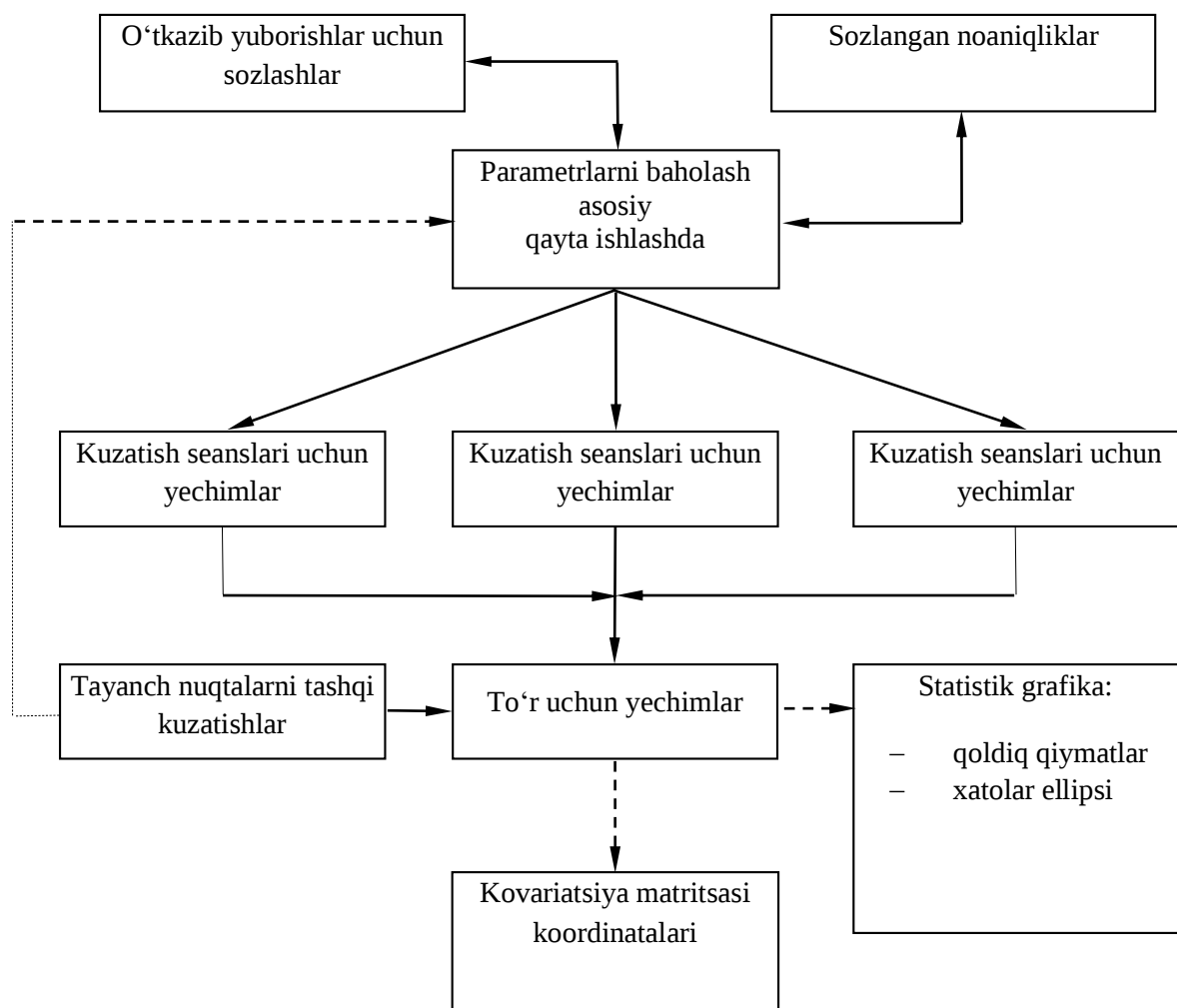
Unda qoidaga ko'ra, ikkilamchi farqlar usuli qo'llaniladi. Shu bilan birgalikda, oldin aniqlanmagan fazali sikllar o'tkazib yuborishlari aniqlanadi va tuzatiladi hamda fazali sikllar noaniqliklari ruxsat etilishlari bajariladi.

Qayta ishlash asosiy dasturining bosh vazifasi, nuqtalarning tutgan o'рни koordinatalari haqiqiy qiymatlarini hisoblash, iste'molchini qiziqtiradigan vektorlar uzunligi va boshqalar, ularni aniqlash aniqligini baholash bilan bog'liq, geodezik ma'lumotlardan iborat. Bunday qayta ishlash, bitta va bir nechta kuzatish seanslari uchun amalga oshirilishi mumkin.

So'nggi bosqichda, olingan natijalarni tenglashtirish o'tkazilishi va kerakli hollarda, mahalliy (lokal) koordinata tizimiga o'tish bajarilishi mumkin.



5.2-rasm. Har qaysi stansiya uchun alohida yechimlar.



5.3-rasm. Asosiy qayta ishlash dasturi.

6-BOB. GEODEZIK YERNING SUN'IY YO'LDOSH (YeSY)LARI VA YO'LDOSH DASTURLARI

6.1. Yo'ldosh orbitalari va bort apparaturalari tarkibi va konfiguratsiyasiga qo'yilgan talablar

Yo'ldosh orbitalari deganda, uning Yer yuzasidan uchish balandligi harakat traektoriyasi tushuniladi. YeSYlari, Yer yuzasidan, taxminan, 20000 km dan ko'p bo'lgan, balandlikda orbital tekislik bo'ylab harakatlanadi.

Geodezik yo'ldoshning bortida quyidagi uskunarlar: impulsli yorug'lik manbalari (optik mayoqlar yoki lampa-chaqnagichlar), 3500–15000 $\kappa d \cdot s$ darajadagi yoritishni ta'minlovchilar, dopler kuzatishlari uchun, qiyalik va uzoqliklarini o'lchash uchun, interferension usulni qo'llash uchun, radiotexnik uskunarlar, lazerlardan foydalanish uchun, burchakli aks ettiruvchilar (tripelprizmalar), radiovisotomer, kvarsli yoki atomli soatlar, maxsus bortli ESVM, yer yuzasini planga olish uchun yoki sayyoralar yuzasini va yulduzli osmonni planga olish uchun fotokameralar joylashishi mumkin.

Butun Yer yuzasining ko'rinishini ta'minlash uchun quyidagi shartga amal qilish kerak:

$$\frac{\pi}{2} - \frac{l}{R_0}(1 - k') \leq i \leq \frac{\pi}{2} + \frac{l}{R_0}(1 - k'), \quad (6.1)$$

bu yerda: R_0 – Yerning o'rtacha radiusi; $2l$ – bort apparaturalari ko'rinish kengligi zonalari, shu bilan birga

$$l = \frac{\pi R_0}{90^\circ} \left[\arcsin\left(\frac{\rho}{R_0} \sin \alpha\right) - \alpha \right]; \quad (6.2)$$
$$\alpha = 90^\circ - \arccos\left(\frac{R_0}{\rho} \cosh\right).$$

Keltirilgan formulalarda α – yo'ldoshdan ko'rish maydonining yarim burchagi, ρ – yo'ldoshning geotsentrik radius-vektori, k' – berilgan yopish joyining foizini ifodalovchi koeffitsiyent.

Berilgan kenglik bilan punktlarni kuzatish uchun quyidagi shartni bajarishga amal qilinadi:

$$\pi - \varphi + \frac{l}{R_0}(1 - k') \leq i \leq \varphi - \frac{l}{R_0}(1 - k'). \quad (6.3)$$

Bir va ushbu vaqtda, berilgan kenglik bilan punkt ustida yoʻldoshning paydo boʻlishi, quyidagi tenglikka amal qilinganida (taʼsirlarni hisobga olmaganda) boʻlishi mumkin

$$i = \arccos \frac{2\pi T}{T_{yil} c}, \quad (6.4)$$

bu yerda: T_{yil} – tropik yilning davomiyligi (365.2422 oʻrtacha quyosh sutkasi);

$$c = \frac{-(2\pi)^{7/3} \varepsilon}{(1-e^2) T^3 \sqrt{T \cdot (fM_{\oplus})^{5/3}}};$$

$$\varepsilon = fM_{\oplus} R_0^2 \left(\alpha - \frac{\omega_{\oplus}^2 R_0}{2\gamma_e} \right). \quad (6.5)$$

Berilgan sutkalar soni uchun, koʻrish tasmasini yopish joyining ketma-ketligini taʼminlash, quyidagi shartlarda erishiladi

$$\omega_{\oplus} T + \frac{(2\pi)^{7/3} \varepsilon \cos i}{(fM_{\oplus})^{5/3} (1-e^2)^2 T^{4/3}} = \frac{2\pi k_c}{1 + (n_c - 1)k_c}, \quad (6.6)$$

bu yerda: n_c – yulduzli sutka mobaynidagi burilishlar butun soni; k_c – sutkalar soni, ular orqali bitta YeSYi uchun koʻrish tasmasi mosligi $k_c = \eta/l$ taʼminlanadi; η – yoʻldoshning bir aylanishi uchun Yer aylanishi natijasidagi orbitalar proyeksiyalarining siljishi.

$e \leq 0.06$ boʻlganida n – burilishlarning uzoqligi $\beta \cos v + \xi \sin v = 0$ formula boʻyicha hisoblanadi.

T davrning qiymati, bunda yoʻldosh λ_n berilgan uzoqlik orqali oʻtadi va quyidagiga teng:

$$T = \frac{1}{\omega_{\oplus}} \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_n + 360^\circ N_c}{n-1} + d_1 \frac{\cos i}{a^2} \right). \quad (6.7)$$

n burilishlar soni, berilgan uzoqlik rayoniga tushish uchun, T berilganda yoʻldosh buni amalga oshirishi kerak:

$$n = \frac{\lambda_1 - \lambda_n + 360^\circ N_c}{\omega_{\oplus} T - d_1 \frac{\cos i}{a^2}}. \quad (6.8)$$

Agar n – butun son emas, n^* – butunga yaqin, unda

$$\lambda_n - \lambda_n^* = (n - n^*) \left(\omega_{\oplus} T - d_1 \frac{\cos i}{a^2} \right). \quad (6.9)$$

Keltirilgan formulalarda N_c – uchish sutkasi, n – burilish raqami, Yer aylanishi tezligi $\omega_{\oplus} = 0.25068447 \text{ gradus/min}$, $d_1 = -2.3784766 \cdot 10^7 \text{ gradus} \cdot \text{km}^2$.

6.1.1. Geodezik YeSYlari va yo‘ldosh dasturlari

Geodezik maqsadlar uchun, asosan, turli xil YeSYlari ishlatilishi mumkin. Ammo, geodeziya va unga yaqin bilimlar sohalari uchun, eng qimmatli ma’lumotlarni, maxsus geodezik yo‘ldoshlarni kuzatish natijalaridan olish mumkin.

Yo‘ldosh, agar u aniq talablarga javob bersa, geodezik maqsadlarda foydalanish mumkin. Bunday yo‘ldosh quyidagilarga ega bo‘lishi kerak bo‘ladi:

- sferikga yaqin, to‘g‘ri shakl;
- aks ettirishni katta koeffitsiyent bilan tavsiflovchi (passiv YeSYlari uchun), yuza;
- massaning ko‘ndalang kesim yuzasiga mumkin qadar katta nisbati;
- orbita parametrlari cheklangan aniq chegaralari;
- maxsus bortli uskunalari (aktiv YeSYlari uchun).

Yo‘ldosh-ballonlar bundan mustasno, ular uchun massaning yuzaga nisbatini kichik qiymati tavsifli va ular faqat sinxron va kvazisinxron kuzatishlarda, agar yo‘ldoshning geotsentrik koordinatalarini aniq bilish talab etilmaganida, ishlatilishi mumkin.

Geodezik maqsadlar uchun foydalaniladigan yo‘ldoshlar, 0.02–0.05 eksentrisitetli orbitalarga, qoidaga ko‘ra, 0.1 dan ko‘p emas, ega bo‘lishi kerak. Orbita perigey balandligi, 1000–4000 km lar orasida bo‘lishi kerak. U 500–800 km dan kam bo‘lmasligi kerak, chunki bunday hollarda, atmosfera qarshiligini hisobga olishda, muhim qiyinchiliklarni paydo qiladi; bundan tashqari, bir va xuddi shu teritoriyani, yo‘ldoshlarning kichik balandliklarida ta’minlash uchun, ko‘p sonli kuzatishlar stansiyasi talab etiladi. Nihoyat, yo‘ldoshning balandligi qanchalik kichik bo‘lsa, uning ko‘rish tezligi shunchalik katta bo‘ladi, bu kuzatishlarni olib borishni murakkablashtiradi.

Perigey balandligini sezilarli oshishi yo‘l qo‘yarli emas, chunki bunda YeSYining harakatiga Yerning gravitatsion maydonini garmonikalarining alohida ta’siri, tekislanishni boshlaydi va dinamik tadqiqotlar uchun yo‘ldosh keraksiz bo‘lib qoladi, Oyning va Quyoshning gravitatsion ta’siri kuchayadi, bu ta’sirlarni hisobga olish murakkablashadi.

Geometrik masalalarni yechishda, katta territoriyalarni ta'minlash uchun katta qiyalikdagi ($60-80^\circ$) yo'ldoshlardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Dinamik masalalarni yechish, YeSYlarini har xil orbita parametrlari bilan, birinchi navbatda, har xil balandliklarini va qiyaliklarini talab etadi.

YeSYlari o'lchashlarini qayta ishlash uchun, ko'plab dasturlar mavjud, shulardan biriga to'xtalamiz. Bu *SKI* dasturiy ta'minotidir.

SKI dasturiy ta'minoti, *Leica System-300* tizimlari yordami bilan bajarilgan, o'lchashlarni qayta ishlash imkoniyatini beruvchi hisoblanadi. *SKI* ko'p sonli asos chiziqlarini qayta ishlash uchun qo'llaniladi, ular turli xil ishlash rejimlarida o'lchangan. Shu bilan birga, o'lchashlarning qaysi usulidan foydalanganligining ahamiyati yo'q, chunki dastur – statik, Stop&Go kinematika yoki kinematik usullarni – avtomatik ravishda hisobga oladi va foydalanuvchini barcha punktlar koordinatalari bilan ta'minlaydi.

Ikki chastotali statik o'lchashlarning muhim xususiyatlari, bir necha minutlar mobaynida 10 km gacha vektorlarni o'lchashlarda, santimetrli aniqlik darajasidagi natijalarni olish imkonini beruvchi, ma'lumotlarni tez statik qayta ishlash hisoblanadi.

SKI dasturiy ta'minoti, shuningdek, joyda – “reokupatsiya” (yoki psevdostatik) ishlarning muhim usulida olingan, ma'lumotlarni ham qayta ishlash imkonini beradi. Takrorlash bilan plan olish, bir soat va undan ko'p vaqt intervallari bilan bajarilgan, ikkita (yoki ko'p) katta bo'lmagan kuzatish intervallari ma'lumotlari bo'yicha, punktlar koordinatalarini aniqlash imkonini beradi.

SKI barcha turdagi ma'lumotlarni avtomatik boshqarish imkonini beruvchi, ma'lumotlar dasturiy bazasidan foydalanadi. Foydalanuvchi o'zining xususiy ma'lumotlar strukturasi, loyihani yaratish orqali berish imkoniga ega bo'ladi. Bitta va xuddi shu loyihaga, kompyuterning cheklangan resurslari bilan, har qanday miqdordagi ma'lumotlarni kiritish mumkin.

SKI differensial kodli va fazali o'lchashlarni birgalikdagi qayta ishlashda, eng yaxshi yechimni topadi. Natijalarni kam aniqlik bilan topish uchun, faqat differensial kodli o'lchashlar qayta ishlashlaridan foydalanish mumkin.

SKI Leica System-300 va RINEX formatlaridan qabul qilinuvchi, o'lchash ma'lumotlarini qabul qiladi. Ma'lumotlar kontroller, hisoblovchi qurilma yoki disketlar orqali uzatilishi mumkin. Ma'lumotlar ayrim loyihalarga yoki turli xil loyihalarga qayta jo'natilganidan keyin, ular ma'lumotlar bazasida avtomatik ravishda saqlanadi.

SKI yer sharining har qanday nuqtasida joylashganida, dala ishlarini rejalashtirish bo'yicha kerakli ma'lumotlar bilan ta'minlaydi. Yo'ldoshlar harakat traektoriyasi bilan osmon sferalarini tasvirlashda, yo'ldoshlar kuzatish oynasi, ularning azimutlari va burchak balandliklari, GDOP va PDOP parametrlari grafik va jadval ko'rinishida beriladi.

Foydalanuvchi interfeysi foydalanuvchi va kompyuter orasidagi aloqani o'rnatadi. Foydalanuvchi bilan interfeys uchun asos sifatida, WINDOWS operatsion qobig'i ishlatiladi.

Ishlash vaqtida birinchi panel – asosiy menyu qatori, barcha o'rnatilgan dastur bloklari bilan birgalikdagi menyular ro'yxatini o'z ichiga oladi. Bu panel, shuningdek, *SKI* o'rnatilgan dasturiy ta'minot versiyasi haqidagi ma'lumotlarni, yordamchi bo'limlarni va litsenziyalangan raqamni ham o'z ichiga oladi.

To'liq ro'yxat quyidagi bo'limlardan iborat:

- Configuration (konfiguratsiya);
- Preparation (dastlabki tayyorgarlik);
- Project (loyiha boshqaruvi);
- Import (hisoblash, muharrirlash, “xom” ma'lumotlarni yozish);
- Data Processing (ma'lumotlarni qayta ishlash);
- View/Edit (ko'rish/tahrirlash);
- Adjustment (tenglashtirish);
- Datum/Map (koordinatalarni bir tizimdan boshqasiga o'zgartirish);
- Utilities (xizmat ko'rsatish dasturlari);
- Help (tushuncha berish).

Gonfiguratsion *SKI* ni foydalanuvchini talablari bilan mos ravishdagi: kiritish va chiqarish uchun o'lchash birliklari, mahalliy vaqt, chop etish uchun sarlavha va boshqa sozlash imkoniyatlarini beradi.

Preparatsion joyda ishlarni rejalashtirish va kontrollerni dasturlashni o'z ichiga oladi. Boshlang'ich punkt menyusi aniq sanaga va

keyingi grafik va jadvalli ma'lumotlarni aniq joylashgan o'rni uchun qabul qilish imkonini beradi:

- mavjud yo'ldoshlar raqamlari;
- mavjud yo'ldoshlar soni;
- balandlik burchaklari va har qaysi yo'ldoshning azimuti;
- har qaysi yo'ldoshning GDOP va PDOP ko'rsatkichlari;
- punktdagi to'siqlar;
- yo'ldoshlar harakati traektoriyasi.

Project bo'limi loyihalar bilan ishlashni o'z ichiga oladi. U loyihalar ro'yxatidan loyihalarni tanlashni, yangi loyihalar yaratishni va yana yo'q qilish, nusxa olish yoki eski loyihalarni ko'chirish imkonini beradi. Har qaysi loyiha uchun, o'zining xususiy nashr etish uchun sarlavhasi va yana mahalliy vaqt tizimida ishlashi uchun, vaqtinchalik zonalar qiymatlari berilishi mumkin.

Import bo'limi quyidagi funksiyalarni o'z ichiga oladi:

- karta xotirasidan ma'lumotlarni import qilish (kontrollerdan, hisoblovchi qurilmani);
- disketdan ma'lumotlarni import qilish (jumladan zaxira nusxalarni);
- operator tomonidan dalada kiritilgan ma'lumotlarni sozlash, ma'lumotlarni saralash, turli loyihalar bo'yicha ma'lumotlarni taqsimlash va ularni ma'lumotlar bazasida saqlash;
- zaxira nusxalarni shakllantirish;
- RINEX tizimlari formatini shakllantirish.

Data Processing moduli *GPS* – o'lchashlarning haqiqiy qayta ishlashlarini bajaradi, ularning natijalari, aniqlashlar aniqligi natijalari bilan *WGS – 84* tizimidagi koordinatalar hisoblanadi. Qayta ishlashlar paketli va qadamli rejimlarda bajariladi. Qayta ishlashni boshlashdan oldin ma'lumotlar, ma'lumotlar bazasidan tanlanishi kerak. Loyihada qayta ishlanadigan nuqtalar soniga yagona cheklash, kompyuter qattiq diskining hajmi hisoblanadi. *SKI* quyidagi o'lchash usullari bilan olingan ma'lumotlarni qayta ishlashlarni bajaradi:

- statik;
- tez statik;
- reokkupatsiya (psevdostatik);
- Stop&Go kinematika;

- kinematik;
- yakka punktni hisoblash.

Tanlangan loyihaning ma'lumotlarini, **View/Edit** modulidan foydalanib, ko'rish va grafik hamda raqamli ko'rinishlarda tahrirlash mumkin. Punktlarga tegishli (punktning identifikatori, atributlar, antenna fazali markazini chiqarish, koordinatalar va boshqalar) ma'lumotlarni har qanday vaqtda ko'rish va tahrirlash mumkin. Filtrlarni tanlash, aniq mezonlarni qoniqtiruvchi, punktlarni faqat ekranga chiqarish imkonini beradi.

Adjustment moduli bir xil to'rga o'lchangan vektorlarni "bog'lashni" va uni kichik kvadratlar usuli bilan tenglashtirishni bajaradi. Bir nechta boshlang'ich punktlar bilan ozod tenglashtirish imkoniyati ham mavjud. Natijada tenglashtirilgan koordinata punktlari va statik ma'lumotlar taqdim etiladi.

Datum/Map moduli foydalanuvchini bir nechta usullar bilan koordinata tizimidagi natijalarini olish uchun qo'llaniladi. Modul quyidagi komponentlardan iborat:

- koordinatalar, ellipsoidlar, transformatsiya parametrlari va proyeksiyalar kutubxonasi to'plami;
- geoidning turli xil modellarini aniqlash;
- transformatsiya parametrlarini har xil turlarini aniqlash;
- transformatsiyaning har xil turlari (3D, 2D va boshqalar) ni taqdim etish;
- kartografik proyeksiyalardan foydalanish;
- foydalanuvchi tomonidan aniqlangan, kartografik proyeksiyalarni hisoblash dasturlarini birlashtirish.

Utilities moduli sensor va kontrollerlar uchun, yangi dasturiy ta'minot uchun yuklovchi modullarni o'z ichiga oladi. Apparat dasturiy ta'minotida imkoniyatlar kengaygan hollarda, yangi dasturiy ta'minot (yumshoq disketlarda) ro'yxatdan o'tgan har qaysi foydalanuvchiga yuboriladi.

Help moduli ishlar jarayonida foydalanuvchini tushunchalar bilan ta'minlaydi. Unga bosh menyu va har qaysi dasturiy blokning, har qaysi asosiy komponentlari boshlanishi orqali murojaat qilish mumkin. Tushuncha, *SKI* dasturiy ta'minoti bilan kam ish tajribasiga ega bo'lgan, tayyorgarlik ko'rmagan foydalanuvchilar yoki foydalanuvchilar uchun mo'ljallangan.

6.1.2. Kosmik navigatsiya geodezik tizim va uning yordamida yechiladigan geodezik masalalar

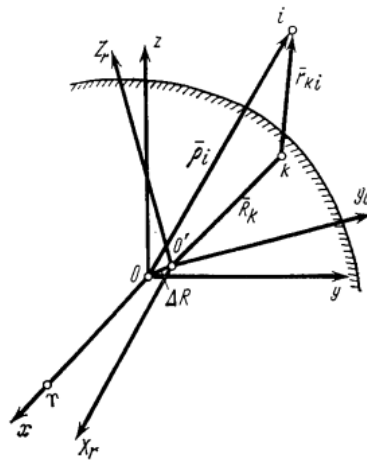
6.1-rasmda $\bar{\rho}_i$ – YeSY geotsentrik vektor, $\bar{r}_{ki}$ – topotsentrik vektor, uning boshlanishi yer yuzasidagi k punktlar bilan to‘g‘ri keladi, $\bar{R}_k$ – ba’zi referens-ellipsoidning O' markazida boshlanishga ega, punktning geodezik vektori, $\Delta\bar{R}$ – Yer massasi O markazi bilan referens-ellipsoidning joylashgan markazini bog‘lovchi, vektor.

$\bar{\rho}_i, \bar{r}_{ki}, \Delta\bar{R}$ va $\bar{R}_k$ vektorlar quyidagi nisbat orqali bog‘langan

$$\bar{\rho}_i = \bar{r}_{ki} + \bar{R}_k + \Delta\bar{R}, \quad (6.10)$$

ular kosmik geodeziyaning fundamental tenglamalari hisoblanadi.

Kosmik geodeziyada masalalarni yechishdagi bosqichlardan biri YeSYlarining joylashgan o‘rnini aniqlash hisoblanadi (to‘g‘ri masala). Agar punktning koordinatalari (ya’ni $\bar{R}_k$ vektorning komponentlari) ma’lum bo‘lsa va t_i moment uchun $\bar{r}_{ki}$ topotsentrik vektorning barcha uchta komponentlari aniqlangan bo‘lsa, u (6.10) tenglama yordamida yechiladi. Shu bilan birga, YeSYlari ushbu koordinata tizimida aniqlanadi, unda kuzatish punktlari koordinatalari berilgan.



6.1-rasm. Geodezik masalalarni yechish uchun YeSYlaridan foydalanish prinsiplari.

Punktlar geodezik koordinatalaridan foydalanishda (referens-ellipsoid tizimida), Yer massasi markaziga nisbatan, referens-ellipsoid markazining joylashishini aniqlash, ya’ni (6.10) tenglamadagi $\Delta\bar{R}$ vektorni aniqlash, masalasi paydo bo‘ladi.

Kosmik geodeziyada juda tez-tez kuzatish punktlari koordinatalarini aniqlash to'g'risidagi masala (teskari masala)ni ko'rib chiqishga to'g'ri keladi.

Bunday hollarda, (6.10) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\bar{R}_h = \bar{\rho}_i - \bar{r}_{ki} - \Delta\bar{R}. \quad (6.11)$$

Agar t_i moment uchun, YeSYlari harakat nazariyasidan, YeSYi $\bar{\rho}_i$ geotsentrik vektori ma'lum va ushbu moment uchun k punktda $\bar{r}_{ki}$ topotsentrik vektorning barcha uchta komponentlari kuzatishlari natijalari bo'yicha olingan, $\Delta\bar{R}$ vektor komponentlari esa oldindan o'rnatilgan bo'lsa, masala quyidagicha yechiladi.

Geodezik to'rlarni yaratish uchun, YeSYlarini sinxron va kvazisinxron kuzatishlari keng qo'llaniladi. Agar t_i qaysidir momenti uchun k va j punktlarda va YeSYlarining $\bar{r}_{ki}$ va $\bar{r}_{ji}$ topotsentrik vektorlari komponentlari sinxron aniqlansa, unda ikkita vektor tenglamalari hosil qilinadi:

$$\bar{\rho}_i = \bar{R}_k + \bar{r}_{ki} + \Delta\bar{R}; \quad \bar{\rho}_i = \bar{R}_j + \bar{r}_{ji} + \Delta\bar{R}, \quad (6.12)$$

bu yerdan

$$\bar{R}_j - \bar{R}_k = \bar{r}_{ki} - \bar{r}_{ji}. \quad (6.13)$$

Agar punktlardan birini koordinatalari berilgan bo'lsa, unda (6.13) tenglama, boshlang'ich tizimda boshqa punktning koordinatalarini olish imkonini beradi.

Kosmik geodeziyaning dinamik usuli, Yerning gravitatsion maydonini, orbita elementlarini va punktlarda bajariladigan, o'lchashlar yig'indisi bo'yicha kuzatish punktlari koordinatalarini birgalikda aniqlashdan iboratdir. Bundan tashqari, ko'pincha ba'zi apparatura doimiyliklari, atmosferani tavsiflovchi parametrlar aniqlanadi va $fM_\oplus$ gravitatsion parametrlar qiymati aniqlashtiriladi.

YeSYi geotsentrik radius-vektori — $\bar{E}_i$ orbitalar elementlari, ψ_k gravitatsion maydon parametrlari va t vaqtning murakkab funksiyasidir:

$$\bar{\rho} = \bar{\rho}(\bar{E}_i, \psi_k, t). \quad (6.14)$$

Umumiy hollarda, o'lchangan qiymatlarni, topotsentrik radius-vektorlar deb hisoblash mumkin, unda umumlashgan shaklda

$$\bar{r} = \bar{\rho}(\bar{E}_i, \psi_k, t) - \bar{R}. \quad (6.15)$$

(6.15) tenglamani chiziqli qilish va t vaqtni qayd qilishni xatosiz momentlar deb hisoblasak, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{\partial \bar{r}}{\partial \bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial E} \Delta \bar{E}_i + \frac{\partial \bar{r}}{\partial \bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial \psi_k} \Delta \psi_k - \frac{\partial \bar{r}}{\partial \bar{R}} \Delta \bar{R} + (\bar{r}_0 - \bar{r}_{o'ich}) = \bar{v}_r, \quad (6.16)$$

bu yerda: $\Delta \bar{E}_i, \Delta \psi_k, \Delta \bar{R}$ – mos ravishda orbitalar elementlariga, gravitatsion maydon parametrlariga va punktlar koordinatalariga tuzatmalar; $\bar{r}_0$ – topotsentrik radius-vektorining taxminiy qiymati; $\bar{v}_r$ – o‘lchangan qiymatlarga, tenglamalardan olingan, tuzatmalar vektori.

Xususiyl hollarda, gravitatsion maydonning qabul qilingan modeliga tuzatmalar aniqlanmaganida, $\psi_k = 0$ deb hisoblanadi va orbital usulning asosiy tenglamasi hosil qilinadi:

$$\frac{\partial \bar{r}}{\partial \bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial E} \Delta \bar{E}_i - \frac{\partial \bar{r}}{\partial \bar{R}} \Delta \bar{R} + (\bar{r}_0 - \bar{r}_{o'ich}) = \bar{v}_r, \quad (6.17)$$

bunda YeSYlariga ta’sir ko’rsatuvchi, ta’sirlar bo‘lgandagi ma’lum kuchlar taxmin qilinadi va orbita elementlarini hamda koordinata punktlarini birgalikda aniqlash masalasi qo‘yiladi.

Ma’lum $\bar{E}_i$ orbitalar elementlarini o‘lchash momentlari uchun e’tiborga olib, qisqartirilgan orbital usulning asosiy tenglamasi hosil qilinadi:

$$- \frac{\partial \bar{r}}{\partial \bar{R}} \Delta \bar{R} + (\bar{r}_0 - \bar{r}_{o'ich}) = \bar{v}_r. \quad (6.18)$$

So‘nggi holatda, faqatgina koordinata punktlarini aniqlash masalasi qo‘yiladi.

7-BOB. KOSMIK GEODEZIYANING GEOMETRIK USULLARI

7.1. Kosmik triangulyatsiyaning asosiy elementlari va elementlar orasidagi asosiy munosabatlar

Kosmik geodezik to'rlar. Kosmik triangulyatsiya – YeSYlarining lahzalik joylashgan o'rnini, ularga sinxron kuzatishlar bo'yicha, punktlarning o'zaro joylashgan o'rnini aniqlashga asoslangan, geometrik qurilmadir. Shunday qilib, yo'ldosh kosmik triangulyatsiyani yaratishda, oraliq yuqori vizir nishoni hisoblanadi.

Kosmik triangulyatsiyani yaratishda passiv YeSYlarini kuzatishlar sinxron ravishda olib boriladi, ammo suratga olishni bir vaqtdagi qat'iyligi shart emas, chunki kuzatishlarda qatnashuvchi, ikkita yoki ko'proq stansiyalarni vaqt bo'yicha ustma-ust tushishini tashkil etish yetarlidir.

Passiv YeSYlarini suratga olish natijasida, yo'ldoshning o'n va undan ko'p nuqtali tasvirlarini, τ vaqt intervalida ustma-ust qoplashini ifodalovchi, suratlari olinadi. Har qaysi yo'ldoshning tasviriga qayd qilingan T_i vaqt to'g'ri keladi. So'ngra ketma-ket, ustma-ust tushish davrlari va ustma-ust tushish T_0 o'rtacha momentlari aniqlanadi. Bunday kuzatishlar kvazisinxron deb ataladi. Yo'ldoshli abberatsiya uchun tuzatmalarni kiritish, T_0 ga tuzatmalarni kiritilishiga ekvivalentdir, shuning uchun, har qaysi punktga, abberatsiya vaqti uchun, o'zining T_0 dagi tuzatmasi kiritiladi

$$\Delta T_0 = -D/c, \quad (7.1)$$

bu yerda: D – YeSYigacha masofa; c - yorug'lik tezligi.

T_i momentlar bo'yicha va YeSYlari nuqtali tasvirlarining x_i va y_i to'g'ri burchakli koordinatalarida o'lchangan suratlarida, “soxta chaqnashlar” (sinxronlashtirish momenti)ning koordinatalari hisoblanadi, shu bilan birga, uchinchi darajadagi polinomdan foydalangan holda, kichik kvadratlar usuli bo'yicha interpolatsiya qilish bajariladi:

$$\begin{aligned} x &= a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3; \\ y &= b_0 + b_1 T + b_2 T^2 + b_3 T^3. \end{aligned} \quad (7.2)$$

a_i va b_i ($i=1, 2, 3$) koeffitsiyentlar aniqlangan keyin T_0 oʻrtacha moment (7.2) ga qoʻyiladi va sinxronlashtirish momentidagi “soxta chaqnashlar”ning x_0 va y_0 koordinatalari topiladi.

Aktiv yoʻldoshlarning kuzatishlar sinxronligi, bir xil chaqnashlarni turli punktlardan suratga olishni taʼminlaydi.

Kosmik triangulyatsiyani qurishning xususiyatlari. Kosmik triangulyatsiya vazifalariga bogʻliq ravishda, ularning qurishni uch turga boʻlish mumkin:

- alohida shakllarni qurish yoki yakka punktlarni aniqlash uchun kesishtirishlar (masalan, dengizlar bilan boʻlingan, yagona (materikli) geodezik toʻrga, mahalliy geodezik tizimlarni bogʻlashda);

- katta masofalarga koordinata tizimlarini uzatish uchun qatorlarni qurish va uzoqdagi geodezik tizimlarni bogʻlash uchun (masalan, Yevropa va avstraliya triangulyatsiyalari);

- yagona koordinata tizimi keng territoriyalarini va berilgan zichlik bilan punktlar toʻrini yaratishni taʼminlash uchun, uzluksiz toʻrlarni rivojlantirish.

Kosmik triangulyatsiya toʻrlarini qurish ikkita xususiyatga ega. Ulardan birinchisi – kosmik triangulyatsiya toʻrlaridagi barcha oʻlchashlar, bir tomonlama hisoblanadi, chunki YeSYlari bortidan oʻlchashlar olib borilmaydi; ikkinchisi – YeSYlari joylashgan oʻrni, punktlarning joylashgan oʻrniga qaraganda, juda kam vazn bilan olinadi, chunki YeSYlarining har qaysi joylashgan oʻrni faqat bir nechta (ayrim hollarda ikkita) punktlardan, buning ustiga bir marta, kuzatiladi. Uzoq kuzatishlar jarayonida, punktlarning joylashgan oʻrnini aniqlash uchun, katta miqdordagi ortiqcha oʻlchashlar yigʻiladi.

Kosmik triangulyatsiyaning asosiy elementlari. Kosmik geodeziyaning asosiy vektor tenglamasini (6.10), grinvich koordinata tizimlari oʻqlaridagi proyeksiyalarda ifodalab, ($\Delta\bar{R}=0$ boʻlganida) quyidagini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} X_k - X_i &= \Delta X_{ik} = r'_{ik} \cos \delta'_{ik} \cos \gamma'_{ik}; \\ Y_k - Y_i &= \Delta Y_{ik} = r'_{ik} \cos \delta'_{ik} \sin \gamma'_{ik}; \\ Z_k - Z_i &= \Delta Z_{ik} = r'_{ik} \sin \delta'_{ik}, \end{aligned} \quad (7.3)$$

bu yerda punktlardagi kuzatishlar natijalari bo'yicha olingan, X_k, Y_k, Z_k – kuzatish punktlari koordinatalari; X_i, Y_i, Z_i – YeSYlari koordinatalari; $r'_{ik}, \delta'_{ik}, \gamma'_{ik}$ – YeSYlari topotsentrik koordinatalari.

(7.3) dan $\Delta X_{ik}, \Delta Y_{ik}, \Delta Z_{ik}$ noma'lumlar orqali $r'_{ik}, \delta'_{ik}, \gamma'_{ik}$ o'lchangan qiymatlarni ifodalash uchun formula kelib chiqadi:

$$\begin{aligned}\gamma'_{ik} &= \arctg \frac{\Delta Y_{ik}}{\Delta X_{ik}}; \\ \delta'_{ik} &= \arctg \frac{\Delta Z_{ik}}{\sqrt{\Delta X_{ik}^2 + \Delta Y_{ik}^2}}; \\ r'_{ik} &= \sqrt{\Delta X_{ik}^2 + \Delta Y_{ik}^2 + \Delta Z_{ik}^2}.\end{aligned}\quad (7.4)$$

Dopler effektidan foydalanishga asoslangan, radiotexnik tizimlar qo'llanilgan hollarda, ikkita (k_1, k_2) holatda, kuzatish punktidan YeSYigacha $\Delta r'_{ik_1-2}$ masofalar farqi o'lchanadi:

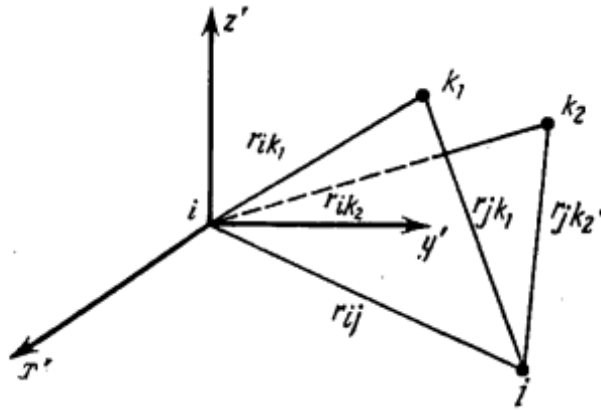
$$\Delta r'_{ik_1-2} = \sqrt{\Delta X_{ik_1}^2 + \Delta Y_{ik_1}^2 + \Delta Z_{ik_1}^2} - \sqrt{\Delta X_{ik_2}^2 + \Delta Y_{ik_2}^2 + \Delta Z_{ik_2}^2}. \quad (7.5)$$

Kosmik geodeziyaning asosiy elementlari quyidagilar hisoblanadi:

- YeSYlarining lahzalik joylashgan o'rni va kuzatishlar punktini bog'lovchi, vektor;
- ikkita kuzatish punktlarini bog'lovchi, vektor;
- ikkita kuzatish punktlari va YeSYlari lahzalik joylashgan o'rni orqali o'tuvchi, sinxronizatsiya deb ataladigan, tekislik.

Agar punktlarda faqat, fotografik kuzatishlar olib borilsa, unda ular bo'yicha faqatgina, fazodagi ko'rsatilgan elementlar oriyentirlashini aniqlash mumkin. Kuzatish punktidan yo'ldoshning joylashgan o'rniga yo'nalish, δ'_{ik} va γ'_{ik} fotografik kuzatishlar natijalari bo'yicha yoki $\bar{r}'_{ik}$ orta vektorning koordinatalari bo'yicha aniqlanadi (7.1-rasm):

$$\begin{aligned}l_{ik} &= \cos \delta'_{ik} \cos \gamma'_{ik}; \\ m_{ik} &= \cos \delta'_{ik} \sin \gamma'_{ik}; \\ n_{ik} &= \sin \delta'_{ik}.\end{aligned}\quad (7.6)$$



7.1-rasm. YeSYlari kuzatishlaridan, i va j kuzatish punktlarni bog'lovchi, xorda yo'nalishini aniqlash.

Agar i va j punktlardan k nuqtada joylashgan, YeSYi sinxron suratga tushirilsa, unda ijk sinxronizatsiyalash tekisligi aniqlanadi, unda vektor shaklidagi tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$(\bar{R}_i - \bar{R}_j) \bar{r}_{ik}^0 \bar{r}_{jk}^0 = 0, \quad (7.7)$$

bu yerda: $\bar{R}_i$ va $\bar{R}_j$ – kuzatish punktlarining geotsentrik vektorlari, $\bar{r}_{ik}^0$ va $\bar{r}_{jk}^0$ – mos ravishda i va j punktlardan topotsentrik vektorlar ortalari.

(7.7) tenglama koordinata shaklida quyidagi ko'rinishga ega:

$$A_k \Delta X_{ij} + B_k \Delta Y_{ij} + C_k \Delta Z_{ij} = 0, \quad (7.8)$$

bu yerda:

$$\begin{aligned} A_k &= m_{ik} n_{jk} - m_{jk} n_{ik}; \\ B_k &= l_{jk} n_{ik} - l_{ik} n_{jk}; \\ C_k &= m_{jk} l_{ik} - m_{ik} l_{jk}. \end{aligned} \quad (7.9)$$

Sinxronizatsiya tekisligiga perpendikulyar bo'lgan, $\bar{r}^0$ ortaning yo'naltiruvchi kosinuslari, quyidagi ko'rinishda hosil qilinadi:

$$l = A_k \sin \beta_k; \quad m = B_k / \sin \beta_k; \quad n = C_k / \sin \beta_k, \quad (7.10)$$

bu yerda β - i va j punktlardan YeSYlari burchak kesishtirishlari, shu bilan birga

$$\beta_k = \arccos(l_{ik} l_{jk} + m_{ik} m_{jk} + n_{ik} n_{jk}). \quad (7.11)$$

Agar i va j punktlardan YeSYlarining ikkita joylashgan o'rni ($k=1, 2$) sinxron ravishda kuzatilgan bo'lsa, unda i va j punktlarni

bog'lovchi, $\bar{r}_{ij}$ xorda bo'yicha kesib o'tuvchi, sinxronlashning ikkita tekisligi ijk_1 va ijk_2 aniqlanadi (7.1-rasmga qarang).

Shu bilan birga, $\bar{r}_{ij}$ xordalar yo'nalishi, sinxronlash tekisligiga normal, $\bar{r}_1^0$ va $\bar{r}_2^0$ ortalar vektorlari ko'paytmasidek aniqlanadi,

$$\bar{r}_{ij} = \bar{r}_1^0 \times \bar{r}_2^0, \quad (7.12)$$

$\bar{r}_{ij}$ xordalarning yo'naltiruvchi kosinuslari quyidagi ifodadan topiladi:

$$\begin{aligned} L_{ij} &= Q(B_1 C_2 - C_1 B_2); \\ M_{ij} &= Q(C_1 A_2 - C_2 A_1); \\ N_{ij} &= Q(A_1 B_2 - A_2 B_1), \end{aligned} \quad (7.13)$$

bu yerda

$$Q = \frac{1}{\sin \psi \sin \beta_1 \sin \beta_2}, \quad (7.14)$$

bu yerda: ψ – sinxronlash tekisliklari orasidagi burchak.

Xordaning yo'nalishini yana ikkita burchak bilan (δ va γ bilan o'xshash bo'yicha) berish mumkin, ulardan bittasi ekvator tekisligiga (ϕ burchak) xordaning qiyaligi, boshqasi – ekvator tekisligiga xordaning proyeksiyasi va OX o'qi (Λ burchak) orasidagi burchakdir:

$$\Lambda_{ij} = \arctd\left(\frac{M}{L}\right)_{ij}; \quad (7.15)$$

$$\Phi_{ij} = \arctd\left(\frac{N}{\sqrt{M^2 + L^2}}\right)_{ij}. \quad (7.16)$$

Kosmik triangulyatsiya to'rlarida paydo bo'ladigan, shartlarning turlari. Kosmik triangulyatsiyada punktlar orasidagi yo'nalishlar, yagona yulduz koordinata tizimida bir-biridan mustaqil hosil qilinadi, shuning uchun kosmik triangulyatsiya to'rlarida, an'anaviy triangulyatsiyadek, yig'indilar shartlari va azimutlar paydo bo'lmaydi, ularda qutbiy, asosli va koordinata shartlari bo'lishi mumkin.

Ko'rsatilganlardan tashqari, faqat fazoviy to'rlarga xos – uchta vektor tengligi, tekisliklar bog'lami va tekisliklar bog'lashlari, spetsifik shartlari paydo bo'ladi.

$\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3$ **uchta topotsentrik vektorlar tengligi shartlari**

$$\bar{r}_1 \bar{r}_2 \bar{r}_3 = 0 \quad (7.17)$$

yoki koordinata shaklida

$$\begin{vmatrix} l_{1.2} & m_{1.2} & n_{1.2} \\ l_{1.3} & m_{1.3} & n_{1.3} \\ l_{2.3} & m_{2.3} & n_{2.3} \end{vmatrix} \quad (7.18)$$

Bu shart kosmik triangulyatsiyada asosiy hisoblanadi va ikkita punktdan YeSYini bitta joylashgan o‘rnini kuzatishlarning sinxronligi natijasida paydo bo‘ladi.

Tekisliklarni bog‘lam shartlari. Bu shart quyidagidan iborat, ikkita punktlar uchun sinxronlashish barcha tekisliklari, bitta xorda bo‘yicha kesishishi kerak. Ikkita tekislik sinxronlashishi, kuzatish punktlarini bog‘lovchi, xorda bo‘yicha kesishishi kerak, har qaysi yangi tekislik ortiqcha hisoblanadi va bitta shartni hosil bo‘lishiga olib keladi.

Agar uchta tekisliklar normal vektorlari bilan $\bar{N}_1(A_1, B_1, C_1)$, $\bar{N}_2(A_2, B_2, C_2)$, $\bar{N}_3(A_3, B_3, C_3)$ berilgan bo‘lsa, bu yerda A, B, C – tekisliklar tenglamalari koeffitsiyentlari, unda bu vektorlarning aralash ko‘paytmasi:

$$V = \bar{N}_1 \bar{N}_2 \bar{N}_3 \quad (7.19)$$

$\bar{N}_1, \bar{N}_2$ va $\bar{N}_3$ vektorlarda qurilgan, parallelepipedni hajmini ifodalaydi. Agar tekisliklar bog‘lam hosil qilsa, unda parallelepiped to‘g‘riga aylanadi va bunday holatda $V = 0$. Shunday qilib, koordinata shaklida uchta tekisliklar to‘plami shartlari quyidagi ko‘rinish oladi:

$$V = \begin{vmatrix} A_1 & B_1 & C_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 \end{vmatrix} = 0. \quad (7.20)$$

Tekisliklarni bog‘lash shartlari. Uchta tekislikni kesishishi fazoda nuqtani aniqlaydi, har qanday qo‘shimcha bog‘lash tekisligi, shu nuqta orqali o‘tishi kerak, bu tekisliklarni bog‘lash shartlariga olib keladi

$$\begin{vmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 & D_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 & D_3 \\ A_4 & B_4 & C_4 & D_4 \end{vmatrix} = 0, \quad (7.21)$$

bu yerda: A, B, C, D – mos ravishda, bog‘lashlar hosil qiluvchi, koeffitsiyentlar va tekislik tenglamasi ozod a‘zolari.

i va j punktlardan YeSYlarini fotografik sinxron kuzatishlarini keyingi oshirilishi, xordani fazodagi orientirini aniqlovchi, Φ va Λ burchaklarni aniqlashtirilishiga olib keladi.

7.1.1. Kosmik triangulyatsiyani parametrik va korrelat usullarda tenglashtirish

Kosmik triangulyatsiyani tenglashtirishni, parametrik, korrelat usullarda va qo'shimcha noma'lumlar bilan korrelat usulda bajarish mumkin.

Berilgan holatda, korrelat usul yetarlicha murakkab hisoblanadi va amalda qo'llanish topmaydi, ammo qo'shimcha noma'lumlarni kiritish shartli tenglamalarni tuzishni soddalashtirishi mumkin.

Agar YeSYining har qaysi joylashgan o'rni, faqat ikkita punktdan kuzatilsa, unda barcha o'lchangan qiymatlarni guruhlariga bo'lish mumkin, ulardan har qaysisi to'g'ri keluvchi xordaga kiradi. Unda tenglashtirishni ikkita bosqichda bajarish mumkin. Birinchi bosqichda, har qaysi xordalardan oriyentirni va joylashgan o'rnini tavsiflovchi, noma'lum qiymatlar aniqlanadi. Keyin, birinchi bosqichda topilganlarni, xordaning oriyentirlash burchaklari va ularning uzunligi o'lchangan qiymatlari sifatida hisobga olib, xordalardan tuzilgan to'r tenglashtiriladi. To'rda faqat fotografik kuzatishlar bajarilgani uchun, bu usul oxirgi yo'nalishlar nomini olgan.

Parametrik tenglashtirish usuli, eng umumiy va qat'iy hisoblanadi, bunda sinxron momentga to'g'ri keluvchi, YeSYlari lahzalik koordinatalari va kuzatish punktlariga tuzatmalar aniqlanadi. Bunda normal tenglamalar soni $3(s+p)$ bo'ladi, bu yerda: – YeSYlari joylashgan o'rinlari soni, p – aniqlanadigan punktlar soni, shu bilan birga, qoidaga ko'ra, p dan s sezilarli darajada katta.

Fotografik kuzatishlar δ'_{ik} va γ'_{ik} natijalarini i punktning koordinatalari va k yo'ldoshning koordinatalari funksiyasidek ifodalab hamda bu funksiyalarni chiziqlashtirib, tuzatmalar tenglamasini quyidagi ko'rinishda topamiz:

$$v_{\gamma_{ik}} = a\xi_k + b\eta_k - a\xi_i - b\eta_i + l_{\gamma_{ik}}; \quad (7.22)$$

$$v_{\delta_{ik}} = -c\xi_i + d\eta_i - e\xi_k + c\xi_k + d\eta_k + e\zeta_k + l_{\delta_{ik}}, \quad (7.23)$$

bu yerda: ξ_i, η_i, ζ_i – punktning koordinatalariga taxminiy tuzatmalar; ξ_k, η_k, ζ_k – yo'ldoshning koordinatalariga taxminiy tuzatmalar.

(7.22) va (7.23) tenglama koeffitsiyentlari quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$a = -\frac{\sin \gamma'_{ik}}{r_{ik}^0 \cos \delta'_{ik}}; d = -\frac{\sin \gamma'_{ik} \sin \delta'_{ik}}{r_{ik}^0}; b = \frac{\cos \gamma'_{ik}}{r_{ik}^0 \cos \delta'_{ik}}; e = \frac{\cos \delta'_{ik}}{r_{ik}^0}; c = -\frac{\cos \gamma'_{ik} \sin \delta'_{ik}}{r_{ik}^0}, \quad (7.24)$$

ozod a'zolar esa

$$l_{\gamma_{ik}} = \gamma_{ik}^0 - \gamma_{ik}^{\text{olch}}; \quad l_{\delta_{ik}} = \delta_{ik}^0 - \delta_{ik}^{\text{olch}}, \quad (7.25)$$

bu yerda γ_{ik}^0 va δ_{ik}^0 - $\mathbf{z}$ punktning va k yo'ldoshning taxminiy koordinatalariga aniq mos keluvchi, burchaklar taxminiy qiymatlari. γ_{ik}^0 va δ_{ik}^0 qiymatlar (7.4) formula bo'yicha hisoblanadi.

O'lchangan qiymatlar vazni quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$p_{\delta} = \frac{c}{m_{\delta}^2}; \quad p_{\gamma} = \frac{c}{m_{\delta}^2 \sec^2 \delta'}, \quad (7.26)$$

Agar to'ra o'lchashlar bir turdagi qurilmalar bilan bajarilgan bo'lsa, unda $p_{\delta} = 1$ va $p_{\gamma} = \cos^2 \delta'$ bo'ladi.

Agar r'_{ik} masofa lazerli yoki radiotexnik vositalar bilan o'lchangan hollarda, tuzatmalar tenglamasi paydo bo'ladi:

$$\nu_{r_{ik}} = l_{ik} \xi_k + m_{ik} \eta_k + n_{ik} \zeta_k - l_{ik} \xi_i - m_{ik} \eta_i - n_{ik} \zeta_i + l_{r_{ik}}, \quad (7.27)$$

bu yerda

$$l_{ik} = \frac{X'_k - X'_i}{r'_{ik}}; \quad m_{ik} = \frac{Y'_k - Y'_i}{r'_{ik}}; \quad n_{ik} = \frac{Z'_k - Z'_i}{r'_{ik}}; \quad (7.28)$$

$$l_{r_{ik}} = r_{ik}^0 - r_{ik}^{\text{olch}} = \sqrt{(X_k^0 - X_i^0)^2 + (Y_k^0 - Y_i^0)^2 + (Z_k^0 - Z_i^0)^2} - r_{ik}^{\text{olch}}$$

va vazn

$$p_r = m_{\delta}^2 r^2 / m_r^2. \quad (7.29)$$

O'lchangan doplerli tizimlar uchun masofalar farqlari $\Delta r = r'_{ik} - r'_{il}$ tenglamalariga tuzatmalar quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\nu_{\Delta r} = -F \xi_i - G \eta_i - H \zeta_i + l_{ik} \xi_k + m_{ik} \eta_k + n_{ik} \zeta_k - l_{il} \xi_l - m_{il} \eta_l - n_{il} \zeta_l + l_{\Delta r}, \quad (7.30)$$

bu yerda

$$F = -l_{ik} + l_{il}; \quad G = -m_{ik} + m_{il}; \quad H = -n_{ik} + n_{il}; \quad (7.31)$$

vazn

$$p_{\Delta r} = c / m_{\Delta r}^2. \quad (7.32)$$

$c = m_{\delta}^2$ bo'lganida

$$p_{\Delta r} = m_{\delta}^2 / m_{\Delta r}^2. \quad (7.33)$$

Faqat fotografik kuzatishlar yo'li bilan yaratiladigan to'rlarda, chiziqli o'lchashlar o'tkazilmaganida, tuzilmaga kosmik triangulyatsiya punktlarini bog'lovchi, ba'zi xordalar uzunligini o'zida

ifodalovchi, kosmik bazislar kiritiladi. Bu uzunliklar, astronomik va gravimetrik aniqlashlar bilan birgalikda, Yer yuzasida bajarilgan, yuqori aniqlikdagi chiziqli va burchak o'lchashlardan olinadi.

Bunday hollarda, tenglashtirishga kosmik bazislar tuzatma tenglamalari ham kiritiladi: ularning ko'rinishi (7.27) ga o'xshash, ammo ikkala punkt koordinatalariga tuzatmalar noma'lum bo'ladi. Tuzatmalar tenglamasi bazislari vazni, bazisni yaratishda bajarilgan, geodezik ishlarni mos keluvchi aniqligini baholashdan kelib chiqadi.

Yana shunday holatlar bo'lishi mumkin, an'anaviy triangulyatsiyadan topilgan va ij xordalar yo'nalishini aniqlovchi, o'lchangan elementlar sifatida tenglashtirishga Λ_{ij} va Φ_{ij} burchaklar kiritilishi mumkin. Unda Λ va Φ burchaklar uchun, γ'_{ik} va δ'_{ik} burchaklardagidek, tuzatmalar tenglamasi tuziladi.

Kosmik geodezik tuzilmalar masshtabini o'rnatish uchun, radioelektron yoki lazerli usullar bilan o'lchangan punkt – yo'ldosh masofasidan foydalaniladi.

7.1.2. Kosmik triangulyatsiya usuli bilan geodezik to'rlarni barpo qilish

Orbital usulning asosida (6.17) tenglama yotadi. Shunday qilib, to'rlarni qurishning orbital usuli, E_i orbitalar elementlari, $\bar{R}_k$ punktning joylashgan o'rni va k kuzatish punktining joylashgan o'rni bilan i YeSYi lahzalik joylashgan o'rnini bog'lovchi va kuzatish punktlarida bajariladigan, U_{ik} o'lchashlar jamlanmasi bo'yicha Yer massasi markazidagi koordinatalar tizimlari boshlanishini ko'chirish uchun tuzatmalardan iborat.

Punktlardagi asosiy o'lchashlar, α' va δ' topotsentrik ekvatorial o'lchashlarni, r_{ik} masofani va $\dot{r}_{ik}$ radial tezliklarni o'z ichiga oladi. $\alpha', \delta', r', \dot{r}'$ o'lchangan qiymatlarni YeSYi koordinatalari bilan bog'lovchi, tenglamalarni chiziqlashtirish, quyidagi tuzatmalar tenglamalari-ga olib keladi:

$$v_{ik} = \frac{\partial U_{ik}}{\partial (X, Y, Z, \dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z})_k} \cdot \frac{\partial (X, Y, Z, \dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z})_k}{\partial (X, Y, Z, \dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z})_0} \cdot d \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{pmatrix}_0 -$$

$$- \frac{\partial U_{ik}}{\partial (X, Y, Z)_i} \cdot d \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_i + L_{ik} = QR \cdot d \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{pmatrix} - S \cdot d \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_i + L_{ik}. \quad (7.34)$$

Boshlang'ich shartlar bo'yicha koordinata va tezlik joriy qiymatlaridan hosila R matritsa, sonli usullar bilan hisoblanishi mumkin.

(7.34) ko'rinishdagi tenglama tizimi, shartlari bo'yicha ketma-ket yaqinlashtirish bilan yechiladi, tuzatmalar tenglamalari vazni, o'lchash aniqligi bilan mos ravishda o'rnatiladi.

L_{ik} ozod a'zolari hisoblash uchun har qaysi yaqinlashtirishda, tebranuvchi elementlardagi harakat differensial tenglamalari tizimida yoki YeSYlariga ta'sir ko'rsatuvchi barcha kuchlarni ushbu vaqtda hisobga olish mumkinligi bilan to'g'ri burchakli koordinatalarda, sonli yoki analitik integrallanadi. YeSYlari koordinata va tezlik qiymatlarini integrallash natijasida hosil qilinganlar bo'yicha, qabul qilingan boshlang'ich shartlar U_{ik}^0 qiymatiga mos keluvchi, taxminiy, ammo aniq qiymat hisoblanadi, keyin ozod a'zolar topiladi:

$$L_{ik} = U_{ik}^0 - U_{ik}^{o'Ich}. \quad (7.35)$$

Yer massasi markaziga koordinatalarni keltirish kerak bo'lganida, (7.35) tenglamaga boshlanishi Yer massasi markazida bo'lgan, absolut koordinata tizimidagi, o'zida referens-ellipsoid koordinatalarini ifodalovchi mos keluvchi $\delta x, \delta y, \delta z$ noma'lumlar kiritiladi.

Orbital usul, umumiyer ellipsoidi parametrlarini aniqlashda, alohida geodezik tizimlar orasidagi bog'liqliklarni o'rnatishda, Yer massasi markaziga nisbatan, referens-ellipsoid markazi joylashgan o'rnini aniqlashda qo'llanilishi mumkin bo'ladi.

7.1.3. Geopotensialning zamonaviy usullari

Uzun chiziqli radiointerferometriya (RSDB). Usul 1965-yilda sobiq sovet radioastronomlari L.I. Matvienko, N.S. Kardashev va G.B. Sholomniskiylar tomonidan tavsiya etilgan. Keyinchalik usulning rivojlantirishda, ko‘plab mutaxassislar qatnashdi. Ayniqsa, V.S. Troiskiy va I.D. Jongolovichlarning ishlari muhim o‘rin tutishini qayd etish kerak bo‘ladi.

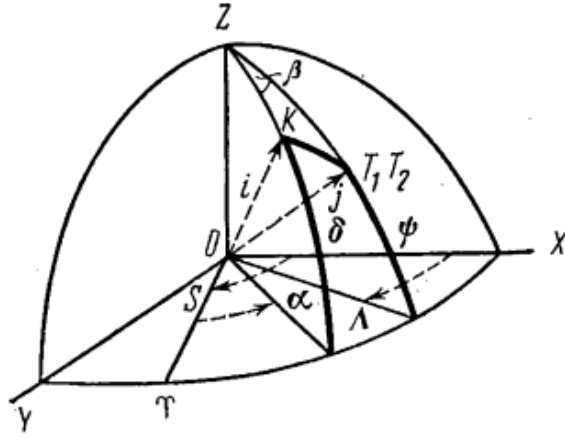
RSDB usulining mohiyati shundan iboratki, bir-biridan sezilarli masofaga uzoqlashgan, ikkita punktda joylashgan, ikkita radioteleskop, juda uzoqdagi tabiiy radiomanba nurlanishini bir vaqtda qayd qiladi. Kuzatish punktlaridagi radiosignallar magnitofon yozuvlarining tahlili, “vaqtinchalik kechikish” va interferensiya chastotalarini aniqlash imkonini beradi. τ vaqtinchalik kechikish o‘lchangan qiymati sifatida foydalanilgan hollarda, quyidagi RSDB asosiy formulasi qo‘llaniladi:

$$c\tau = A\cos\alpha - B\sin\alpha + C + cv(a + bt), \quad (7.36)$$

bu yerda: c – yorug‘lik tezligi; $\omega = d(S - \alpha)/dt$ – “harakatsiz” radiomanbaga nisbatan, Yer aylanishi lahzalik burchak tezligi; $\tau = \tau_{o'rch} + \Delta\tau_A + \Delta\tau_{aber}$; $v = \tau / \tau_{o'rch}$, ($|1 - v| \sim 10^{-4}$); $\tau_{o'rch}$ – vaqtinchalik kechikish o‘lchangan qiymati; $\Delta\tau_A$ – atmosfera uchun tuzatma; $\Delta\tau_{aber}$ – sutkalik va yillik abberatsiya uchun tuzatma; a va b – t momentdagi standartlar sinxronizatsiyasi xatolarini tavsiflovchi, sonli parametrlar; $\Delta\tau = \tau_{o'rch} - (a + bt)$;

$$\begin{aligned} A &= D_E \cos\delta \cos\beta_0; \\ B &= D_p \cos\delta \sin\beta_0; \\ C &= D_p \sin\delta; \\ D_E &= D \cos\Phi; \\ D_p &= D \sin\Phi; \\ \beta_0 &= (S - \alpha - \Lambda)_0. \end{aligned} \quad (7.37)$$

(7.37) ga kiruvchi, ba’zi parametrlar 7.2-rasmda ko‘rsatilgan. Unda OX koordinata o‘qi, birinchi geotsentrik meridianning tekisligida joylashgan, OZ o‘qi Yer aylanishi lahzalik o‘qi bo‘ylab yo‘naltirilgan, i – radiomanbaga yo‘nalish bo‘yicha orta, j – T_1 dan T_2 ga bazalar yo‘nalishi bo‘yicha orta.



7.2-rasm. Vaqtinchalik kechikish bilan RSDB tenglashtirishga kiruvchi, geometrik parametrlar.

Bundan tashqari, (7.37) formuladagi D_E va D_p – ekvator va Yerning qutbiy o‘qiga D bazalar proyeksiyasi.

Interferensiya chastotalari o‘lchangan qiymatlar sifatida qo‘llanilgan hollarda, *RSDB* asosiy formulasi quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\lambda_0 f = -(A \sin \omega t + B \cos \omega t) \omega + \lambda_0 v \Delta f_z, \quad (7.38)$$

bu yerda: $f = f_u + \Delta f_A + \Delta f_{aber}$; f_u – interferensiya chastotalari o‘lchangan qiymatlari; Δf_A va Δf_{aber} – atmosfera va abberatsiya (sutkalik va yillik) uchun tuzatmalar; $f_u = f_o + \Delta f_z$; f_o – chastotalar doplerli siljishlari; Δf_z – kuzatish punktlaridagi geterodin chastotalar farqlariga asoslangan, noaniq qiymat; $\lambda_0 = c f_o^{-1}$ (f_o – oldingi baza oxirida qo‘llaniladigan, radionurlanish chastotasi).

(7.36) va (7.38) tenglamalarni chiziqlashtirish, *RSDB* usulidagi tuzatma tenglamalariga olib keladi. Umumlashgan ko‘rinishda tuzatmalar tenglamalari quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$F = F_0 + \left(\frac{\partial F}{\partial \delta_i} \right)_0 \Delta \delta_i + \left(\frac{\partial F}{\partial \beta_{0i}} \right)_0 \Delta \beta_{0i} + \left(\frac{\partial F}{\partial \gamma_i} \right)_0 \Delta \gamma_i + \left(\frac{\partial F}{\partial D_E} \right)_0 \Delta D_E + \left(\frac{\partial F}{\partial D_p} \right)_0 \Delta D_p + \left(\frac{\partial F}{\partial \omega} \right)_0 \Delta \omega + \left(\frac{\partial F}{\partial a} \right)_0 \Delta a + \left(\frac{\partial F}{\partial b} \right)_0 \Delta b + \left(\frac{\partial F}{\partial f_z} \right)_0 \Delta f_z, \quad (7.39)$$

shu bilan birga $\gamma = D_E \cos \delta$.

(7.36) va (7.38) tenglamalardan birgalikda foydalanish, to'qqizta parametrli tuzatmalar tenglamalariga olib keladi. (7.36) dan alohida foydalanganida, $\delta_i, \beta_{0i}, D_p, \omega, D_E, a, b$ yettita parametrlarni aniqlash uchun tuzatmalar tenglamalarini hosil qilamiz; (7.36)dan – mos ravishda $\beta_{0i}, \gamma_i, \omega, f_z$ to'rtta parametrlarni aniqlash uchun tuzatmalar tenglamalarini hosil qilamiz.

Yuqorida keltirilgan formulalardan, *RSDB* usuli bilan, bog'lovchi punktlarning, radiomanbalari koordinatalarini (buning asosida inersial koordinata tizimini yaratish), xordalar uzunligi va yo'nalishini; Yerning aylanish parametrlarini; bir-biridan uzoqda joylashgan punktlardagi, soatlar sinxronlashtirilishini amalga oshirishni aniqlashtirish mumkin.

Usulning potensial aniqligi, 0.001–0.0001" (yo'nalish), bir necha santimetr (xordalar uzunligi, punktlar koordinatalari, qutb koordinatalari), 0.15 ms sutkaga (Yer aylanishi variatsiyalar tezligi) xatolar bilan tavsiflanadi.

RSDB usulini qo'llash uchun kerakli shartlar:

1) santimetrli diapazonda ishlovchi, diametri 30 m ga yaqin va ko'p, to'liq aylanadigan antennali, radioteleskoplarning mavjudligi;

2) $10^{-13} - 10^{-14}$ barqarorlik bilan generatorlar chastotalarini mavjudligi;

3) kuzatish natijalarini qayd etish uchun kuchli magnitofonlarning mavjudligi (ma'lumotlar hajmi 10^9 birlikka yetadi);

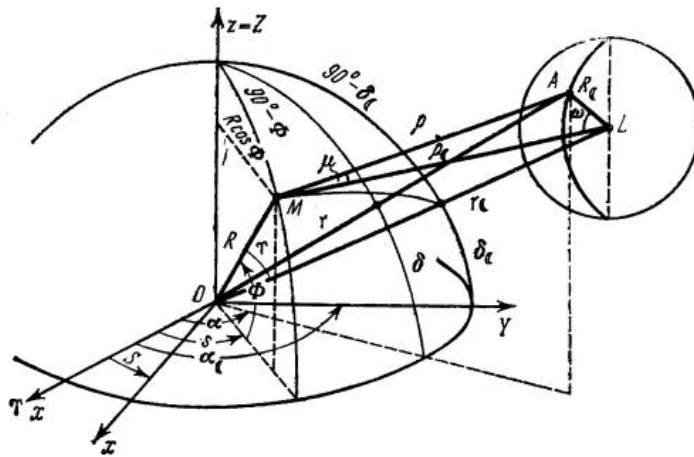
4) mos keluvchi mashina va matematik ta'minot;

5) radiomanbalar kataloglarining mavjudligi.

Oyning lazerli lokatsiyasi. Oy yuzasida joylashgan, burchakli aks ettiruvchigacha masofani lazerli dalnomer yordamida o'lchab, geodezik, astronomik va geodinamik masalalarni yechish mumkin.

Oyning lazerli lokatsiyasi usuli boshlang'ich tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega (7.3-rasm).

$$\begin{aligned} \rho \cos \mu &= (r_c^2 + R^2 - 2r_c R \cos \gamma)^{1/2} - R_c \cos \omega = \\ &= \{r_c^2 + R^2 - 2r_c R [\sin \Phi \sin \delta_c + \cos \Phi \cos \delta_c \cos(S + \Lambda - \alpha_c)]\}^{1/2} - \\ &- R_c [\sin b \sin b_0 + \cos b \cos b_0 \cos(l - l_0)] \end{aligned} \quad (7.40)$$



7.3-rasm. Oyning lazerli lokatsiyasi usulidagi geometrik nisbat.

Keltirilgan tenglamadan ko‘rinib turibdiki, Oyning lazerli lokatsiyasi natijasida, kuzatish punktlari koordinatalarini (R, Φ, Λ) , Yerning tabiiy yo‘ldoshi harakat nazariyasini (r, α, δ) , selenotsentrik koordinata tizimidagi aks ettiruvchilar joylashgan o‘rnini (R_L, b, l) va fizik libratsiya parametrlarini (b_0, l_0) aniqlashtirish mumkin.

(7.40)ni chiziqlashtirish quyidagi tenglamaga olib keladi:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{r_L}{\rho_L} - \frac{R}{\rho_L} \cos \gamma_i \right) \frac{3422.7''}{\pi_L} \Delta r_L - \cos \omega_i \Delta R_L - \frac{3422.7''}{\pi_L} r_L \Pi_i \Delta e - \\ & \cos b \cos b_{0i} \sin(l - l_{0i}) \Delta l + [\sin b_{0i} \cos b - \cos b_{0i} \sin b \cos(l - l_{0i})] \Delta b - \\ & - \left(\frac{R}{\rho_L} - \frac{r_L}{\rho_L} \cos \gamma_i \right) \Delta R + \frac{r_L}{\rho_L} R (\cos \Phi_i \sin \delta_i - \sin \Phi_i \cos \delta_i \cos t_i) \Delta \Phi + \\ & + \frac{r_L}{\rho_L} R (\sin \Phi_i \cos \delta_i - \cos \Phi_i \sin \delta_i \cos t_i) \Delta \delta - \frac{r_L}{\rho_L} R \cos \Phi_i \cos \delta_i \sin t_i + L_i = v_i, \end{aligned} \quad (7.41)$$

bu yerda: $L_i = \rho_{his_i} - \rho_{o'ich_i}$; Π_i – differensiallash natijasida hosil qilingan $d \sin \pi_L / de$; $t_i = s_i - \alpha_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

Har xil noma'lumlardagi koeffitsiyentlar (7.41) ko‘rinishidagi tenglamalarda, har xil vaqt oraliqlari uchun sezilarli darajada o‘zgaradi, shuning uchun, amalda guruh parametrlari alohida aniqlashtiriladi.

Shunday qilib, masalan, (7.40) tenglama o‘rniga, boshlang‘ich sifatida, faqat kuzatish punktlari koordinatalarini aniqlashtirish uchun olish kerak bo‘ladi:

$$\rho^2 = R^2 + r^2 - 2r(R \cos \Phi \cos \delta \cos t + R \sin \Phi \sin \delta). \quad (7.42)$$

Oyning lazerli lokatsiyasi, shuningdek, Yer aylanishi parametrlarini, uning orbital harakati parametrlarini, litosfera plitalarini ko'chishini o'rganishni aniqlashtirish imkonini beradi.

Oygacha topotsentrik uzoqliklarni 0.5 m o'rtacha kvadratik xatolik bilan o'lchashlar, kuzatish punktlarini koordinatalarini 0.2–0.3 m xatolik bilan, aks ettiruvchi selenografik koordinatalarini – $m_b = m_l = 0.6''$ xatolik bilan, aks ettiruvchi selenotsentrik radius-vektorini – 5 m xatolik bilan, Oyning doimiy fizik libratsiyasini – $1 \cdot 10^{-4}$ nisbiy xatolik bilan I ekliptikaga Oy ekvatorining qiyaligini – $0,2''$ ga teng bo'lgan xatolik bilan optimal vaqtda joylashishini aniqlash imkonini beradi. Oyning fizik libratsiyasi parametrlarini aniqlash uchun unga 2–3 aks ettiruvchi o'rnatilishi kerak bo'ladi. Uchinchi avlod lazerli dalnomerlaridan foydalanish, e'tirof etilgan parametrlar aniqlash aniqligini, hech bo'lmaganda bir tartibga, oshirish imkonini beradi.

Yo'ldosh – yo'ldosh chizig'i bo'yicha o'lchashlar. Usul Yer gravitatsion maydonining nozik tuzilishini o'rganish imkonini berdi.

Birinchi variantda o'lchashlar, past orbitada harakatlanayotgan, ikkita yo'ldosh orasida olib boriladi.

Ikkinchi variant balanddagi ESYi (masalan, statsionar)dan past orbitadagi yo'ldoshni kuzatishni nazarda tutadi.

Hisoblashlar shuni ko'rsatdiki, 200 km balandlikda yo'ldoshlarning harakatlanishida va yana bir-biridan 200 km masofalarda joylashganida, $2 \times 2^\circ$ o'lchamdagi trapetsiya uchun og'irlik kuchi anomaliyasini, ishonchli aniqlash mumkin, bu $n = 90^\circ$ gacha geopotensialning taqsimlanishiga mos keladi. Bunda nisbiy dopler o'lchashlari, 0.1 mm/s dan kam bo'lgan, xato bilan bajarilishi kerak. Nisbiy tezliklardan tashqari, nisbiy masofa va bortli teleskopning yordamida yo'ldoshlarga yo'nalishlar orasidagi burchaklar o'lchanishi mumkin.

Ikkinchi variantdagi tajriba kuzatishlari, ATS-6/Nimbus-6, ATS-6/“Soyuz” – “Appolon” va ATS-6/GEOS-3 tizimlaridan foydalanib o'tkazildi.

Yo'ldosh gradiyentometriyasi usuli. Yo'ldosh altimetriyasi va yo'ldosh – yo'ldosh chizig'i bo'yicha kuzatishlardan foydalanishlardan tashqari, chet elda yo'ldosh gradiyentometriyasi usulini ishlab chiqish ustida ishlar olib borilmoqda. Bu usul yer gravitatsion maydoni nozik tuzilishini o'rganish uchun samarali vosita hisoblanadi.

Yoʻldosh gradiyentometriyasi usulida oʻlchanadigan qiymatlar, geopotensialning ikkinchi hosilasi hisoblanadi. Shu bilan birga, geopotensialning gradiyentlari, geopotensialning garmonik koeffitsiyentlariga qaraganda, ogʻirlik kuchi anomaliyasiga juda sezuvchandir. Usulning ustunligi, topografiya, vertikal tezlanishlar taʼsiridan oʻlchash natijalariga, kuchsiz bogʻliqligidir. Yoʻldosh gradiyentometriyasi usuli bilan $n=100$ gacha sferik funksiyalar boʻyicha taqsimlanishda geopotensialning garmonik koeffitsiyentlarini olish mumkin, Ayniqsa, u $n > 40$ boʻlganida, geopotensialning nozik tuzilishini oʻrganish uchun juda samaralidir.

Geopotensialning ikkinchi hosilasini oʻlchash kerakli aniqligi, 0.05dan 0.002E gacha (uchish balandligi va aniqlanadigan garmonika darajasiga bogʻliq ravishda) boʻlishi mumkin.

8-BOB. KOSMIK GEODEZIYANING MAXSUS (DIFFERENSIAL) USULLARI

8.1. Bortli yo'ldosh o'lchashlarini bajarish asboblari

O'tgan asrning 60-yillarida YeSYlarini fotografik kuzatishlar keng tarqalishga ega bo'ldi, chunki u davrlarda boshqa har qanday usul, uning bilan aniqligi bo'yicha raqobatlasha olmas edi. Keyinchalik birinchi o'ringa doplerli va lazerli kuzatishlarni qo'ydilar. Bu kuzatishlar asosida, nafaqat, geodezik masalalar, balki geodinamika va astrometriya muammolari ham yechiladi. Lazerli va doplerli kuzatishlar aniqligi to'xtovsiz oshib bormoqda. Shu bilan birgalikda, fotografik kuzatishlar, kosmik geodeziyaning geometrik va dinamik masalalarini yechishda ham, qo'llanilishi davom etmoqda. Ularning asosiy qiymati, kosmik geodezik tuzilmalarni oriyentirlashni ta'minlashdan iboratdir.

Fotografik kuzatishlar hujjatli, kerak bo'lgan hollarda, o'lchashlarni ko'p marotaba takrorlash imkoniyatiga ega. YeSYi joylashgan o'rni suratda, fundamental katalogning qaysidir tizimidagi tayanch yulduzlarga bog'lash yo'li bilan aniqlanadi.

Fotografik tasvirning masshtabi (v''/mm)

$$m = 206265 \frac{1}{F}, \quad (8.1)$$

Ko'rish maydonining o'lchami (graduslarda)

$$2\sigma = 57.3 \frac{a}{F}, \quad (8.2)$$

bu yerda: a – suratning tomoni.

σ yulduz (yoki yo'ldosh) dan osmon sferasiga, optik markazning proyeksiyasigacha bo'lgan burchak masofasi bilan va s yulduz tasviridan suratning optik markazigacha bo'lgan chiziqli masofa orasidagi bog'liqlik, tangens qonuni (ideal holatda) bilan ifodalanadi:

$$s = Ftg\sigma. \quad (8.3)$$

Tangens qonuni, obyektivning xatosini, differensial refraksiyani, atmosfera dispersiyasini, tashqi muhitni, yorqinlik tenglamasini ta'siri natijasida, faqat taxminiy bajariladi. Distorsiya ta'sirini hisobga olganda, (8.3) formula o'rniga quyidagiga ega bo'lamiz:

$$s = Ftg\sigma + v_1 tg^3\sigma + v_2 tg^5\sigma + \dots, \quad (8.4)$$

bu yerda: v_1 – distorsiya koeffitsiyenti.

YeSYini fotografik kuzatishlar uchun kameralar. Yo‘ldoshlarni kuzatish uchun kameralarni ikkita guruhga ajratish mumkin. Bu guruhlardan biridagi kameralar yo‘ldoshlarning harakatini kuzatmaydi. Ular azimutal yoki ekvatorial o‘rnatilishga ega bo‘lishi mumkin. Ikkinchi guruhni kuzatuvchi kameralar tashkil qiladi. Bu kameralar uch o‘qli yoki to‘rt o‘qli o‘rnatilishga ega. Qoidaga ko‘ra, kuzatmaydigan kameralar ko‘proq ko‘chma va arzonroqdir. Shuni ta’kidlash kerakki, prinsipial nuqtayi nazar bilan YeSYi harakatini kuzatish va shu bilan fotografik plastinka (plyonka)ning aniq nuqtasida yorug‘lik energiyasini interallash, tur xil kameralarda quyidagi usullarning birida amalga oshirilishi mumkin:

- kameralarni ko‘chirish yo‘li bilan kichik doira bo‘yicha yo‘ldoshlarni kuzatish (to‘rt o‘qli o‘rnatish);
- kameralarni ko‘chirish yo‘li bilan katta doira bo‘yicha yo‘ldoshlarni kuzatish (uch o‘qli o‘rnatish);
- tekis parallel plastinkalardan foydalanish yo‘li bilan kuzatish;
- kasseta yoki plyonkalarni ko‘chirish yo‘li bilan kuzatish.

Kuzatuvchi kameralar juda kuchsiz yo‘ldoshlarni suratga tushirish va yana bir o‘tishida kam miqdordagi suratlarni olish imkoniyatiga ega.

YeSYlarini fotografik kuzatish uchun kameralar maxsus jihozlangan, ularning yordamida, ekspozitsiyaga kerakli davomiylik beriladi.

Atmosferadagi turbulent hodisalar, 0.4–0.5" oshadigan, aniqlik bilan yo‘nalishlarni fotografik kuzatishlardan olish imkoniyatini bermasligi mumkin. Fotografik kuzatishlar shu sababli, aniqligi bo‘yicha doplerli va lazerli kuzatishlar bilan raqobatlasha olmaydi.

Fotografik kuzatishlar natijalari bo‘yicha YeSYlarining topotsentrik koordinatalarini hisoblash tartibi.

1. Suratlardagi yulduzlarni identifikatsiyalash, yulduz atlaslari, masalan, Bechvarja yordamida bajariladi.

2. Yulduz katalogidan α_i va δ_i tayanch yulduzlar koordinatalari ko‘chirib olinadi. FK-4, AGK-3 kataloglari, SAO, GC yulduz kataloglari va boshqalar ishlatiladi.

3. α_i va δ_i koordinatalar kuzatish momentlariga kataloglar davridan keltiriladi va yillik abberatsiya va refraksiya uchun tuzatmalar bilan tuzatiladi.

4. Suratning optik markazi koordinatalarini, tayanch yulduz koordinatalarini qo'llab va geometrik markazning joylashishi bo'yicha baholab, A_0 va D_0 aniqlaydi. Optik va geometrik markazlarning o'zaro joylashishi, maxsus tadqiqotlardan ma'lum bo'lishi mumkin.

5. Koordinatalarni o'lchash mashinasi yordamida, suratdagi x_i, y_i yulduz va x_y, y_y yo'ldoshning to'g'ri burchakli koordinatalari o'lchanadi hamda ularni asbob xatoligi uchun tuzatadi.

6. Yulduz ekvatorial koordinatasidan ularning ξ_i, η_i ideal koordinatalariga o'tiladi:

$$\xi_i = \frac{\cos q_i \operatorname{tg}(\alpha_i - A_0)}{\cos(q_i - D_0)}; \quad (8.5)$$

$$\eta_i = \operatorname{tg}(q_i - D_0). \quad (8.6)$$

bu yerda:

$$\operatorname{ctg} q_i = \operatorname{ctg} \delta_i \cos(\alpha_i - A_0). \quad (8.7)$$

7. Yulduzlar uchun (Ternerning usuli) ko'rinishidagi tenglama tuziladi:

$$\begin{aligned} \xi_i - x_i &= ax_i + by_i + c; \\ \eta_i - y_i &= dx_i + ey_i + f, \end{aligned} \quad (8.8)$$

bu yerda: a, b, c, d, e, f – suratning doimiylari, ularni (8.8) tenglamani yechishdan yoki ularning asosida tuzilgan, yulduzlar soni uchtdan ko'p bo'lganidagi normal tenglamalardan topish kerak bo'ladi. Agar (8.8) tenglamani yechishdan olingan aniqlik, yetarli bo'lmasa, unda ikkinchi taribdagi a'zolar (Ternerning umumlashgan usuli) hisobga olinadi:

$$\begin{aligned} \xi_i - x_i &= ax_i + by_i + c + a'x_i^2 + b'x_iy_i + c'y_i^2; \\ \eta_i - y_i &= dx_i + ey_i + f + d'x_i^2 + e'x_iy_i + f'y_i^2. \end{aligned} \quad (8.9)$$

8. Distorsiyani hisobga olish quyidagi formulalar yordamida olib boriladi:

$$\begin{aligned} \Delta x &= -c(x - x_0)[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2] \\ \Delta y &= -c(y - y_0)[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2] \end{aligned} \quad (8.10)$$

bu yerda: x_0, y_0 – suratning optik markazi koordinatalari; x, y – yulduzlar (yo'ldosh)ning koordinatalari; $c = v_1 F^{-3}$; v_i – distorsiya koeffitsiyenti.

9. Yo'ldosh uchun tenglama tuziladi:

$$\begin{aligned}\xi_c &= x_c + ax_c + by_c + c; \\ \eta_c &= y_c + dx_c + ey_c + f,\end{aligned}\tag{8.11}$$

ularni yechib, uning ideal koordinatalarini topish mumkin, chunki a, b, c, d, e, f oldin aniqlangan.

10. Yo‘ldoshning topotsentrik ekvatorial koordinatalari hisoblanadi:

$$\begin{aligned}ctg\delta_c \sin(\alpha_c - A_0) &= \frac{\xi_c \sec D_0}{\eta_c + tg D_0}; \\ ctg\delta_c \cos(\alpha_c - A_0) &= \frac{1 - \eta_c tg D_0}{\eta_c + tg D_0}.\end{aligned}\tag{8.12}$$

Odatda, YeSYlarini fotografik kuzatishlarini qayta ishlashda, tayanchlar sifatida, 8 tadan 14 tagacha yulduzlardan foydalaniladi.

YeSYlarini fotografik kuzatishlarini qayta ishlash uchun, fotogrammetrik usul (keng tasvir maydonlarida) qo‘llaniladi. Bunda sezilarli miqdordagi tayanch yulduzlar 100 ga yaqin), yo‘ldoshning katta miqdordagi tasvirlari ishlatiladi, bir vaqtda kameraning tashqi va ichki oriyentirlash elementlari va bir qator qo‘shimcha parametrlari (fokus masofasining qabul qilingan tuzatmalar, μ_x, μ_y o‘lchash asboblari shkalalari masshtabli koeffitsiyentlari, distorsiyaning C_i radial va K_i tangensial koeffitsiyentlari va boshqalar) aniqlanadi.

Fotogrammetrik usulda, o‘lchangan va ideal koordinatalar orasidagi bog‘liqlik quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$\frac{x}{F_0} = \xi(A, D, \aleph) + \{a + \mu_0 \xi + \Delta\mu \xi + (C_1 r^2 + C_2 r^4 + \dots)\xi + K_1 r^2 + \dots\} \tag{8.13}$$

$$\frac{y}{F_0} = \eta(A, D, \aleph) + \{b + \mu_0 \eta + \Delta\mu \eta + i\xi + (C_1 r^2 + C_2 r^4 + \dots)\eta + K_2 r^2 + \dots\} \tag{8.14}$$

bu yerda: a, b – o‘lchangan koordinata tizimidagi optik markazning koordinatalari; i – o‘lchash asbobi koordinata tizimi x o‘qi va x' o‘qi orasidagi burchak, u o‘lchash asbobi koordinata tizimi y o‘qiga perpendikulyar; $A, D, \aleph$ – tashqi oriyentirlash elementlari; $\mu_0 = \Delta F / F_0 + C_0 + (\mu_x + \mu_y) / 2$, $\Delta\mu = (\mu_x - \mu_y) / 2$.

(8.13) va (8.14) tenglamalarni chiziqlashtirish, tuzatmalar tenglamalariga olib keladi, ulardagi noma'lumlar $\Delta A, \Delta D, \Delta \aleph, a, b, \mu_0, \Delta\mu, i, C_1, C_2, \dots, K_1, K_2, \dots$, bo‘ladi, ozod a‘zolar esa

$$l_\xi = \xi_0 - x / F_0; \quad l_\eta = \eta_0 - y / F_0. \tag{8.15}$$

Astrofotografiyani o‘lchash *KIM-3, CHIT-5, YIM-21, Ascorecord* va boshqa turdagi koordinata o‘lchash mashinalari yordamida bajariladi.

Plastinkalardagi koordinatalar 1.0–1.5 mkm, plyonkada esa 2.5–3.0 mkm oʻrta kvadratik xatolik bilan tavsiflanadigan aniqlikda oʻlchanadi.

Aberratsiya va refraksiyaning taʼsiri. Yoʻldoshli aberratsiya uchun YeSYining koordinatasiga *bur.s* *bur.s* dagi tuzatmalar quyidagi formulalar boʻyicha hisoblanadi:

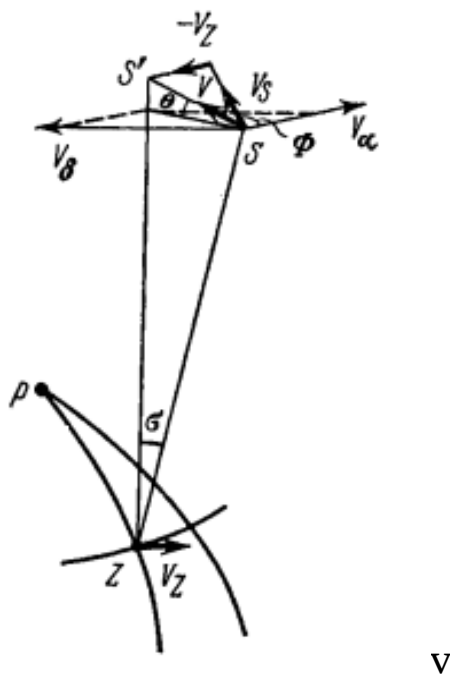
$$\Delta\alpha = \frac{V \cos\theta \cos\Phi}{c \cos\delta} 206265 \quad (8.16)$$

$$\Delta\delta = \frac{V \cos\theta \sin\Phi}{c} 206265 \quad (8.17)$$

$$\Delta z = \frac{V \cos\theta \cos(Q+q)}{c} 206265 \quad (8.18)$$

$$\Delta A = \frac{V \cos\theta \sin(Q+q)}{c \sin z} 206265 \quad (8.19)$$

(8.16)–(8.19) formulalardagi v – kuzatuvchiga nisbatan YeSYining harakat tezligi; c – yorugʻlik tezligi. Φ va θ burchaklar 8.1-rasmda tasvirlangan.



8.1-rasm. Yoʻldoshli aberratsiyani YeSYi koordinatalariga taʼsiri.

Yoʻldoshli refraksiya

$$r_c = r_* - \Delta r, \quad (8.20)$$

bu yerda: r_* – astronomik refraksiya; Δr – refraksiya parallaksi;

$$\Delta r = k_3 \frac{1}{s} \operatorname{tgz} \sec z \left[1 + k_4 (2 \sec^2 z + \operatorname{tg}^2 z) (1 - e^{-0.1385h}) \right]$$

bu yerda: s – yo‘ldoshgacha masofa;

$k_3 = 435.0''/km$, $k_4 = -0.00113''/km$, e – natural logarifmlar asoslari,

h – stansiyadan yo‘ldoshning balandligi.

Agar $h \geq 1000 km$, $z \leq 45^\circ$ bo‘lsa, unda

$$\Delta r \cong 206265 \frac{2.33}{h} \operatorname{tgz}. \quad (8.21)$$

Refraksiya parallaksi uchun yo‘ldosh koordinatasiga tuzatma quyidagi formula bo‘yicha hisoblanadi:

$$\Delta r_\alpha = -\Delta r \sec \delta' \sin q, \quad (8.22)$$

$$\Delta r_\delta = -\Delta r \cos q. \quad (8.23)$$

YeSYlarini kuzatishning radioelektron usullari. Yo‘ldoshlarni kuzatish uchun qo‘llaniladigan, radioelektron usullar, interferensiyalar, doplerli va dalnomerliklarga bo‘linadi. Radiointerferometrda, yo‘ldoshdan signallar fazalar farqi o‘lchanadi, ular ikkita oraliqdagi antennalar bilan bir va ushbu momentda Yerda qabul qilinadi. Dopler usulida, stansiyada qabul qilinadigan, chastotalar farqi va standart chastotalar o‘lchanadi. Stansiya tomonidan yuboriladigan signal, masofani o‘lchashda, fazalar bo‘yicha modulyatsiya qilinadi. Signal yo‘ldoshning impulsli qabul qiluvchisi bilan qabul qilinadi, u signalni o‘zgaruvchan tashuvchi chastota bilan fazali modulyatsiyadek, retranslyatsiya qiladi. Yer usti stansiyalari signallarni qabul qiladi. Ularda fazometr bilan modulyatsiya fazali siljishlari o‘lchanadi va so‘ngra uni masofaga qayta hisoblaydilar.

Kosmik geodeziyada masalalarni yechish uchun, ustunlik bilan Dopler effekti qo‘llaniladi, chunki mos keluvchi apparatura, radiointerferometr usuliga yoki masofani bevosita o‘lchashga qaraganda, eng oddiy va juda yuqori aniqlikni ta‘minlaydigan hisoblanadi. Dopler uskunasini, yo‘ldosh bilan chastotalar translyatsiya qilinadigan priyomnikdan, yuqori barqaror yer usti generatorining chastotalaridan va qayd qiluvchi qurilmalardan iborat.

Priyomnikda qabul qilingan chastota, yer usti generatori chastotasi bilan taqqoslanadi va ularning farqlaridan, yetarlicha $\Delta \tau$ kichik vaqt intervali uchun Δf dopler chastota siljishlari ajraladi. Chastotalar siljishi, $\Delta \tau$ vaqt intervali uchun, YeSYigacha masofaning o‘zgarishiga proporsionaldir:

$$\Delta r' = c \Delta f / f, \quad (8.24)$$

bu yerda: c – radioto‘lqinning tarqalish tezligi; f – chastota, unga nisbatan Δf dopler siljishi o‘lchanadi.

Shunday qilib, dopler tizimlari YeSYigacha masofalar farqlarini topish imkoniyatini beradi.

Agar dopler siljishi o‘rtacha momentga tegishli bo‘lsa, unda dopler tizimi, YeSYi ($\dot{r}'$) topotsentrik tezligining radial uzuvchisini aniqlash imkonini beradi:

$$\dot{r}' = \frac{c}{f \Delta \tau} \Delta f. \quad (8.25)$$

Dopler tizimlari o‘lchashlari aniqligi, radioto‘lqinlar tarqalishini to‘liq hisobga olish shartlariga, generatorlar chastotalari barqarorligiga va hisoblagichlar aniqligiga bog‘liq. Hozirgi vaqtda $\dot{r}'$ aniqlanish aniqligi $0.01 m/s$ ni tashkil etadi.

YeSYlarini lazerli kuzatish. Lazerli qurilmalar, YeSYigacha masofani o‘lchash uchun, shuningdek, yulduzli osmon fonida YeSYini suratga olishda yoritish uchun qo‘llaniladi, oxirgi holatda nurlantirish quvvati bir muncha yuqori bo‘lishi kerak.

YeSYlarini kuzatish uchun lazerli qurilmalar, lazerli uzatgich (masalan, $\lambda = 0,694 mkm$ rubinli lazerlar qo‘llaniladi), qabul qiluvchi qurilma, platforma, o‘lchash tizimlari va natijalarni qayd qilishdan iborat. O‘lchash jarayoni, YeSYigacha va teskari yo‘nalishda yorug‘lik impulsining o‘tish vaqtini qayd qilishdan iboratdir.

Uzatgichdan lazer impulsini chiqish momentida, $100 MGs$ yoki $1 GGs$ li chastota sikllarini hisoblagichlar ishlashni boshlaydi, ular priyomnikka aks ettirilgan impulslarning qabul qilinish momentida o‘chadi, bu qurilmadan YeSYigacha va teskari yo‘nalishda yorug‘lik impulsini $\Delta \tau$ vaqt intervalida o‘tishni aniqlash imkonini beradi. c yorug‘likning tarqalish tezligini bilgan holda, YeSYigacha (r') masofani hisoblash mumkin:

$$r' = c \Delta \tau / 2. \quad (8.26)$$

Lazerli dalnomer tizimning harakatlanish oralig‘i, nurlanadigan energiyaning to‘rtinchi darajasiga proporsional, nur kengligidan kvadrat ildizga teskari proporsional va priyomnik aperturasi diametridan kvadrat ildizga to‘g‘ri proporsionaldir.

Lazer nurining farqlanishi (kengligi), efemerida aniqligiga va lazerni yo'naltirish aniqligiga bog'liq holda o'rnatiladi. Hozirgi vaqtda, lazer qurilmalari 0,5 dan 20' gacha farqlanishlarga ega. Lazerning chiqish quvvati, 10 dan 50 Mvt gacha, impulsning davomiyligi – 10 dan 60 ns gacha va impulsdagi energiya – 0.5 dan 7.5 j gacha oraliqlarda tebranadi.

Lazerli tizimlar bilan masofa o'lchash aniqligi, qaytgan signallar-ning tikligi va davomiyligi, vaqt intervallarini qayd etish uchun hisoblagichning ruxsat etilgan qobiliyati va atmosferadagi yorug'lik tezligini o'zgarishini hisobga olish aniqligidan aniqlanadi.

Quvvatning oshishi va impuls davomiyligini qisqarishida, yuborilgan va qaytgan impulslar mosligiga erishiladi, bu 0.6 m gacha aniqlik bilan masofalarni o'lchashni ta'minlashi mumkin.

YeSYigacha masofalarni aniqlashda, lazerli usulning xatosi, harorat va bosim aniq hisob olinganida, 0.6–0.7 m ga yetkazilishi mumkin, chunki bunday holda atmosfera ta'siri, 0.2 m dan oshmaydigan xatoga olib keladi.

Radioelektron va lazerli kuzatishlarni dastlabki qayta ishlash. Dopler apparaturasi hisoblagichidan, aniq vaqt intervallari uchun dopler chastota siljishlariga to'g'ri keluvchi, sonli tavsiflar olinadi. Chastotalar siljishi, vaqt intervali boshida va uning oxirida, yo'ldoshgacha masofalar farqlariga proporsionaldir.

Dopler o'lchashlarini qayta ishlashlar, $\Delta r' = r'_1 - r'_2$ masofalar farqlarini, to'g'ri keluvchi $\Delta \tau$ o'lchov intervalida yoki $\dot{r}'$ radial tezlikni hisoblashda, n sonli tavsiflar qiymatlarini hisoblagichdan olinishi bo'yicha amalga oshiriladi, u oraliqlar farqlarini $\Delta \tau$ hisoblash intervaliga bo'lish orqali topiladi. Chunki, $\Delta \tau$ interval uchun radial tezlikning o'zgarishi, umuman olganda, chiziqli emas, bunday tarzda olingan qiymat, interval o'rtasiga to'g'ri kelmaydi va uni $t_0 + \tau/2$ momentga kamaytirish kerak.

$\Delta r'$ va $\dot{r}'$ qiymatlar ionosferaga, troposferaga va relyativistik effektlarga, radionurlar refraksiyasi uchun tuzatmalari bilan tuzatiladi. Troposferaga refraksiya va relyativistik effekt uchun tuzatmalar, odatda e'tiborga olinmaydi, ionosfera refraksiyasini chiqarib tashlash uchun esa, signallarni qabul qilish ikkala kogerent chastotalarda amalga oshiriladi.

Qabul qiluvchi apparaturada qabul qilingan chastotalar tekislanadi va qayd qiluvchi qurilmaga, ionosfera refraksiyasi ta'siridan ozod, aralash chastotalar beriladi.

Ko'rsatilgan tuzatmalardan tashqari, dopler o'lchashlari natijalariga, generatorlar nobarqaror ishlashi natijasida hosil bo'ladigan, "chastotani buzish" xatosi deb nomlanadigan ΔF tuzatma kiritiladi.

Lazerli o'lchashlarning bevosita natijalari bo'lib, T_0 haroratning, P_0 atmosfera bosimining ayrim standart qiymatlariga tegishli, YeSYigacha r' masofaning qiymati hisoblanadi, shuning uchun, o'lchangan masofaga (T harorat va P bosimning haqiqiy qiymatlarini, $\Delta T = T - T_0$ va $\Delta P = P - P_0$ standartdan og'ishi uchun) quyidagi formula bo'yicha δr tuzatma kiritiladi:

$$\delta r = \frac{a + b\Delta P / \Delta T + cH}{\cos z + 0.001 \operatorname{tg} z}, \quad (8.27)$$

bu yerda: a, b, c – doimiy koeffitsiyentlar; T, P – harorat va bosim; z – YeSYining zenit masofasi; H – dengiz sathidan punktning balandligi. Bundan tashqari, o'lchangan uzoqlikka apparatura kechikishi uchun tuzatma kiritiladi.

8.1.1. Yo'ldosh altimetriyasi

Okean yuzasigacha masofalarni radiovisotomer yordamida o'lchash, geoid shaklini o'rganish va Dunyo okeanining topografiyasi uchun kuchli vositani beradi.

Usulning joriy qilinishi, dengiz sathidan yo'ldoshning o'lchangan h balandligi bilan aniqlanadigan N geoid balandligini bog'lovchi, tuzatmalar tenglamalaridan foydalanishga asoslangan (8.2-rasm):

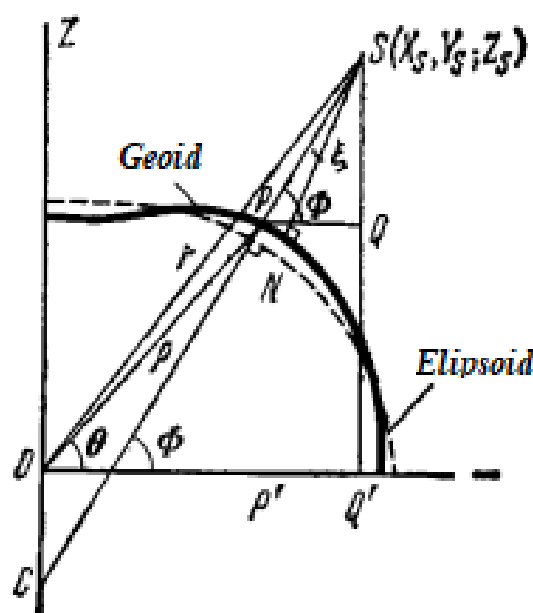
$$-h + r - a_e + \frac{1}{2} a_e e^2 \sin^2 \Phi + \frac{1}{8} a_e e^4 \sin^4 \Phi + \frac{1}{8} a_e e^4 \frac{a_e}{r} \sin^2 2\Phi - N = v, \quad (8.28)$$

bu yerda: a_e – ellipsoidning katta yarim o'qi; e – eksentrisitet; r – yo'ldoshning geotsentrik radius-vektori. (8.28) dagi noma'lumlar N va a_e hisoblanadi.

Yo'ldosh altimetriyasi tenglamasi, shunday tarzda taqdim etilishi mumkin, undagi noma'lumlar kuzatish stansiyalari koordinatalariga va orbitalar elementlariga tuzatmalar bo'ladi. Shuningdek, noma'lum

parametrlar sifatida gravitatsion maydon yoki og‘irlik kuchi anomaliyasi kiritilishi mumkin.

GEOS-3 YeSYining radiovisotomeri ma’lumotlaridan foydalanib, GEM-10A, GEM-10B, GEM-10C Yerning gravitatsion maydoni modellari olingan. Oxirgisi $1 \times 1^\circ$ trapetsiya uchun geoidning o‘rta balandliklariga asoslangan va $n=180$ gacha geopotensialning koeffitsiyentlarini o‘z ichiga oladi.



8.2-rasm. Dengiz sathini geoid bilan bog‘lash.

Usul, geoidning qisqa to‘lqinli variatsiyasini, bir necha o‘ndan bir necha yuz kilometr gacha to‘lqin uzunligi bilan ochib berish imkoniga ega. Geoid balandligining batafsil kartasi olingan edi. GEOS-3 yo‘ldoshi, Dunyo okeani topografiyasi, suv usti shamollari tezligi, dengiz yuzalari qiyaliklari to‘g‘risidagi katta hajmdagi ma’lumotlarni olish imkoniyatini berdi. Usulning, ichki suv havzalari yuzalari, muz bilan qoplangan maydonlarining relyefini o‘rganish uchun imkoniyatlari o‘rganildi.

9-BOB. YERNING GEODEZIK PARAMETRLARI TIZIMI VA ULARNI ANIQLASHNING KOSMIK USULLARI

9.1. Yerning geodezik parametrlari tizimi

Yer qutbining harakati. Yer geotsentrik koordinata tizimlarining boshlanishi, Yer massasi markazi hisoblanadi, o'qlarning yo'nalishlari esa, Yer qutbi tutgan o'rni, uning ekvatori va Grinvich meridiani bilan bog'lanadi. Bu tizimlarni umumiy deb, qisqa nomlaymiz va ular uchun, umumiy koordinata tizimlaridan foydalanamiz. Bu tizimlar, Yer bilan uning fazodagi sutkalik harakatida birgalikda aylanadi. Bunday tizimdagi Yer yuzasiga qattiq mahkamlangan, nuqtalarning tutgan o'rni koordinatalarga ega bo'ladi, ular geofizik ta'sirlar (tektonik yoki suv ko'tarilish deformatsiyalari) natijasida, vaqt bilan, faqat kichik o'zgarishlarga duchor bo'ladi, ularni hodisaning mos keluvchi modelidan foydalanib, yetarlicha aniq hisobga olish mumkin.

Yer aylanish o'qini, uning qutbi va ekvatorini, shuningdek, uzoqlik va vaqtni hisoblash uchun bosh meridianini o'rnatilishi, *qutbning harakati* muammosi bilan bog'langan.

Qutbning harakati hodisasini batafsil o'rganish uchun, 1899-yilda Xalqaro geodeziya assotsiatsiyasi, Xalqaro kenglik xizmatini tashkil etdi. Xalqaro kenglik xizmati faoliyatining birinchi yillarida, qutbning harakatlanishi $39^{\circ}08'N$ "xalqaro" parallelida joylashgan Mitsuzava (Yaponiya), Kitob (O'zbekiston), Karloforte (Italiya), Yukayya va Geytersberg (AQSH) stansiyalarida kengliklarni uzluksiz qator kuzatuvlari bo'yicha aniqlangan. 1900-yildan 1905-yilgacha davr uchun, haqiqiy qutbning o'rtacha tutgan o'rni, 1960-yilda Yer qutbining o'rtacha tutgan o'rni uchun qabul qilingan edi va u *Xalqaro shartli boshlanish* deb nomlangan. Xalqaro shartli boshlanishning haqiqiy tutgan o'rni, Xalqaro kenglik xizmati stansiyalari kengliklarini belgilashlardan aniqlanar edi.

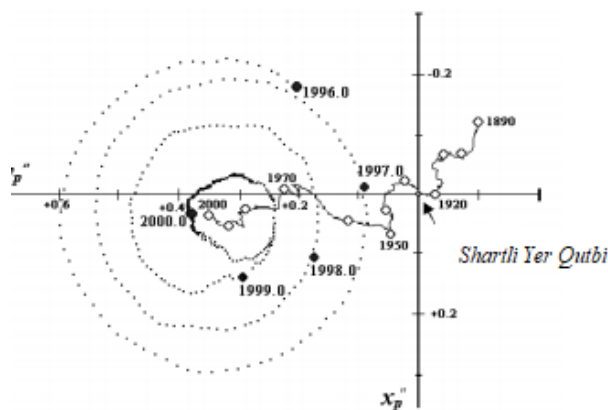
Xalqaro kenglik xizmatini 1961-yilda, Xalqaro qutb harakatlanishi xizmatiga, 1988-yilda esa – Xalqaro Yer aylanishi xizmatiga qayta tashkil qilingan edi, 2003-yilda u, *Xalqaro Yer aylanishi xizmati va referens tizimlariga* qayta nomlangan edi (<http://www.iers.org>).

Xalqaro Yer aylanishi xizmati, vaqtida faoliyatini Xalqaro kenglik xizmati va Xalqaro qutb harakatlanishi xizmatidan boshlagan,

kuzatishlarni yangi usullarini jalb etgan holda, qariyb 50 ta kuzatishlarda qatnashuvchi, stansiya to'rlarini kengaytirib, ishlarni davom ettirmoqda.

Xalqaro Yer aylanishi xizmatida yechiladigan masalalardan biri – Yer qutbining lahzalik x_p, y_p koordinatalarini o'rnatish, ular *Shartli Yer qutblariga* nisbatan, Osmon efemeridasi qutblari hisoblanadi. Shartli Yer qutblari, odatda shunday tanlanadiki, vaqt intervallarining qaysidir o'rtachalashtirilgan, efemerida qutbi tutgan o'rnidan uzoq bo'lmagan joyda, u joylashsin. x_p o'qi Xalqaro Yer aylanishi xizmati nol meridia-niga, y_p o'qi esa - 90° burchak ostida g'arbga yo'nalgan (9.1-rasm). x_p, y_p aniqlanishlari o'rtacha kvadratik xatoliklari, Xalqaro Yer aylanishi xizmati ma'lumotlariga ko'ra 0.0003" [102].

Xalqaro shartli boshlanish aniqlanishlari bilan mos ravishda, x_p, y_p koordinatalar faqat yuqorida ko'rsatilgan Xalqaro kenglik xizmati beshta stansiyalari, uning tavsiflari bilan hisoblashishlari mumkin. Xalqaro Yer aylanishi xizmati stansiyalaridagi aniqlashlar, aniqligi sezilarli darajada oshishi bilan bog'liq, shuningdek, 1982-yilda ikkita Amerika stansiya-larining yopilishi, Xalqaro shartli boshlanish g'oyasi barbod bo'lishiga olib keldi. Shartli Yer Qutbining tutgan o'rni va boshlang'ich meridian Xalqaro Yer aylanishi xizmati to'rlari barcha stansiyalari jamlanmasining koordinatalari bo'yicha o'rnatiladi. Bu munosabat Xalqaro shartli bosh-lanishni, Shartli Yer Qutbining xususiy holatidek qarash mumkin. Yer koordinata tizimlarini ifodalashda, odatda qaysi ma'lumotlar bo'yicha va qaysi davrda, qutb holati va boshlang'ich meridian berilishi ko'rsatiladi.



9.1-rasm. 1890 – 2000.5-yil davrlari uchun qutbning harakati (nuqtali chiziq, 5 sutkalik ichidagi nuqtalar) va 1890-yildan qutbning siljishi (uzluksiz chiziq).

(<http://hpiers.obspm.fr/eoppc/eop/eopc04/eopc04-xy.gif>)

Yer aylanish o'qining harakatida, Yer koordinata tizimlari ozod va majburiy tebranishlarga ajraladi. Ozod tebranishlar davri (Chandlerov davri) – 430 sutka atrofida, amplituda – 0,4" tartibda (12 m). Majburiy tebranishlar bir yil va 0.5 yil davrlar bilan atmosfera va okeanlarda, massalarni mavsumiy ko'chishlari natijasida hosil bo'ladi, ularning amplitudalari 0.15" tartibda (2 m). 0.5 m atrofidagi amplituda bilan va sutkalik va yarim sutkalik bilan, suv ko'tarilishi va boshqa geodezik omillar natijasidagi majburiy tebranishlar ham mavjud. Ulardagi ustunlik qiluvchi, oyli-quyoshli ta'sirlar, qutb koordinatalari va *UT1* dunyo vaqtida yaxshi modellashirilishi mumkin. Davriy tebranishlardan tashqari, aylanish o'qiga va 0,0037"/yuz yil tezlik bilan g'arb yo'nalishiga katta bo'lmagan asriy harakatga ega. Bu hodisa bo'yicha, hozirgacha qoniqarli ilmiy tushunchalar olinmagan. Lahzalik qutb bilan ifodalanadigan egrilik, polodiya deb nomlanadi. Qutbning asriy harakatlari natijasida, qutb zamonaviy harakatining polodiya markazi shartli Yer qutbi bilan mos kelmaydi.

Xalqaro qutb harakatlanishi xizmati bilan parallel ravishda 1988-yilgacha qutbning tutgan o'rnini aniqlash bilan, Xalqaro Yer aylanishi xizmati tarkibiga kiruvchi, Xalqaro vaqt byurosi shug'ullangan. Sobiq SSSRda va keyinchalik Rossiyada qutbning koordinatasini aniqlash, sobiq SSSR (RF) Davlat standarti vazifasiga kiradi, u Xalqaro Yer aylanishi xizmati tizimidan bir qancha farq qiluvchi, oldindan bashorat qiladi va o'zining qiymatlarini nashr qildiradi. Ularni chiqarish uchun, Rossiya Davlat standarti *GLONASS* yo'ldoshlarini radiodalnomer (fazali) kuzatishlaridan, *Geo-IK* yo'ldoshlarini doplerli kuzatishlaridan va Rossiya observatoriyalari va qator boshqa davlatlarning astrooptik kuzatishlari ma'lumotlaridan foydalanadi. 1993-yilda RF Davlat standarti bilan qutb koordinatalarini aniqlash o'rta kvadratik xatoligi 0,002" ni tashkil etdi [25].

Yer massasi markazi. Yer massasi markazi yoki *geotsentr*, ko'p-lab koordinata tizimlari uchun, boshlanish sifatida tanlanadi, chunki u Yer jismidagi juda ustuvor nuqta bo'lib hisoblanadi. Bu nuqta, Yerning gravitatsion maydonida harakatlanuvchi, yo'ldoshlarni kuzatishlarda ishlatiladi. Geotsentr, [102] va [106] larda, Yer referens tizimlari uchun, okeanlar va atmosferani qo'shganda, boshlang'ich sifatida, Yer massasi markazidek tavsiya etilgan. Yo'ldoshli lazerli dalnomer kuzatishlari-ning tahlili, Yer qobig'iga nisbatan, harakatsiz kuzatish stansiyalari

koordinatalarida ishlatilgan, sanoq tizimi sezilarli darajada Yer massasi markaziga nisbatan, siljiyotganligini ishonchli ko'rsatadi.

1997-yilda Xalqaro Yer aylanishi xizmati geotsentrning barqarorligi tadqiqotlari bo'yicha kampaniyani o'tkazdi, unda zamonaviy geofizik modellar va lazerli o'lchashlar, *GPS* va *DORIS* qayta ishlash natijalaridan foydalanilgan, 25 ta ilmiy guruhlardan 42 nafar tadqiqotchilar qatnashdilar. 1997-yilning oxirida San-Fransiskoda qilingan ishlar, natijalarini almashinuvi bo'yicha uchrashuv tashkil etildi.

Y.V. Barkinning baholashlariga ko'ra, geotsentrning komponent koordinatalaridagi asriy harakat tezligini qiymatlari $\dot{x} = -0.801 \text{ sm/yuz yillik}$, $\dot{y} = -0.177 \text{ sm/yuz yillik}$, $\dot{z} = -0.214 \text{ sm/yuz yillik}$ ni tashkil qiladi [105].

Geotsentr tutgan o'rniga asriy siljishlarni quyidagi sabablar bilan tushuntirish mumkin:

- dengiz sathining o'zgarishi;
- muz qalqonidagi (Grelandiya va Antarktidada) o'zgarishlar;
- Yer qobig'idagi (tektonik plitalarning siljishi, muzliklarning erishi, subduksiya va boshqalar) tektonik siljishlar.

Haqiqiy kuzatishlarni qayta ishlash natijalari bo'yicha, geotsentr tutgan o'rniga yillik tebranishlar (amplituda x, y koordinatalarga 4 mm atrofida va z bo'yicha 10 mm tartibida) aniqlandi, yarim yillik, 140 sutka, 60-70 sutka, 20 sutka va 14 sutkaga yaqin davrlar uchun ham, bir necha millimetrli amplitudalar va xuddi shunday tartibdagi amplituda xatoliklari bilan aniqlandi.

Uchrashuv qatnashchilarining umumiy fikri shunday bo'ldiki, geotsentrga nisbatan, Yer usti to'rlari hisoblash asoslarining harakatini aniqlash imkoni bor, ammo uning qiymati juda kichik, ehtimol, komponentdan har qaysisi bo'yicha 1 sm dan ko'p emas. Geotsentr tutgan o'rnining o'zgarishini o'lchash natijalarida hisobga olish, hozircha tavsiya etilmagan [105]. Geotsentrning tebranishi Rossiya olimlarining ishlarida o'z isbotini topgan [46].

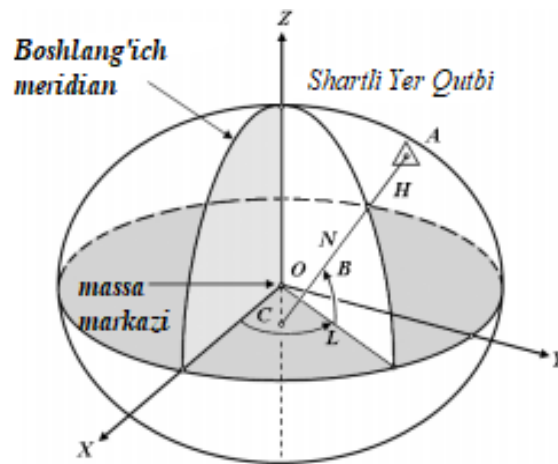
To'g'ri burchakli va geodezik umumiyer koordinata tizimlari. Yerga nisbatan qayd qilingan, to'g'ri burchakli umumiyer geotsentrik koordinata tizimlari quyidagi tarzda aniqlanadi:

- boshlanishi Yer massasi markazida;
- z o'qi Shartli Yer Qutbi orqali o'tadi;

- x o‘qi koordinata tizimlarida ishlatiladigan, stansiyalar jamlanmalari uzoqliklarini hisobi uchun, boshlang‘ich meridiandek, aniqlanadigan, ekvator tekisligi kesishish nuqtasi G va boshlang‘ich meridian orqali o‘tadi;

- y o‘qi ekvatorial tekislikda joylashadi va tizimni to‘g‘rigacha to‘ldiradi.

9.2-rasmda tizim ko‘rsatilgan, uning o‘qlari x, y, z dek belgilangan. Mahalliy adabiyotlarda bu tizim uchun, “umumyer tizimi” yoki “o‘rtacha Yer geotsentrik tizimi”dek nomlanishlarni uchratish mumkin. Oxirgi atama, ayrim Yer qutbi o‘rtachasi qo‘llanilganligini ko‘rsatadi.



9.2-rasm. Yer geotsentrik koordinata tizimi.

Yer geotsentrik tizimlari, kosmik geodeziya usuli bilan qurilgan (yoki kosmik geodeziya usullarini majburiy jalb etgan), geodezik to‘rlar ko‘rinishida ishlatiladi. Bunday to‘rlarning punktlari, butun Yer shari yoki uning ko‘pchilik qismi bo‘ylab tarqatilgan. Ushbu nuqtalarning tutgan o‘rni qanchalik aniq bo‘lsa, qoldiq xatolar shunchalik kam, koordinata tizimining ishlatilishi ham aniq bo‘ladi.

Yer geotsentrik koordinata tizimi tushunchasiga, nafaqat, ushbu tizimni Yer yuzasiga mahkamlovchi, punktlarning koordinatalari, uni tavsiflovchi, boshqa bir qator parametrlar ham kiradi. Birinchi navbatda bu, Yerning shakli va o‘lchamlarini aniqlovchi, Yer ellipsoidining parametrlaridir. Ellipsoidni qurish uchun, ikkita bosh parametrlardan foydalaniladi: a ekvatorial radius va α siqqlik. Siqqlik ekvatorial va qutbiy radiuslar (yoki kichik yarim o‘q) b orasidagi nisbatni ifodalaydi:

$$\alpha = \frac{a-b}{a}, \quad (9.1)$$

Ellipsoidning shakli va o'lchamlarini aniqlovchi, boshqa parametrlarni, masalan, b qutbiy radius va e eksentrisitetni quyidagi ikkita parametr bo'yicha hisoblash mumkin:

$$b = a \cdot (1 - \alpha); \quad (9.2)$$

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}. \quad (9.3)$$

Boshqa parametrlardan, Yerning gravitatsion maydonini, boshqa koordinata tizimlari bilan bog'liqlik parametrlarini ko'rsatish mumkin, ularning soni mingtadan ko'plarga yetishi mumkin. Shuning uchun, zamonaviy Yer geotsentrik koordinata tizimlari (yoki sanoq tizimi) haqida gapirilganida, *Yerning geodezik parametrlari tizimi* (datum) nazarda tutiladi (2.1-jadvalga qarang).

Barcha geotsentrik tizimlar, aniq ellipsoidlar bilan bog'langan, ularning nomlanishi, odatda tizimning o'zining nomi bilan mos keladi. Bunday hollarda, nafaqat dekart, ellipsoidal (sferoidik) koordinatalardan: B geodezik kenglik, L geodezik uzoqlik va H ellipsoiddan balandlikdan ham, foydalanish mumkin (9.2-rasmga qarang). Geodezik koordinatani aniqlash uchun, A nuqtadan AC ellipsoidga normal o'tkaziladi. B geodezik kenglik deb, normal va ellipsoid ekvatori tekisligi orasidagi burchakka aytiladi, L geodezik uzoqlik esa – boshlang'ich meridiandan punkt meridianigacha soat strelkasiga teskari hisoblanadigan burchakdir.

X, Y, Z to'g'ri burchakli koordinatalar B, L, H geodezik koordinatalar bo'yicha quyidagi formulalardan hisoblanadi:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + H) \cos B \cos L \\ (N + H) \cos B \sin L \\ [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{bmatrix} \quad (9.4)$$

bu yerda: N – birinchi vertikalidagi ellipsoidning egrilik radiusi quyidagidek aniqlanadi:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}. \quad (9.5)$$

To'g'ri burchakli koordinatadan geodezik koordinataga o'tishda uzoqlikni aniqlash qiyinchilik tug'dirmaydi:

$$L = \arctg \frac{Y}{X}, \quad (9.6)$$

Kenglikni esa, bir nechta usullar bilan aniqlash mumkin. Ular iterativ va yopiqqlarga ajratiladi. Birinchi guruhdagi algoritmlardan [38] da keltirilgan usulni keltiramiz.

B geodezik kenglik quyidagi formuladan topiladi:

$$B^{(i)} = \arctg \frac{Z + N^{(i-1)} e^2 \sin B^{(i-1)}}{D}, \quad (9.7)$$

bu yerda: $|B^i - B^{(i-1)}| \leq \varepsilon$ bo'lmaguncha takrorlanadigan, (ε – hisoblashlar aniqligi) i – iteratsiya raqami; D – ekvator tekisligiga radiusvektorning proyeksiyasi:

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad (9.8)$$

$N^{(i-1)}$ qiymat esa, kenglik bo'yicha oldingi yaqinlashtirishlardan topiladi. H ellipsoidal balandlik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$H = \frac{Z}{\sin B} - N(1 - e^2). \quad (9.9)$$

Ozgina namunali algoritm [11] va [20] larda berilgan. Yopiq yechimni beruvchi, algoritmlar, [69, 88, 157] ishlarida keltirilgan.

9.2. Umumiyer koordinata tizimlarini joriy qilish

Umumiyer koordinata tizimlarini joriy qilish – bu murakkab ilmiy masaladir. Umumiyer koordinata tizimlarini *GPS* tizimi uchun joriy qilishda, AQSH mudofaa vazirligi geodezistlari tomonidan ishlab chiqilgan, *WGS-84* Dunyo geodezik tizimi hisoblanadi. *GLONASS* rossiya tizimida *PZ-90* koordinata tizimidan foydalaniladi. Umumiyer koordinata tizimlarini, eng aniq joriy qilinishi – bu Xalqaro Yer tizimi *ITRF* hisobi (yoki [41] bilan mos ravishdagi – Xalqaro Yer hisob asosi *ITRF*) bo'lib, xalqaro ilmiy hamjamiyat tomonidan aniqlanadi.

9.2.1. WGS-84 tizimi

WGS-84 (World Geodetic System - 84) Dunyo geodezik tizimi AQSH Mudofaa vazirligi Harbiy-kartografik agentligi tomonidan ishlab chiqilgan edi [83]. *WGS-84* tizimi *NSWC-9Z-2* koordinata tizimini modifikatsiyalashtirish yo'li bilan joriy qilingan edi. *NSWC-9Z-2* Xalqaro Vaqt Byurosi ma'lumotlari bilan mos kelishiga keltirilgan, doplerli o'lchashlar bo'yicha yaratilgan edi. Buning uchun,

NSWC-9Z-2 tizimi Z o'qi bo'yicha -4.5 m ga siljirilgan, $0.814''$ ga g'arbga burilgan va $-0.6 \cdot 10^{-6}$ ga masshtabi o'zgartirilgan edi.

WGS-84 tizimining boshlanishi Yer massasi markazida joylashgan, Z o'qi 1984.0 davrda Xalqaro Vaqt Byurosi tomonidan o'rnatilgan, Shartli Yer Qutbiga yo'naltirilgan. X o'qi WGS-84 tayanch meridiani tekisligining kesishishida va Shartli Yer Qutbi ekvator tekisligida joylashgan. Tayanch meridian, 1984.0 davrga Xalqaro Vaqt Byurosi tomonidan aniqlangan, boshlang'ich (nol) meridian hisoblanadi. Y o'qi tizimni to'g'rigacha, ya'ni 90° burchak ostida sharqqa to'ldiradi. WGS-84 koordinata tizimining boshi va shuningdek, uning o'qlari, WGS-84 ellipsoidining geometrik markazlari va referens-ellipsoidning o'qlari bo'lib xizmat qiladi. Bu ellipsoid aylanish ellipsoidi bo'lib hisoblanadi. Uning parametrlari GPS80 Xalqaro ellipsoidi parametrlariga o'xshashdir.

Yer atmosferasi uchun gravitatsion doimiylik kattaligi Xalqaro geodeziya assotsiatsiyasi tavsiyanomasi bo'yicha qabul qilingan. J_2 va $\bar{C}_{20}$ parametrlarga qo'shimcha, Yerning suv ko'tarilishi deformatsiyalari natijasida, ularning variantlari keltiriladi: $\delta J_2 = 9.3 \cdot 10^{-9}$, normal-lashgan koeffitsiyent kattaligiga $\delta \bar{C}_{20} = -4.16 \cdot 10^{-9}$ mos keladi. Yer inersiyasi A, B, C bosh momentlarini aniqlash uchun kerakli, H dinamik elliptiklik quyidagi nisbatdan topiladi:

$$1/H = 305.4413 \pm 0.0005. \quad (9.10)$$

Ellipsoiddagi tortish kuchi normal tezlanishi γ_0 Somilyana (Somigliana) formulasi bilan aniqlanadi:

$$\gamma_0 = \frac{a\gamma_e \cos^2 B + b\gamma_p \sin^2 B}{(a^2 \cos^2 B + b^2 \sin^2 B)^{1/2}}, \quad (9.11)$$

bu yerda: a va b – ellipsoidning katta va kichik yarim o'qlari, γ_e va γ_p lar esa – mos ravishda, ekvatoridagi va qutbidagi tortish kuchlari tezlanishlari.

Sonli qiymatlari bilan formula quyida keltirgan:

$$\gamma_0 = \frac{9780326774(1 + 0.00193185138639 \sin^2 B)}{(1 - 0.0066943799013 \sin^2 B)^{1/2}} \cdot 10^{-5} (mGal). \quad (9.12)$$

Yerni gravitatsion maydonining modeli n darajasigacha va m tartibda, 180 ga teng, 32755 ta koeffitsiyentlardan iborat, taqsimlangan ko'rinishda taqdim etilgan. $n = m = 41$ daraja va tartibgacha koeffitsiyentlar, yo'ldosh altimetriyasi usuli bilan, okean geoidining

balandligini o'lchash va tortish kuchining yuza o'lchashlari, shuningdek, GPS o'lchashlar va aralash ma'lumotlardan, yo'ldoshli lazerli dalnometriyadan, doplerli yo'ldoshli o'lchashlar ma'lumotlari bo'yicha tuzilgan, normal tenglamalar alohida matritsalarini kichik kvadratlar usuli bo'yicha birlashtirilgan yechimidan topilgan. Bu koeffitsiyentlar yo'ldoshlarning aniq orbitalarini hisoblashlarda qo'llanilishi tavsiya etiladi. $n = m = 41$ gacha koeffitsiyentlarning ta'sirlari, 1×1^0 o'lchamdagi trapetsiya bo'yicha tortish kuchi o'rtacha anomaliyasidan chiqarib tashlangan edi. 1×1^0 trapetsiya bo'yicha o'rtacha anomaliyaning qoldiq maydoni, $n = 42$ va $m = 0$ boshlab, garmonik tahlil orqali, koeffitsiyentlarni topish uchun foydalanilgan edi.

V tortilish potentsiali sferik funksiyalar bo'yicha qatorga bo'linish ko'rinishida topiladi:

$$V = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^n \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \right], \quad (9.13)$$

bu yerda: r, φ, λ – tashqi gravitatsion maydondagi nuqtalarning sferik koordinatalari; a – ellipsoidning katta yarim o'qi; $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ – normallashtirilgan garmonik koeffitsiyentlar; $\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)$ – Lejandrning funksiyasi normallashtirilgan qo'shilishi, Lejandrning funksiyasi normallashtirmagan qo'shilishi bilan bog'liq:

$$\bar{P}_{nm}(\sin \varphi) = \left[\frac{(n-m)!(2n+1)k}{(n+m)!} \right]^{1/2} P_{nm}(\sin \varphi), \quad (9.14)$$

Ular $P_{nm}(\sin \varphi)$ darajasi n Lejandrning polinomlari orqali ifodalanadi:

$$P_{nm}(\sin \varphi) = (\cos \varphi)^m \frac{d^m}{d(\sin \varphi)^m} [P_n(\sin \varphi)]; \quad (9.15)$$

$$P_n(\sin \varphi) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{d(\sin \varphi)^n} (\sin^2 \varphi - 1)^n. \quad (9.16)$$

$\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ normallashtirilgan garmonik koeffitsiyentlar, normallashtirmagan koeffitsiyentlar bilan bog'liq:

$$\begin{bmatrix} \bar{C}_{mb} \\ \bar{S}_{nm} \end{bmatrix} = \left[\frac{(n+m)!}{(n-m)!(2n+1)k} \right]^{1/2} \begin{bmatrix} C_{nm} \\ S_{nm} \end{bmatrix}. \quad (9.17)$$

(9.14) va (9.17) formulalardagi k ko'paytma, $m = 0$ bo'lganida 1 ga teng va $m \geq 1$ bo'lganida 2 ga teng.

ζ ellipsoiddan geoidning balandliklari, geopotensialning parametrlari orqali, metrlarda aniqlanishi mumkin:

$$\zeta = \frac{GM}{r\gamma} \left[1 + \sum_{n=2}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^n \bar{P}_{nm}(\sin\varphi) (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \right], \quad (9.18)$$

bu yerda: γ tortish kuchi tezlanishi (9.12) formula bo'yicha aniqlanadi. 180-tartib va 180-darajagacha taqsimlanishlarda, geoid balandligi xatoligi 2 dan 6 metrgacha oraliqlarda joylashadi.

WGS-84 tizimi, WGS-72 tizimini o'zi bilan almashtirib, 1987-yilning 23-yanvaridan boshlab, GPS yo'ldoshlari bortli efemeridasi uchun tizimdek foydalaniladi. Ikkala tizim ham, TRANSIT yo'ldoshlar doplerli o'lchashlari asosida olingan edi. Tizimni tashuvchilar GPS Nazorat segmentining beshta stansiyasi edi. WGS-84 tizimini boshlang'ich joriy qilishdagi, geotsentrga bog'lash aniqligi, 1 m ga qaraganda, yomon emas [83].

1990-yillarning o'rtalarida WGS-84 tizimining to'rlari sezilarli darajada o'sdi. 1994-yilda AQSH Mudofaa vazirligi WGS-84ni joriy qilishga kirishdi, u to'lig'icha GPS o'lchashlariga asoslandi. Bu joriy etish WGS-84 (G730) dek, ma'lum, bu yerda G harfi GPS ni belgilash uchun turibdi, "730" esa hafta raqamini belgilaydi (0^h UTC 1994-yil 2-yanvaridan boshlab), tasvirlash va kartalashtirish bo'yicha Milliy boshqaruvi (National Imagery and Mapping Agency, NIMA) bu tizimda o'zining GPS orbitalarini taqdim etishni boshladi. WGS-84 (G873) deb nomlangan, WGS-84 navbatdagi joriy qilinishi ham, to'lig'icha GPS kuzatishlariga asoslangan. Yana G harfi, ushbu dalilni aks ettiradi, "873" esa 0^h UTC 1996-yilning 29-sentabridan boshlangan GPS hafta raqamini belgilaydi. NIMA garchi GPS orbitalarini, ushbu tizimda, shu sanadan boshlagan bo'lsa hamki, WGS-84 (G873)ni GPS Operatsion nazorati 1997-yilning 29-yanvarigacha qabul qilmagan.

WGS-84 (G873) masshtabi va oriyentirlashining boshlanishi, GPS kuzatuvlari 15 ta stansiyalar uchun qabul qilinganlarga nisbatan, aniqlangan: ulardan 5 tasi AQSH Harbiy havo kuchlari, 10 tasi esa NIMA tomonidan rag'batlanib turiladi. WGS-84 (G873) tizimi subdetsimetrli aniqlik bilan ITRF 94 ga yaqinlashtirilgan [150].

2001-yilda NIMA boshqaruvi Dalgrenov suv usti qurollari harbiy-dengiz markazi divizioni bilan 15 sutkalik kuzatish seanslarini o'tkazdi, buning natijasida, o'zining global to'riga, AQSH Harbiy havo kuchlari boshqaradigan 11 ta doimiy stansiyalardan va Nazorat segmentining 6 ta stansiyalarini, Xalqaro GPS stansiyalari to'rlariga bog'lashlarni

bajardilar. Bu stansiyalarning koordinatalari, AQSH Mudofaa vazirligi yuqori aniqlikdagi geodezik ishlarda (shu jumladan, orbitalarni aniqlash uchun) foydalanuvchi, WGS-84 tizimini operativ joriy qilishga hissasini qo'shdilar. *ITRF* – 2000 tizimiga bog'langan, ushbu stansiyalarning yaxshilangan koordinata baholashlari yaratildi, ular 2002-yilning yanvaridan AQSH Harbiy havo kuchlari va *NIMA* larning operativ foydalanishlariga qo'shildi. Stansiyalarning har qaysi koordinatalar bo'yicha standart og'ishlari 1 sm larga yaqindan iborat.

17 ta stansiyalardan olingan koordinatalar to'plamiga WGS-84(G1150) belgilashi berilgan edi; u shuningdek, 2001.0 davridagi stansiyalar uchun, tektonik harakatlar tezliklarining qabul qilingan to'plamlarini ham o'z ichiga oladi. Bu belgilashlar, koordinatalar *GPS* kuzatishlari bo'yicha olinganligini va 1150-*GPS* haftasi bilan aniq *GPS* efemeridasini yaratish uchun qo'llanila boshlanganligini ko'rsatadi [136]. WGS-84(G1150) hisob asosi, amalda *ITRF* – 2000 hisob asosiga o'xshashdir (9.7-rasmga qarang).

9.2.2. PZ-90 koordinata tizimi

1990-yil Yerning parametrlari *PZ* – 90 Rossiya Federatsiyasi Qurolli kuchlari Topografik xizmati tomonidan aniqlangan edi. *PZ* – 90 parametrlari quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- fundamental astronomik va geodezik doimiyliklarni;
- koordinata asoslari tavsiflarini (Yer ellipsoidi parametrlari, punktlarning koordinatalari, mahkamlovchi tizimlar, boshqa koordinata tizimlari bilan bog'liqlik parametrlari);
- Yerning gravitatsion maydoni normal va anomal modellarini, gravitatsion maydonning lokal tavsiflarini (umumyer ellipsoididan kvazigeoidning balandligi va tortish kuchining anomaliyasi).

PZ – 90 tarkibiga kiruvchi koordinata tizimini, ayrim hollarda, *SGS* – 90 (1990 yil yo'ldoshli geotsentrik tizimi) deb ham ataydilar [35]. *PZ* – 90 Yerning parametrlari *PZ* – 77 va *PZ* – 85 oldingi to'plamlarini almashtirdi. *PZ* – 90 Yerning parametrlari 30 millionlar fotografikli, radiodalnomerli, doplerli, lazerli va *Geo-İK* yo'ldoshining altimetrik o'lchashlari, *GLONASS* va “*Etalon*” tizimidagi yo'ldoshlargacha masofalarni lazerli va radiotexnik usullarda, o'lchashlar natijalari asosida olingan [6, 9, 11, 37, 53].

Tizimning boshlanishi Yer massasi markazida joylashgan. z o'qi o'rtacha shimoliy qutbga, 1900–1905-yillar (Xalqaro shartli boshlanish) o'rtacha davriga yo'naltirilgan. x o'qi 1900–1905-yillar davri, Yer ekvatori tekisligida yotadi va (XOZ) tekisligi uzoqlik tizimlarini hisoblashda qabul qilingan, nol-punktini tutgan o'rnini aniqlaydi. y o'qi koordinata tizimini to'g'rigacha to'ldiradi. B, L, H geodezik koordinatalar, a katta yarim o'qi va α siqiligi bilan umumiy ellipsoidiga tegishli (2.1-jadvalga qarang). Aylanish o'qi (kichik yarim o'q) z o'qi bilan mos keladi, bosh meridian tekisligi ($L = 0$), (XOZ) tekisligi bilan mos keladi. Yo'ldoshli geotsentrik koordinata tizimi MDH davlatlari territoriyalarida, 1-3 ming kilometr o'rtacha masofalar bilan, kosmik geodezik to'rlarning 30 ta tayanch punktlari koordinatalarida mahkamlangan. Punktlarning o'zaro joylashish aniqligi 10, 20 va 30 sm lar, mos ravishda 100, 1000 va 10000 km masofalar uchun, xatoliklar bilan tavsiflanadi. $SGS-90$ ning geotsentrga bog'lash xatoliklari absolut qiymat bo'yicha 1.5 m dan oshmaydi. Yerning gravitatsion maydoni planetar modeli, qator ko'rinishida taqsimlangan, sferik funksiyalar bo'yicha 36 va 200 darajagacha va nuqtali massa tizimi tartibida (32000 parametrlar) olingan. Ellipsoiddan geoidni balandligi o'rtacha kvadratik xatoligi 1.5 m ga teng, chet el modellari bilan raqobat bardoshli, MDH territoriyasida esa, ular aniqligi bo'yicha oldinda turadi. $PZ-90$ tizimi uchun, $SK-42$ va $WGS-84$ tizimlari bilan bog'liqlik parametrlari olingan (9.1-jadvalga qarang).

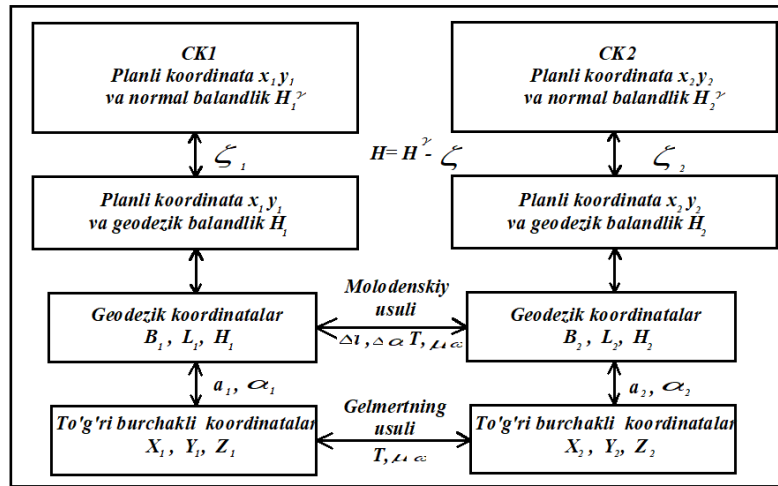
9.2.3. Koordinatalar tizimini o'zgartirish

Yo'ldoshli texnologiyalar bilan shug'ullanuvchi geodezistga, ikkita ko'rinishdagi koordinatalarni o'zgartirish, to'qnash keladi:

- o'zgartirishlarning nashr qilingan parametrlari bilan ishlash;
- mos keluvchi parametrlarni aniqlash orqali o'zgartirish.

Ayrim hollarda, bu ikki ko'rinishdagi o'zgartirishlarni, mos ravishda, global va lokal o'zgartirishlar deb ataydilar va yana mos ravishda, o'zgartirish parametrlarini global (alohida davlat uchun, ayrim hollarda, milliy) va lokal parametrlar deb ataydilar. Ushbu bo'limda birinchi ko'rinishdagi o'zgartirish ko'rib chiqiladi. Ikkinchi ko'rinish 19-bo'limda chekli yo'ldoshli to'rlarni tenglashtirish usullaridan biri sifatida ko'rib chiqiladi.

Zamonaviy usullarda qo‘llaniladigan koordinatalarni o‘zgartirish bilan to‘rlarni qurishni va balandlik sxemasini keltiramiz (9.3-rasm) [143].



9.3-rasm. An’anaviy va yo‘ldoshli usullar bilan to‘rlarni qurishni birlashtirishda mumkin bo‘lgan koordinata o‘zgarishlari.

To‘g‘ri burchakli koordinatani o‘zgartirish. CK1 tizimidan CK2 tizimiga $r_{CK1} = (X, Y, Z)_{CK2}^T$ vektorning komponentlarini o‘zgartirish, umumiy hollarda, uchta jarayonda bajariladi: ko‘chirish, burilish va masshtablashtirish. Xususiy hollarda, har qaysi jarayon mustaqil yoki boshqa har qaysisi bilan kombinatsiyalashgan holda qo‘llanilishi mumkin.

Ko‘chirish jarayoni r_{CK1} vektoriga $T = (T_X, T_Y, T_Z)^T$ vektorini qo‘shishdan iborat, CK1 koordinata tizimini boshlanishini CK2 tizimiga:

$$r_{CK2} = r_{CK1}, \quad (9.19)$$

Vektor koordinatasini o‘zgartirishdagi burilish jarayoni, koordinata tizimlarini boshini moslashtirgandan keyin olib boriladi va quyidagi tenglama bilan yoziladi:

$$r_{CK2} = R \cdot r_{CK1}, \quad (9.20)$$

bu yerda: R - 3×3 o‘lchamli burilish matritsasi. Uning elementlari “yangi” va “eski” o‘qlar orasidagi burchak kosinuslari hisoblanadi, ya’ni

$$R = \begin{bmatrix} \cos(X_{CK2}, X_{CK1}) & \cos(X_{CK2}, Y_{CK1}) & \cos(X_{CK2}, Z_{CK1}) \\ \cos(Y_{CK2}, X_{CK1}) & \cos(Y_{CK2}, Y_{CK1}) & \cos(Y_{CK2}, Z_{CK1}) \\ \cos(Z_{CK2}, X_{CK1}) & \cos(Z_{CK2}, Y_{CK1}) & \cos(Z_{CK2}, Z_{CK1}) \end{bmatrix} \quad (9.21)$$

Xususiy hollarda, R matritsalar o‘qlardan birining atrofida aylanish matritsalarini hisoblanadi. Bunday hollar uchun, quyidagi tenglama qo‘llaniladi:

$$r_{CK2} = R_i(\alpha)r_{CK1}, \quad (9.22)$$

bu yerda: α – aylanish burchagi, i esa – uning atrofida aylanish bo‘layotgan, o‘qning raqami. Agar aylanish x o‘qi atrofida bo‘lsa, unda $i=1$, $R_1(\alpha)$ matritsa esa, quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

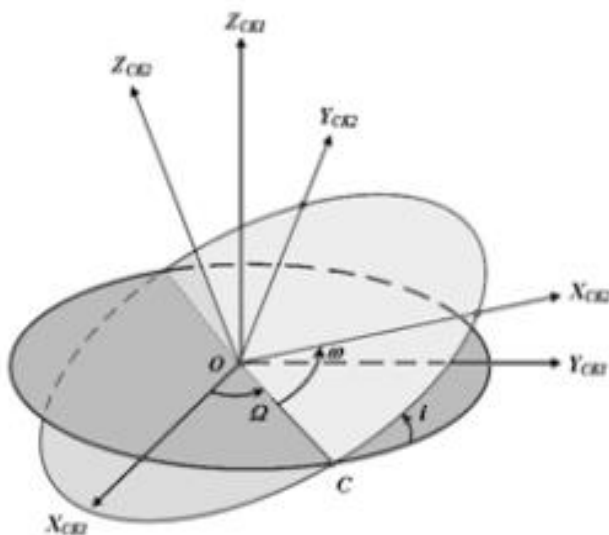
$$R_1(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}. \quad (9.23)$$

Ikkinchi va uchinchi o‘qlar atrofida burilishlarda, mos ravishda, β va γ burchaklarga ega bo‘lamiz:

$$R_2(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix}; \quad (9.24)$$

$$R_3(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (9.25)$$

Juda ko‘p hollarda, burilishni Eyler burchaklaridan (9.4-rasm) yoki Kardano burchaklaridan (9.5-rasm) foydalanib, uchta aylanishga bo‘ladilar.

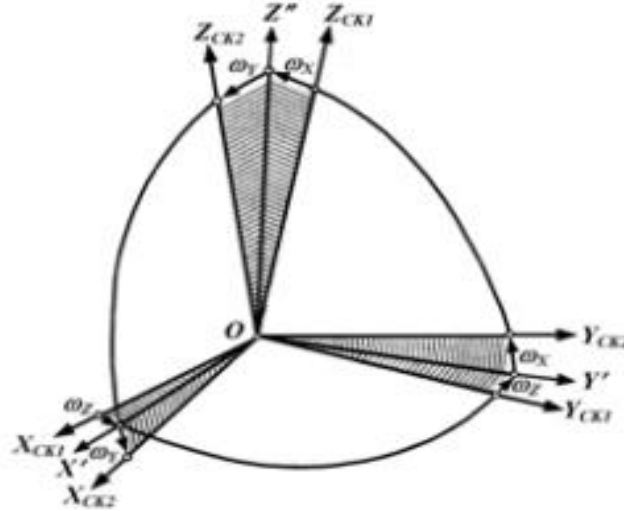


9.4-rasm. Eyler burchaklari.

9.4-rasmda $CK1$ va $CK2$ tizimlarining asosiy tekisliklari $\overline{OC}$ chizig‘i bo‘yicha kesishadi. X_{CK1} o‘qi va $\overline{OC}$ chizig‘i orasidagi Ω burchak pretsessiya burchagi deb ataladi, i burchak asosiy tekisliklar orasidagi nutatsiya burchagi, $\overline{OC}$ chizig‘i va X_{CK2} o‘qi orasidagi ω

burchak – toza aylanish burchagi deb ataladi. Eyler burchaklaridan foydalanib, o‘zgartirishlar quyidagicha yoziladi:

$$r_{CK2} = R_3(\omega)R_1(i)R_3(\Omega)r_{CK1} . \quad (9.26)$$



9.5-rasm. Kardano burchaklari.

$\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$ Kardano burchaklari bilan o‘zgartirishlar, $\omega = (\omega_X, \omega_Y, \omega_Z)^T$ kichik aylanishlar vektori hosil qiluvchilardir, uchta ketma-ket aylanishlar orqali olib boriladi. 9.5-rasmda birinchi aylanish, soat strelkasiga teskari ω_Z burchakka Z_{CK1} o‘qi atrofida qilinadi. Bu aylanish natijasida, X_{CK1} o‘qi X' o‘rnida, Y_{CK1} o‘qi esa Y' o‘rnida paydo bo‘ladi. Ikkinchi aylanish ω_X burchakka X' o‘qi atrofida qilinadi, natijada Y' o‘qi Y_{CK2} o‘rnida, Z_{CK1} o‘qi esa - Z'' o‘rnida paydo bo‘ladi. Nihoyat, uchinchi aylanish ω_Y burchakka Y_{CK2} o‘qi atrofida qilinadi, undan keyin Z'' o‘qi Z_{CK2} o‘rnida, X' o‘qi esa X_{CK2} o‘rnida paydo bo‘ladi. Barcha uchta aylanishlar ko‘paytmalar ko‘rinishida yoziladi:

$$r_{CK2} = R_2(\omega_Y) \cdot R_1(\omega_X) \cdot R_3(\omega_Z) \cdot r_{CK1} . \quad (9.27)$$

$\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$ kichik aylanish burchaklarida Teylor qatori trigonometrik funksiyasiga bo‘lingandan keyin, birinchi tartibdagi a‘zolarining ushlanishlari bilan va matritsalarni ko‘paytirishdan quyidagini olamiz:

$$E = R_3(\omega_Z) \cdot R_2(\omega_Y) \cdot R_1(\omega_X) = \begin{bmatrix} 1 & \omega_Z & -\omega_Y \\ -\omega_Z & 1 & \omega_X \\ \omega_Y & -\omega_X & 1 \end{bmatrix}. \quad (9.28)$$

Koordinatalarni transformatlashtirishdagi masshtablashtirish jarayoni, kichik skalyar μ yordamida barcha yoʻnalishlarni bir xil uzunlikdagi oʻzgartirishdan iboratdir, yaʼni birlikdan farqlarni nisbatan, birgina va ushbu elementning uzunligini turli tizimlarda tavsiflovchi (oʻxshash oʻzgartirishlar):

$$r_{CK2} = T + (1 + \mu) \cdot r_{CK1}. \quad (9.29)$$

Odatda $\mu < 10^{-6}$ va 6 chi yoki 9 chi qiymat birliklarida beriladi.

Kosmik geodeziyada koʻpincha uchraydigan, koʻchirish jarayonidan foydalanib, toʻgʻri burchakli koordinatalarni oʻzgartirish, Kardano burchaklariga burish va masshtablashtirish quyidagi tarzda yoziladi:

$$r_{CK2} = T + (1 + \mu) \cdot E \cdot r_{CK1}, \quad (9.30)$$

yoki

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{CK2} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{CK1} + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mu & \omega_Z & -\omega_Y \\ -\omega_Z & \mu & \omega_X \\ \omega_Y & -\omega_X & \mu \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{CK1}. \quad (9.31)$$

Bunday koʻrinishdagi oʻzgartirishni, koʻpincha Gelmert boʻyicha oʻzgartirish deb ataydilar yoki 7-parametrli oʻzgartirish yoki Evklid oʻzgartirishiga oʻxshashlar, unga kiruvchi transformatlashtirishdagi parametrlar (T va ω vektorlar, μ skalyar) – Gelmert parametrlari bilan ataladi.

9.1-jadvalda nashrlardan olingan, (9.31) formulaga muvofiq keltirilgan, ayrim tizimlar uchun bogʻliqlik parametrlari, ayrim holatlardagi parametrlar qiymatlari keltirilmoqda.

Yer koordinata tizimlarini o'zgartirish parametrlari

O'tish yo'nalishi, manba	Bog'liqlik parametrlari						
	T_x (m)	T_y (m)	T_z (m)	μ (o'lchamsiz)	ω_x'''	ω_y'''	ω_z'''
$SK-42 \rightarrow PZ-90$ [20]	+25	-141	-80	0	0	-0.35	- 0.66
$SK-42 \rightarrow PZ-90$ [37]	+1.8	-9.0	+6.8	$-1.5 \cdot 10^{-7}$	+0.02	-0.38	- 0.85
$SK-42 \rightarrow PZ-90$ [20]	-25.90	+130.94	+81. 76	0	0	0	0
$SK-42 \rightarrow PZ-90$ [20]	-1.08	-0.27	-0.90	$-0.12 \cdot 10^{-6}$	0	0	- 0.16

Koordinatalarni o'zgartirish stoxastik modeli. Agar r_{CK1} vektor komponentlari mustaqil va korvariatsiya (dispersion) matritsasini K_{CK1} hosil qiluvchi, o'rtacha kvadratik xatolikni tavsiflovchi bo'lsa:

$$K_{CK1} = \begin{bmatrix} m_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_z^2 \end{bmatrix}_{CK1}, \quad (9.32)$$

unda, $CK2$ tizimidagi xatoliklarni barchaga ma'lum nisbatni qo'llab, korvariatsiya matritsasi K_{CK2} orqali baholash mumkin:

$$K_{CK2} = J \begin{bmatrix} K_{CK1} & 0 \\ 0 & K_p \end{bmatrix} J^T, \quad (9.33)$$

bunda K_p – 7×7 o'lchamdagi transformatlash parametrlarining korvariatsiya matritsasi, J – 10×3 o'lchamdagi Yakobi matritsasi:

$$J = \frac{\partial r_{CK2}}{\partial (r_{CK1}, P)}. \quad (9.34)$$

Bu yerda: P – transformatlash parametrlari vektori. Agar matritsa parametrlari quyidagi ko'rinishda bo'lsa

$$P^T = (T_x, T_y, T_z, \mu, \omega_x, \omega_y, \omega_z), \quad (9.35)$$

Unda ikkinchi tartibdagi a'zolangacha quyidagicha qabul qilish mumkin:

$$J = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & X & 0 & -Z & Y \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & Y & Z & 0 & -X \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & Z & -Y & X & 0 \end{bmatrix}. \quad (9.36)$$

Keltirilgan formulalar aniq omillarni ta'kidlaydi: aniq transformatlashgan koordinatalar aniqligi, nafaqat, berilgan koordinatalar aniqligiga bog'liq, balki transformatlashtirish parametrlari aniqligiga ham bog'liq ekan.

B, L, H geodezik koordinatalardan, X, Y, Z to'g'ri burchakli koordinatalarga o'tishda, xatolarni uzatilishi quyidagi formulaga mos ravishda sodir bo'ladi

$$K_{XYZ} = J \cdot K_{BLH} \cdot J^T, \quad (9.37)$$

bu yerda

$$J = \begin{bmatrix} \frac{Ne^2 \sin B \cos^2 B \cos L}{1 - e^2 \sin^2 B} - (N + H) \cos L \sin B & -(N + H) \cos B \sin L & \cos B \cos L \\ \frac{Ne^2 \sin B \cos^2 B \sin L}{1 - e^2 \sin^2 B} - (N + H) \sin L \sin B & (N + H) \cos B \cos L & \cos B \sin L \\ \frac{[Ne^2 \sin^2 B \cos B \sin L + N \cos B](1 - e^2)}{1 - e^2 \sin^2 B} + H \cos B & 0 & \sin B \end{bmatrix}. \quad (9.38)$$

To'g'ri burchakli koordinatadan geodezik koordinataga o'tishda korvariatsiyali bog'langan matritsa quyidagi nisbat bilan bog'liq [143]

$$K_{BLH} = J \cdot K_{XYZ} \cdot J^T, \quad (9.38)$$

Ammo, bu yerda Yakobi matritsasi J quyidagidek beriladi:

$$J = \begin{bmatrix} A & AY/X & B \\ -Y/D^2 & X/D^2 & 0 \\ \frac{X}{D \cos B} + A \cdot C & \frac{Y}{R \cos B} + \frac{A \cdot C \cdot Y}{B} & B \cdot C \end{bmatrix}, \quad (9.39)$$

bunda

$$A = \frac{X \operatorname{tg} B}{D^2(e^2 - \sec^2 B)}; \quad B = \frac{1}{D \sec^2 B - e^2 N \cos B}; \quad (9.40)$$

$$C = \frac{D \sin B}{\cos^2 B} - \frac{Ne^2 \sin B \cos B}{1 - e^2 \sin^2 B}; \quad D = \sqrt{X^2 + Y^2}.$$

9.2.4. WGS-84 va PZ-90 tizimlari parametrlarining uzviy aloqasi

Shuni qayd etish kerakki, yaqin vaqtlargacha WGS-84 va PZ-90 koordinata tizimlari orasidagi bog'liqlik parametrlarining so'nggi qiymatlari mavjud bo'lmagan. Buning sababi, har qaysi tizimning koordinatalari doimo aniqlashtirilayotganligi hisoblanadi. Hozirgi vaqtda, PZ-90 koordinata tizimi z o'qi atrofida WGS-84 tizimiga nisbatan, $0.2''$ tartibidagi burilish qiymatiga ega, bu Rossiya terriyasida uzoqlik yo'nalishidagi 3–6 mm ga siljishga mos keladi. Bu burilish, WGS-84 va PZ-90 koordinata tizimlari e'lon qilingan aniq-ligidan sezilarli darajada oshadi. Yuzaga kelgan holatdan chiqish, amaldagi va istiqbolli xalqaro va milliy yo'ldoshli pozitsionirlash tizimi uchun, yagona geotsentrik koordinata tizimini qabul qilish bo'lishi mumkin. Bunday tizim sifatida, *ITRF* ayrim o'rtacha joriy qilinishlarini ko'rib chiqish mumkin, Butun dunyoda eng aniq masalalar uchun, masalan, geodinamika masalalari uchun, Xalqaro geodeziya va geofizika ittifoqining №2 qarori bilan mos ravishda Xalqaro Yer aylanishi xizmati (IERS) tomonidan yaratiladigan va rag'batlan-tiriladigan, 1991-yili Venada qabul qilingan, *ITRF* da joriy qilingan, tizimdan hozirda foydalaniladi.

ITRS hisob tizimlari va ITRF hisoblash asoslari. Doimo oshib boruvchi, kosmik kuzatishlar usullarining aniqligi, koordinata tizimlarini o'rnatilishida, mos keluvchi aniqlikni talab qiladi. Xalqaro Yer aylanishi xizmati va referens tizimlar *nazariy tizimlarni* ajratadi, ular uchun tizimlar konsepsiyasi, fundamental nazariya va standartlar hamda bu tizimlarni nuqta koordinatalari to'plamlari orqali *amalda joriy qilinishi* bo'ladi [71, 102, 106]. Birinchi ko'rinishdagi tizimlar uchun Terrestrial Reference System (*TRS*), ya'ni *Yer hisobi tizimi* atamasi qo'llaniladi. Bunday tizimning konsepsiyasi 1980-yillarning oxirlarida astronomlar va geodezistlar tomonidan ishlab chiqilgan edi. Ikkinchi ko'rinishdagi tizimlarni Terrestrial Reference Frame (*TRF*) deb ataydilar, ular uchun *СНИГАиК* "Yer hisoblash asosi" atamasini tavsiya qiladi [41].

Yer hisoblash asosi (*TRF*) qaysidir (dekart, ellipsoidal, kartografik) koordinata tizimida, aniq aniqlangan koordinatalari bilan fizik nuqta-larning to'plamidir. *TRF* punktlarini bog'lovchi, chiziq, Yer jismida,

Yer qobig‘i bilan qattiq bog‘langan, sinch (“frame” “sinch” dek tarjima qilinishi mumkin) hosil qiladi.

Hozirgi vaqtda *ITRF* hisoblash asosi, umumiyer tizimlarini eng yaxshi joriy qilinishi hisoblanadi. *ITRF_{yy}* nomlanishi International Terrestrial Reference Frame – Xalqaro Yer hisoblash asosi (yoki sinch) dek talqin qilinadi, *yy* – ikkita oxirgi raqam tizimni paydo bo‘lgan yilini qo‘rsatadi. Xulosa: *ITRF* Xalqaro Yer aylanishi xizmatining 200 dan ko‘p stansiyalari koordinatalarini birlashtirilishiga va Oyning lazerli lokatsiyasini va YeSYlarini, *GPS* (1991-yildan boshlab), doplerli orbitografik radiopozitsionli integrallashgan yo‘ldoshli tizimni *DORIS* (1994-yildan boshlab) va *PRARE* mikroto‘lqinli yo‘ldoshli tizimlarini, *RSDB* kuzatishlarining ma’lumotlari bo‘yicha olingan, ularning harakat tezliklariga asoslangan [102].

ITRS tizimlari quyidagi talablarni qoniqtiradi:

- tizimning boshlanishi, okeanlar va atmosferani qo‘shganda, butun Yer massasi markazida joylashgan;

- gravitatsiya relyativistik nazariyasi mazmunida, lokal Yer tizimida aniqlangan, uzunlik birligi (*SI*) metr hisoblanadi;

- o‘qlarni oriyentirlash 1984.0 davrdagi Xalqaro vaqt byurosi ma’lumotlari bo‘yicha beriladi;

- o‘qlarni oriyentirlash vaqtinchalik evolutsiyasi ham shunday, u Yer qobig‘iga nisbatan gorizont tekisligida qoldiq aylanish tezligiga ega emas.

ITRF koordinata tizimining tezlik maydoni, tektonik plitalar harakati geofizik modeliga nisbatan aylanishga ega emas. *ITRF88–ITRF92* tizimlari uchun *AMO–2* absolut harakatlar modeli qo‘llanilgan edi, *ITRF91* va *ITRF92* – *NNR NUVEL1* modeli, *ITRF93*dan boshlab, *NNR NUVEL1A* modeli qo‘llanilmoqda.

ITRS tizimida *t* davrga Yer qattiq yuzasida *R(t)* punktning tutgan o‘rnining vektori quyidagi tenglama bilan beriladi:

$$R(t) = R_0 + V_0(t - t_0) + \sum_i \Delta_i R(t), \quad (9.41)$$

bu yerda: *R₀* – *t₀* davrga punktning tutgan o‘rni; *V₀* – *t₀* davrga tezlik; *Δ_iR(t)* – yuqori chastotaligi uchun tuzatma hisobida yotuvchi, geodezik ta’sirlar ustunliklari. Ularga quyidagilar tegishli:

– 0.5 m gacha siljishlarni keltirib chiqaruvchi, qattiq Yerdagi davriy oyli-quyoshli suv ko‘tarilishlari;

– okean suv ko‘tarilishlari yuklari natijasidagi deformatsiya, kontinental shelf yaqinidagi stansiyalar uchun, o‘nlab millimetrlarga yetishi mumkin;

– atmosfera bosimini tarqalish vaqtidagi, o‘zgaruvchan elastik qobiqning reaksiyasi hisoblanuvchi, atmosfera yuklari. Oxirgi tadqiqotlar ko‘rsatdiki, bu ta’sir stansiyaning vertikal siljishida bir necha millimetrligacha qiymatga ega bo‘lishi mumkin;

– muzlash davri oqibatlariga o‘xshash, shimoliy kengliklarda ko‘proq kuzatiladigan, muzliklar qaytarilishlarini ta’siri, balandlik bo‘yicha yiliga bir necha millimetrlarga yetishi mumkin;

– qutbiy aylanishlar siljishida Yer qobiq‘i elastik reaksiyasi hisoblanuvchi, qutbiy suv ko‘tarilishlari. Qutbiy harakatlar komponentlarida 10 m tartibida va maksimal siljish 10–20 mm bo‘ladi.

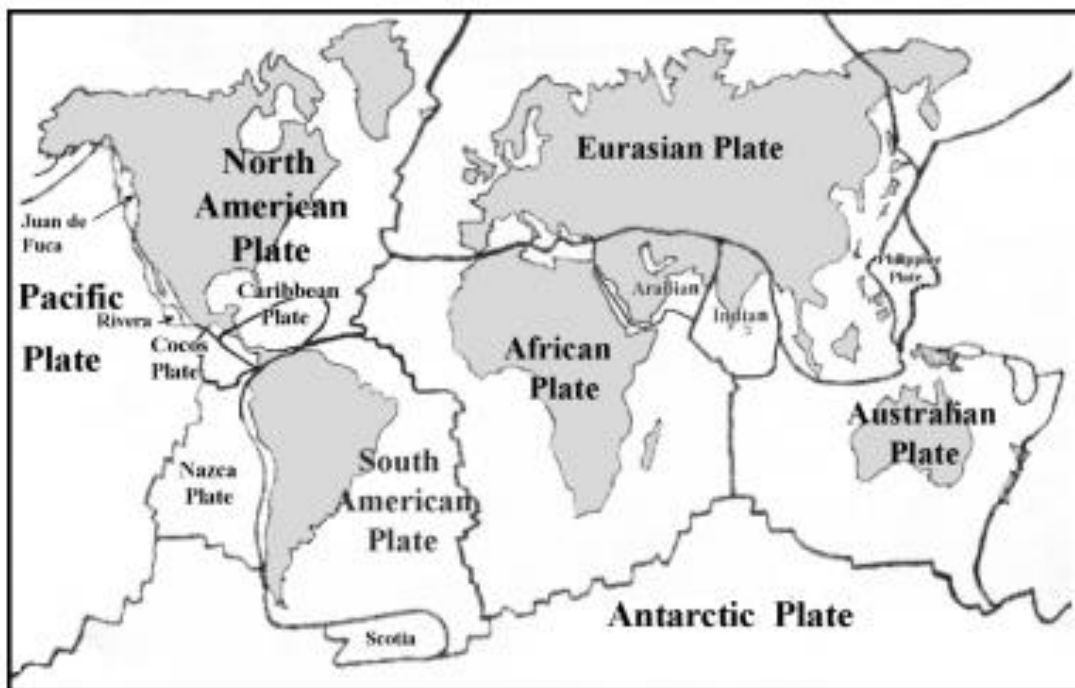
Sanab o‘tilgan modellarning tuzatmalari quyidagilarda berilgan [102, 106, 152]. Agar ular 1 mm dan katta bo‘lsa, boshqa tuzatmalar ham qo‘shiladi, ularni mos keluvchi qaysidir model bilan hisoblash mumkin.

Tektonik harakatlar tezligi 10 sm/yilga yetishi mumkin. Agar qaysidir stansiya uchun, tezlik *ITRF* da kuzatishlardan aniqlanmagan bo‘lsa, unda vektor tezligi V_0 tezliklarning yig‘indisidek, aniqlanishi kerak:

$$V_0 = V_{plate} + V_r, \quad (9.42)$$

bu yerda: V_{plate} – *NNR NUVEL1A* tektonik plitalar harakati modeli bo‘yicha hisoblanadigan, plitaning o‘rtacha tezligi, V_r esa – qoldiq tezlik. Chiziqli vektorning tezligi V_{plate} , tektonik plitaning u yoki bu punktga mansubligi bilan mos ravishda, dekart koordinatalarda (9.2-jadval) $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ plitalarning aylanishlar tezliklari bo‘yicha olinadi (9.6-rasm):

$$V_{plate} = 10^{-6} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \cdot R_0. \quad (9.43)$$



9.6-rasm. NNR NUVEL1A modeli uchun tektonik plitalarning kartasi [102].

1988-yilda tuzilgan Xalqaro Yer aylanishi xizmati *ITRF* qarorlarini muntazam bajaradi va IERS Annual Reports va Technical Notes da nashr qildiradi. *ITRF* – kuzatish stansiyalarining koordinatalarini Internet orqali dekart koordinatalari va tezliklari shaklida olish mumkin. 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97 va 2000 raqamlari bilan o‘nta versiya qabul qilingan edi, ulardan har qaysisi, o‘zidan oldingisidan aniqligi bo‘yicha o‘zib ketdi (9.7-rasm). *ITRF88* hisoblash asosi 100 ta punkt bo‘yicha tashkil etilgan bo‘lib, ulardan 22 ta punktlarda bir nechta asboblarni o‘rnatilgan edi. *ITRF2000* to‘ri 500 ta punktlarda 800 ga yaqin stansiyalarni o‘z ichiga oladi, ulardan 101 tasida ikkita va undan ko‘p asboblarni joylashtirilgan. *ITRF2000*ni joriy qilish uchun Oyni va yo‘ldoshlarni lazerli lokatsiyasi, *GPS* va *DORIS* o‘lchashlari, *RSDB* uch yillik kuzatishlaridan foydalanildi. Modomiki, kuzatishlarning har xil usullari, asosning alohida tavsiflarini aniqlash uchun turli xil yondashadi, unda masshtabni o‘rnatish uchun *RSDB* kombinatsiyasi va yo‘ldoshlarning lazerli lokatsiyasi tanlangan edi. Asosni oriyentirlash oldingi *ITRF97* joriy qilinish bilan kelishilgan edi, oriyentirlashning o‘zgarish tezligi esa, Yer litosferasiga nisbatan, aylanish hisobining yo‘qligi, shartlari bo‘yicha tanlangan edi. Buning uchun, aylanish tezligi

NNR NUVEL1A geologik tektonik modeli bilan kelishilgan edi, oriyentirlashning o'zgarish parametrlarini aniqlash qo'shma qarori esa, tektonik plitalar va deformatsiya zonalari chegarasidan uzoqda joylashgan, punktlar bo'yicha olib borildi.

9.2-jadval

NNR NUVEL1A tektonik plitalari kinematik modeli uchun aylanish tezliklari

Plitalarning nomi	ω_x	ω_y	ω_z
Tinch okeani	-0.001510	0.004840	-0.009970
Kokos	-0.010425	-0.021605	0.010925
Naska	-0.001532	-0.008577	0.009609
Karib dengizi	-0.000178	-0.003385	0.001581
Janubiy Amerika	-0.001038	-0.001515	-0.000870
Antarktida	-0.000821	-0.001701	0.003706
Hindiston	0.006670	0.000040	0.006790
Avstraliya	0.007839	0.005124	0.006282
Afrika	0.000891	-0.003099	0.003922
Arabiston	0.006685	-0.000521	0.006760
Yevroosiyo	-0.000981	-0.002395	0.003153
Shimoliy Amerika	0.000258	-0.003599	-0.000153
Xuan de Fuka	0.005200	0.008610	-0.005820
Fillipin	0.010090	-0.007160	-0.009670
Rivera	-0.009390	-0.030960	0.009670
Shotlandiya	-0.000410	-0.002660	-0.001270

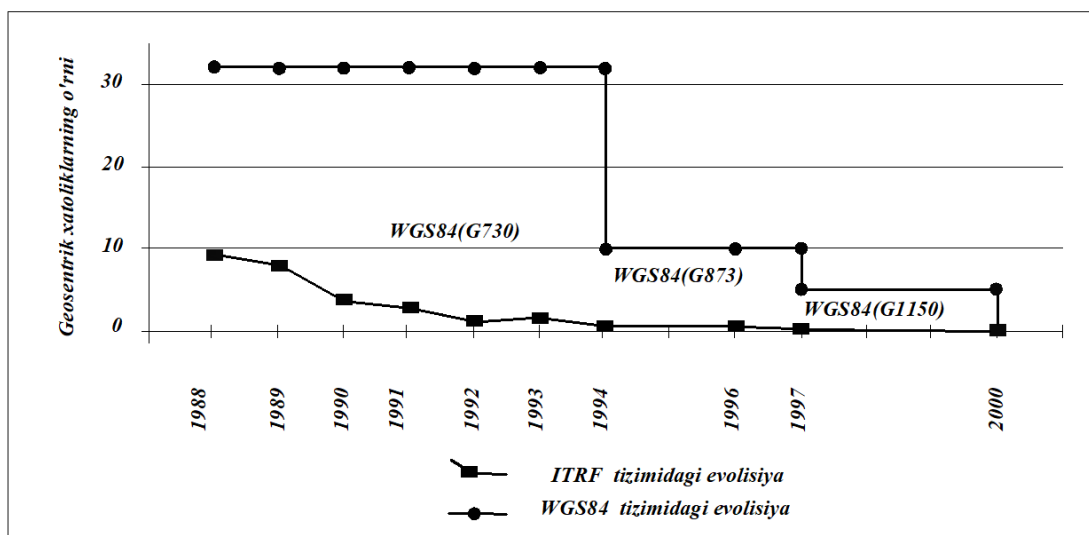
ITRF 2000ni geotsentrga bog'lash uchun *Lageos* yo'ldoshining lazerli kuzatishlaridan foydalanilgan edi. Qayta ishlashlarda faqat, geotsentrning chiziqli evolutsiyasi modellashtirildi, ammo kelgusidagi joriy qilinishlarda, shuningdek, uni davriy o'zgarishlarini ham qo'shish rejalashtirilmoqda [106].

Xalqaro Yer aylanishi xizmati, geodezik koordinatalarga o'tish uchun *GPS80* ellipsoidining parametrlarini qabul qilishni tavsiya etadi [139].

Boshqa hisoblash asoslari. Xalqaro Yer aylanishi xizmatidan tashqari joriy qilinadigan *ITRF* hisoblash asosi, boshqalari ham ma'lum.

Ushbu stansiyalar bilan beriladigan, ammo cheklangan territoriyalarda joylashgan. Unga Yevropa kichik komissiyasi tomonidan Xalqaro assotsiatsiyasi tashkil etilgan va rag‘batlantirib turiladigan *EUREF* (European Reference Frame) hisoblash asosi tegishlidir (<http://www/erncb.oma.be>). Asosiy to‘r 93 ta fundamental punktlardan *GPS* orqali 1989-yilning mayiga qadar o‘lchangan edi. U keyinchalik 150 ta doimiy ishlovchi *GPS* kuzatuv stansiyalariga kengaytirildi. Nihoyat *EUREF* butun Yevropa uchun yagona tizimni ifoda etadi, u *WGS-84* va *ITRF* tizimlari bilan muvofiqlashtirilgan. Qabul qilingan koordinata tizimi *ETRF-89* (yoki *ETRS89*) dek ma’lum, ko‘plab maqsadlar uchun u, Yevropada *WGS-84* joriy qilinishi deb qaralishi mumkin. Ko‘p davlatlar *EUREF* punktlarini “nol” klass to‘ridek moslashtiradi va undan, ular o‘zlarining milliy to‘rlarini kengaytiradi [68], (<http://www/erncb.oma.be>).

Janubiy Amerikada shunga o‘xshash, *SIRGAS* (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), Avstraliyada – *GDA94* (Geocentric Datum of Australia), AQSH va Kanadada – *NAD83 (CORS96)* joriy qilingan [151].



9.7-rasm. WGS –84 tizimlari va ITRF hisoblash asosining yaxshilangan aniqligi.

(www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/srg/Documentos/ResolucaoSP.pdf)

9.2.5. Bosh geodezik berilganlarni aniqlash muammolari

Geodezik koordinatalarning bog‘liqligi. O‘zgartirishlar juda tez-tez qo‘llaniladi, bunda CK2 tizimidagi geodezik koordinatalar B, L, H , to‘g‘ri burchakli koordinatalarga o‘tishni chetlab, CK1 tizimidagi koordinatalar orqali olinadi:

$$\left. \begin{aligned} B_{CK2} &= B_{CK1} + \Delta B \\ L_{CK2} &= L_{CK1} + \Delta L \\ H_{CK2} &= H_{CK1} + \Delta H \end{aligned} \right\}. \quad (9.44)$$

$\Delta B, \Delta L, \Delta H$ tuzatmalar nafaqat, koordinata tizimlari bog‘liqlik parametrlari funksiyalari hisoblanadi, shuningdek, referens-ellipsoidlar shakli va o‘lchamlari o‘zgarishlariga ham bog‘liqdir, demak, to‘qqizta parametrlardan iborat bo‘lishi kerak. Formulada berilganlarni nashrlarda, birinchi paydo bo‘lishi *SNIGAiK*, vip.131, M.S. Molodenskiy, V.F. Yeremeyev va M.I. Yurkinalarning ishlarida qilingan edi. Ammo, ular da masshtabning o‘zgarishi hisobga olinmagan edi, ya’ni ular Gelmert bo‘yicha 6-parametrik o‘zgartirishga o‘xshashdir. Chet el adabiyotlarida, bu o‘zgartirish “Molodenskiy usuli” deb ataladi, masalan [68, 97], yoki “Molodenskiyning standart formulalari” [83]. O‘zgartirishning to‘liq formulalari quyidagi ko‘rinishga ega [17]:

$$\Delta B = \frac{\rho''}{M + H} [-T_X \sin B \cos L - T_Y \sin B \sin L + T_Z \cos B + \frac{\Delta a (N e^2 \sin B \cos B)}{a} + \left(\frac{N^2}{a^2} + 1 \right) \sin B \cos B] + (1 + e^2 \cos 2B (\omega_X \sin L - \omega_Y \cos L) - \rho'' e^2 \mu \sin B \cos B) ; \quad (9.45)$$

$$\Delta L = \frac{\rho''}{(N + H) \cos B} (-T_X \sin L + T_Y \cos L) - ; \quad (9.46)$$

$$- \operatorname{tg} B (1 - e_E^2) (\omega_X \cos L + \omega_Y \sin L) + \omega_Z$$

$$\Delta H = T_X \cos B \cos L + T_Y \cos B \sin L + T_Z \sin B - \frac{a_E \Delta \alpha_E}{N} + \frac{\Delta e_E^2 N \sin^2 B}{2} + e_E^2 N \sin B \cos B \left(\frac{\omega_X}{\rho''} \sin L - \frac{\omega_Y}{\rho''} \cos L \right) + \mu (N + H - e_E^2 \sin^2 B) . \quad (9.47)$$

bu yerda

$$\Delta a_E = (a_E)_{CK2} - (a_E)_{CK1} ; \quad (9.48)$$

$$\Delta e_E^2 = (e_E^2)_{CK2} - (e_E^2)_{CK1} ; \quad (9.49)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} ; \quad (9.50)$$

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 B)^3}}. \quad (9.51)$$

Koordinatalarni o'zgartirishning global usullari, aniq koordinata tizimlari bilan ishlashda, masalan, *ITRF* yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Lokal referens koordinatalarni transformatlashtirishda, to'rlardagi lokal chiziqsiz xatoliklar hisobga olinmay qolishi mumkin va ko'p hollarda, koordinata tizimlari bog'liqlik parametrlari, nuqtalarning tanlangan cheklashlari bo'yicha aniqlanadi, buning natijasida xatoliklar sezilarli darajada oshadi. Masalan, *PZ-90* tizimidan *SK-42* tizimiga o'tishdagi aniqlik 2–4 m baholanadi [37], *WGS-84* dan *SK-42* ga 5–7 m [9]. Shuni ham, hisobga olish kerakki, koordinata tizimlarining yangi joriy qilinishlari paydo bo'lishi bilan, transformatlashtirish global usullarining aniqligi oshadi.

Lokal sohalardagi koordinatalarni o'zgartirish uchun, quyidagi usullardan foydalaniladi. Ularda, global usullarda qanday qo'llanilsa, shu algoritmlar bo'yicha bir tizimdan ikkinchisiga o'tish amalga oshiriladi, ammo o'tish parametrlari yoki ulardan bo'lagi, qaralayotgan soha tayanch nuqtalarida o'lchangani bo'yicha aniqlanadi [12].

9.2.6. Yerning geodezik parametrlari tizimidan geodeziyada, navigatsiyada, kartografiyada va kadastr xizmatida foydalanish

Bir-biridan ming va undan ham ko'p kilometr uzoqlikdagi, *GPS* va *GLONASS* turidagi yo'ldoshli tizimlari bilan ta'minlanadigan, punktlarning o'zaro joylashuvini aniqlash imkoniyatlari, koordinata o'lchashlarining yuqori aniqligi, shuningdek, tezkorligi, turli xil geodezik va navigatsiya masalalarini yechishning keng istiqbolli yo'ldoshli o'lchashlarini ochdi. Bunday tizimlardan foydalanish asosida global, qit'alararo, milliy, regional va lokal geodezik to'rlar yaratilgan va yaratilmoqda, ular bir-biridan punktlarning joylashuvi zichligi bo'yicha, koordinatalarni aniqlash aniqligiga talablar bo'yicha va turli texnik ko'rsatkichlari bo'yicha farqlanadi. Shuningdek, global masshtablarda va Yer yuzasining alohida uchastkalarida, Yer qobig'ida sodir bo'layotgan, geodinamik jarayonlarni o'rganish imkoniyatlarini ochdi. Shu bilan birga, yo'ldoshli pozitsionirlash usuli, muhandislik geodeziyasining turli xil masalalarini yechishda, muvaffaqiyat bilan qo'llanilmoqda.

Yer yuzasi bilan qattiq bog‘langan, punktlarning koordinatalarini aniqlash bilan bir qatorda, yo‘ldoshli usullar turli xil harakatlanayotgan obyektlar (suzuvchi vositalar, uchuvchi apparatlar va Yer usti transportlari)ning joylashgan o‘rnini aniqlashda ham, keng qo‘llanishlarni topmoqda. Biz tomondan ko‘rib chiqilayotgan savollarga nisbatan, yo‘ldoshli texnologiyalar, hozirgi vaqtda dengiz geodeziyasida va uchuvchi apparatlarni qo‘llash bilan joyning topografik planini olishni bajarishda keng foydalanilmoqda.

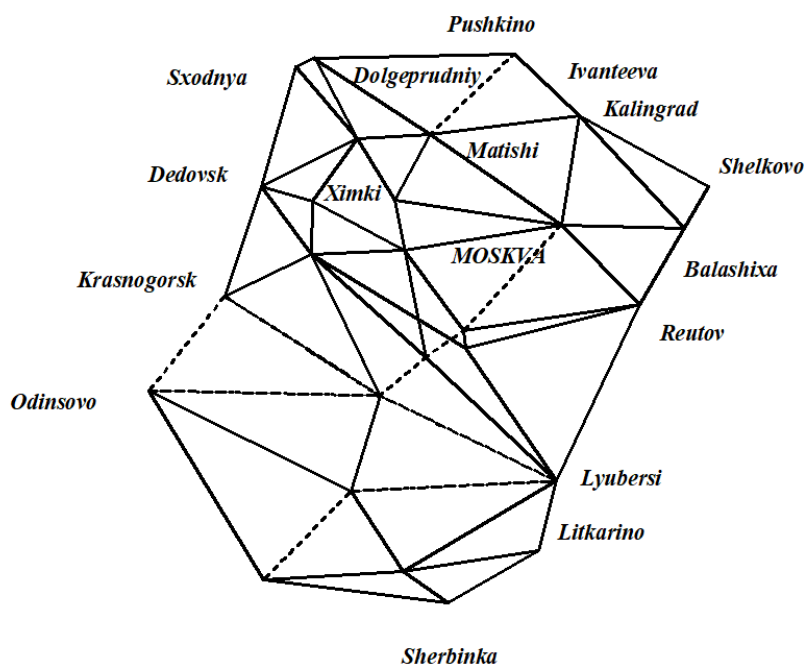
Shaharlarda va alohida sanoat obyektlarida, turli ko‘rinishdagi halokatlardan ogohlantirish maqsadida, maxsus geodinamik to‘rlar yaratila boshlandi, ularning punktlarida, maksimal aniqlik darajasiga yetkazilgan, tizimli yo‘ldoshli kuzatuvlar tashkil etiladi. Bunday to‘rlarga misollardan biri, Moskvadagi Moskva shahar tayanch geodezik to‘ri bazasida Moskva geodeziya, aerofosyomka va kartografiya muhandislari instituti mutaxassislari tomonidan yaratilgan, geodinamik to‘rni keltirish mumkin (9.8-rasm). Moskva geodinamik to‘ri punktlarining joylashuvini tanlashda, ulardan kam darajada deformatsiya ta’siriga uchraganlarini, tayanch sifatida, qolgan qismlari esa, shaharning turli regionlaridagi Yer yuzasi siljishlariga javob berishi ko‘zda tutiladi. Bularni hisobga olib, butun to‘r 40 ta punktlarga yaqinni o‘z ichiga oldi. Ulardan 9 tasi tayanch sifatida tanlandi.

1996-yildan 2000-yilgacha, ushbu to‘rda, yarim yillik interval bilan 8 sikl o‘lchashlari bajarildi. O‘tkazilgan tahlillar asosida, Yer yuzasining sezilarli deformatsiyaga uchragan, 1–2 sm siljishlarni tashkil etuvchi, lokal zonalarni aniqlash imkoniyatlari paydo bo‘ldi.

Tadqiqot natijalari bo‘yicha, ko‘pyo‘llilik va troposfera refraksiyasi qoldiq ta’sirlari hal qiluvchi rolni o‘ynaydi. 9.8-rasmda Moskvaning geodinamik to‘r sxemasi keltirilgan.

Yo‘ldoshli navigatsiya tizimining amalda qo‘llashning eng samarali va istiqbolli yo‘nalishlaridan biri, hozirgi vaqtda faol rivojlanayotgan, harakatlanuvchi obyektlarning joylashgan o‘rnini avtomatik ravishda (automatic vehicle location, AVL) aniqlash hisoblanadi. Ko‘plab aloqa va navigatsiya apparatlarini ishlab chiqaruvchi firmalar, harakatlanuvchi obyektlarda joylashadigan, bortli kontroller funksiyasini bajaruvchi, xususiy koordinatasini, tezligini, yo‘nalishini va tashqi datchiklar yordamida transport navigatsiyasini birlashtiruvchi to‘plam, uskuna-

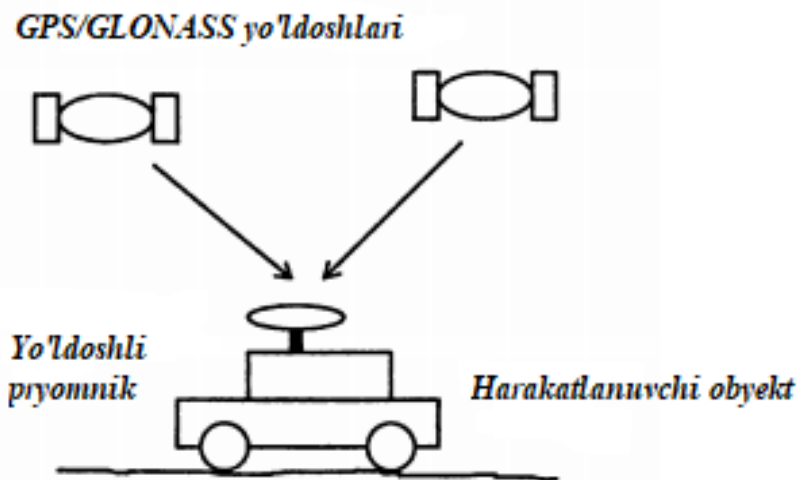
larini ishlab chiqarmoqda. Bunday to‘plam asos stansiyadan va radio-kanallar yordamida o‘zaro ishlovchi, harakatlanuvchi obyektlar guruhidan iborat.



9.8-rasm. Moskvaning geodinamik to‘r sxemasi.

Avtonom rejimdagi navigatsiya o‘lchashlarida, priyomnik asos stansiyalarisiz qo‘llaniladi, bunda birlik aniqlash aniqligi, tashqi sharoitlar va harakat tezligiga bog‘liq ravishda, 5–40 m ni tashkil qiladi. Shaxsiy yo‘ldoshli priyomniklarning oddiy modellari, WGS–84 koordinata tizimida va harakat tezligida, yuqorida ko‘rsatilgan aniqlikni ta‘minlaydilar. Juda murakkab modellar, bundan tashqari, harakat yo‘nalishini va bir qator xizmat ko‘rsatish funksiyalarini suyuq kristall displayda aks ettiradi, masalan, berilgan marshrutdan chetlashish, berilgan nuqtagacha masofa, shuningdek, displayli qurilma oynasi chegaralarida harakat marshrutini grafik aks ettiradi.

Bunday priyomniklarning birinchi modellari: Trimble Navigation firmasining Geo-ExplorYer, ScoutMaster priyomniklari, GARMIN INTYERNATIONAL INC firmasining GARMIN-38, 40, 45 priyomniklari va boshqalar. Harakatlanuvchi stansiyalarning haqiqiy vaqtdagi joylashgan o‘rnini aniqlash rejimi 9.9-rasmda berilgan.



9.9-rasm. Harakatlanuvchi stansiyalarning haqiqiy vaqtdagi joylashgan o'rnini avtonom rejimda aniqlash.

Hozirgi vaqtda, zamonaviy fotogrammetrik usullar bilan joyning kartalashtirilishini olib borishda, pozitsionirlash yo'ldoshli tizimlari samarali qo'llanilmoqda. Ularning yordamida uchishda kordinatalarni va aerofotoplan olish kameralarini oriyentirlash uchun, uchuvchi apparatlarni berilgan marshrut bo'yicha boshqarishni amalga oshiradi va joylarda kerakli miqdorda opoznaklar bilan to'zni yaratadi.

Yirik masshtabli plan olishlarda, fazali usullardan foydalanib, differensial usullarni qo'llash hisobiga, detsimetrli aniqlik darajasiga erishish uchun, noaniqliklarni yechish maxsus tez ta'sir qiluvchi usullari ishlab chiqilgan.

Yo'ldoshli texnologiyalarni hozirgi vaqtda ishlab chiqilganlari, joylarda turli plan olishlarni olib borishda, keng qo'llanilmoqda. Bizga yaxshi ma'lum, topografik plan olishlar bilan bir qatorda, boshqa qo'llanilish sohalarini ham belgilash kerak bo'ladi:

- Yer tuzish ishlari bilan bog'liq, turli xil ko'rinishdagi, plan olishlar;
- temiryo'l va shosselar uchun, trassalarni o'tkazish bilan bog'liq, plan olishlar;
- geologik-geofizik ishlarni geodezik ta'minlash;
- o'rmon xo'jaligini olib borish bilan bog'liq, plan olishlar.

Zamonaviy yo'ldoshli texnologiyalardan foydalanishning samarali sohalaridan, hozirgi kunda davlatimiz siyosatida turgan, Yer usti

boyliklaridan oqilona foydalanish, shu bilan birga, soliq to'lovini o'z vaqtida amalga oshirish muammosi turibdi. Aynan, ushbu soha kadastr xizmatiga tegishlidir. Respublikamizda ushbu sohaga juda katta e'tibor qaratilgan. Bizga ma'lumki, 21 turdagi kadastr mavjud bo'lib, bularning barchasi davlat mulkini u yoki bu shaklda ifodalaydi. Respublikamizda hozirgi kunda geoaxborot tizimlarini rivojlantirish bo'yicha ko'p ishlar olib borilmoqda. Davlat Yarlari, hozirgi kunda qaytadan hisobga olinmoqda. Bu jarayonlarda, bevosita yo'ldoshli tizimlardan foydalanilmoqda.

10-BOB. KOSMIK GEODEZIYANING DINAMIK USULLARI

10.1. Dinamik usullar uchun fundamental tenglamalar

Ozod uchishda YeSYiga, markaziy tortilish kuchidan tashqari, boshqa kuchlar ham ta'sir ko'rsatadi [7, 8]:

- Yerning nosferikli va uning ichidagi massani noto'g'ri taqsimlanganligi natijasida kelib chiqadigan, nomarkaziy tortilish maydoni;
- Quyosh, Oy, sayyoralar va boshqa osmon jismlari gravitatsion maydonlarining ta'siri;
- atmosferaning qarshiligi;
- to'g'ri va qaytgan quyosh radiatsiyasining bosimi;
- oy-quyoshli suv ko'tarilishlari;
- relyativistik ta'sirlar va boshqalar.

Bortida zaxira yoqilg'ilari bo'lgan, yo'ldoshlarda, tezlanish yoqilg'i konteynerlaridan qochqinchi gazlar natijasida kelib chiqishi mumkin.

Bu kuchlarning barchasi *ta'sir ko'rsatuvchi kuchlar* $F_{t,k}$, kuchlar maydonidagi yo'ldoshning harakati – *ta'sirlar bo'lgandagi harakat*, yo'ldosh harakatiga, ushbu kuchlar tomonidan kelib chiqadigan tezlanishlar $\ddot{r}_{t,k}$ esa – *ta'sirlar bo'lgandagi tezlanishlar* deb ataladi. Dinamikaning ikkinchi qonuni bilan mos ravishda,

$$\ddot{r}_{t,k} = F_{t,k} / m, \quad (10.1)$$

bu yerda m – yo'ldoshning massasi; $F_{t,k}$ va $\ddot{r}_{t,k}$ – turli ta'sirlar bo'lgandagi mos keluvchi, vektorlar yig'indisi hisoblanadi. Ta'sirlar bo'lgandagi harakat, differensial tenglamalaridan olinishi mumkin, agar, unda ta'sirlar bo'lgandagi tezlanishlarni hisobga olsak,

$$\ddot{r}_{t,k} = (\ddot{x}_{t,k}, \ddot{y}_{t,k}, \ddot{z}_{t,k})^T : \quad \ddot{r} = -\frac{\mu r}{r^3} + \ddot{r}_{t,k}, \quad (10.2)$$

yoki

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{\mu x}{r^3} + \ddot{x}_{t,k} \\ \ddot{y} &= \frac{\mu y}{r^3} + \ddot{y}_{t,k} \\ \ddot{z} &= \frac{\mu z}{r^3} + \ddot{z}_{t,k} \end{aligned} \right\}. \quad (10.3)$$

(10.2) yoki (10.3) tenglamalarning kvadratlaridagi yechimlari, haqiqiy shartlar uchun, faqatgina ayrim xususiy holatlar uchun mumkin. Bunda yetarlicha aniqlik bilan, yechimga erishish imkonini beruvchi, turli harakat modellari qo'llaniladi. Integrallash imkonini beruvchi, haqiqiy kuchlarni model kuchlariga almashtirish, oraliq orbitalar tushunchasiga olib keladi. Oraliq orbitaning xususiy ko'rinishi Kepler orbitasi hisoblanadi. Quyida YeSYlarining ta'sirlar bo'lgandagi harakatini ko'rib chiqamiz.

10.1.1. YeSYlarining ta'sirlar bo'lgandagi harakati

Ta'sirlar bo'lgandagi harakatlarni o'rganishda, *Lagranj prinsipi* qo'llaniladi, unga asosan yo'ldoshning ta'sirlar bo'lgandagi harakati, orbita bo'yicha sodir bo'ladi, uning elementlari vaqt bilan o'zgaradi. Bu vaqtning har qaysi momentida ta'sir bo'lgandagi orbita, u bilan yo'ldoshning umumiy radius-vektoriga r va vektor tezligiga v ega bo'lgan, qaysidir orbita bilan mos keladi. Bunday orbitalarni *tebranuvchi (tegib turuvchi) orbitalar*, orbita elementlari esa – *tebranuvchi elementlar* deb ataladi.

Ta'sir bo'lgandagi tezlanishlar vektori, U potensialga ega va unga ega bo'lmagan kuchlardan, tezlanishlar vektori yig'indisi ko'rinishida ifodalanishi mumkin:

$$\ddot{r} = \ddot{r}'_{t.k.} + \frac{\partial U}{\partial r}. \quad (10.4)$$

U funksiya ta'sirlar bo'lgandagi potensial yoki perturbatsion (ta'sir qiluvchi) funksiya deyiladi. $\ddot{r}'_{t.k.}$ vektor potensial bo'lmagan (yoki yuza) kuchlardan ta'sir bo'lgandagi, tezlanish vektori hisoblanadi. Unda (10.2) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$\ddot{r} = \frac{\mu r}{r^3} + \frac{\partial U}{\partial r} + \ddot{r}'_{t.k.}. \quad (10.5)$$

10.1.2. Yer tortish kuchi bir xil bo'lmaganligi sababli YeSYining harakati

Oldingi bo'limda ko'rsatilganidek, radionavigatsion tizimdagi yo'ldoshlarga, tabiatning gravitatsion va gravitatsion bo'lmagan ta'sirlarining bir qancha turlari ta'sir ko'rsatadi. Yo'ldoshlar, taxminan,

20000 km balandlikda aylanganligi sababli, quyosh radiatsiyasi ta'siridagi aks ettirish va havoning qarshiligini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Boshqa tomondan, o'zining xususiy qiyinchiliklari paydo bo'ladi. Masalan, noto'g'ri shakl, shu sababli, yo'ldoshlarning ko'ndalang kesimidagi farqlar, to'g'ri quyosh radiatsiyasi bosimini modellash-tirishni qiyinlashtiradi. Yo'ldoshlarni tayyorlashdagi, turli xil material-larni ishlatilishi, issiqlikni yutishda, har xil tavsiflarga ega bo'lib, ta'sirlar bo'lgandagi tezlanishlarni hisobga olishda qo'shimcha murakkabliklarga olib keladi.

Ta'sirlar bo'lgandagi ta'sirlarni, namoyish qilish uchun, misol keltiramiz, yo'ldoshga doimiy tezlanish $d\ddot{r}_{t.k.} = 10^{-9} ms^{-2}$ ta'sir qiladi deb, faraz qilamiz. U bilan bog'liq, yo'ldoshning tutgan o'rnini siljishi dr vaqt bo'yicha t ikkilamchi integrallashdan $dr = (t^2 / 2)d\ddot{r}_{t.k.}$ quyidagidek topiladi. Qiymatni $t=12$ soatga qo'yib, *SRNS* yo'ldoshlarining bir aylanishdan keyingi siljishini topamiz, u $dr=1$ m ga teng. Buni siljishning oddiy qiymatidek, qarash mumkin [106].

Yerning ta'sirlar bo'lgandagi gravitatsion potentsiali. Tashqi nuqtaga Yerning U gravitatsion potentsialini quyidagicha tasavvur qilish mumkin:

$$U = \frac{\mu}{r} + R_{\oplus}, \quad (10.6)$$

bu yerda: $\mu = GM_{\oplus}$ – geotsentrik gravitatsion doimiylik; r – tashqi nuqta uchun geotsentrik masofa; $R_{\oplus}$ – geopotensialning ta'sirlar bo'lganidagi tomoni. (10.6) o'ng tomondagi birinchi a'zo, ta'sirlar bo'lganidagini (sharning yoki nuqtaning potentsiali) aniqlaydi, ikkinchi a'zo, yo'ldosh harakatiga ta'sirlar bo'lganidagini aniqlaydi.

Ta'sirlar bo'lgandagi potentsial odatda, sferik funksiyalar bo'yicha qatorlarga bo'lish ko'rinishida beriladi:

$$R_{\oplus} = \frac{\mu}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a_E}{r} \right)^n [C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin \lambda] P_{nm}(\sin \phi) \quad (10.7)$$

bu yerda: a_E – Yerning katta yarim o'qi; r – yo'ldoshning geot-sentrik masofasi; ϕ, λ – uning kengligi va uzoqligi. C_{nm}, S_{nm} kattaliklar – Yerning tashqi gravitatsion maydonini tavsiflovchi, o'lchamsiz koeffitsiyentlar. Nihoyat, $P_{nm}(\sin \phi)$ – Lejandr funksiyasi (sferik funksiyalar), ular ikkita turga bo'linadi: $m=0$ bo'lganida – Lejandrning

polinomlari, $0 < m \leq n$ bo'lganida esa – Lejandrning birlashgan funksiyasi. Butun sonlar n va m daraja va bo'lish tartibi hisoblanadi.

Lejandrning polinomlari Rodriga formulalari asosida aniqlanadi.

$$P_{n0}(\sin \phi) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n (\sin^2(\phi) - 1)^n}{d(\sin \phi)^n} \quad (10.8)$$

ular uchun rekkurent nisbatlar haqqoniydir

$$P_{n+1,0}(\sin \phi) = \frac{2n+1}{n+1} \sin \phi P_{n0}(\sin \phi) - \frac{n}{n+1} P_{n-1,0}(\sin \phi). \quad (10.9)$$

Dastlabki ikkita polinomlar uchun ifodani keltiramiz:

$$P_{10} = \sin \phi \quad P_{20} = \frac{1}{2} (3 \sin^2 \phi - 1) \quad (10.10)$$

Lejandrning birlashgan funksiyasi uchun ifoda quyidagicha ko'rinish oladi:

$$P_{nm}(\sin \phi) = (1 - \sin^2 \phi)^{m/2} \frac{d^m P_{n0}(\sin \phi)}{d(\sin \phi)^m} \quad (10.11)$$

Sferik funksiyalar zonal, sektorial va tesseral (mozaykali)larga sferadagi chiziqlarga bog'liq bo'linadi, ularning turli garmonik belgilar bilan sohalari chegaralangan (10.1-rasm).

Garmonik bo'linishlar koeffitsiyentlari C_{nm}, S_{nm} geopotensialning turli modellari bo'yicha ma'lum. Yo'ldoshlarning harakatiga eng ko'p ta'sir ko'rsatadigan, Yerning ekvatorial siqilishi bilan bog'liq, $C_{20} = -0.00010827$ ikkinchi zonal garmonika koeffitsiyentidir. Siqilishdan ta'sirlar bo'lganidagi tezlanish maksimal qiymati $\ddot{r}_{C_{20}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{c}^{-2}$ teng. Qolgan geopotensialning garmonik koeffitsiyentlari ming marta kichik bo'lib, ular tomonidan ta'sirlar ham mos ravishda kichikdir.

Yerning siqilishidan ta'sirlar bo'lganidagi funksiya quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$U_{20} = \mu C_{20} \frac{a_E^2}{2r^4} (3 \sin^2 \phi - 1) \quad (10.12)$$

Ta'sirlar bo'lganidagi tezlanish quyidagicha taqdim etiladi:

$$\begin{aligned} S &= -\frac{3C_{20}\mu a_E^2}{2r^4} (3 \sin^2 u \sin^2 i - 1) \\ T &= -\frac{3C_{20}\mu a_E^2}{2r^4} \sin u \cos u \sin^2 i \\ W &= -\frac{3C_{20}\mu a_E^2}{2r^4} \sin 2u \sin^2 i \end{aligned} \quad (10.13)$$

(10.1) tenglamaga S, T, W larni qo‘ygandan keyin va $\Gamma = 1$ shartlarida 1- yaqinlashtirish integrallarida, ko‘rilayotganidan tashqari, barcha elementlar doimiydir, vaqt yoki argument kengligi u bilan bog‘liq, uchta elementda ta’sirlarni topamiz:

$$\delta\Omega = \frac{3}{2} C_{20} \cos i \left(\frac{a_E}{p} \right)^2 \left\{ u - \frac{1}{2} \sin 2u + e[\dots] \right\} \quad (10.14)$$

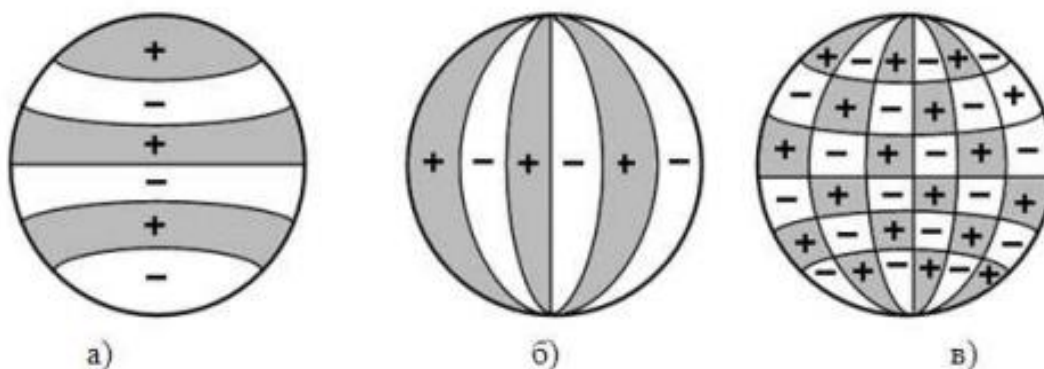
$$\delta p = \frac{3C_{20}a_E \sin^2 i}{2p} \left\{ \cos 2u + e \left[\cos(u+w) + \frac{1}{3} \cos(3u-w) \right] + \dots \right\} \quad (10.15)$$

$$\delta i = \frac{3C_{20} \sin 2i}{8} \left(\frac{a_E}{p} \right)^2 \left\{ \cos 2u + e \left[\cos(u+w) + \frac{1}{3} \cos(3u-w) \right] + \dots \right\} \quad (10.16)$$

$$\delta e = \frac{3C_{20}}{2} \left(\frac{a_E}{p} \right)^2 \left\{ -\left(1 + \frac{e^2}{4}\right) \left(\frac{3}{2} \sin^2 i - 1 \right) \cos(u+w) + \dots \right\} \quad (10.17)$$

$$\delta\omega = \frac{3C_{20}}{2} \left(\frac{a_E}{p} \right)^2 \left[\left(2 - \frac{5}{2} \sin^2 i \right) u + \dots \right] \quad (10.18)$$

$$\delta M_0 = \frac{3C_{20}}{4} \left(\frac{a_E}{p} \right)^2 \frac{(3 \cos^2 i - 1)u}{(1-e^2)^{3/2}} + \dots \quad (10.19)$$



10.1-rasm. Musbat va manfiy sohalarning qiymatlari:
a) zonal; b) sektorial; d) tesseral potensialning garmoniklari.

(10.14)–(10.19) formulalar argument kengligi bilan bog‘liq ta’sirlarga ega. Bunday ta’sirlarni asriy deb ataydilar, ko‘rsatilgan uchta element esa (uzoqlik, perigey argumenti va o‘rtacha anomaliya) ta’sirlar nazariyasida *burchak elementlari* deb nomlanadi. Yerning siqirligi natijasidagi ta’sirlar, Yerning aylanish o‘qi atrofida (orbitalar pretsessiyasi) tekislikni aylanishiga va orbita tekisligida orbital ellipsning

aylanishiga olib keladi. *Pozision elementlarda*, ularga qiyalik, eksentrisitet va fokal parametrlar kiradi, siqilishdan faqat, qisqa muddatli ta'sirlarga ega bo'ladi [47].

GPS ning dastlabki ishlash yillarida Yerning modeliga 8-tartibgacha to'plamlar va *GPS* yo'ldoshlari uchun yoylarda, bir necha aylanishlar darajasi yetarli deb hisoblangan. WGS –84(G873) yil hisob tizimini taftishi bilan bog'liq, aniq orbitalarni aniqlashda, 70-tartibgacha koeffitsiyentlar to'plami va darajasi bilan Yerning gravitatsion modeli (EGM96) foydalanish uchun tavsiya etilgan [142].

Oy va Quyoshning tortilishi. Oy va Quyoshdan ta'sirlarni hisobga olishda, yo'ldosh boshqa osmon jismlariga gravitatsion ta'sir ko'rsatmaydi, deb hisoblaydilar, ya'ni nol massaga ega. Uchta material nuqtani, ikkita tizim alohida qarab chiqadi: yo'ldosh – Yer – Oy va yo'ldosh –Yer – Quyosh. Har qaysi tizimda, yo'ldoshning harakati *uchta jism cheklangan masalasini* yechishdan aniqlanadi. Ta'sirlar bo'lganidagi funksiyalar R_i bunday masalada, nol massani (yo'ldoshning) ta'sirlarini aniqlaydi va quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$R_i = \mu_i \left(\frac{1}{\Delta_i} - \frac{r}{r_i^2} \cos \Psi_i \right) \quad (10.20)$$

bu yerda: i indeks 1 – Oy uchun va 2 – Quyosh uchun qiymatlarni qabul qiladi. μ_i kattalik to'g'ri keluvchi osmon jismining gravitatsion parametrlari hisoblanadi; r – yo'ldoshgacha geotsentrik masofa; r_i – Quyosh yoki Oygacha geotsentrik masofa; Δ_i – yo'ldosh va osmon jismi orasidagi masofa. Ψ_i qiymat yo'ldosh va osmon jismiga geotsentrik yo'nalishlar orasidagi burchak hisoblanadi. Bu omillarning harakat tavsiflari geopotensialning harakatiga o'xshashdir. Ular burchak elementlarida asriy ta'sirlarni keltirib chiqaradi va barcha elementlar uzoq muddatli, katta yarim o'qdan tashqari, barcha elementlar qisqa muddatli ta'sirlarga ega bo'ladilar. *SRNS* uchun ta'sirlar bo'lganidagi tezlanish kattaliklari Quyosh uchun $2 \cdot 10^{-6} \text{ ms}^{-2}$, Oy uchun $5 \cdot 10^{-6} \text{ ms}^{-2}$ ga teng [100].

Quyosh radiatsiyasining bosimi. To'g'ri quyosh radiatsiyasi ta'siri ostida yo'ldosh tomonidan sinaladigan, tezlanish quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\Phi = \chi \frac{\bar{S}}{m} \frac{S_s(1+k)}{c} \cos \alpha \left(\frac{r_s}{\Delta} \right)^2, \quad (10.21)$$

bu yerda $\bar{S}$ – Quyoshga yo‘nalgan yo‘ldoshning ko‘ndalang kesimi; m – yo‘ldoshning massasi; S_s – quyosh doimiyliги o‘rtacha qiymati; c – yorug‘likning tezligi; k – yo‘ldosh yuzasining aks ettirish koeffitsiyenti; α – uning yuzasiga quyosh nurining tushish burchagi. χ kattalik *soyali funksiya* deb ataladi: $\chi=1$ – agar yo‘ldosh yoritilgan bo‘lsa, $\chi=0$ – yo‘ldosh soyada bo‘lsa, $0 < \chi < 1$ – yo‘ldosh yarim soyada joylashgan bo‘lsa. Bu ta’sirlarni modellashtirish juda ham qiyin, chunki quyosh radiatsiyasi yil mobaynida aytib bo‘lmas darajada o‘zgaradi, aks ettirish koeffitsiyenti yo‘ldosh yuzasining turli uchastkalarida bir xil emas. Garchi orbitadagi yo‘ldoshning massasi, odatda yaxshi ma’lum bo‘lsada, yo‘ldoshning noto‘g‘ri shakli massani yuzaga nisbatini aniq aniqlash imkonini bermaydi. Boshqa muammo – bu Yerning yarim soyasida modellashtirish va yoritilganlikdan soyaga o‘tish zonasida soyali funksiyanı tayinlanishidir.

10.1.3. Nyuton va Lagranj tenglamalari

Tebranuvchi elementlarda (Nyuton – Lagranj tenglamasi) ta’sirlar bo‘lgandagi tenglamalar shakllaridan biri, mustaqil o‘zgaruvchili u tizimlar ko‘rinishida taqdim etiladi [22]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Omega}{du} &= \frac{r^3 \Gamma}{\mu p} \sin u \operatorname{cosec} i W; \\ \frac{di}{du} &= \frac{r^3 \Gamma}{\mu p} \cos u W; \\ \frac{dp}{du} &= \frac{2r^3 \Gamma}{\mu} T; \\ \frac{d\omega}{du} &= \frac{r^2 \Gamma}{\mu e} \left[\cos v S + \left(1 + \frac{r}{p}\right) e \sin v T - \frac{er}{p} \operatorname{ctg} i \sin u W \right]; \\ \frac{de}{du} &= \frac{r^2 \Gamma}{\mu e} \left[\sin v S + \cos v \left(1 + \frac{e}{p}\right) T + \frac{er}{p} W \right]; \\ \frac{dt_\pi}{du} &= \frac{r^4 \Gamma}{y \sqrt{\mu^3 a}} \left[(e \sin v N - \cos v) S + \frac{p}{r} N T \right], \end{aligned} \right\} \quad (10.22)$$

bu yerda

$$\Gamma = \left(1 - \frac{r^3}{\mu p} \operatorname{ctg} i \sin u W \right)^{-1}; \quad (10.23)$$

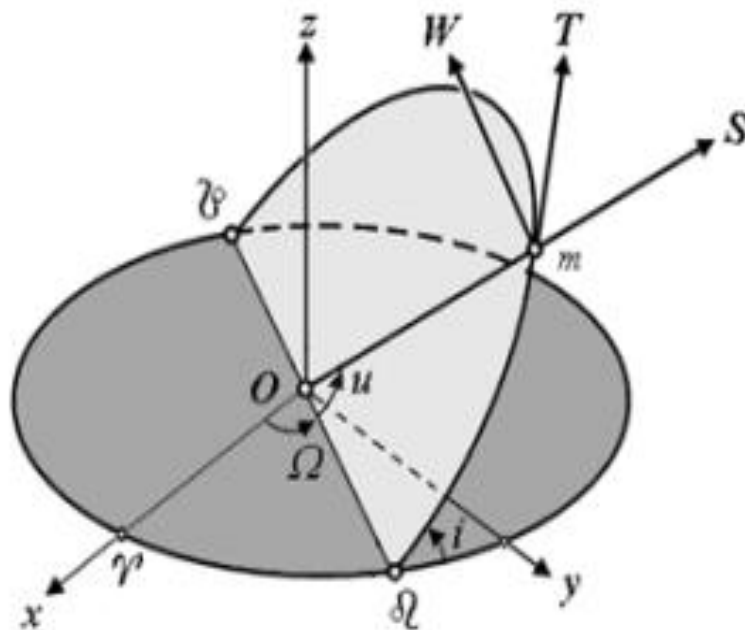
$$N = \frac{2p^2}{r^2} \int_0^v \frac{\cos v dv}{(1 + e \cos v)^3}. \quad (10.24)$$

(10.22) tizimda S, T, W lar orqali koordinata tizimlari yo'ldosh bilan birgalikda aylanuvchi o'qda, ta'sirlar bo'lgandagi tezlanishlar vektorining proyeksiyasi belgilangan (10.2-rasm), unda S o'qi radius-vektor bo'yicha, T o'q – transversal bo'yicha va W o'q – orbita tekisligiga normal bo'yicha (orbitaga binormal bo'yicha) yo'nalgan. S, T, W lar tezlanishlarini ta'sirlar bo'lgandagi vektorning tezlanishlarini, aylanish matritsalarini yordamida $\ddot{r}_{t.k.} = (\ddot{x}_{t.k.}, \ddot{y}_{t.k.}, \ddot{z}_{t.k.})^T$, o'zgartirish yo'li bilan:

$$\begin{bmatrix} S \\ T \\ W \end{bmatrix} = R_3(u)R_1(i)R_3(\Omega) \begin{bmatrix} \ddot{x}_{t.k.} \\ \ddot{y}_{t.k.} \\ \ddot{z}_{t.k.} \end{bmatrix}, \quad (10.25)$$

yoki U perturbatsion funksiya orqali olish mumkin:

$$S = \frac{\partial U}{\partial r}, \quad T = \frac{\partial U}{\partial r du}, \quad W = \frac{\partial U}{\partial r \sin u \partial i}. \quad (10.26)$$



10.2-rasm. S, T, W o'qlar tizimi.

Agar, orbita elementlari qaysidir boshlang'ich momentda ma'lum bo'lsa, ularni boshlang'ich shartlar deb ataydilar va ta'sir ko'rsatuvchi modellar bo'lsa, unda ta'sirlar bo'lgandagi tezlanishlar aniqlangandan keyin va uni (10.22) tenglamaga qo'yilsa, oxirgisini analitik yoki sonli usullar bilan yechish mumkin. Analitik usulda yechim, orbita elementlari ko'rinishida yoki koordinata va vaqtning har qanday momentida, KA tezligi harakat parametrlarini topish imkonini beruvchi, formulalar ko'rinishida olinadi. Harakat parametrlari qiymatlari, sonli usullardagi yechimi, jadvallar ko'rinishida topiladi [48].

11-BOB. YER SUN'IIY YO'LDOSHI HARAKATLANISH NAZARIYASINING ASOSI

Yo'ldoshlarning orbital harakatlari Yer gravitatsion maydonida sodir bo'ladi, bunda yo'ldoshga, Yerning tortish kuchidan tashqari, boshqa kuchlar ham ta'sir ko'rsatadi. Bularga Quyosh va Oy va quyosh radiatsiyasining bosimlari kiradi. Baland orbitalar uchun, atmosferadagi to'xtalishlarni e'tiborga olmasa ham, bo'ladigan darajada kichik hisoblanadi. Yo'ldoshning harakati matematik tenglamasi, ikkinchi tartibdagi differensial tenglamalar bilan ifodalanadi, ular vaqt bo'yicha integrallashtirishdan yechiladi. Integrallashtirishda, boshlang'ich harakat shartlari tutgan o'rnini vektorlar ko'rinishida va tezlik boshlang'ich davrda beriladi. Qaysidir vaqtga oldindan hisoblangan, yo'ldoshlarning tutgan o'rnini, kuzatishlardan olingan tutgan o'rnini bilan, taqqoslash mumkin, ular orasidagi farqlarni, kuzatish stansiyalari koordinatalarini va harakat boshlang'ich shartlarini aniqlashtirish, yo'ldoshga ta'sir qiluvchi modellarni yaxshilash uchun qo'llash mumkin.

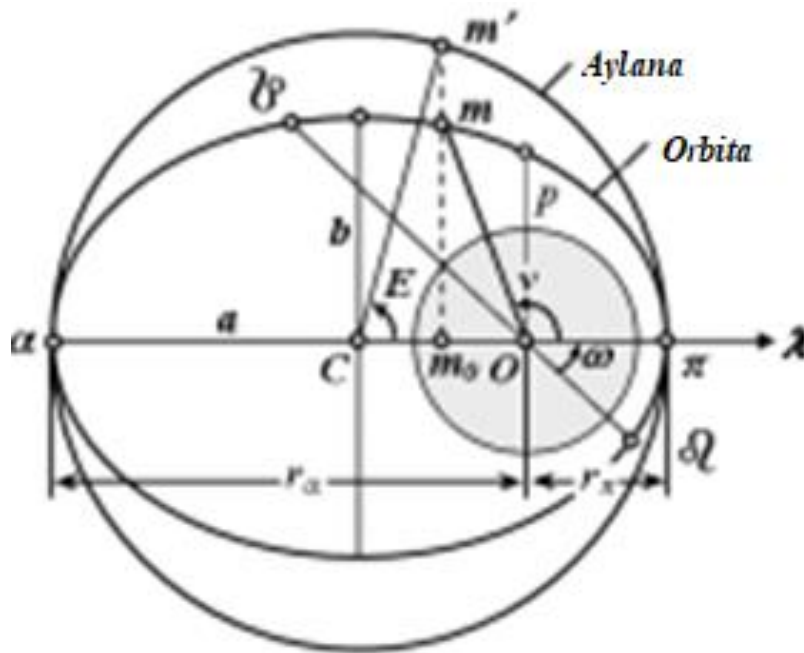
11.1. Yer sun'iy yo'ldoshi orbitalarining elementlari

Doimiy integrallashtirishdan harakat tenglamasi C, λ, h , odatda boshqa doimiy parametrlarga o'tadi, u bo'yicha koordinatalarni va inersial hisob tizimidagi har qanday vaqt momentlarida, yo'ldosh tezligini hisoblash mumkin. Ularni orbita elementlari deb ataydilar. O'zining vazifasiga ko'ra, orbita elementlari, odatda uchta guruhga bo'linadi. Birinchi guruhga orbita shakli va o'lchamlarini tavsiflovchi elementlar kiradi. Bu a katta yarim o'q (11.1-rasm) va orbita e ekscentrisiteti:

$$a = \frac{\mu}{h^2}; \quad e = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (11.1)$$

Ushbu guruhga quyidagi elementlar ham kiradi: fokal parametr p , kichik yarim o'q b , perigeydagi r_π va apogeydagi r_α yo'ldosh orbitasining radiuslari (11.1-rasmga qarang):

$$p = C^2 / \mu = a(1 - e^2); \quad b = a\sqrt{1 - e^2}; \quad r_\pi = p/(1 + e); \quad r_\alpha = p/(1 - e), \quad (11.2)$$



11.1-rasm. Orbitalar tekisligidagi orbita.

hamda aylanish davri va oʻrtacha harakati:

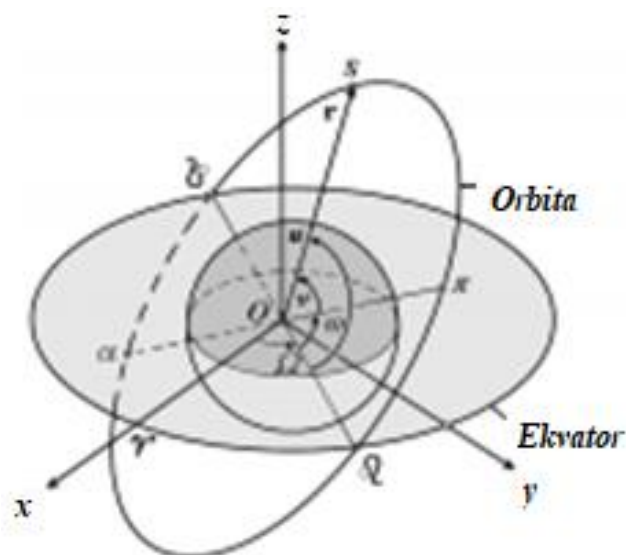
$$P = \frac{2\pi}{n} = 2\pi\sqrt{a^3/\mu}; \quad (11.3)$$

$$n = \sqrt{\mu/a^3}. \quad (11.4)$$

Markaziy jism atrofida yoʻldoshning P aylanish davri, orbitaning erkin davri orqali, ikkita ketma-ket oʻtishlar momentlari orasidagi vaqt oraligʻi deb ataladi. Oʻrtacha harakat n , yoʻldosh harakati oʻrtacha burchak tezligi kabi talqin ham qilinadi.

Ikkinchi guruhdagi elementlar fazodagi orbita oriyentirini beradi. Ular Laplas va yuza vektor integrali bilan bogʻlangan. Bu elementlarga quyidagilar kiradi: qiyalik i , uzoqlik Ω va perigey argumenti ω (11.2-rasm). Qiyalik deb, ekvator tekisligi va orbita tekisligi orasidagi burchakka aytiladi. Uni quyidagi formula boʻyicha hisoblash mumkin:

$$i = \arccos \frac{C_z}{C}. \quad (11.5)$$



11.2-rasm. Fazodagi orbita.

Ehtimol, $0 \leq i \leq \pi$. Orbita qiyaligi 0° yoki 180° ga teng bo'lganda, ekvatorial, 90° qiyalikda – qutbiy deyiladi. Orbitalar $0^\circ < i < 90^\circ$ teng bo'lganda, yo'ldosh harakati to'g'ri orbitali, $90^\circ < i < 180^\circ$ bo'lganda esa, yo'ldosh harakati teskari orbitali (Yerning aylanish yo'nalishiga nisbatan) deyiladi.

Orbita uzoqligi deb, ekvator tekisligidan hisoblanadigan, Υ bahorgi tengkunlik nuqtasi yo'nalishi (osmon koordinata tizimi nol-punkti) dan ς ko'tarilish tuguni orbitasi yo'nalishigacha bo'lgan, Ω burchakka aytiladi. Uzoqlik quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Omega = \arctg \frac{C_y}{-C_x}. \quad (11.6)$$

Perigey argumenti deb, yo'ldosh harakati yo'nalishi bo'yicha hisoblanadigan, perigey va ko'tarilish tuguni yo'nalishlari orasidagi ω burchakka aytiladi:

$$\omega = \arctg \frac{\lambda_2 C}{C_x \lambda_y - C_y \lambda_x}. \quad (11.7)$$

Uzoqlik va perigey argumenti uchun haqqoniy:

$$0 \leq \Omega \leq 2\pi, \quad 0 \leq \omega \leq 2\pi.$$

Uchinchi guruh elementlari yo'ldoshning orbitadagi o'rnini beradi. U perigeyning t_π o'tish momenti yordamida yoki t davri ko'rsatilgan har qanday anomaliya (odatda, haqiqiy yoki o'rtacha)dan o'rnatiladi. ν *haqiqiy anomaliya* (11.1 yoki 11.2-rasmlarga qarang) deb, yo'ldosh

harakati tomoniga hisoblanadigan, yo‘ldosh va perigey orasidagi burchakka aytiladi:

$$\operatorname{tg} v = \frac{C r \dot{r}}{x \lambda_x + y \lambda_y + z \lambda_z}. \quad (11.8)$$

M o‘rtacha anomaliya perigey yo‘nalishidan, orbitada tekis harakatlanayotgan, yo‘ldoshning qaysidir soxta o‘rni yo‘nalishigacha bo‘lgan burchakni ifodalaydi:

$$M = n(t - t_\pi). \quad (11.9)$$

O‘rtacha anomaliya uchun tenglamani ayrim hollarda, dinamik integral deb ham ataydi, unda oltinchi mustaqil doimiy integrallash – perigeyning t_π o‘tish momentini ifodalaydi.

Haqiqiy va o‘rtacha anomaliyani bog‘lash uchun *E* *ekssentrik anomaliya* kiritiladi. Uni ko‘rsatish uchun, orbital ellips atrofida *C* – ellips geometrik markazida, radiusi *a* katta yarim o‘qqa teng bo‘lgan, nuqta markazi bilan doira chiziladi (11.1-rasmga qarang). Yo‘ldosh o‘rni orqali – *m* nuqtaga – *m'* nuqta doirasi bilan kesishguncha katta yarim o‘qqa mm_0 perpendikulyar o‘tkaziladi. *C* va *m'* nuqtalar birlashtiriladi. Perigey yo‘nalishidan nuqta yo‘nalishigacha ellips markazida hisoblanadigan, *E* burchak, *ekssentrik anomaliya* deb ataladi. Haqiqiy va ekssentrik anomaliya quyidagi nisbat bilan bog‘lanadi:

$$\operatorname{tg} \frac{E}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg} \frac{v}{2}, \quad (11.10)$$

o‘rtacha va ekssentrik anomaliyalar esa, Kepler tenglamasi bilan bog‘langan:

$$M = E - e \sin E. \quad (11.11)$$

Ko‘pincha chiquvchi tugun yo‘nalishidan yo‘ldosh yo‘nalishigacha bo‘lgan burchak qo‘llaniladi, bu burchak *u* *kenglik argumenti* deb ataladi va:

$$\operatorname{tg} u = \frac{zC}{yC_x - xC_y}. \quad (11.12)$$

Kenglik argumenti, haqiqiy anomaliya va perigey argumentlari quyidagicha bog‘langan:

$$u = \omega + v. \quad (11.13)$$

Elementlarning boshqa ko‘plab tizimlari mavjud. Bu yerda keltirilgan $a, e, i, \Omega, \omega, t_\pi$ parametrlar, Kepler orbita elementlari deb ataladi.

11.1.1. Yer sun‘iy yo‘ldoshlarining harakatlanishida Kepler nazariyasi

Markaziy jism atrofidagi yo‘ldosh harakatining qonunlari *XVII* asrning boshlarida I.Kepler tomonidan topilgan edi. Dastlab, sayyoralarning Quyosh atrofida aylanishlari uchun chiqarilgan qonunlar boshqa barcha jismlar uchun ham yaroqli bo‘ldi, chunki ularning asosida butun olam tortishish qonuni yotibdi.

Keplerning 1-qonuni. Yo‘ldoshning tortuvchi jism atrofidagi harakati, har doim konus kesimi bo‘yicha (doira, ellips, parabola, giperbola, to‘g‘ri) yuz beradi, uning fokuslaridan birida tortuvchi jism joylashadi. Qonun orbita tenglamasi yordamida ifodalanadi:

$$r = \frac{p}{1 + e \cos v}. \quad (11.14)$$

Ekssentrisitetning qiymatiga bog‘liq holda, orbitalar doira ($e = 0$), ellips ($0 < e < 1$), parabola ($e = 1$), giperbola ($e > 1$) va to‘g‘ri ($e = \infty$) ko‘rinishlarga ajratiladi. Biz keyinchalik faqat, elliptik orbitalarni ko‘rib chiqamiz.

Keplerning 2-qonunini ta’riflash uchun, $\dot{s}$ *sektorial tezlik* tushunchasini kiritish talab etiladi. Bu yuza, vaqt birligi uchun yo‘ldosh radius-vektori bilan ta’riflanadi. U, C skalyar konstanta yuzasi bilan bog‘liq:

$$\dot{s} = \frac{C}{2}. \quad (11.15)$$

Yo‘ldosh radius-vektori bilan $t - t_0$ vaqt oraliqlarida tasvirlangan yuzani, aniq integral ko‘rinishida hosil qilish mumkin:

$$S = \int \frac{C}{2} dt = \frac{C}{2} (t - t_0), \quad (11.16)$$

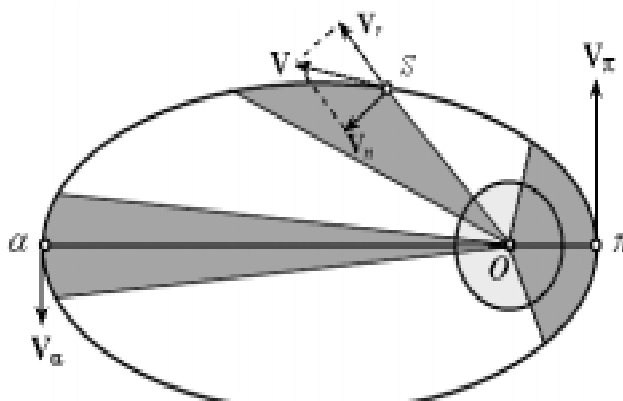
bu *Keplerning 2-qonunini* matematik yozuvi hisoblanadi: teng vaqt oraliqlarida yo‘ldosh radius-vektori teng yuzalarni tasvirlaydi (11.3-rasm). Buning natijasida, orbita bo‘yicha yo‘ldosh harakati chiziqli tezligi, V_α apogeydagi tezlikka qaraganda, V_π perigeyda katta bo‘ladi.

Keplerning 3-qonuni quyidagi tarzda shakllantiriladi: yo‘ldoshning aylanish davrlarining kvadrati, katta yarim o‘q kubiga proporsionaldir. Uni matematik ifodalash (11.17) formuladan topiladi. Agar markaziy jism (Yer)ning ikkita yo‘ldoshi bo‘lsa, mos ravishda, P_1 va P_2 davrlar bilan va a_1 va a_2 katta yarim o‘q bilan, unda kvadratlar uchun, ularning davrlarini yozish mumkin:

$$P_1^2 = \frac{(2\pi)^2 a_1^3}{\mu}; \quad P_2^2 = \frac{(2\pi)^2 a_2^3}{\mu}, \quad (11.17)$$

ushbu ifodalarning nisbatlari Keplerning 3-qonuni formulasini beradi:

$$\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (11.18)$$



11.3-rasm. Keplerning 2-qonunini tasvirlanishi.

11.1.2. Sun‘iy yo‘ldoshlarning orbital harakatini tahlil qilish

Agar orbitaning oltita elementlari $a, e, i, \Omega, \omega, t_\pi$ ma‘lum bo‘lsa, t vaqt momentidagi yo‘ldoshlar koordinatalari quyidagi tartibda hisoblanadi.

1. (11.4) formula bo‘yicha o‘rtacha harakat hisoblanadi.
2. t momentda yo‘ldoshning o‘rtacha anomaliyasi topiladi:

$$M = n(t - t_\pi). \quad (11.19)$$

3. O‘rtacha anomaliyadan eksentrik anomaliyaga o‘tkazish amalga oshiriladi:

$$E = M + e \sin E. \quad (11.20)$$

Buning uchun yaqinlashtirish uslubidan foydalaniladi. No'1 yaqinlashtirishda $E^{(0)} = M$, navbatdagi yaqinlashtirishlarda $E^{(i)} = M + e \sin E^{(i-1)}$. Jarayon $|E^{(i)} - E^{(i-1)}| \geq \varepsilon$ bo'lmagunga qadar, davom ettiriladi, bu yerda ε – Kepler tenglamasini yechish aniqligi.

4. Yo'ldoshning haqiqiy anomaliyasi ekssentrik anomaliya bo'yicha hisoblanadi:

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}. \quad (11.21)$$

5. Yo'ldoshning radius-vektori quyidagi ikkita formulalarning har qaysisidan topilishi mumkin:

$$r = \frac{p}{1 + e \cos v}; \quad r = a(1 - e \cos E). \quad (11.22)$$

6. (11.13) formula bo'yicha kenglik argumenti hisoblanadi.

7. Inersial sanoq tizimida yo'ldoshning o'rni vektor komponentlari topiladi:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_3(-\Omega) R_1(-i) \cdot \begin{bmatrix} r \cos u \\ r \sin u \\ 0 \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i \\ \sin \Omega \cos u + \sin u \cos \Omega \cos i \\ \sin u \sin i \end{bmatrix} \quad (11.23)$$

Orbitaga urinma bo'yicha yo'nalgan, V yo'ldosh tezligi vektori, parallelogramm qoidasiga ko'ra, ikkita tuzuvchiga ajratiladi (11.3-rasmga qarang): V_r radial vektor tezligi, yo'ldosh radius-vektori bo'ylab yo'nalgan va V_n transversal tezlik vektori, radius-vektorga orbita tekisligida perpendikulyar yo'nalgan. Bu tezliklarning modullari quyidagi formulalardan topiladi:

$$V_r = \sqrt{\frac{\mu}{p}} e \sin v; \quad V_n = \sqrt{\frac{\mu}{p}} (1 + e \cos v). \quad (11.24)$$

Unda vektor tezligi quyidagidek aniqlanadi [7, 8, 22]

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = R_3(-\Omega) \cdot R_1(-i) \cdot \begin{bmatrix} V_r \cos u - V_n \sin u \\ V_r \sin u + V_n \cos u \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (11.25)$$

12-BOB. KOSMIK GEODEZIYANING STRUKTURASI

12.1. Kosmik geodeziyaning umumiy strukturasi

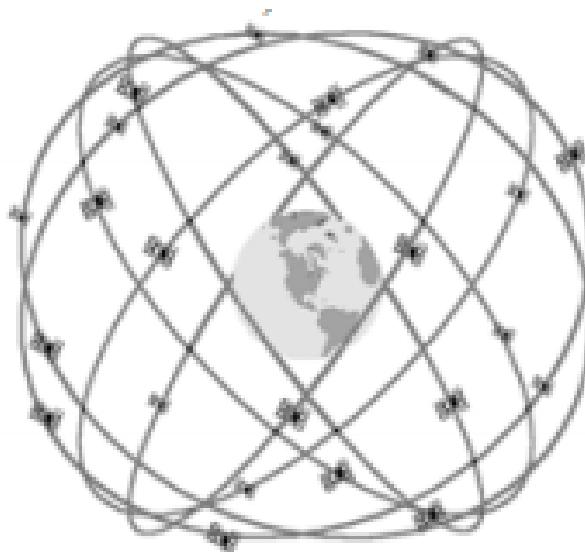
Amerika *GPS* (*NAVSTAR*) va Rossiya *GLONASS* yo‘ldoshli radionavigatsiya tizimlari *TRANSIT* hamda «Sikada» birinchi avlod navigatsiya tizimlari o‘rniga keldi.

Tizimlarni nomlanishi quyidagi tarzda talqin etiladi:

- *GPS* – Global Positioning System- Global pozitsionirlash tizimi;
- *GLONASS* – GLObalnaya NAVigatsiyonnaya Sputnikovaya Sistema- Global navigatsiya yo‘ldoshli tizimi.

GPS – *NAVSTAR* tizimining boshqacha nomlanishi, Navigation Satellite Timing and Ranging qisqartmadan, ya’ni Navigatsiya yo‘ldoshi bo‘yicha vaqtni va masofani aniqlash.

GPSni orbital guruhlash 24 yo‘ldoshdan iborat bo‘lib, doiraviy orbitada, taxminan, 26560 km radius bilan 4 soatlar atrofidagi vaqt oralig‘i va taxminan, doimiy trassa bo‘ylab harakati tushuniladi. Yo‘ldoshlar oltita orbital tekislikda 55° qiyalik bilan, har qaysi orbitada notekis tarqatilgan, to‘rtta ishchi nuqta (uya)larda joylashtirilgan (12.1-rasm).



12.1-rasm. *GPS NAVSTAR* ni orbital guruhlash
2004-yil 22-fevral UTS 17:04

GPS tizimi uchta segmentdan iborat: bular Kosmik segment, Nazorat segmenti va foydalanuvchilar segmenti. Kosmik segment, ular uchiriladigan yoʻldosh va kosmodromlar bilan ifodalanadi, Nazorat segmenti esa yoʻldoshlarni boshqaruv jarayonlari bilan shugʻullanadi. Bu segmentlarning ishlarini AQSH mudofaa vazirligi boshqaradi. Fuqaro isteʼmolchilari tomonidan tizimdan foydalanish uchun, AQSH transport vazirligi javobgar hisoblanadi. Foydalanuvchilar segmenti harbiy va fuqaro foydalanishidagi asbob-uskunalar (yaʼni priyomniklar) ishlab chiqish bilan bogʻliq faoliyatni qamrab oladi. Priyomniklar ishlab chiqish va fuqaro sektori xizmati asosan, bozor strukturasi qaraydi [100]. Rossiya tizimi kosmik apparatlar quyi tizimi (*PKA*), nazorat va boshqaruv quyi tizimi (*PKU*) hamda foydalanuvchilar apparaturalari quyi tizimlaridan (*PAP*) iborat [18]. Ayrim hollarda, adabiyotlarda “quyi tizim” termini “segment” yoki “sektor” terminlari bilan almashtiriladi. *GLONASS* tizimi RF mudofaa vazirligi boshqaruvida turadi. 1999-yilning fevralida RF prezidentining topshirigʻiga koʻra, *GLONASS* tizimiga ikkita yoʻnalishda (harbiy va fuqarolik) faoliyat olib borish maqomi berilgan. Tizimning fuqarolikda qoʻllaniladigan masalalarini, Rossiya aviatsiya-kosmik agentligi olib boradi, rivojlantirish va foydalanish masalalarini koordinatsiyasi bilan RF hukumati qarori bilan tashkil etilgan idoralararo operativ guruh va “Internavigatsiya” Idoralararo komissiyasi shugʻullanadi. Butun tizim boʻyicha va kosmik segment boʻyicha asosiy ishlab chiquvchi, akademik M.F. Reshetnev nomidagi (Krasnoyarsk sh.) amaliy mexanika ilmiy ishlab chiqaruvchi birlashmasi hisoblanadi. *GLONASS* tizimidagi yoʻldoshlarni ishlab chiqaruvchi, “Polyot” (Omsk sh.) ishlab chiqarish birlashmasi hisoblanadi.

Radiotexnik toʻplamlarning asosiy ishlab chiquvchisi *RNIKP* hisoblanadi, vaqtinchalik toʻplam yaratish, tizimning sinxronizatsiyasi va foydalanuvchilar navigatsiya apparaturalari uchun, Rossiya radio-navigatsiya va vaqt instituti (*RIRV*) masʼul etib tayinlangan [10, 45].

12.1.1. GNSS strukturasi

Trimble R8 GNSS tizimi (12.1-rasm) – koʻp kanalli, koʻp chastotali priyomnik. GNSS (Global Yoʻldosh Navigatsiya Tizimi) antenna va radiomodemi bir kompakt tuzilmaga birlashtirilgan. Trimble

R8 GNSS o'zida yuqori texnologiyalarni birlashtirgan bo'lib, qabul qilgan o'lchamlarni dala sharoitida o'zi tekshirib, maksimal aniqlikni ta'minlaydi va ishlab chiqarish tezligini oshiradi.



12.1-rasm. Trimble R8 GNSS va TSC-2 kontrolleri.

TRIMBLE R-TRACK asbobi texnologiyasi GNSS bilan birgalikda ish olib borishni ta'minlaydi. Mukammallashtirilgan RTK yadrosi asosida ishlaydigan Trimble R-Track asbobi, modernizatsiyalashtirilgan GPS yangi signallarini – L2C kelajakda L5 tizimida qabul qiladi.

Asbobda tekshirilgan qurilmali tizim mavjud. Trimble R8 GNSS asbobining qurilma tizimi mukammal ravishda testdan o'tkazilgan va tekshirilgan bo'lib, mukammal Trimble dala dasturi bilan ta'minlangan. Trimble R8 GNSS asbobi bilan dala sharoitida ishlagan vaqtda, biror-bir simsiz muayyan aloqa ta'minlanadi. Baza stansiyasi sifatida ham, u universal bo'lib, birorta kablesiz ishlaydi. Trimble R8 GNSS priyomnigining loyiha talabiga binoan, bazada hamda o'zi bilan olib yurib ishlatsa bo'ladi. 12.1-jadvalda GNSS tizimlarining tavsiflari keltirilgan.

Trimble R8 GNSS tizimining keng aloqa imkoniyatlariga quyidagilar kiradi:

- birga joylashtirilgan 450 MGs radiomodem opsiyasi, baza stansiyasi bilan bo'lgan aloqani ta'minlaydi;
- birga joylatirilgan GSM/GPRS modem opsiyasi, internet aloqasini va Trimble VRS™ olib yurilgan paytlarda bir tarmoqda aloqani ta'minlaydi.

GNSS tizimlari

12.1- jadval

№	Asbob turlari (i/ch davlatlar)	Koordinatalar aniqlashdagi o'rtacha kvadratik xatolik		Kanallar soni	Ish chastotasi
		planlik	balandlik		
1	Trimble R8 GNSS (SSHA)	$\pm(5\text{mm}+0.5\text{mm/km})$	$\pm(5\text{mm}+1\text{mm/km})$	48 L1 C/A	452.600MGs
2	Trimble R7 GNSS (SSHA)	$\pm(5\text{mm}+0.5\text{mm/km})$	$\pm(5\text{mm}+1\text{mm/km})$	72 L1 C/A	452.600MGs
3	Trimble 5700 (SSHA)	$\pm(5\text{mm}+1\text{mm/km})$	$\pm(5\text{mm}+1\text{mm/km})$	24 L1 C/A	452.600MGs
4	Trimble R3 (SSHA)	$\pm(5\text{mm}+0.5\text{ppm})^2$	$\pm(5\text{mm}+1\text{ppm})^2$	24 L1 C/A	

Trimble R8 GNSS asbobi konsepsiyasi Trimble Integrated Surveying™ kompaniyasi tomonidan yaratilgan bo'lib, kuchli dala dasturi mahsulotlari bilan ta'minlangan. U o'z ichida, GPS ma'lumotlari va optik o'lchamlarni jamlagan loyiha faylida saqlab tura olish qobiliyatiga ega. Bu loyiha fayli faqat, Trimble offis dasturlarida ishlab chiqish uchun yuborilishi lozim. Trimble R8, shu jumladan, Trimble® IS Rover tizimi bilan birgalikda ishlashi mumkin. Buning uchun, harakatda bo'ladigan priyomnik veshkasiga prizma o'rnatilib, Trimble R8 priyomnigini robotlashtirilgan elektron taxeometri Trimble® S6 bilan birlashtirilib, plan olish ishlarini olib borish kerak. Bu integral yechim ikkala asboblardan maksimal darajada foydalanishni, plan olishni tez bajarishni va uning sifatini oshiradi.

12.2. GPS NAVSTAR tizimi

12.2.1. GPS kosmik segmenti

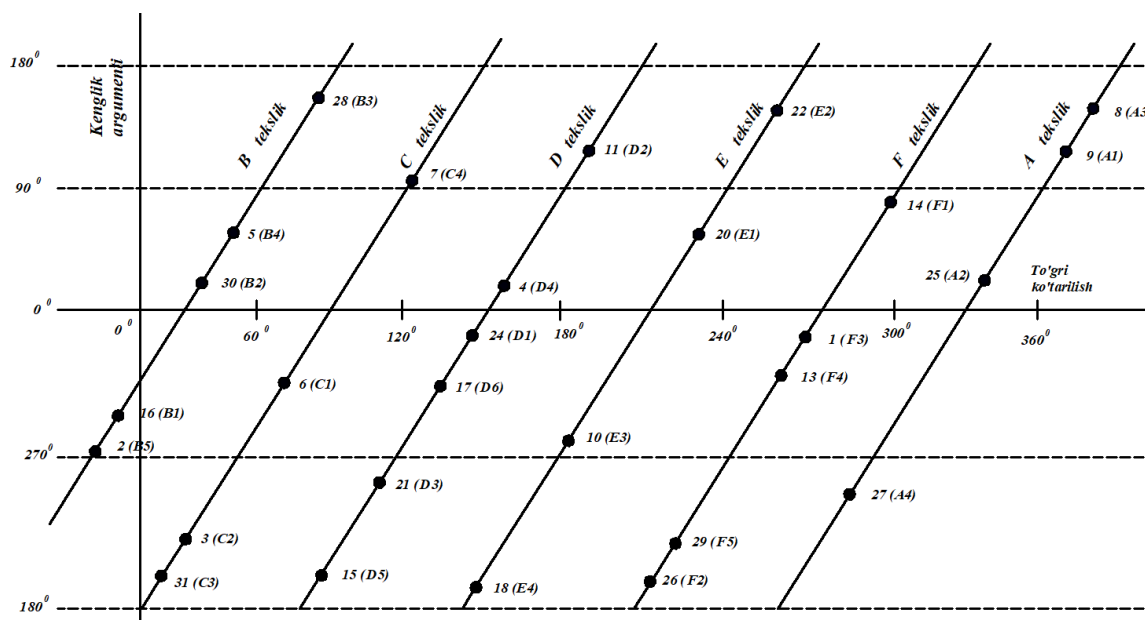
GPS kosmik segmentiga yo'ldoshlar turkumi (orbital guruhlash) va ular uchiriladigan, kosmodromlar kiradi. Yo'ldoshlarning asosiy funksiyalari:

- nazorat segmentidan uzatiladigan ma'lumotlarni qabul qilish va saqlash;

– aniq vaqtni bir nechta bortli atom chastotalar standartlari yordamida qo‘llab turish;

– foydalanuvchiga ma’lumotlarni va signallarni bir yoki ikki chastotali L -diapazonlarda uzatish.

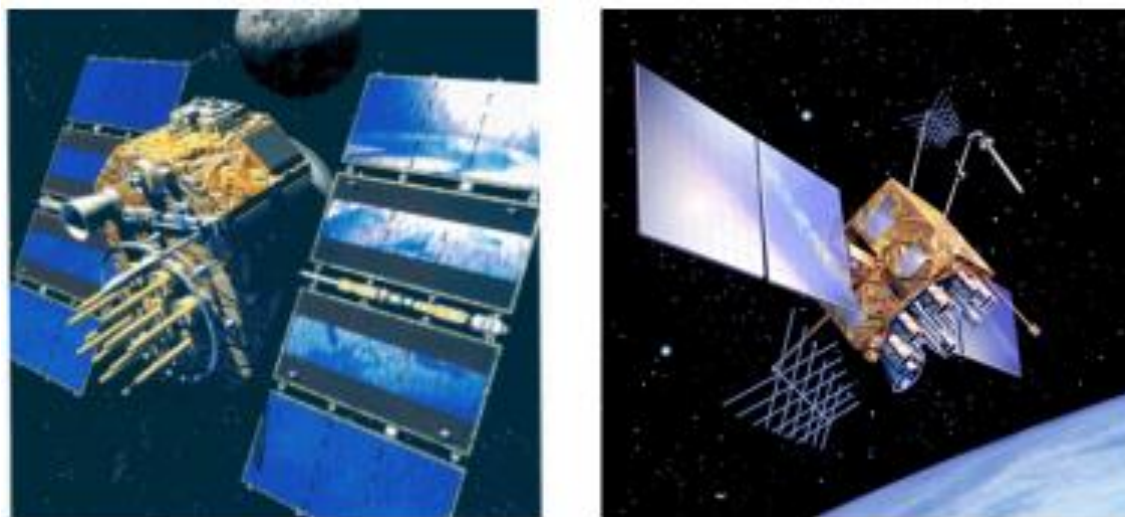
Yo‘ldoshlarni identifikatsiyalash *GPS* tizimiga uchirish (*SVN*) raqami bo‘yicha, *PRN* psevdoshovqin ketma-ketligi raqami bo‘yicha, *NASA* katalogidagi raqam bo‘yicha, xalqaro raqam bo‘yicha hamda turkumdagi o‘rni bo‘yicha olib borilishi mumkin. So‘nggi hollarda, ikki simvolli koddan foydalaniladi: (A dan F gacha) harflar orbital tekislikni, raqamlar esa yo‘ldoshning tekislikdagi raqamini (1 dan 4 gacha to‘liq turkumda) bildiradi. Har qaysi orbital tekislikda zaxira uyalar mavjud, ular uchun $A5, B5$ va boshqa belgilashlar zaxiraga qo‘yilgan (12.3-rasm). Tizimda, 30 tagacha yo‘ldoshlar turkumi, orbitalarda joylashishi mumkin.



12.3-rasm. *GPS* yo‘ldoshlarini orbital tekisliklarda joylashish sxemasi.

I blok deb nomlanuvchi, 10 prototipli eksperimental yo‘ldoshlardan iborat, boshlang‘ich paket 1978 va 1985-yillarda ishga tushirilgan va *GPS* imkoniyatlarini namoyish etishda foydalanilgan. II blok va IIA (A -"advanced" dan, "mukammallashgan" prototiplari ham ishga tushirildi. Bu seriyadagi yo‘ldoshlardan birinchisi 1989-yilning fevralida ishga

tushirilgan (12.4-rasm). Kelgusi olti yil mobaynida tizim *II/IIA* bloklari 24 yo'ldoshigacha yetkazilgan va 1995-yilning aprelida, to'lig'icha ishchi holatida ekanligi e'lon qilingan. *IIR* deb nomlanuvchi (*R* - "*replenishment*" dan "to'ldiruvchi") kelgusi avlod yo'ldoshlari, hech bo'lmaganda, turkumni, 2005-yilgacha qo'llab turishi kafolatlangan.



12.4-rasm. *IIA* blok (chapdan) va *IIR* GPS yo'ldoshlari.
(<http://www.craymer.com>)

GPS yo'ldoshlarining yangi avlodlari *IIF* blok ("*follow on*" dan "davomi") deb nomlangan. Dastlab, ulardan oltitasini 2003-yilda ishga tushirish rejalashtirilgan edi. AQSH mudofaa vazirligi 1996-yilda *Rockwell International* (hozirgi kunda *Boeing* kompaniyasining bo'lagi) oltita *IIF* blok yo'ldoshlariga, shuningdek, 27 va undan ko'p yo'ldoshlarni sotib olish imkoniyatiga egaligi to'g'risida shartnoma imzolagan edi. 2000-yilning boshida AQSH mudofaa vazirligi, o'z qarorini o'zgartirib, faqat *IIF* yo'ldoshlaridan 4 tasini sotib olishini rejalashtirayotganligini e'lon qilgan edi. Buni ular, *GPS* modernizatsiyasidagi talablar bilan bog'lagan edi. AQSH mudofaa vazirligi oldingi majburiyatlaridan voz kechib, *GPS III* deb nomlangan yangi avlod yo'ldoshlarini to'play boshladi.

GPS yo'ldoshlarining har qaysi, yangi bloklari juda yuqori imkoniyatli, uzoq muddatli ishlashga va shuni qayd etish kerakki, juda past narxlar bilan loyihalashtirilgan (12.2-jadval) [137].

GPS yo‘ldoshlari haqida ma’lumotlar

	<i>II / IIA</i> bloki	<i>IIR</i> bloki	<i>IIF</i> bloki
Soni	28	21	12
Birinchi ishga tushirilishi	1989	1997	2005
Og‘irligi (kg)	900	1100	1700
Quyosh batareyasidan quvvati (W)	1100	1700	2900
Ishlash muddati (yil)	7.5*	10*	15*
Donasi uchun narxi	\$43M	\$30M	\$28M

*Loyihaviy ma’lumotlar.

2004-yil 22-fevral holatiga ko‘ra (<http://www.navcen.uscg.gov> saytining ma’lumotlari), *II*, *IIA*, *IIR* bloklaridan 28 ta yo‘ldoshlarni ishchi turkumlarga qo‘shdi. 12.3-rasmda tizimlar almanaxi asosida tuzilgan, orbital tekisliklardagi, yo‘ldoshlarning joylashuv sxemasi ko‘rsatilgan.

GPS yo‘ldoshlari loyihaviy turkumlari 24 yo‘ldoshdan iborat edi. 1995-yildan faol yo‘ldoshlarning soni ushbu raqamdan oshdi. Yo‘ldoshlar kerak bo‘lganda, qisqa va oldindan e’lon qilingan vaqtda, orbitadan olib tashlanishi mumkin. Yo‘ldoshlarning to‘satdan ishdan chiqishi, guruhlashni kamaytirishi mumkin, ammo GPS yo‘ldoshlari – yetarli darajada ishonchlidir, ularning ishlash muddati hisobiydan ham, sezilarli darajada oshadi. 1989–1990-yillarda uchirilgan *II / IIA* blokda 10 ta yo‘ldoshdan (ishlash muddati 7.5 yil), bittasidan tashqari, qolganlari 2000-yilning boshlariga qadar, ish faoliyatida bo‘lgan. Yo‘ldoshlar, antennalar bilan radiouzatkichlarni, atom soatlarini, kompyuterlarni va turli xil yordamchi uskunalarni (quyosh batareyalari, barqarorlashtirish tizimlari, orbitalarni to‘g‘rilash uchun reaktiv dvigatellar va boshqalarni) tashuvchi hisoblanadi.

Orbital paramertlari. Hozirgi vaqtda, Yer yuzasidan katta balandlikdagi yo‘ldoshlarining barcha orbitalaridagi qiyaligi 55° teng, garchi *I* blok yo‘ldoshlari uchun, u 63° tanlangan edi (12.3-jadval). Orbita eksentrisitetlari $0.001 \div 0.02$ oraliqlarda topiladi, ya’ni amalda doiraviydir. Yer yuzasidan katta balandlik – 20150 km – qiyin, taxmin

qilinadigan atmosfera qarshiligi ta'sirini minimumgacha kamaytiradi va past orbitali yo'ldoshlarga qaraganda, Yerning gravitatsion maydonini juda oddiy modelidan foydalanib, efemerida hisobiga ruxsat beriladi.

12.3-jadval

GPS yo'ldoshlarining harakat parametrlari

Parametrlar	Qiymatlari
Orbitaning katta yarim o'qi, a	26560 km
Orbitalarning qiyaligi i	55°
Yer yuzasidan o'rtacha balandligi, $H = a - R$	20182 km
O'rtacha harakati $n = \sqrt{\mu / a^3}$	30° /soat
Aylanish davri, $P = 2\pi / n$	11:57:58
Orbita bo'yicha uchish tezligi $V = \sqrt{\mu / a}$	3.874km/s
$h_{\min} = 15^\circ$ da yo'ldoshdan ko'rinish zonasi radiusi	13.4°
$h_{\min} = 15^\circ$ da stansiyadan β ko'rinish zonasi radiusi	61.6°
$h_{\min} = 15^\circ \Delta t$ da ko'rinish zonasiga maksimal yetib kelishi	4.1 soat
$\delta\Omega = 3\pi C_{20} \cos i (a_E / a)^2 N^{**}$ sutka uchun orbita pretsessiyasi	$-0,0386^\circ$

* I blokda yo'ldoshlar uchun qiyalik 63° edi.

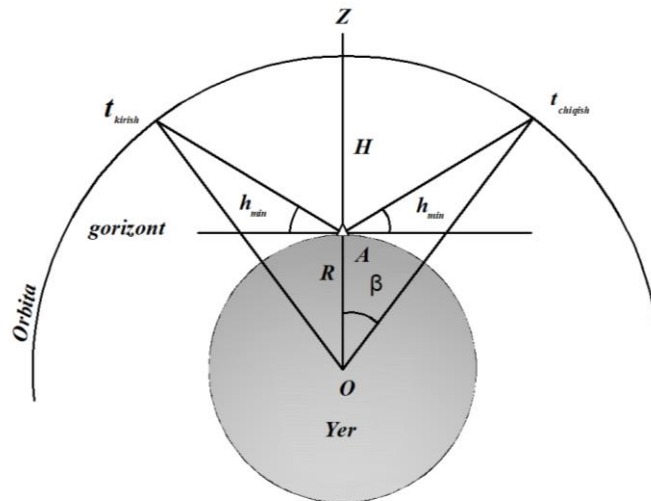
** N – sutka uchun burilishlar soni;

a_E – Yerning ekvatorial radiusi;

C_{20} – sferik funksiyalar bo'yicha geopotensialning qatorga bo'linish ikkinchi zonal garmonikasining koeffitsiyenti;

a – orbitaning katta yarim o'qi.

Yer yuzasidan katta balandlik, Yerdan va yo'ldoshdan katta o'lchamdagi ko'rinish zonalarini ham ta'minlaydi. Bitta yo'ldoshning ko'rinish zonasiga yetib kelish davomiyligi, uning zenitli o'tishi va $h_{\min} = 15^\circ$ balandlik bo'yicha kesishish burchaklarida, taxminan 4 soatlarga teng (12.3-jadvalga qarang).



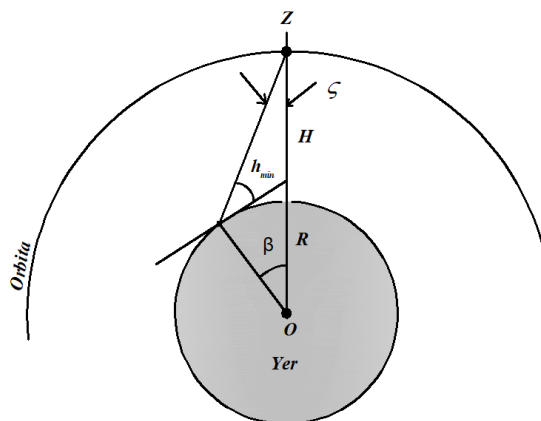
12.5-rasm. Punktdan ko'rinish zonasi.

Bu yerda: R – Yerning radiusi, a – orbita (katta yarim o'qi)ning radiusi, $h_{\min}$ esa – balandlik bo'yicha kesishish burchagi yoki balandliklar niqobi. β burchak qiymati va a yo'ldoshning o'rtacha harakati Δt yo'ldoshning ko'rinish zonasiga yetib kelish davomiyligini aniqlaydi (12.5-rasm). Yo'ldoshning zenitli o'tish holatida

$$\Delta t = \frac{2\beta}{n}. \quad (12.1)$$

ς burchak, u yo'ldoshdan kuzatiladigan yer yuzasi bo'lagining sferik radiusini aniqlaydi, *yo'ldoshdan ko'rinish zonasi* deb nomlanadi (12.6-rasm):

$$\sin \varsigma = \frac{R \cosh_{\min}}{a}. \quad (12.2)$$



12.6-rasm. Yo'ldoshdan ko'rinish zonasi.

Sutkada *GPS* yoʻldoshlari uchun orbitalar pretsessiyasi, quyidagicha hisoblanadi:

$$\delta\Omega = 3\pi C_{20} \cos i \left(\frac{a_E}{a} \right)^2 N \quad (12.3)$$

$-0,0386^\circ$ ga teng, orbitaning siljish davri esa P_Ω (ushbu davrda tugunlar chizigʻi fazoda 360° ga buriladi)

$$P_\Omega = \frac{360^\circ}{\delta\Omega} \quad (12.4)$$

9300 sutkalarga yaqin yoki 25 yilni tashkil etadi. Sutkada koʻtarilish tugunining geografik uzoqligining oʻzgarishi, yer yuzasida yoʻldoshning trassasi siljishini aniqlaydi. U Yerning sutkalik va yillik aylanishi hamda yoʻldosh orbitasi pretsessiyalaridan yigʻiladi. Yerning yillik aylanishi taʼsiri sutkada 0.986° tashkil qiladi. Yerning sutkalik aylanishi $\omega_E \cdot (P \cdot N - 24^h) \cdot (1 + \mu)$ ga teng hissani beradi, bu yerda ω_E – Yer aylanishi burchak tezligi; μ – yulduz vaqtidan oʻrtacha quyosh vaqtiga oʻtish koeffitsiyenti. *GPS* yoʻldoshlari uchun, bu aʼzo -1.015° ni beradi, uchta aʼzolarining yigʻindisi esa, taxminan 0.067° ga teng boʻladi. Shuning uchun, *GPS* yoʻldoshlarining trassasi siljishlari ahamiyatsiz, chunki yoʻldoshlar keyingi sutkaga osmon sferasini ushbu joyidan taxminan 4 minut oldin oʻtadi.

Toʻliq turkumlarda, deyarli barcha foydalanuvchilar toʻsiqlarsiz osmonda 15° dan katta balandlikda kuzatishlar uchun, minimum 4 ta yoʻldoshlarga ega boʻladilar. Shunisi ajablanarliki, foydalanuvchi bir vaqtda 6–8 ta yoʻldoshlarni ham koʻrish mumkin.

12.2.2. GPS nazorat segmenti

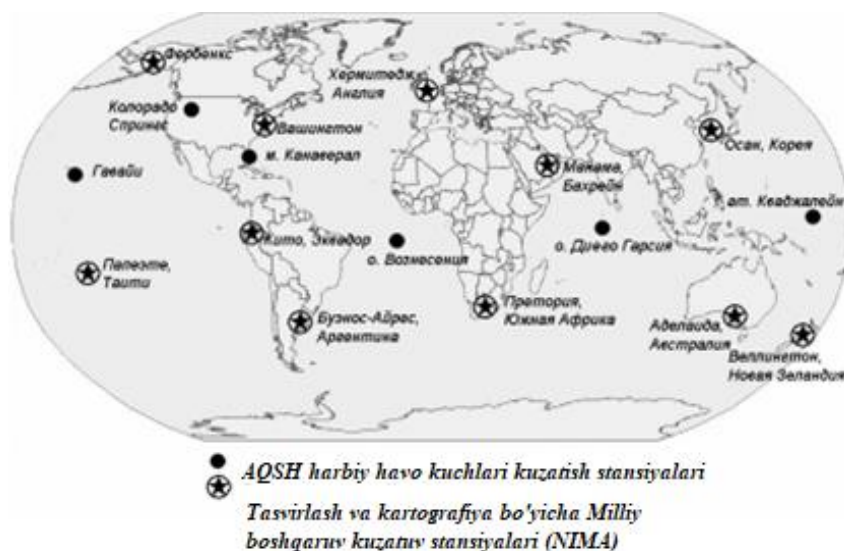
Nazorat segmentining yuragi, Kolorado Springs shahri yonida (AQSH, Kolorado shtati) joylashgan Shriver (koʻpincha Falkon deb ataladigan) harbiy havo kuchlari bazasi hisoblanadi. Bosh stansiya tizimni boshqaradi, buyruqlar va nazorat funksiyalarini taʼminlaydi. Nazorat segmentining Bosh funksiyalari quyidagilar hisoblanadi:

- yoʻldosh orbitalarini kuzatishlar;
- yoʻldoshlarni ishchi holatini qoʻllash va kuzatishlar;
- *GPS Time* vaqt tizimini shakllantirish;
- yoʻldosh efemeridlari va soatlar parametrlari hisobi;

- yo‘ldoshli gravitatsion xabarlarni yangilash;
- orbitani (kerak bo‘lganida) qo‘llash uchun, yo‘ldoshlarning katta bo‘lmagan manyovrlarni amalga oshirish.

Yo‘ldoshlarning signallari, uzoqlik bo‘yicha yer sharida keng tarqatilgan: Vozneseniya, Diego Garsiya orollari, Kvadjaleyn, Gavayi va Kolorado Springs qoyalaridagi kuzatish stansiyalari tomonidan uzluksiz ravishda kuzatiladi (12.7-rasm). 2001-yildan ro‘yxatga Kanaveralni ham qo‘shish mumkin. Nazorat stansiyalarining uskunalari chastota standartlari – seziyli *GPS* priyomniklardan, metereorologik asboblari va yer usti yo‘ldosh aloqa tarmoqlari orqali, Bosh boshqaruv stansiyasiga o‘lchashlarni uzatish uchun kerakli, aloqa uskunalaridan iboratdir.

S diapazonidagi radioaloqa orqali yo‘ldoshlar bilan aloqa uchun, yer usti antennalari kuzatish stansiyalari Vozneseniya, Diego Garsiya orollarida, Kanaveral dengizida va Kvadjaleyn qoyalariga joylash-tirilgan. Bu 10-metrli parabolik antennalar Bosh boshqaruv stansiya tomonidan boshqariladi. Ular, yo‘ldoshlardan quyi tizimning holati, navigatsiya xabarlari uchun buyruq va yuklash ma’lumotlarini yuborish to‘g‘risidagi telemetrik ma’lumotlarni olishni ta’minlaydi. Shriveredagi Harbiy havo kuchlari nazorat to‘ri avtomatik kuzatish stansiyalari ham, buyruq berish va nazoratni o‘tkazish uchun yer usti *GPS* anten nasidek ishlashi mumkin.



12.7-rasm. *GPS* nazorat segmentlarining joylashishi.

Kuzatish stansiyalaridan olingan ma'lumotlar, yo'ldosh orbitalarini aniqlash va oldindan aytish uchun hamda ularning soatlariga tuzatma kiritishda foydalaniladi. *GPS Time* vaqti kuzatish stansiyalari va yo'ldoshlardagi atom soatlari to'plami bo'yicha aniqlanadi. Yo'ldoshlar soatlarini sinxronizatsiyasi, *GPS Time* vaqt shkalasiga nisbatan, har qaysi yo'ldosh generatori chastotalarining siljishi va chastotalari, shkalalarini siljishini baholash va yo'ldoshning navigatsiya xabariga modellar parametrlarini uzatish yordamida bajariladi. Yo'ldoshlar bilan translyatsiya qilinadigan, efemeridalar va soatlar parametrlari, Bosh boshqaruv stansiyasi tomonidan hisoblanadi va yer usti antennalari orqali yo'ldoshlarga yuklanadi.

Yo'ldoshlar bilan translyatsiya qilinadigan navigatsiya xabarlar, odatda sutkada minimum bir marta yuklanadi. *IIR* va *IIF* bloklar yo'ldoshlari orasidagi uzoqlikni o'lchash imkoniyati, yo'ldoshlarga avtomatik ravishda, ularning navigatsiya xabarlarini yangilash va Nazorat segmenti (*IIR* blok yo'ldoshlari o'zlarini orbitalarini "yo'ldosh-yo'ldosh" o'lchashlari asosida, Nazorat segmenti bilan bog'lanmasdan 180 sutkagacha ishlashi mumkin) bilan bog'lanmasdan davomli vaqtda ishlaydi. *Autonav* funksiyasi ta'sir qilganida, Nazorat segmenti signal-larni kuzatishlarni davom ettiradi, navigatsiya xabarlar parametrlari uchun, qabul qilish mumkin bo'lmagan shartlarni aniqlaydi va yangi yuklamalar uchun jadvallarni agar talab etilsa, tuzadi [137].

Nazorat segmentining muhim funksiyasi – WGS – 84 sanoq tizimini qo'llashdir. Bu sanoq tizimi, *GPS* foydalanuvchilariga monitoring stansiyalarida yig'ilgan, ma'lumotlar bo'yicha hisoblangan, yo'ldosh efemeridalari orqali foydalanish imkoniyatini beradi. Agar qaysidir tashkilot, o'zining yo'ldoshli orbitasini hisoblamogchi bo'lsa (masalan, o'zining xususiy yer usti priyomnik to'rlaridan to'plangan, *GPS* kuzatish ma'lumotlari qayta ishlash-postlaridan), unda olingan sanoq tizimi, ushbu tizimdagi kuzatish stansiyalari koordinata tizimlarida aniqlanadi. Bu *WGS – 84* bo'lmasligi, ammo unga juda yaqin sanoq tizimi bo'lishi mumkin.

12.3. Rossiya GLONASS tizimi

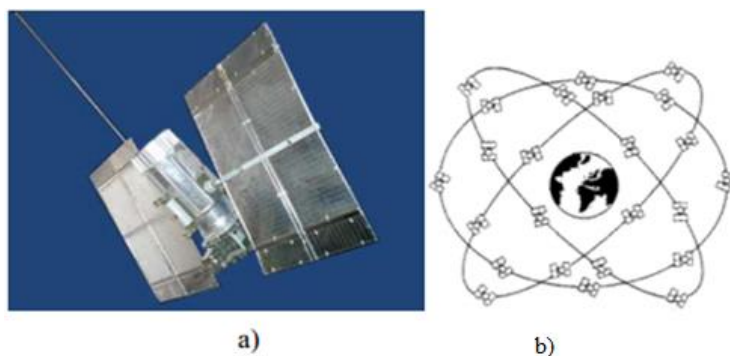
12.3.1. GLONASS kosmik segmenti

Rossiya to'rtli o'rta orbital *SRNS GLONASS* tizimi uzluksiz va yuqori aniqlikda fazoviy o'rnini, vaqtni hamda Yerning har qanday nuqtasida va yer yaqinidagi fazoda turli ko'rinishdagi foydalanuvchilar uchun tezlikni aniqlashga mo'ljallangan.

GLONASSni orbital guruhlash. *GLONASS* orbital guruhlashini joylashtirish 1982-yil 4-oktabrida "Kosmos 1413" *SRNS* birinchi yo'ldoshini uchirishdan boshlangan edi. RF Prezidentining farmoniga asosan, *GLONASS* dan rasman foydalanish, 1993-yilning 24-sentabridan yo'ldoshlar turkumlari oraliqlari bilan, tizimni shtatli ekspluatatsiyasi esa, 1995-yilning oxirida, orbital guruhlash 24 ta yo'ldoshni birlashtirgandan keyin boshlangan edi. 2003-yilning boshida 91 ta navigatsiya kosmik apparatlari (NKA) ishga tushirilgan (12.8,a-rasm). 2004-yilning 19-fevralida internet ma'lumotlariga ko'ra, orbitada joylashgan ishchi yo'ldoshlar soni 11 taga yetkazilgan edi.

Orbitalar. Tizimdagi yo'ldoshlar (21 ta ishchi va 3 ta zaxira) 120° uzoqlik bo'yicha joylashuvchi, uchta orbital tekislikda, bir tekis joylashtirilgan (12.8,b-rasm). Har qaysi orbitada 45° kenglik argumenti bo'yicha siljishlar bilan 8 tadan yo'ldoshlar joylashtirilgan. Yo'ldoshlar $i+1$ tekislikda, i tekislikdagi yo'ldoshlar bilan taqqoslaganda, 15° kenglik argumenti bo'yicha siljirilgan. Yo'ldoshlarning hisobiyga nisbatan, orbital tekislikdagi o'rnini maksimal o'zgarishlari 5 yil intervalida 5° dan oshmaydi. Doiraviy orbita radiusi – 25510 km, 11 s 15 min 44 sek aylanish davriga mos keladi va 8/17 yulduz sutkasini tashkil qiladi. *GLONASS* yo'ldoshlari har qaysi 8 yulduz sutkasida 17 aylanishni amalga oshiradi, chunki 8 yulduz sutkasidan keyin yo'ldosh, yana yer yuzasidagi kuzatuvchilar uchun osmonda, ushbu holatda ko'rinadi. Buning sababi, har qaysi tekislikda orbita bo'yicha tekis taqsimlangan, 8 tadan yo'ldoshlar joylashgan, yerdagi kuzatuvchi osmonda bir va ushbu yulduz sutkasida, ushbu yo'ldoshlardan birini ko'radi. *UTC* vaqti bo'yicha kelgusi sutkani 4 min oldin o'tishiga mos keladi, ya'ni, *GPS* tizimidagidek. Ammo, Amerika tizimida bu hodisa, birgina va ushbu yo'ldoshga, Rossiya tizimida esa – har xil yo'ldoshlarga tegishli.

Orbitalarning qiyaligi $64,8^{\circ} + 0,3^{\circ}$, eksentrisitet $0 + 0,01$, ya'ni orbita doiraviyga yaqin. Orbitalar pretsessiyasi $-0,0339^{\circ}/sut$. Guruhdagi 21 ishchi yo'ldoshlarning borligi, yer yuzasining har qaysi nuqtasidagi koordinata-vaqt o'lchashlarida 4 va undan ko'p yo'ldoshlarni ta'minlash imkonini beradi. Qolgan yo'ldoshlar "issiq" zaxirani va tizimni yuqori ustvorligini ta'minlaydi. 24 yo'ldoshdan iborat turkumlardan, hech bo'lmaganda, 5 ta yo'ldoshlari bilan yer yuzasini bir vaqtda, 99% ini ko'rinishi kafolatini beradi.



12.8-rasm. GLONASS tizimi:

- a) GLONASS tizimidagi "Uragan" yo'ldoshi (og'irligi 1300 kg ga yaqin, diametri 2,35 m, yoyilgan magnitometr shtangasi bilan uzunligi 7,84 m, yoyilgan quyosh batareyasi bilan eni 7,23 m);
 b) GLONASS yo'ldoshlar turkumlari.

GLONASS yo'ldoshlarini orbitaga chiqarish, Baykonur kosmodromidan "Proton" raketa-tashuvchisi yordamida amalga oshiriladi. Odatda, bitta tashuvchi bilan ishchi holatlar (uyalar)dan biriga uchta GLONASS yo'ldoshi chiqariladi. Bitta apparat joyida qoladi, ikkita boshqasi qo'shni ishchi nuqtalarga tarqatiladi. Har qaysi yo'ldoshni, orbital tekislikning berilgan nuqtasiga ko'chirish, o'zining dvigatel qurilmasi yordamida bajariladi.

Yo'ldoshni berilgan orbitaga chiqarish aniqligini quyidagilar tashkil qiladi: aylanish davri bo'yicha $0,5s$, kenglik argumenti bo'yicha -1° , eksentrisiteti bo'yicha $-0,01$, qiyaligi bo'yicha $-0,3^{\circ}$ [10].

GLONASS tizimidagi yo'ldoshlar uzluksiz ikki turdagi navigatsiya signallarni chiqaradi: $L1$ (1.6 GGs) diapazonidagi standart aniqlikdagi (ST) navigatsiya signal va $L1$ va $L2$ (1.2 GGs) diapazonlaridagi yuqori aniqlikdagi (VT) navigatsiya signal. Standart aniqlikdagi (ST)

navigatsiya signal bilan taqdim etiladigan ma'lumotlar, doimiy va global asosda, barcha foydalanuvchilar uchun ruxsat etiladi va *GLONASS* priyomniklaridan foydalanishni ta'minlaydi, aniqlash imkoniyatlari:

- gorizontalar koordinatalar 50–70 m aniqlik bilan (99.7% ehtimollik bilan);
- vertikal koordinatalar 70 m aniqlik bilan (99.7% ehtimollik bilan);
- tezlik vektori komponenti 15 m aniqlik bilan (99.7% ehtimollik bilan);
- aniq vaqtni 0.7 mks aniqlik bilan (99.7% ehtimollik bilan).

Agar navigatsiyani differensial uslubi yoki o'lchashlarning qo'shimcha maxsus uslublari qo'llanilganda, bu aniqliklarni yanada oshirish mumkin. Yuqori aniqlikdagi (VT) navigatsiya signal, asosan RF mudofaa vazirligi uchun mo'ljallangan va uning sanksiyasiz foydalanishi tavsiya etilmaydi. Fuqaro foydalanuvchilarga, yuqori aniqlikdagi (VT) navigatsiya signaldan foydalanish ko'rib chiqish bosqichida turibdi.

***GLONASS* yo'ldosh tizimlari** (o'zining nomlanishi «Uragan» yoki «Kosmos» mos keluvchi raqami bilan, 12.8,a-rasm) germetik silindrik konteynerdan iborat, unda xizmat tizimlari va maxsus apparatura, antenno-fider qurilmasi ramasi, quyosh batareyalari panellari simlari bilan, oriyentirlash tizimi asboblari, dvigatel qurilmasi va termoregulyator tizimlari joylashtiriladi. Yo'ldoshda shuningdek, lazerli dalnomerlar bilan, yo'ldoshgacha masofani o'lchash yordamida, o'lchash tizimi radiosignallarini sozlash hamda yo'ldosh harakat modeli parametrlarini aniqlashtirish uchun mo'ljallangan, optik burchakli nurqaytargichlar ham o'rnatilgan. Burchakli nurqaytargichlar, Yer markaziga har doim yo'nalgan, blok ko'rinishida yasalgan. Ularning yuzasi $0,25m^2$ ga teng.

Yo'ldoshning *navigatsiya to'plami* *GLONASS* tizimi elementlaridek, uning ishlashini ta'minlaydi. To'plamga quyidagilar: sinxronizator, navigatsiya radiosignallarini shakllantiruvchi, bort kompyuteri, navigatsiya ma'lumotlari priyomnigi va navigatsiya radiosignallarini uzatuvchilar kiradi. *Sinxronizator* bort apparaturalariga yuqori barqaror sinxron chastotalarini berishni, shakllantirish, saqlash, vaqt bortli shkalasini berish va tuzatishni ta'minlaydi. *Navigatsiya radiosignallarini shakllantiruvchi* navigatsiya xabari va dalnomer kodini o'z ichiga

olgan, psevdotasodifiy fazomanipulyatsiya qilingan, navigatsiya radiosignallarini shakllantirishni ta'minlaydi. *Boshqaruv to'plami* yo'ldoshlar tizimini boshqaruvini ta'minlaydi va ularning to'g'ri ishlashini nazorat qiladi. *Buyruq-o'lchashlar tizimi* talablar tartibida uzoqlikni o'lchashni, bortli vaqt shkalasini nazoratini, bir martalik buyruqlar va vaqtinchalik dasturlar bo'yicha tizimni boshqarishni, bortli navigatsiya to'plamiga, navigatsiya ma'lumotlarini yozish va telemetriyalarni uzatishni ta'minlaydi. *Boshqaruv bloki* tizimda iste'mol va yo'ldosh asboblari taqsimlanishini, mantiqiy qayta ishlashlarni, bir martalik buyruqlarni kuchaytirish va ko'paytirishni ta'minlaydi. *Barqarorlashtirish va oriyentirlash tizimi* yo'ldosh raketa-tashuvchidan ajratilgandan so'ng tinchlantirishni, Quyoshga quyosh batareyalarini va Yerga yo'ldoshning bo'ylama o'qini boshlang'ich oriyentirlashni, so'ngra yo'ldoshning bo'ylama o'qini Yer markaziga oriyentirlashni va quyosh batareyalarini Quyoshga nishonga olishni hamda orbitalarni tuzatish jarayonida yo'ldoshni barqarorlashtirishni ta'minlaydi. Yer markaziga oriyentirlash xatoligi 3° dan yomon emas, quyosh batareyalari yuzalariga yo'nalishlardan Quyoshga normalning og'ishi – 5° dan ko'p emas. *Tuzatish tizimi* orbita tekisligida yo'ldoshni belgilangan o'rniga keltirishni va uni kenglik argumenti bo'yicha berilgan oraliqlarda ushlab turishni ta'minlaydi. *Haroratni boshqarish tizimi* yo'ldoshning kerakli issiqligini ta'minlaydi. *Elektr ta'minoti tizimi* quyosh batareyalari, akkumulyator batareyalari, kuchlanishni barqarorlashtirish va avtomatika bloklaridan iborat. Quyosh batareyalarining boshlang'ich quvvati – 1600 Vt, yuzasi – $17,5 \text{ m}^2$. Yo'ldoshni Yer va Oyning soya uchastkalaridan o'tishida, bort tizimining iste'moli akkumulyator batareyalari hisobidan amalga oshiriladi. Ularning razryad sig'imi 70 amper-soatni tashkil qiladi.

Shunday qilib, GLONASS yo'ldoshlariga quyidagi funksiyalarni bajarish yuklatilgan:

- yuqori barqarorlashgan radionavigatsiya signallarini chiqarish;
- raqamli navigatsiya ma'lumotlarini uzatish, qabul qilish va saqlash;
- aniq vaqt signallarini uzatish, raqamlashtirish va shakllantirish;
- orbitani nazorat qilish uchun, traektoriya o'lchashlarini o'tkazish uchun signallarni chiqarish yoki retranslyatsiya qilish va bortli vaqt shkalasiga tuzatmani aniqlash;

- bir martalik buyruqlarni qabul qilish va qayta ishlash;
 - orbitada yo‘ldoshning ishlash rejimi bilan vaqtinchalik boshqaruv dasturlarini bajarish, yodga olish va qabul qilish;
 - bort apparaturalari to‘g‘risidagi telemetrik ma’lumotlarni shakllantirish, uni qayta ishlash va tahlil qilish uchun, yer usti boshqaruv to‘plamiga uzatish;
 - kodlar/buyruqlar tuzatishlarini bajarish, qabul qilish va bortli vaqt shkalasini fazalash;
 - muhim nazorat qilinuvchi parametrlarni me’yorlar chegarasidan chiqishidagi “nosozlik alomatlarini” uzatish va shakllantirish.
- GLONASS* yo‘ldoshlari boshqaruvi avtomatik rejimda boshqariladi.

12.4. SRNS foydalanuvchilar segmenti

12.4.1. Foydalanuvchilar segmenti

Yo‘ldoshli navigatsiya tizimining foydalanuvchilar segmenti yo‘ldoshli priyomniklardan va mos keluvchi uskunalardan iborat. Foydalanuvchilar apparaturalari arxitekturasini, vazifasi, aniqligi, narxi va boshqa parametrlari bo‘yicha farqlanadi. Ayrim hollarda, foydalanuvchilar segmentiga foydalanuvchilar tizimlari hamjamiyati va foydalanuvchilarga ma’lumotlar-texnik xizmat ko‘rsatish xizmatlari ham tegishli bo‘ladi.

Radionavigatsiya tizimining muvaffaqiyati, undan to‘liq keng masshtabda foydalanishdadir, u integral sxemani kiritilishiga olib keldi. Bu priyomniklarni yengil, ixcham bo‘lishiga va bundan 20 yil oldingi priyomniklardan bir muncha arzonlashtirilishiga olib keldi. Yo‘ldoshli pozitsionirlash uchun mo‘ljallangan, birinchi *GPS* priyomniklar, 1980-yillarning o‘rtalarida chiqarilgan edi va 100000\$ dan ko‘p turar edi (12.4-jadval). Hozirgi priyomniklar bir qator yuqori imkoniyatlari bilan ham, 10000\$ dan arzon turadi. 1980-yilning oxirlarida, *GPS* priyomniklar ishlab chiqaruvchilar, yoppasiga bozorlar uchun 2000\$ dan ishlab chiqishi mumkin deb, faqat umid qilar edi. Ammo, baho to‘siqlari tezlik bilan pastga tushdi. 1992-yilning o‘zidayoq, *GPS* qo‘l priyomnigi tayyorlandi, u 1000\$ dan kam turar edi. 1997-yili *GPS* ishlab chiqarish

sanoati, ikkita AA batareykali choʻntak priyomnigini taklif qilib, narh toʻsigʻini 100\$ ga tushirdi.

Hozirgi kunda, bozorlarda priyomniklarning yuzlab modellari topiladi. 1997-yildan har yili milliondan koʻp priyomniklar ishlab chiqariladi, deb hisoblanadi. AQSH savdo vazirligining baholashlariga koʻra, apparaturalarni sotish hajmi va 2003-yilda GPS xizmati bilan 16000000000\$ dan oshgan. Yoʻldoshli tizimlar kundalik hayotimizning bir qismiga va savdo-sotiq hamda jamoat infrastrukturasining ahamiyatli elementiga aylanib bormoqda.

Soʻnggi 20 yillar ichida, eng yangi texnologiyalarga asoslangan, priyomniklarning bir necha avlodlari ishlab chiqildi. Priyomniklarning birinchi guruhi, 1970-yilning oxirlarida AQSH mudofaa vazirligi uchun, GPS ishlashi mumkinligini isbotlash maqsadida yaratilgan. 1980-yilning boshlarida GPS turkumlari I blok yoʻldoshlaridan bir qanchasini oʻz ichiga olganda ham, katta miqdordagi priyomniklarni ishlab chiqarishga sabab yoʻq edi, bundan tashqari, fuqaro foydalanuvchilarning GPS dan foydalanish sohalarida davlat siyosati tushunarsiz edi. Ammo, geodezistlar GPS yordamida, juda yuqori aniqliklarni olish imkoniyatlarini koʻrdilar. 1982-yilda bozorlarda aniq geodeziya uchun ikkita: *Macrometer V – 1000*, Ch.Kunselman (Massachuset texnologiya instituti) va *Texas Instruments TI 4100* tomonidan ishlab chiqilgan priyomniklar paydo boʻldi. Bu priyomniklar, zamonaviy oʻlchamlari boʻyicha ulkan boʻlib, inqilobiy asboblardir, ular toʻlqin tashuvchi faza boʻyicha pozitsionirlashda, millimetrlilik aniqlik darajasini namoyish etishdi [137] .

12.4-jadval

Birinchi geodezik GPS priyomniklar [113]

Nomlanishi	Ishlab chiquvchi, yil	Kuzatishlar		Oʻlchamlari, ogʻirligi
		Faza	Kod	
<i>Macrometer V – 1000</i>	" <i>Makrometrix</i> " (<i>Litton Aero Service</i>), 1982	L1	kodsiz	69x53x64 sm, 45 kg, antenna 91x9116 sm, 16 kg
<i>TI – 4100</i>	" <i>Texas Instruments</i> " 1982	L1, L2	P	39x46x20 sm, 25 kg, antenna 28x18 sm, 2 kg

12.4.2. Foydalanuvchilar kategoriyasi

“Foydalanish segmenti” atamasi xavfsizlik milliy dasturiga *GPS* bo‘yicha qo‘shimchadek, AQSH mudofaa vazirligi konsepsiyasiga tegishli, deb hisoblanadi. Tizimni dastlabki, faoliyati mobaynida *GPS* priyomniklarning har qaysisiga, mudofaa tizimi elementlarini ko‘p yoki kam miqdorlarda kiritish rejalashtirilgan edi. Har qaysi havo yoki dengiz kemasi, har qaysi yer usti harakatlanish transporti va har qaysi harbiy bo‘linma, o‘zining harbiy faoliyatini muvofiqlashtirishi uchun, mos keluvchi priyomnigiga ega bo‘lishi kerak, deb taxmin qilinardi. Haqiqatan ham, 1991-yil Fors ko‘rfazidagi urush vaqtida, priyomniklardan, taxmin qilinganidek, urush harakatlari vaqtida foydalanildi. Ushbu urush vaqtida, oldindan kiritilgan *SA* tanlangan ruxsat rejimi o‘chirildi, chunki, qo‘shinlar fuqaro priyomniklaridan ishonchli foydalanishlari uchun sharoit yaratildi. Ayniqsa, sahroda navigatsiya uchun *C/A*- kodli priyomniklari foydali ekanligi tan olindi.

GPS ni boshqa harbiy qo‘llashlari ham yaratilmoqda. Masalan, bitta priyomnikka uchta (ayrim hollarda to‘rtta) antennalar ulanadi. Bunday antennalarni kemandagi bortiga, oldiga va orqasiga joylashtirib, og‘ish, ohang va chayqalishlarini aniqlash mumkin bo‘ladi [49, 100].

GPS va *GLONASS* harbiy harakatlar teatrlarida (shu jumladan, “yulduzlar jangi” uchun) koordinata-vaqtni ta’minlash maqsadida, harbiylar tomonidan ishlab chiqilgan, bunda navigatsiya tizimining barcha imkoniyalaridan to‘liq foydalanish huquqi, ularga berilgan. Harbiy foydalanuvchilar apparaturalarini ajralib turadigan xususiyatlari (mualifli yoki sanksiyali) quyidagilar hisoblanadi: shovqindan yuqori himoyalangandagi, yuqori aniqlikni olish uchun, ikki chastotali quyi diapazonlar (*L1* va *L2*) da yuqori aniqlikdagi radiosignallarni qabul qilish va qayta ishlash (*GPS* uchun *P(Y)*- kod va *GLONASS* uchun *BT* - kod). Harbiy foydalanuvchilar apparaturalariga shovqindan qo‘shimcha himoyalash choralari, bular adaptiv antenna panjaralari fazoviy seleksiyasi, inersial va boshqa navigatsiya tizimlari bilan optimal to‘plamlashtirish. Bundan tashqari, ular yuqori ishonchliligi va birinchi sanoqgacha kam vaqt ketishi bilan ajralib turadi. Bunda shunday tavsiflar, og‘irligi va o‘lchamlari, narxi ham, ahamiyatli hisoblanadi, ammo bular hal qiluvchi hisoblanmaydi [52].

Fuqaro foydalanuvchilar uchun eng muhimi, aynan, og'irligi va past narxi hisoblanadi. Fuqaro foydalanuvchilar apparaturalari bir chastotali quyi diapazonli (*GPS* uchun *C/A*-kod va *GLONASS* uchun *CT*-kod) past aniqlikdagi radiosignallarni qabul qilish va qayta ishlashlarini olib boradi.

SRNS fuqaro foydalanish evolutsiyasi, bir necha yillar mobaynida sodir bo'ldi va yo'lga tushib oldi, tizimni ishlab chiquvchilar, buni nazarda tutmagan edilar.

Birinchi bir qancha yillar mobaynida asosiy diqqat, navigatsiya priyomniklariga qaratilgan edi. Geodeziyada *GPS* o'lchashlar inqilobi Ch.Kunselman tomonidan "Reaktiv harakatlar va "Makrometr" ishlab chiqish laboratoriyasi"da yaratilgan *SERIES* priyomniklaridan boshlandi. Interferometrik model yechimidan foydalanishning asosiy konsepsiyasi, *GPS* dan nafaqat, uzun geodezik masofalarda, hatto yer usti o'lchashlaridagi mavjud, juda qisqa masofalarda ham, foydalanish mumkin. Muhim muammolardan biri, geodezik yo'ldosh apparaturalari konstruktorlari tomonidan - *Anti-Spoofing* rejimini yengib o'tishdir.

Bugun yo'ldoshli priyomniklardan, odatda barcha turdagi geodezik va topografik ishlarni, yuqori aniqlik va unumdorlikni ta'minlaganda foydalanish mumkin. Bir qator ilmiy qo'llanishlarning aniq pozitsionir-lash uslublari (masalan, meteorologiya uchun) mutlaqo kutilmagan edi.

Navigatsiya priyomniklari turli faoliyat sohalarida keng qo'llanilishini topdi. *GPS* ni nogeodezik fuqarolik foydalanishi: transport vositalari parklari va qutqaruv xizmati vositalarini boshqarish, poezdlarni, shahar transporti oqimlarini kuzatish va boshqalar. Apparaturalar ishlab chiqaruvchilar ko'pincha, uni ko'proq sohada qo'llanilishiga erishish uchun navigatsiyaning boshqa vositalari bilan birlashtiradilar. Bunday yondashuvga misol qilib, shveytsariyalik olimlar tomonidan ko'rlar va qutqaruvchilar uchun yaratilgan navigatoridir, bunda *GPS* priyomnik inersial tizim, raqamli kompas, barometr-visotomer va qadam o'lchagichlar bilan birgalikda ishlaydi [117].

GPS va *GLONASS* yo'ldoshli radionavigatsiya tizimlari, birinchi navbatda, harbiy tizimlardek, o'ylab topilgan, ammo ular ikkita tizimga mo'ljallangandek foydalaniladi, buning ustiga ularni fuqarolik maqsadlarida qo'llanilishi, harbiylarga qaraganda, juda qizg'in darajada olib borilmoqda. Shuning uchun, fuqaro foydalanuvchilari, soliq to'lovchilar hisoblanadi, ularning pullariga *SRNS* yaratilganligi bois,

yo‘ldoshli tizimning ishlab chiqilishiga va undan foydalanish siyosatiga aniq ta’sirlarni ko‘rsatish huquqiga egadirlar. AQSHda bunday funktsiyani GPS xizmatlari bilan o‘zaro bog‘liqlik bo‘yicha Fuqarolik komiteti (Civil GPS Service Interface Committee, *CGSIC*) bajaradi.

CGSIC komiteti, GPS foydalanuvchilari va AQSH hukumati organlari orasidagi o‘zaro hamkorlik bo‘yicha jamoatchilik organidek, tan olingan. Uning maqsadiga fuqaro foydalanuvchilari ehtiyojlarini aniqlash va o‘rnatish kiradi. Komitet uchta: Xalqaro quyi komitet, vaqtni aniqlash bo‘yicha quyi komitet, AQSH va uning atrofidagi territoriyalar bo‘yicha quyi komitetlarga bo‘lingan.

CGSIC to‘rtta asosiy maqsadlarga ega:

- GPS foydalanuvchilari fuqarolik hamjamiyati ehtiyojlari bo‘yicha ma’lumotlar to‘plash va texnik ma’lumotlar almashinuvini ta’minlash;
- GPS foydalanuvchilari, fuqarolik hamjamiyati orasida, ushbu ma’lumotlarni tarqatish usullari va ma’lumotlarga talablarni aniqlash;
- Transport vazirligi yoki *CGSIC* komiteti so‘rovlari bo‘yicha fuqaro foydalanuvchilari ehtiyojlari bo‘yicha GPS ma’lumotlarini o‘rganishini olib borish;
- GPS texnologiyalardan har qanday natijalarini aniqlash, ular muhim muammolarni yechishi mumkin va uni hukumat organlariga ko‘rib chiqish uchun taqdim etish.

Maqsadlardan biri, GPS turkumlarini shakllantirish bilan bog‘liq, uni *CGSIC* hal qiladi. Yo‘ldoshlar orbitalarda, o‘zlarini xizmat muddatlaridan ko‘p muddat bilan ishlaydi, qator yo‘ldoshlar 10 yildan ko‘p xizmatda bo‘lgan. Soliq to‘lovchilar uchun bu yaxshi yangilik. Ammo, GPS foydalanuvchilari uchun bu, yo‘ldoshlarni yangisi bilan almashtirishga hojat yo‘q, ular foydalanuvchilarga sezilarli darajada foyda keltiradi. Ulardan ayrimlari XXI asrning birinchi o‘n yilligida ham, ishlatilishi ko‘zda tutilgan.

Boshqa muhim muammolar – bu milliy differensial GPS (*NDGPS*) tizimini qurish, GPS kuzatishlarni ob-havo taxminlarida qo‘llash, foydalanuvchilar on line (On-line Positioning User Service, *OPUS*) qayta ishlashlari xizmatlari ishi va boshqalar [131].

CGSIC komiteti yiliga ikki marta, bir marta Vashington okrugida va bir marta GPS bo‘yicha navigatsiya instituti konferensiyasida (*ION*) uchrashadilar, u turli shaharlarda o‘tkaziladi [121].

13-BOB. YO‘LDOSH APPARATURASI

13.1. Yo‘ldosh priyomniklari va antenنالari

Yo‘ldoshli navigatsiya tizimi signallari bo‘yicha ishlaydigan, har qaysi priyomnik, ishga tushirilgandan keyin, yo‘ldosh navigatsiya signallarini qabul qiladi, kerakli o‘lchashlarni olib borib, ularni qayta ishlaydi, navigatsiya xabarlarini shifrlarini ochadi va qabul qilingan ma‘lumotlarni koordinata, harakat tezligi va vaqt qiymatlariga o‘zgartiradi. Fazoviy koordinata va vaqtni hisoblash uchun unga, odatda to‘rtta yo‘ldosh yetarlidir.

Priyomnik ishga tushirilganda, u doimiy elektron xotirada, o‘zining oxirgi joylashgan o‘rnidagi koordinatasini saqlaydi. Bu koordinatalar navbatdagi ishga tushirilish uchun, boshlang‘ich joylashgan o‘rni bo‘ladi. Doimiy xotirada, shuningdek, orbitalarni, soat parametrlarini va barcha ish faoliyatidagi yo‘ldoshlarning holatini aniqlovchi, so‘nggi almanax ham saqlanadi. Bu ma‘lumotlar, yangi navigatsiya yechimlarida, chunonchi, qaysi yo‘ldoshlar gorizontdan yuqorida joylashgan va ulardan qaysilari, eng ko‘p joylashgan o‘rnini aniq aniqlash uchun mos kelishini aniqlashlarda qo‘llaniladi. Priyomnikning kvars soatlari, ular ishchi faoliyatda bo‘lmaganda ham, ishlaydi va qachonki, u takroran, yangi vazifani olish uchun faollashtirilganda, unga kerakli vaqtni baholashni ta‘minlaydi.

Priyomniklar va unga hamroh uskunalar doimiy ravishda rivojlantirilmoqda va mukammallashmoqda, shu sababli, alohida qaysidir priyomnikni batafsil yoritish maqsadga muvofiq emas. Bundan tashqari, turli foydalanuvchilar apparaturalari tuzilish sxemasining tahlili, salkam to‘liq, ularning o‘xshashligini ko‘rsatdi. Farqlar, elementli bazani, u yoki bu integrasiya darajasida qo‘llanilishidagi, qurilmasini bajarishdan iborat. Shuningdek, keyinchalik yo‘ldosh priyomnigi umumiy qurilmasining qisqartirilgan konsepsiyasi taqdim etiladi. Priyomniklar to‘g‘risidagi batafsil ma‘lumotlarni [10, 52, 137, 143, 152] va maxsus adabiyotlardan topish mumkin.

Zamonaviy priyomniklarning o‘lchamlari, narxi, vazifasi yoki murakkabligiga qaramasdan, u beshta bosh qurilmalarga bo‘linishi mumkin (13.1-rasm):

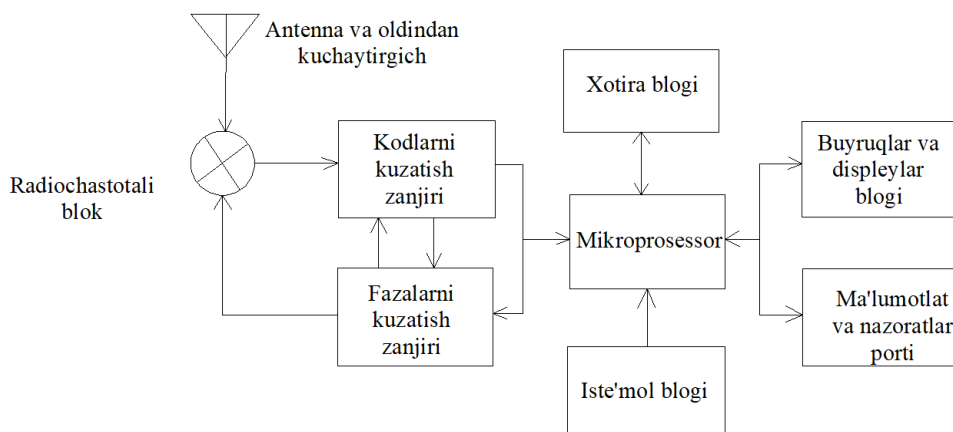
- 1) antenna va u bilan bog‘langan elektronika;

- 2) kuzatuv konturlari bilan radiochastotali blok;
- 3) navigatsiya mikroprosessori;
- 4) iste'mol blogi;
- 5) buyruq va nazorat displeyi blogi.

Ko'plab priyomniklar ma'lumotlarni saqlash uchun va kirish-chiqish ma'lumotlari qurilmalarini ham o'z ichiga oladi.

Apparaturalar to'plamiga qo'shimcha qurilmalar ham, kiritilishi mumkin: ma'lumotlarni to'plovchilar (nazoratchilar), radiomodemlar, meteorologik tizimlar, shtativlar, shtanga, markazlashtirgichlar, ruletkalar, kabellar va boshqalar.

GPS priyomnikning *antennalari* gorizontdan balandda joylashgan, qutblangan $L1$ va yoki $L2$ chastotalarda tanlangan yo'ldoshlardan to'g'ri tomonli doiraviy radioto'lqinlarni qabul qilish uchun mo'ljallangan. Antenna navigatsiya xabari ma'lumotlari modulyatsiyasi oqimi va standart hamda aniq kodlardan iborat bo'lgan, tashuvchi chastotalar modulyatsiyalangan to'lqinlarini elektr tokiga aylantiradi. Antenna bilan qabul qilingan, L - diapazonidagi signallar past shovqinli oldindan kuchaytirgich orqali yuboriladi, u elektron qurilmalar bilan navbatdagi qayta ishlashlarni yengillashtirib, ularning quvvatini oshiradi. Blokdagi oldindan kuchaytirgich, tasmali filtrlar foydali signallarni o'tkazib yuboradi va yot signallarni o'tkazmaydi. Ayrim hollarda, oldindan kuchaytirgich antennalar korpusiga joylashtiriladi, uning iste'moli uchun, antennani priyomnik bilan bog'lovchi, koaksial kabeldan foydalaniladi. Bunday antennalar faol deb ataladi.

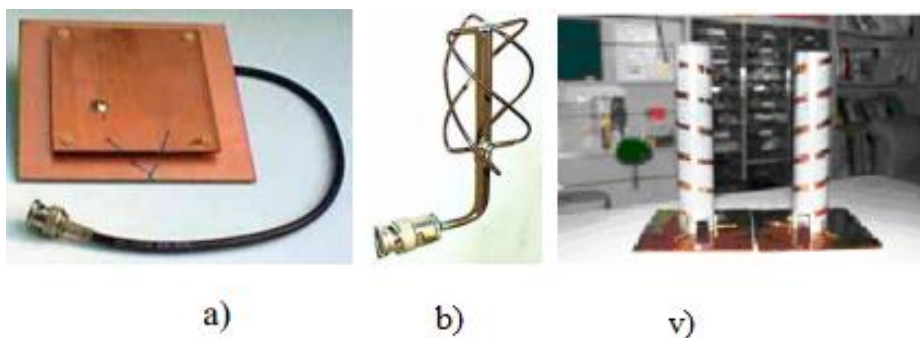


13.1-rasm. Bir kanalli GPS priyomniklar uchun, umumiy, asosiy komponentlar.

Geodezik GPS o'lchashlar uchun antennalar mustahkam qurilmaga ko'ra oddiy, barqaror elektrik fazali markazlarga, ko'pyo'llilikka ustuvor bo'lishi va yuqori yarim sferaning barcha yo'nalishlarida bir xil, yaxshi yo'nalish diagrammasi tavsiflariga ega bo'lishlari kerak.

Antennalarning shakli va o'lchamlari juda muhim, chunki ushbu tavsiflar antennalarni juda kuchsiz signallarini ham, tutishi va priyomnikka uzatishi bilan bog'liqdir. Antennalar faqat, bir yoki ikki chastotalarda, aniq chastota tasmalarida signallarni o'tkazib yuborib ishlashi mumkin. GPS va GLONASS signallarini qabul qilish uchun, antennalar o'ng tomonli doiraviy qutblangan bo'lishi kerak. Turli xil turdagi antennalar ishlab chiqarilgan. Ular monopol va dipol konfiguratsiyali, kvadifilyar (to'rtta ipga o'ralgan) spiralli, spiral o'ramli, chokli va mikrotasmali antennalardan iborat.

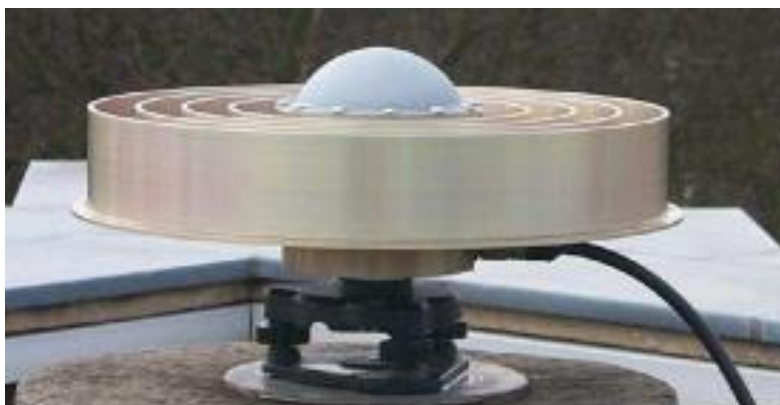
Eng ko'p tarqalgani, *mikrotasmali antennalar* hisoblanib, ularning qurilmalarini mustahkamligi va oddiyligi, og'irligi va o'lchamlarining kichikligi, tayyorlanishini oddiyligi va arzonligidadir. Mikrotasmali antennalar dielektrik bilan ajratilgan, ikkita o'tkazuvchi qatlamdan iborat. Pastki o'tkazuvchi qatlam antennani yerga o'tkazuvchi tekisligi hisoblanadi (13.2,a-rasm). Antennalar shakliga ko'ra, doiraviy yoki to'g'ri burchakli bo'lishi mumkin, ular kichik yuzali mis bilan qoplangan, muhrli plataga o'xshaydi. Bir yoki ko'p elementlardan tayyorlangan, asosdan dielektrik qatlamlar bilan bo'lingan, mikrotasmali antennalar tovonli antennalarga kiradi. Ular bir va ikki chastotali bo'lishi mumkin, ularning past profili, ko'p martalab qo'llashlar uchun idealligini ta'minlaydi. Ko'pincha bunday antennalarni (ground plane) yerga o'tkazuvchisi, tekis yoki egilgan metall plastinka ko'rinishida tayyorlanadi, ular antenna gorizontidan pastda joylashgan, yer yoki suv yuzasidan qaytgan signallarni to'suvchi rolini o'ynaydi. To'suvchini o'lchamlari ko'p hollarda, antenaning o'zining o'lchamlaridan ham oshadi. Mikrotasmali antennalar, o'ng tomonli qutblangan barcha yo'nalishli signallarni qabul qiluvchi, yo'nalish diagrammasiga ega, bu o'z navbatida, signallarni ko'pyo'lligiga qo'shimcha qarshi kurashish vositasi hisoblanadi, chunki SRNS signallarni aks ettirishda, ularning qutblanishi o'zgaradi.



13.2-rasm. Antennalar:

a) mikrotasmali; b) vintli (gelikalli); d) o‘ng tomonli va chap tomonli qutblangan vintli antennalar

Mikrotasmali antennalarning eng ko‘p tarqalganlaridan biri *choke ring* - “bo‘g‘uvchi halqa” hisoblanadi (13.3-rasm). Bunday antennalar ayniqsa, signallarni ko‘pyo‘lliligi bilan kurashishda juda samaralidir.



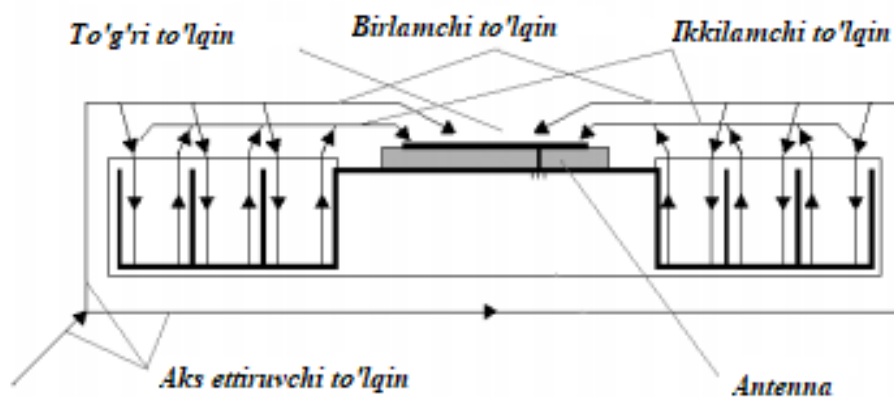
13.3-rasm. *choke ring* turidagi Dorne Margolin Model T (AOAD/M-T antenasi).

(http://www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_00/rao_microstrip/)

Halqali antenaning yerga o‘tkazuvchisini tekisligi antenna markazi atrofida doirali asosda joylashgan, bir nechta yupqa konsentrik devordan yoki g‘ildiraklardan iborat. Halqalar orasidagi bo‘shliq “halqali novni” hosil qiladi. Antennaning yerga o‘tkazuvchini tekisligini ishlash prinsipi quyidagilardan iborat (13.4-rasm). Antenna tomonidan qabul qilinadigan signal ikkita: *to‘g‘ri va aks ettirilgan*

tuzuvchidan iborat. Novlar to'g'ri signallarga, kichik balandliklarda signalning kuchaytirishni, ayrim kamaytirishlarini nazarga olmaganida, ta'sir ko'rsatmaydi; katta balandliklar uchun esa, yerga o'tkazuvchi tekislik, tekis ekranli tekislik kabi ishlaydi. Ammo, novlar pastdan kelayotgan, aks ettirilgan signallarga katta ta'sir ko'rsatadi. Aks ettirilgan signallarning antenna yerga o'tkazuvchi tekisligi atrofidagi elektromagnit maydonini, birinchi va ikkinchi to'lqin maydonlari yig'indisidek ko'rish mumkin.

Antenna yerga o'tkazuvchisi tekisligini vazifasi birlamchi va ikkilamchi aks ettirilgan signallarni so'ndirishdan iborat, ushbu vaqtda to'g'ri signal antenna uchun, dominant signal bo'lib qoladi. Agar birlamchi va ikkilamchi signallarning amplitudalari bir xil bo'lsa, ularning fazalari esa, 180^0 ga farq qilsa, unda ikkitadan iborat, aks ettirilgan signallar antennadan chiqishda so'ndiriladi va ko'pyo'llilik bo'g'iladi. Shunday qilib, ushbu halqali antenna faqat, rezonans rejimga ega, alohida chastotalarga optimal ta'sir ko'rsatadi.



13.4-rasm. choke ring halqali so'ndiruvchi antennalarni ishlash sxemasi.

(<http://www.javad.com/jns/gpstutorial/jpstutorial.pdf>)

Ko'pyo'llilikni maksimal bo'g'ish zenitga yaqin balandliklarda, minimumi esa – gorizont yaqinida. *choke ring* antennalari, odatda bir chastotaga loyihalanadi. Agar antenna, $L1$ quyi diapazoni uchun loyihalangan bo'lsa, unda u $L2$ quyi diapazoniga ta'sir ko'rsatmaydi, teskarisi, agar antenna $L2$ quyi diapazoni uchun loyihalangan bo'lsa, u $L1$ uchun kam foyda ko'rsatadi. Oxirgi vaqtlarda, *choke ring* ning ikki

chastotalisi paydo bo'ldi, ular L_1 va L_2 chastotalar uchun, alohida optimallashtirish imkonini beradi.

Vintli spiral antennalar – vintli (gelikalli), bifilyarli, kvadrifilyarli va boshqa turli ko'rinishli antennalarda to'suvchilardan foydalanilmaydi (13.2,b,d-rasmlarga qarang). Vintli antennalar, umumiy o'qqa ortogonal oriyentirlangan, ikkita bifilyar spiral ilgakdan iborat. U ham, oldingi antennalardek, barcha yo'nalishli diagrammaga ega va o'ng tomonli qutblangan signallarni qabul qilish uchun mo'ljallangan. Bunday turdagi antennalar, garchi, ular uchun ko'pyo'llilikning ta'siri katta bo'lsa ham, kichik va o'rta balandliklarda signallarni kuchaytirish katta koeffitsiyentiga ega bo'ladi.

GPS antennalari, odatda mumkin bo'lgan shikastlanishlardan, radioshaffof plastmassadan plastik qobiq (gumbaz) bilan himoyalangan, u minimal ravishda signallarni kuchsizlantiradi. Bu signallar juda kuchsizdir; ular *TV* yo'ldoshlar geostatsionari signallari kuchiga, taxminan, tengdir. *GPS* priyomnikka, nima sababdan televizion tarelka o'lchamlaridek, antenna kerak emasligi, *GPS* signallari strukturasida va priyomnikning uni toraytirish qobiliyatida yashiringan. *GPS* signalini efirning umumiy fonli shovqinidan ajratib olish, antennada emas, priyomnikda joylashtirilgan. Shunga qaramasdan, antenna umuman, kam shovqinli oldindan kuchaytirgich bilan birlashtirilishi kerak, u signal darajasini, uni priyomnikka yo'naltirishdan oldin, oshiradi.

GPS signallari, priyomnikning ichida ko'plab, qurilmalar orqali o'tganida, so'nishlarga duchor bo'ladi. Ayrim antenna va priyomniklarning kombinatsiyalari, yog'och bino ichidan, avtomobil asbob shitidan, samolyotning chuqurlashtirilgan oynasidan qabul qilingan, signallar bilan ishlaganda, yetarli darajada sezgirdir, ammo osmonning to'liq ko'rinishli joyiga antennalarni o'rnatish, har doim tavsiya etiladi. Hatto ochiq havoda zich barglar, ayniqsa, u nam bo'lganida, *GPS* signallarini shunchalik kuchsizlantirishi mumkinki, antenna va priyomniklarning ko'plab kombinatsiyalari kuzatishlarda qiyinchiliklarga ega bo'ladi.

Bitta antenna bilan ikki va undan ko'p priyomniklarga, agar tok ayirgichdan foydalanilsa, xizmat ko'rsatish mumkin. Tok ayirgich, doimiy tokni oldindan kuchaytirgichga, bitta priyomnikdan o'tkazishi va priyomnik portlari orasida izolyatsiya aniq darajasini, ular orasida

hech qanday o‘zaro halaqit berishlar bo‘lmasligi uchun, ta’minlashi kerak bo‘ladi.

Uzatish chizig’i. Antenna bilan qabul qilingan signallar, priyomnikka koaksikalli uzatish chizigi (kabel bilan) bo‘yicha kelib tushadi. O‘tish vaqtida signallar kuchsizlanadi, kuchsizlanish darajasi (ichki yo‘qotish) foydalanilayotgan kabelning turiga va uzunligiga bog‘liqdir. Uzun uzatish chiziqlari uchun, kam yo‘qotishli kabellar kerak bo‘ladi, aks holda, antenna va kabel orasiga qo‘shimcha kam shovqinli oldindan kuchaytirgich qo‘yish kerak.

Signallar antennadan priyomnikka o‘tishida, katta bo‘lmagan kechikishlarni sinab ko‘radi. Ammo, bu kechikishlar, turli yo‘ldoshlardan bir vaqtda qabul qilingan, signallar uchun bir xil hisoblanadi va shuningdek, u priyomnik soatlari shkalalari qo‘shimcha siljishlaridek harakat qiladi [120, 152].

13.1.1. Radiochastotali blok

GPS / GLONASS priyomniklarida radiochastotali blokning ishlashi, oraliq chastota (*OCH*) deb nomlanadigan, juda past chastotalarda, antennaga keladigan, radiochastotalarni (*RCH*) o‘tkazishdan iborat, u boshqa priyomnik bloklarida yengil boshqariladi. Radiochastotali blokning asosiy elementlari: tayanch chastotalar generatori, juda yuqori chastotalarni olish uchun ko‘paytirgichlar, keraksiz chastotalarni va mikserlarni bo‘g‘ish uchun filtrlar hisoblanadi.

Oraliq chastota, toza sinusoidal signal bilan, kirish signali mikserda ko‘paytirish yo‘li bilan hosil qilinadi. Ko‘pchilik yo‘ldoshli priyomniklarda, elektron soatlar boshqaruvi rolini bajaruvchi, aniq kvarsli generatorlardan foydalaniladi. Ayrim priyomniklarda, lokal generator o‘rniga boshqa generatorlardan, atomli standart chastotalardek (rubidiy juftligida, seziyli nurda yoki vodorodli mazerda) foydalaniladi.

Mikserda, f_1, f_2 turli chastotali va a_1, a_2 amplitudali y_1, y_2 ikkita qabul qilinuvchi, tebranishlarni ko‘paytirishlar olib boriladi. Bu qisqartirilgan ko‘rinishda quyidagini beradi:

$$y = y_1 y_2 = a_1 \cos(f_1 t) a_2 \cos(f_2 t) = \frac{a_1 a_2}{2} [\cos(f_1 - f_2)t + \cos(f_1 + f_2)t]. \quad (13.1)$$

Natijada $f_1 - f_2$ past chastotali va $f_1 + f_2$ yuqori chastotali tuzuvchilardan, y murakkab tebranish hosil qilinadi. Past chastotali filtrdan o'tganidan keyin, yuqori chastotali tuzuvchi bo'g'iladi. Past chastotali qolgan signal qayta ishlanadi. $f_1 - f_2$ chastotalar farqi, *chastotalar urishi* yoki *oraliq chastota (OCH)* deyiladi. Bu yuqori chastotali signalga qaraganda, yengil qayta ishlanadi. Oraliq chastotali signallar, signal uzatilishida qatnashuvchi, barcha modulyatsiyalardan iborat bo'lib, faqatgina tashuvchi chastota o'zgaradi. Ko'pchilik priyomniklar, qadam bo'yicha tashuvchi chastotani pasaytirib, bir nechta bosqichlardan foydalanadi. Oraliq chastotaning so'nggi signali, signal-larni kuzatish tizimlarida, priyomnikning ishchi chastotasi bo'ladi.

13.1.2. Yo'ldoshli texnologiyalarda vaqtni saqlash

Yo'ldoshli dalnomerli o'lchashlarda vaqt ikkilamchi rolni bajarishi mumkin: bir tomondan, kuzatishlarni yagona vaqt shkalasiga bog'lash ta'minlanishi kerak, boshqa tomondan, masofani o'tishi uchun signalga kerak bo'lgan, vaqt oralig'ini o'lchash kerak bo'ladi. Birinchi holatda, absolut bog'lash ta'minlanadi. Uning aniqligi masofani o'lchash aniqligiga va kosmik obyektning harakat tezligiga mos kelishi kerak, ya'ni quyidagi nisbat bajarilishi kerak:

$$m_t \cdot v \approx m_p, \quad (13.2)$$

bu yerda: m_t – kuzatishlar vaqtini qayd qilish xatoligi; v – yo'ldosh-ning harakat tezligi; m_p – masofani o'lchash xatoligi. $v = 5$ km/s va $m_p = 1$ mm bo'lganida, vaqtning kerakli qayd qilish aniqligi $m_t = 0,2$ mks. Xuddi shunday, xatolik bir tomonlama masofani o'lchashdagi, vaqtinchalik kechikishlarni o'lchashda, masofani 60 metr xatolikka olib keladi. Demak, bu holatda, yana juda yuqori aniqlik kerak ekan.

Vaqt shkalasi, chastotalarni aniqlovchi (bu yulduz vaqti holatidagi Yerning aylanishi yoki atom vaqti holatidagi atomlarni tebranishi yoki kvars soatlari holatidagi kristall bo'lsin), element asosiy tebranishlar davridan aniqlanadi, u vaqt shkalasi boshlanishi bilan o'lchanadi, u erkin yoki xalqaro kelishuvlarga mos ravishda aniqlanishi mumkin. Har qaysi soat, o'zining shaxsiy vaqt shkalasini ushlab turadi, ammo bir yo'nalishli (so'rovsiz) masofalarni o'lchashda, Yerdagi va

yoʻldoshlardagi soatlarni nanosekund aniqligi darajasida sinxronlashtirishi kerak boʻladi.

Soatlar “xatosini” “absolut” qiymatini koʻrsatish uchun, “mutlaq” yoki “haqiqiy” vaqt tushunchasini kiritish kerak. Bu yerdan, soatlar xatosini “oʻlchashni”, vaqt shkalasida sodir etilgan, lahzalik “koʻchish” (siljish)dek aniqlash mumkin.

Barcha zamonaviy yuqori aniqlikdagi soatlar qaysidir koʻrinishdagi *standart chastotalar* yoki *generatorlarni* qoʻllaydi. Masofani aniq oʻlchash tizimlarida, ular ikkita klassdan biriga kiradi:

- “atom soatlari” deb ataladigan, bular, seziy nuri trubkasidek, rubidiy juftligi yacheykasi yoki vodorod mazeridagi generatorlar;
- kvars kristallaridagi har xil turdagi generatorlar.

Vaqt intervallari, standart chastotalar sikllari hisoblagichlari bilan, koʻproq aniq aniqlanadi. (Masalan, hozir atom sekundi 9192631770 seziy atomi asosiy rezonansi sikllaridek aniqlanadi). Demak, chastota va xatolari bilan generator fazasi chiqishi orasidagi nisbatni oʻrnatish yetarlidir, vaqt shkalasi ham, bevosita ushbu nisbatdan olinishi mumkin. Chastota sikllari hisoblagichi boʻyicha i sanoqlarni quyidagicha taqdim etish mumkin:

$$\phi(t_i) - \phi(t_{0i}) = f \cdot (t_i - t_{0i}). \quad (13.3)$$

Fazali siklning toʻlqin uzunligi $\lambda = c / f_i$ ga teng, bu yerda: c – elektromagnit nurlanish tezligi (vakuumdagi 299792458 m/s). Vaqt intervalida, fazani qayta hosil qilish uchun, mos keluvchi koʻpaytmani qoʻyib va sikllarni hisoblash erkin tayanch davrida vaqt shkalasining boshlanishini aniqlab, “soat boʻyicha sanoq” uchun quyidagi ifodani topamiz:

$$t_i(t) - t_{0i} = \frac{1}{f_0} \int_{t_0}^t f_i(t) dt, \quad (13.4)$$

bu yerda: t_0 – tayanch (boshlangʻich) davr; t_{0i} – tayanch davrga soat boʻyicha sanoq; $f_i(t)$ – generatorning chastotasi; f_0 – generatorning nominal chastotasi.

Generatorning chastotasi uchun, qoʻllaniladigan model, odatda quyidagi koʻrinishga ega:

$$f_i(t) = f_0 \Delta f + \dot{f} (t - t_0) + f_r(t), \quad (13.5)$$

bu yerda: Δf – chastota bo'yicha siljish; $\dot{f}$ – chastotalar dreyfi; $f_r(t)$ – chastotaning modellashtirilmaydigan tasodifiy xatolari.

(13.5) modelni (13.4) tenglamaga qo'ysak, quyidagini beradi:

$$t_i(t) = t_{0i} + (t - t_0) + \frac{\Delta f}{f_0}(t - t_0) + \frac{\dot{f}}{2f_0}(t - t_0)^2 + \frac{1}{f_0} \int_{t_0}^t f_i(t) dt. \quad (13.6)$$

t dan vaqtinchalik ko'p a'zolikdek, i generatorning soat xatoligini taqdim etishdagi a'zolari qayta guruhlagandan keyin

$$\varepsilon_i(t) = t_i - t = a_0 + a_1(t - t_0) + \frac{a_2}{2}(t - t_0)^2 + \frac{\dot{f}}{2f_0}(t - t_0)^2 + \int_{t_0}^t y(t) dt, \quad (13.7)$$

bu yerda: a_0 – soatlar siljishi; a_1 – soatlar dreyfi (soatlar yurishi); a_2 – soatlar dreyfi (yurishi) tezligi; $\int_{t_0}^t y(t) dt$ – chastotalar to'plangan (birlashtirilgan) tasodifiy kasr xatoligi.

Fazaga (sikllarda) xatoliklarning ta'siri (13.7) quyidagicha ifodalanadi:

$$\phi_\varepsilon(t) = f_0 \varepsilon_i(t). \quad (13.8)$$

Soatlar xatoligi ta'siri, faza orqali (13.8) yoki vaqt orqali (13.7) yoki chastotaning nobarqarorligi orqali (13.5), ikkita turli komponentlardan iborat:

- *tizimli (deterministik) qism*, uni oldindan aniqlash (aytish) mumkin. Bu (13.5) va (13.7) tenglamalardagi ko'p a'zoliklarning yaqqol qismidir;
- *tasodifiy qism*, bu shunchalik ahamiyatga egaki, uni inobatga olmaslikning iloji yo'q.

Tasodifiy xatoliklar manbalariga tegishli, (13.5) tenglamadagi $f_r(t)$ komponent, *tasodifiy kasr chastota og'ishi*, (13.7) tenglamadagi $\int_{t_0}^t y(t) dt$ a'zo, *chastotaning integrallangan tasodifiy kasr xatoligi* deyiladi. Chastotaning to'liq kasr og'ishi (tizimli+tasodifiy) yoki faqat tasodifiy qismi tahlil qilinishi mumkin. Standart yondashuv, odatiy interval variatsiya (dispersiyasi)ni baholashdan iborat. Chastota impulslerini sonini yoki qaysidir intervalda vaqt momentlari farqini o'lchash mumkin bo'lsa, unda kasr chastotasi og'ishi o'rtacha qiymatini aniqlash mumkin:

$$Y_k = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_k + \tau} y(t) dt = \frac{[\Phi(t_k + \tau) - \Phi(t_k)]}{2\pi f_0 \tau}, \quad (13.9)$$

bu yerda: $t_{k+1} = t_k + T$, $k = 0, 1, 2, \dots, T$ τ davomiyligini o'lchash uchun, intervallarni takrorlanishi hisoblanadi, t esa erkin tanlanadi.

Endi, $y(t)$ odatiy o'lchash uchun variatsiyani shakllantirib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\langle \sigma_{y^2}(N, T, \tau) \rangle = \left\langle \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N [y_n - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_k]^2 \right\rangle, \quad (13.10)$$

bu yerda: $\langle \dots \rangle$ cheksiz vaqtdagi o'rtacha qiymatni bildiradi. N – qo'shilishda qatnashuvchi namunalar soni yoki generatorlarning modellari.

Xususiy chora o'zgaruvchanligi quyidagicha tanlanadi, $N = 2$, $T = \tau$. Bu Allan variatsiyasi (yoki dispersiyasi) deb ataladi:

$$\sigma_y^2(\tau) = E\{\sigma_y^2(N = 2, T = \tau, \tau)\} = E\left\{\frac{(y_{k+1} - y_k)^2}{2}\right\}. \quad (13.11)$$

Ikkita modellar uchun, bu kasr chastotasi o'zgaruvchanligi xatoligi chastotani barqarorlashtirish standart chorasi hisoblanadi. Uning asosiy muhim ustunliklaridan biri – oddiyligidir: u faqat, τ ning funksiyasidir va barqarorlashtirish grafiqi ko'rinishida berilishi mumkin (13.5-rasm [143] dan olingan). $y(t)$ uchun birlik o'lchamga ega emas. 10^{10} va 10^{12} ning bir qismini tashkil etuvchi, kvars kristalli va rubidiyli generatorning chiziqli dreyfi chiqarib tashlanadi.

Soatlarning barqarorligi, alohida soatlarning tekshirishlar orasidagi vaqt intervallari funksiyasidek aniqlanadi. Interval boshlanishida soatlar “haqiqiy” vaqt shkalasi bilan sinxronlashtirilgan (yoki taqqoslash qilingan) deb taxmin qilsak, unda qiymat, aniq vaqt intervalidan (o'rtacha) qaysidir soatga “og'gan”dan keyin, Allan $\sigma_y(\tau)\tau$ o'rta kvadratik dispersiyasi beriladi:

$$\sigma_x(\tau) = \tau \cdot \sigma_y(\tau). \quad (13.12)$$

Masalan, kvars generatorlar, agar vaqt intervallari, taxminan, 5 s dan kam bo'lganida, xuddi vodorod mazerlari singari juda aniqdir. Qisqa a'zolarida, 104 s gacha, seziy standartlari boshqa standart chastotalarga qaraganda, juda ham yomondir. Ammo, o'rta va uzoq muddatlarda, ularning ishlashi, vodorod mazyerdan tashqari, barchasini ortta qoldiradi. 13.5-rasmdagi generatorlarning ishlashi uchta rejimda tavsiflanishi mumkin:

1. Qisqa muddatli, vaqt intervali oshishi bilan Allan dispersiyasi quyidagi nisbatga mos ravishda kamayadi:

$$\sigma_y(\tau) = K_1 \cdot \tau \alpha_1, \quad (13.13)$$

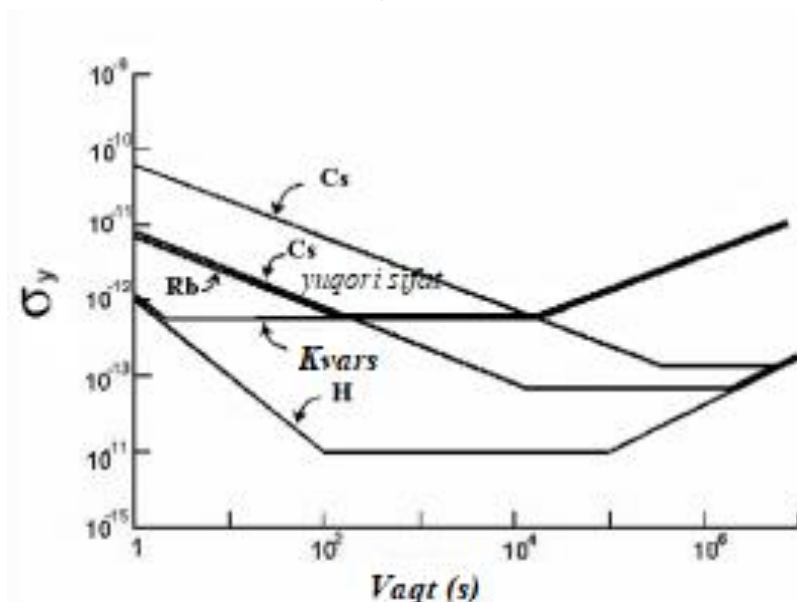
bu yerda: α_1 ijobiy (vodorod mazer yoki kvarsli soatlar uchun 1 ga teng, seziyli va rubidiyli soatlar uchun 0.5 ga teng).

2. O'rta muddatli, unda Allan dispersiyasi doimiy:

$$\sigma_y(\tau) = \sigma_{yF} = \text{cons.} \quad (13.14)$$

3. Uzoq muddatli, bunda vaqt intervali ortishi bilan Allan dispersiyasi ham ortadi:

$$\sigma_y(\tau) = K_2 \cdot \tau^{-0.5}. \quad (13.15)$$



13.5-rasm. Odatiy generatorlar uchun Allan dispersiyasidan kvadrat ildiz (kvarsli va rubidiyli generatorlar uchun chiziqli trend chiqarib tashlangandan so'ng) [143]

K_1 , σ_{yF} va K_2 taqdim etilgan qiymatlari 13.1-jadvalda berilgan.

13.1-jadval

Tijorat generatorlarining ishlashi haqida odatiy ma'lumotlar

	K_1	σ_{yF}	K_2	Dreyf (tez/s)
H (faol)	$1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-14}$	$3 \cdot 10^{-17} \sqrt{s^{-1}}$	10^{-15}
Cs	$5 \cdot 10^{-11} \sqrt{s}$ $7 \cdot 10^{-12} \sqrt{s}$	$1 \cdot 10^{-13}$ $5 \cdot 10^{-14}$	$3 \cdot 10^{-17} \sqrt{s^{-1}}$ $3 \cdot 10^{-17} \sqrt{s^{-1}}$	10^{-15} $10^{-15} - 10^{-14}$
Rb	$5 \cdot 10^{-12} \sqrt{s}$	$5 \cdot 10^{-13}$	$3 \cdot 10^{-15} \sqrt{s^{-1}}$	10^{-12}
K var s	$1 \cdot 10^{-12} s$	$5 \cdot 10^{-13}$	$3 \cdot 10^{-15} \sqrt{s^{-1}}$	10^{-10}

Allan dispersiyasi (yoki variatsiyasi) soatlarning ishlash sifati me'yori hisoblanadi. Ammo, u qaysidir generatorlarning fizik modeliga asoslanmagan, balki, real generatorlarning sinash natijalariga ko'ra, barqarorlashtirish jadvallaridan olingan. Jadvalning uzoq muddatli qismi uchun, uzoq vaqtli o'lchashlar kerak bo'ladi, shuningdek, natijalar qisqa va o'rta muddatli qismlar uchun, unchalik ishonchli emas. Ammo, bu *GPS/GLONASS* pozitsionirlash tizimlarida soatlarning ishlashini oldindan aytib berishda qo'llanilishi mumkin (13.2-jadval). Bu turli xil kuzatish parametrlari aspektlarini modellashtirish uchun muhimdir [36].

13.2-jadval

Soatlarning uzoq muddatli nisbiy xatoligi

Soat generatorlarining turlari	Nisbiy xatoligi
Kvarsli qo'l soatlari	10^{-6}
Geodezik <i>GPS</i> priyomnik	$10^{-7} - 10^{-8}$
Termostatirlangan kvars	$10^{-8} - 10^{-9}$
Yo'ldosh soatlari: rubidiyli	$10^{-11} - 10^{-12}$
seziyli	$10^{-11} - 10^{-13}$
Vodorodli mazer	$10^{-15} - 10^{-16}$

13.1.3. Geodezik o'lchashlar uchun yo'ldosh asboblari

GPS priyomniklari ishlab chiqaruvchi firmalar ichida (ular 70 ga yaqin), 10 ta firma geodezik apparatura ishlab chiqaradi, bular: *Allen Osborne Associates, Javad Navigation Systems, Leica Geosystems, NavCom Technology Inc., NovAtel, Septentrio Sokkia, Thales Navigation, Topcon, Trimble Navigation*[93, 94].

Umuman olganda, bu so'nggi ro'yxat emas, masalan, bu yerda Rossiya va Xitoy firmalari kiritilmagan, boshqa tomondan, *GPS* dunyo indust-riyasining dinamik hayoti bilan yashamoqda: firmalar paydo bo'lmoqda va yo'qolmoqda, biri boshqasi bilan yutib yuborilmoqda, sotilmoqda, sotib olinmoqda va boshqalar. Bu yerda biz bozorlarda ommabop bo'lgan apparaturalarga qisqacha tavsiflarni 13.3-jadvalda beramiz.

Trimble Navigation Ltd. kompaniyasi dunyoda *GPS* apparatu-ralarini ishlab chiqaruvchi eng yiriklaridan hisoblanadi. Boshqa ishlab chiqaruvchilarga qaraganda, ustunligi keng diapazonli mahsulotlar hisoblanadi. Kompaniya 1978-yilda Charli Trimble tomonidan tuzilgan

edi. Kompaniya GPS kodlari bo'yicha ishlovchi, *Trimble 4000A* bir chastotali dastlabki, fuqarolik priyomniklarini bozorga olib chiqdi.

13.3- jadval

Bir qator zamonaviy yo'ldoshli geodezik fazali apparaturalarning tavsiflari

Model, ishlab chiqilgan yili	Kanallar soni	Og'irligi (kg)	Plandagi aniqligi	Vaqt (ns)	Pozitsiyani yangilash tezligi (s)	Sovuq start (min)	Issiq start (min)	Signalni ushlash takroriyiligi (s)	Talab etiladigan quvvat (Vt)	Ishchi harorat (C°)
<i>Allen Osborne Associates, Inc.</i>										
<i>SNR – 8000 Turbo Roque, 1992</i>	24/8	4.3	2+2x 10 ⁻⁶ D	100	1	2	1	10	15	-20/+55
<i>Bench Mark, 1997</i>	36/12	0.4	2+2x 10 ⁻⁶ D	100	1	<2	<1	<10	18	-20/+50
<i>Javad Navigation Systems</i>										
<i>Lexon GGD, 2000</i>	20/allin-view	0.68	2+1x 10 ⁻⁶ D	3	0.05	1	0.2	1	3.5	-40/+55
<i>Maxor – GGD, 2001</i>	20/allin-view	1.8	(1+2) +1x 10 ⁻⁶ D	3	0.05	<60	<10	<1	15/3	-40/+55
<i>Prego, 2001</i>	20/allin-view	1.96	2+1x 10 ⁻⁶ D	3	0.05	<1	<0.2	1	6	-10/+55
<i>Leica Geosystems</i>										
<i>SR 510, 1999</i>	12/12	1.25	10+2x 10 ⁻⁶ D	<100	0.1	<3	<0.7	<10	7	-20/+55
<i>SR 530, 1999</i>	24/12	1.15	3+0.5x 10 ⁻⁶ D	<100	0.1	<3	<0.7	<10	7	-20/+55
<i>NovAtel</i>										
<i>Pro – Pak – LB, 2002</i>	11GPS, 2SBAS, 1LBand	1.3	5+1x 10 ⁻⁶ D	20	0.05	0.8	0.7	0,5	3,7	-40/+55
<i>DL4, 2002</i>	24/12	1.3	5+1x 10 ⁻⁶ D	20	0.05	0.8	0.7	0,5	4	-20/+55
<i>Sokkia</i>										
<i>Radian, 1999</i>	12/12	1.22	5+1x 10 ⁻⁶ D	-	10	<1.2	<1.0	3	8.5	-40/+55

<i>Strans</i> , 2001	12/12	0.55	5+1x 10 ⁻⁶ D	-	1	2.0	0.7	3	<1	-40/+65
<i>Thales Navigation/ Professional Products</i>										
<i>GG24</i> <i>GPS + GLO</i> 1996	24/12	1.6	10+1x 10 ⁻⁶ D	300	0.2	0.7	0.5	2	3.2	-30/+55
	<i>GPS</i> , 12 <i>GLO</i> ,									
<i>ProMark –</i> 2, 2001	12/12	0.14	10+ 10 ⁻⁶ D	100	1	1.5	0.25	15	0.33	-10/+60
<i>Z – Xtreme</i> , 1996	24/12	1.7	5+1x 10 ⁻⁶ D		0.1		7	5		-30/+55
<i>Ashtech</i> <i>Z – 12</i>	24/12	3.9	5+1x 10 ⁻⁶ D				7	5	1.8	-40/+55
<i>Z – Max</i> , 2003	24/12	1.37	5	100	0.1	1.7	0.3	2	5	-30/+55
<i>Topcon</i>										
<i>Legacy – E</i> <i>GGD</i> , 2000	40/20	0.68	2+1x 10 ⁻⁶	10	0.05	1	0.2	1	2.1	-40/+60
<i>Hi – Per</i> , 2001	40/20	1.6	(1+2) + 10 ⁻⁶ D	10	0.05	<60	<10	<1	15/3	-40/+55
<i>Odyssey – E</i> <i>GGD</i> , 2001	40/20	1.96	2+1x 10 ⁻⁶	10	0.05	<1	<0.2	1	4.3	-10/+50
<i>Thales Navigation Ltd.</i>										
<i>GPS Total</i> <i>Station</i> 5700, 2001	24/12	3.8	5+1x 10 ⁻⁶ D	100	5	<1	<0.5	<15	2.5	-40/+65
4600LS, 1995	12/123	1.4	(5+10) + 10 ⁻⁶ D	-	1	<1.5	<0.5	<15	<1	-40/+65
<i>GPS 5800</i> , 2002	24/12	1.21	5+1x 10 ⁻⁶ D	100	5	<1	<0.5	<15	<2.5	-40/+65
<i>OAJ" Rossiya radionavigatsiya va vaqt instituti" (RIRV)</i>										
<i>GEO – 161</i> , 2003	16	1.8	(5+10) + 10 ⁻⁶ D		1				<2.5	-30/+65
<i>KB "NAVIS"</i>										
<i>CH – 3601</i>	14 (<i>GLO</i> , <i>GPS</i> , <i>L1</i>)	4.5	2-3 sm		1	3	1,5		7	-20/+55

Izoh:

1. Chet el kompaniyalari to'g'risidagi ma'lumotlar *GPS World* _ jurnalida beriladi [93, 94]. Rossiya ishlab chiqaruvchilari to'g'risidagi ma'lumotlar Internetdan olingan.

2. "Sovuq" startda priyomnikda almanax, yo'ldoshlar efemeridalar, boshlang'ich joylashgan o'rnini koordinatalari yetishmaydi va vaqt noma'lum bo'ladi. "Issiq" startda esa, priyomnikda oxirgi almanax, joriy vaqt va boshlang'ich o'rniga ega, ammo joriy efemerida yo'q.

3. *CH-3601* priyomniklar uchun 3 ustunda priyomnik, akkumulyator, antennalar va kabellarning jamlangan og'irligi keltirilgan.

O'tgan yillar davomida, priyomnik korpusi kichiklashtirildi, *Trimble* barcha priyomniklari ajralib turuvchi, konfiguratsiyali "sariq yashiklarda" chiqarilmoqda. So'nggi modellarida "yashiklar" o'rniga boshqa formalari ham paydo bo'lmoqda.

Trimble kompaniyasi turli xil maqsadlar uchun, yo'ldoshli apparaturalarni ishlab chiqarmoqda, bularga topografik syomka, yuqori aniqlikdagi geodezik to'rlar, dengiz, havo va yer usti navigatsiyalari, mexanizmlarni nazorat va mashinalarni boshqarish, aniq vaqtni uzatish, saqlash va boshqalarni misol qilib ko'rsatish mumkin. Bu apparaturalar ilmiy izlanishlar uchun, qishloq xo'jaligida, transportda, qurilishda, GATni yaratish uchun va boshqalarda qo'llaniladi. So'nggi o'n yilliklarda bir chastotali 4000LS priyomnigi va ikki chastotali 5700 priyomniklari geodeziyada juda ommalashib ketdi.

Ikki chastotali, fazali va kodli *Trimble* priyomniklarining so'nggi avlodlari birinchi *Trimble MS750* priyomniklarida qo'llanilgan texnologiyaga asoslangan. Xuddi shunga o'xshash konfiguratsiya, mexanizmlarni nazorat va mashinalarni boshqarish uchun, mo'ljallangan *Trimble MS750* priyomnigida qo'llanilgan.

Navbatdagi ikkita geodezik *GPS* priyomniklar – bu *Trimble Total Station 4700* (13.6-rasm) va *Trimble Total Station 4800* lardir. Ulardan ikkinchisi integrallashgan asbobli hisoblanadi, unda barcha komponentlar (antenna, priyomnikni o'zi va *UHF* radioaloqa) bitta korpusga birlashtirilgan. Priyomnik shtangaga o'rnatiladi, uning asosiga akkumulyator joylashtiriladi. *Trimble Geomatics Office* dasturlash ta'minoti keng qamrovli dastur hisoblanadi.



13.6-rasm. *Trimble 4700* priyomnigi (<http://www.trimble.com>)

Trimble kompaniyasi GAT ilovalarini qo'llashi uchun, bir qator kuchli mahsulotlarga ega. Bunday darajadagi apparaturalarni boshlanishi *Trimble GeoExplorer II* priyomnigi edi (13.7,a-rasm). *Trimble Pathfinder Pro* bu qatorning eng yuqorisi hisoblanadi (13.7,b-rasm). U bilan foydalaniladigan dastur *Pfinder Office* dek, ma'lum.



a)



b)

13.7-rasm. *Trimble Navigation* firmasining apparaturalari:

a) *Trimble GeoExplorer* priyomniklari; **b)** *Trimble Pathfinder Pro* to'plami.

Trimble Navigation 2002-yilda *Trimble 5800* priyomnigini ishlab chiqdi (13.8-rasm). Vazifasi: yuqori unumdorli birlashtirilgan qurilmali GPS priyomnik. Kabellarning yo'qligi dalada ishlash uchun qulaylik yaratadi. Ikki chastotali priyomnik, antennani, radiomodemni va

iste'mol manbayini bitta blokka birlashtiradi, u qo'lga joylashadi va uning vazni 1,2 kg ni tashkil etadi. ACU nazoratchisi bilan birga ishlashi uchun loyihalashtirilgan, u bilan *Bluetooth™* kabelsiz radioaloqa orqali bog'lanadi. Priyomnik kichik ichki batareya, u to'liq ish kuniga yetadi, ACU rangli ekranli (128 Mb xotira) nazoratchi, shtanga va ushlagich bilan birgalikda 3.57 kg ni tashkil etadi.



13.8-rasm. Trimble 5800priyomnigi (<http://www.trimble.com>).

Priyomnikda GPS industriyasi sohasidagi Trimble ning ko'p yillik tajribalari ishlatilgan – bu 24 kanalli ikki chastotali GPS / WAAS / EGNOS priyomnidir, Maxwell texnologiyasi 4 chiplarda yaratilgan, 2,5 W quvvatni iste'mol qilgan holda, og'ir atrof-muhit sharoitida ham ishonchli kuzatishni ta'minlaydi. To'rt qutbli iste'mol tizimli, ikki chastotali antenna fazali markazni submillimetr aniqlikdagi barqarorligini ta'minlaydi.

“Baza – rover” liniyasi bo'yicha aloqa uchun, 450 yoki 900 MGs chastotalarga o'rnatilgan radio, tashqi radio, uyali telefon yoki simsiz berilgan paket ma'lumotlaridan foydalanadi. 5800 priyomnigi kengroq qamrab olish va xatolarni har tomonlama nazorat qilish uchun, bitta va ushbu kanalda uzatuvchi ko'plab bazali stansiyalar bilan ishlaydi. Soha bo'yicha yanada kengroq qamrab olish va yuqori aniqlik uchun 5800 priyomnigi Trimble VRS virtual stansiyasi to'rlari bilan ham ishlaydi. O'rnatilgan Bluetooth aloqa moslamasi shtangaga to'liq kabelsiz ishlash

imkoniyatini beradi. Differensial tuzatmali WAAS va EGNOS signallarini qabul qilish imkoniyatiga ham ega.

5800 tizimi keng doirada qo'llanilishi bilan ideal hisoblanadi, shu jumladan, geodezik to'rlar, qurilish, mulkni boshqarishdek, yo'nalishlar ham qiradi (<http://www.trimble.com>).

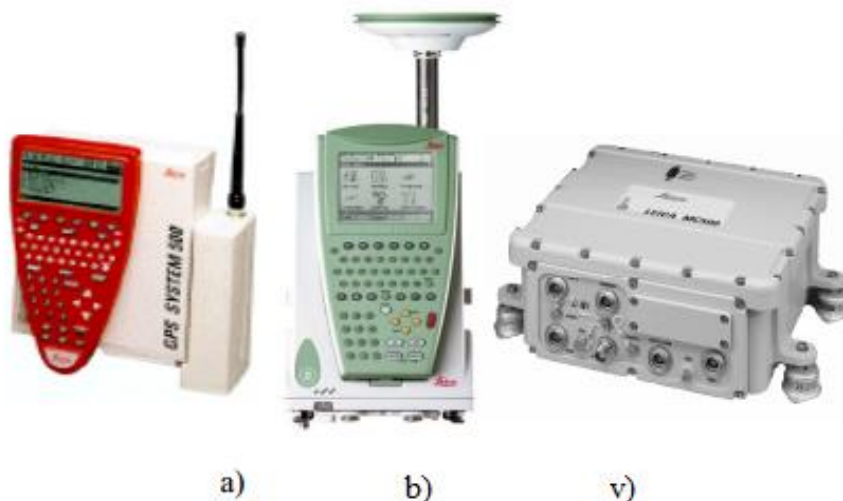
Leica Geosystems- mashhur kompaniyaning zamonaviy nomlanishi, u 1920-yillardan optik geodezik asboblarga ixtisoslashirilgan. Kompaniyaning boshlang'ich nomi – *WILD*, shtab-kvartirasi Shveysariyaning *Heerbrugg* shahrida joylashgan.

Leica / WILD kompaniyasi *GPS* apparaturalarini ishlab chiqarishga, 1980-yillarning oxirlarida *Magnavox Corporation* korporatsiyasi bilan birgalikda, *WILD WM101* (va ikki chastotali *WM102*) priyomnigini tayyorlagandan so'ng kirishdi. Dasturiy ta'minoti *PoPS* dek ma'lum edi. *Magnavox* korporatsiyasi AQSH Kaliforniya shtatining *Torrance* shahrida joylashgan elektron kompaniya va *GPS* texnologiyalarining *GPS* “qaldirg'ochlaridan” edi. 1990-yillarning boshlarida *Magnavox* kompaniyasi sotuvga qo'yilgan va fuqarolik *GPS* aktivlari *Leica* kompaniyasi tomonidan sotib olingan edi. *Magnavox* korporatsiyasiga boshidan qaraydigan, aniq navigatsiya *GPS* mahsulotlari marketingi va yaratishni qo'llab-quvvatlashdan tashqari, *Leica* kompaniyasi geodezik apparatura bozoriga kuchini yo'naltirdi, bu yerdagi uning juda kuchli ishtiroki, sifatli muhandislik ishlari va xizmat ko'rsatish uchun apparaturalari ishlab chiqarishdagi yuqori obro'si ham yordam berdi.

Birinchi geodezik asboblari, *Leica System200* va *Leica System300*, priyomniklari edi. *Leica* 1998-yilda *System500*ni ishlab chiqardi. Dasturiy ta'minoti ma'lumotlarni qayta ishlash uchun *SKI* dek (oxirgi versiyasi *SKI – Pro*) ma'lum.

System500 priyomnigining “oilalari” va bir necha turli xil modellari bor, xuddi shulardan *SR510*, *SR520* va *SR530* (13.9, a-rasm).

1999-yilda GAT syomkalari uchun atribut ma'lumotlarni kiritish imkoniga ega *GS50* modeli optimallashtirilgan edi. U *TR500*ga o'xshash nazoratchidan, ammo *GPS / GIS* ma'lumotlari bilan ishlashi uchun, maxsus dasturiy ta'minot bilan jihozlangan.



13.9-rasm. Leica Geosystems kompaniyasining priyomniklari:

a) SR520; b) GPS1200; d) MC500
[\(<http://www.leika-geosystems.com>\)](http://www.leika-geosystems.com)

Leica mashina va mexanizmlarni boshqarish va nazorat, aniq navigatsiya bozoriga chiqish uchun MC500 (13.9,d-rasm) va MC1000 (MS-“mashina nazorati”) ni ham ishlab chiqardi. Ularning mustahkam korpusi og‘ir mashinalarda qo‘llash imkonini beradi. Bunday asboblarning inshootlar qurilishida yangi qo‘llanilishlar uchun, qishloq xo‘jaligida aniq ishlar, ochiq karyerlar va qirgimlarda va avtomatlashtirilgan jarayonli sohalarda qo‘llash uchun mo‘ljallangan.

MC1000 priyomnigining GPS1000(“continuousreferencestation”-to‘xtovsiz ishlovchi tayanch stansiya) nomi bilan mashhur varianti ham chiqarildi.

Leica Geosystems kompaniyasi 2004-yilda standartlashtirilgan operatsiya va konsepsiyali *Leica System1200* nomlanishi ostida, universal geodezik tizimni ishlab chiqdi. Bu universal tizim yo‘ldoshli GPS texnologiyalari kuchlarini, TPS avtomatik taximetriya va kuchli dasturiy ta‘minot bilan birlashtiradi. *Leica System1200* geodezik tizimi uchta yangidan qayta ishlangan va asosiy modullardan to‘lig‘icha muvofiqlashtirilgan: *Leica GPS 1200* priyomniklar oilalari (13.9,b-rasm), *Leica TPS 1200* seriyasidagi *Total Stations* stansiyalari va *Leica Geo Office* dasturiy ta‘minotli *Leica System1200* umumiy ma‘lumotlar bazalaridan iborat.

Tizimda ma'lumotlar va apparaturalarni boshqaruvida bir xil konsepsiya ishlatilgan. Ma'lumotlar almashinuvini tez va qulay imkoniyati, birlashtirilgan aksessuarlarning (kabellar, iste'mol bloklari, nazoratchilar va boshqalar) mavjudligi uskuna narxlarini arzonlashtirishga olib keladi.

Leica GPS 1200 ning yangi seriyadagi priyomniklari *GPS* dan foydalanib, geodezik o'lchashlar uchun, yangi standartlarni o'rnatadi.

Leica GPS 1200 priyomniklari *GPS* ni turli xil qo'llash usullarida kerakli ijro va moslashuvchanlikni ta'minlaydi. Apparaturning mustahkam korpusi magniy qotishmasi bilan qoplanganligi: yuqori haroratlarga va sovuq havo sharoitlariga hamda favqulodda sharoitlarda transportda olib yurishlarga ham chidamli bo'lib hisoblanadi.

Plan olishning yangi texnologiyasi real vaqtda yo'ldosh signallarini tez tutishni, kichik balandliklarda kuzatishlarni, ko'pyo'llilikni bo'g'ishni, shovqinlardan himoyani ta'minlaydi, shuningdek, joylashgan o'rnini yangilash (sekundiga 20 martagacha)ni ta'minlaydi. Apparatura yuqori aniqlikdagi kinematik o'lchashlarni, katta masofalarda (30 km va ko'p) 99,99% ishonchlilik bilan olib borish imkonini beradi.

SmartTrack texnologiyasining sharofati bilan o'lchashlarni daraxtlarning ostida va signallarni interferensiyasida ham o'tkazish mumkin.

SmartTrack texnologiyasi kelajakda, yangi signalli yo'ldoshlar paydo bo'lishiga ham yangilanish imkoniyati hisoblangan.

GPS 1200 seriyasidagi to'rtta turli xil priyomniklarni tanlash imkoniyati mavjud: *Leica GX 1230*, *Leica GX1220*, *Leica GRX1210* va *Leica GRX 1200Pro*.

Geodezik *GPS* o'lchashlar uchun, *Ashtech* va *Thales Navigation* kompaniyalari apparaturalari. *Ashtech* kompaniyasi o'zining faoliyatini Djavad Ashdjai (*Javad Ashjaee*) rahbarligida 1980-yillarning oxirlarida (bungacha u *Trimble* kompaniyasida yetakchi muhandis edi) boshlagan edi. 1997-yilda kompaniya (Djavad Ashdjai tomonidan boshqarilmagan) arzon qo'l *GPS* priyomniklari ishlab chiqaruvchi, *Magellan* korporatsiyasi tomonidan sotib olingan edi. *Magellan–Ashtech* mahsulotlari barcha foydalanuvchilar bozorlarini qamrab oldi va *Trimble Navigation* kompaniyalari mahsulotlari bilan ham raqobatbardosh kompaniyaga aylandi. (Keyinchalik Djavad Ashdjai

Javad Positioning Systems deb nomlanuvchi, boshqa GPS kompaniyasiga asos soldi.)

2001-yilda *Thales Navigation* (AQSH, Fransiya) *Ashtech* va *Magellanni* sotib oldi, navigatsiya va yo‘ldoshli apparaturalarni ishlab chiqarishni davom ettirdi.

Thales Navigation GPS va GPS + GLONASS™ apparaturalarini hamda yer usti va dengiz syomkalarida, qurilishda, GAT uchun ma’lumotlar to‘plashda, mashina va mexanizmlar nazoratida, muhandislik geodeziyasida, meteorologiyada, o‘rmonlarni inventarizatsiya qilishda, aviatsiyada, transportda, mulkni boshqarishda va boshqa yuqori aniqlikda qo‘llaniladigan, OEM modullar uchun chiplar ishlab chiqaradi.

Ashtech garchi, arzon navigatsiya priyomniklarini (plata to‘plamini ham qo‘shganda) ishlab chiqsada, u yuqori aniq geodeziya uchun apparaturalarni ishlab chiqaruvchi sifatida ham, mashhurdir. 1990-yillarda *Ashtech Z-12* ishlab chiqarilishi (13.10-rasm) *Ashtech*ni elektronika sohasida novatorga aylantirdi. Ko‘pchilik, *Ashtech Z-12* priyomnigini faza va psedouzoqlikni o‘lchovchi, ikki chastotali yangi avlodning eng yaxshi priyomnigi deb hisoblaydilar.

Bir chastotali *Ashtech Locus* priyomnigi (13.11-rasm) – bu katta bo‘lmagan, ixcham monoblokka birlashtirilgan, uning ishlashi uchun kabel kerak emas.

Ashtech Reliance priyomniklar oilasi GAT syomkalari uchun mo‘ljallangan, MDH davlatlarida bu priyomniklar geologik va geofizik qidiruvlarda juda ommabopdir.



13.10-rasm. *Ashtech Z-12* chapda va *Z-Xtreme* priyomniklari
(<http://www.thalesnavigation.com>)

Ashtech kompaniyasi *GPS + GLONASS* birlashtirilgan priyomnigini ishlab chiqib, dunyo bozoriga *Ashtech GG24* nomi bilan mashhur priyomnikni taqdim etgan, kamdan kam kompaniyalardan hisoblanadi (13.11-rasm). *RTK* rejimi uchun versiya *Ashtech GG – SuperStation* dek ma'lum.



13.11-rasm. *Ashtech Locus* (chapda) va *GPS + GLONASS* birlashtirilgan *Ashtech GG24* priyomnigi (<http://www.thalesnavigation.com>)

ProMark2 priyomnigi (13.12-rasm) – eng yengil va foydalanish qulay geodezik priyomnikdir. O'lchamlari va vazni bo'yicha, mashhur navigatsiya priyomniklari bilan tenglashtirsa bo'ladi. Statik va kinematik rejimlarda, navigatsiya va geodezik o'lchashlarni santimetrli aniqlik darajasida bajarishi mumkin.



13.12-rasm. *Thales Navigation* kompaniyasining *ProMark2* (chapda) va *Z – Max* priyomniklari (<http://www.thalesnavigation.com>)

Wide Area Augmentation System (WAAS) va European Geostation Navigation Overlay System (EGNOS) differensial tizimlari, keng zonali signallarni qabul qilishi mumkin.

Thales Navigation kompaniyasi 2004-yilda *Bluetooth* simsiz aloqa bilan jihozlangan, ikki chastotali, *Z – Max* priyomnigini ishlab chiqdi. Real vaqt rejimida o'lchashlar uchun, priyomnik *UNV* va *GSM* birlashtiruvchi moduliga ega.

Javad va Topcon kompaniyalari. Javad Positioning Sustems (*JPS*) kompaniyasiga yo'ldoshli tizim sohasida mashhur mutaxassis, doktor Djavad Ashdjai (*Dr. Javad Ashjaee*) tomonidan asos solingan. Kompaniya shtab-kvartirasi San-Xose (Kaliforniya, AQSH) va Moskva (Rossiya)da joylashgan. *JPS* dunyoda *GPS* apparaturalarini ishlab chiqarish bo'yicha eng kuchli komandaga ega. *JPS* da 120 dan ziyod dunyo miqyosidagi olimlar va muhandislar, shu jumladan Rossiyadan ham ishlaydi.

2000-yilning iyulida *JPS* kompaniya aktivlari Topcon (Yaponiya, AQSH) kompaniyasi tomonidan sotib olingan. Ammo, Djavad Ashdjai ishlab chiqilgan texnologiyadan foydalanib, Javad Navigation Sustems (*JPS*) kompaniyasi bilan yo'ldoshli apparaturalarni ishlab chiqarishni davom ettirmoqda.

Topcon Corporation kompaniyasi 70 yillik ish tajribasiga ega, bu yuqori aniqlikdagi geodezik asboblari, optik, lazerli va tibbiy uskunalar ishlab chiqarishda dunyoda yetakchi hisoblanadi. Javad Positioning Sustems (*JPS*)ni qo'lga kiritish, geodeziyada, qurilishda pozitsionirlash uchun va yo'ldoshli texnologiyalardan foydalanib GAT asboblari bo'yicha dunyoda yetakchi bo'lish istagi bilan tushuniladi.

Javad kompaniyasi tomonidan bir nechta, bir va ikki chastotali, *GPS* yoki *GPS* va *GLONASS* (13.13-rasm) bo'yicha ishlovchi priyomniklar yaratilgan.



13.13-rasm. Javad - Topcon kompaniyalari priyomniklari:
Ledacy – E GGD (Lexon – GGD) va *Prego* (<http://www.javad.com>)

JNS va *Topcon* kompaniyalari ishlab chiqarayotgan, apparaturalarda qoʻllaniladigan, xususiyatlaridan ayrimlarini keltiramiz.

Priyomnikni boshqarish uning klaviaturasi orqali, kompyuter orqali (*Javad* - *Topcon* kompaniyalari apparaturalari uchun *PCCDU* va *PCView* dasturlari mavjud) yoki kontroller orqali olib borilishi mumkin. Ammo, kiritiladigan maʼlumotlar hajmi, odatda katta boʻlmaganligi sababli, priyomnikni ekran va klaviatura bilan jihozlash maqsadga muvofiq emas. Ayrim priyomniklarda, yoqish va oʻlchashlarni boshlash uchun bitta tugmachadan va bir svetodiodli indikatoridan (masalan, *Ashtech GG24* priyomnigida) foydalaniladi.

Minter minimal interfeysi (13.14-rasm) priyomnikning ishlashini nazorat va boshqarish uchun, ikkita tugmachadan yoki ikkita svetodioddan iborat moslamadir. Tugmachalardan birinchisi, *PWR*, odatda isteʼmolni oʻchirib-yoqishni bajaradi. Boshqa tugma, *FN* funksional boʻlib, uning bosilishidan faylni yozishni boshlash, "toʻxta va yur" rejimiga oʻtishlar bajariladi. *STAT* svetodioldlari (holat) va *REC* (yozish), har qaysisi uchta rangda (qizil, yashil, sariq) yonadi, priyomnikning holati toʻgʻrisida signal beradi: kuzatilayotgan *GPS* va *GLONASS* yoʻldoshlarining soni, yozishning holati va boshqalar.



13.14-rasm. *Minter* minimal interfeysi.

Mualliflashtirilgan opsiya fayllaridan (Option Authorization Files, *OAF*) foydalanish, maxsus parolni olgandan keyin priyomnikka joylashtirilgan imkoniyatlarni faollashtirish imkonini beradi. *OAF* fayllari har qaysi priyomnik uchun yaratiladi (yoki priyomnikning platasi – ulardan qaysilari uchun, ular bir nechta priyomniklar platalarini oʻz ichiga oladi) priyomnikning identifikatori boʻyicha – har qaysi

priyomnik uchun noyob bo'lgan, simvollarning ketma-ketligi tan olinadi. Agar priyomnikning opsiyalariga qo'shimchalar olish kerak bo'lganida, bu imkoniyatlar uchun to'lovni amalga oshirish yetarlidir va Internet orqali OAF yangi faylini olish mumkin.

Birgalikdagi kuzatuv (So-Or tracking) GPS / GLONASS priyomniklari imkoniyatlarini, taxminan 10 martaga yaxshilaydi. Yaxshilanish ikkita turdagi fazalarni ushlash (PLL) bir vaqtli sxemasi (ilmoq)ga asoslangan. Ulardan biri, priyomnikning dinamikasini va ichki generatorini yoqib, priyomnikning ko'rinadigan dinamikasini kuzatadi. Bu sxema, ko'rish maydonida joylashgan, barcha yo'ldoshlarning to'liq energiyasidan foydalanadi va 20 Gs tartibidagi, keng o'tkazish tasmasiga ega bo'lishi mumkin. Fazalarni ushlashni, ikkinchi tur ilmog'i, har qaysi yo'ldoshning ko'rinadigan dinamikasini kuzatish uchun loyihalangan. Har qaysi yo'ldosh uchun, o'ziga PLL biriktiriladi, u kengligi 2 Gs ga yaqin, nisbatan tor o'tkazish tasmasiga ega. Bu sxema signallarni kuzatishlarda priyomnik qobiliyatini yaxshilashni ta'minlaydi va shu vaqtda o'lchashlardagi shovqinni, taxminan 10 martaga kamaytiradi. Priyomnikning kuzatish qobiliyatini yaxshilanishi, barcha yo'ldoshlar to'liq energiyasidan foydalanish natijasida sodir bo'ladi, shovqinlar ta'siri pasayishining yaxshilanishi esa, alohida yo'ldoshlar fazalarini kuzatish sxemalaridagi kengligi juda kichik, o'tkazish tasmasi bilan tushuntiriladi.

Cinderella opsiyasi (inglizchadan tarjimasi – Zolushka) avtomatik ravishda priyomnikni, ikki haftada bir marta (odatda, seshanba kunlari), GPS vaqti bo'yicha yarim tundan, ikki chastotali GPS / GLONASS 24 soatli priyomnigiga aylantiradi. Bu opsiya, sotib oluvchiga boshlang'ich hissani kamaytirish imkonini beradi, ammo foydalanishga tayyor, dasturiy ta'minot va eng takomillashgan uskunalarga doimo ega bo'lishni talab etadi. Priyomnikning imkoniyatlarini obyektida, haqiqiy ishlash sharoitlarida, ikki tizimli va ikki chastotali sifatida tekshirish, keyin esa mos keluvchi opsiyalarni, ularning samaradorligiga ishonch hosil qilib, sotib olish mumkin.

JPS / JNS va TPS tizimlari qabul qiluvchi apparaturalarida (priyomniklarda va antennalarda) ko'pyo'llilik, interferensiyani bostirish, haqiqiy vaqtda kinematika algoritmlari va boshqalar bilan kurashish bo'yicha ko'plab, boshqa takomillashtirishlar joriy qilingan.

Post qayta ishlashlari uchun dasturiy ta'minot, *Javad* kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, *Pinnacple* deb nomlanadi, u *Topcon* xususiylikiga o'tgan. *JNS* dagi yangi dasturiy ta'minot *Ensemble* deb nomlanadi.

Boshqa kompaniyalar. Allen Osborne Associates, Inc. (AOA) kompaniyasi geodeziya, topografiya va xususiy sinxronizatsiya uchun tijorat va harbiy *GPS* uskunalarni loyihalash, tahlil qilish, yaratish va ishlab chiqarishga ixtisoslashtirilgan. Rossiyaning bir nechta Xalqaro *GPS* xizmatlari stansiyalarida, *TurboRoque*–*SNR*–8000, *SNR*–8100 seriyasidagi priyomniklar qo'llaniladi (13.15-rasm).



13.15-rasm. Allen Osborne kompaniyasining *TurboRoque* *SNR*–8100 priyomnigi (<http://www.aoa-gps.com/products.htm>)

Bu ikki chastotali priyomniklar, ikkala chastotalarda *P*-kodlar bo'yicha va *C/A*-kodi bo'yicha psevdouzoqliklarni va *L1* va *L2* larda tashuvchi fazalarni o'lchashlarini olib boradi. Anti-Spoofing rejimi yoqilganida, priyomniklar guruhli kechikishlar (*P2*–*P1*) farqlarini va tashuvchi fazalar *L1*–*L2* farqlarini o'lchab, *Y*-kodi bo'yicha korrelyatsiya usuliga o'tadi. 13.4-jadvalda bu apparaturalar to'g'risida ayrim ma'lumotlar keltirilgan.

13.4-jadvalda *TurboRoque* (*choke*–*ring* antenasi bilan) seriyasidagi priyomniklar aniqlik tavsiflari to'lig'icha keltirilmoqda. Global to'rlar bo'yicha yechim, ehtimol, *GIPSY OASYS* ilmiy dasturiy ta'minotli haftalik ma'lumotlarni qayta ishlashlar natijalari bo'yicha baholangan. *TurboSurvey*® – kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan, tijorat dasturi.

So'nggi vaqtlarda, geodezik yo'ldoshli apparaturalar bozorida *NovAtel* (Kanada), *Sokkia* (Yaponiya) kompaniyalari paydo bo'ldi. Ushbu kompaniyalar mahsulotlari to'g'risidagi ma'lumotlarni Internet-dan topish mumkin.

13.4-jadval

TurboRoque seriyasidagi priyomniklarning aniqlik tavsiflari

O'lchashlar ko'rinishi	Dasturiy ta'minoti	Plandagi aniqligi	Balandlik bo'yicha aniqligi
Global to'r	<i>GIPSY OASYS</i> aniq efemeridali	$2mm + Dx10^{-9}$	$4mm + Dx10^{-9}$
Statik syomka (6 yo'ldosh, seans 30 min)	<i>TurboSurvey</i> bortli efemeridali	$4mm + Dx10^{-6}$	$10mm + Dx10^{-6}$
Tez statika (seans 10 min)	<i>TurboSurvey</i> bortli efemeridali	$10mm + Dx10^{-6}$	$20mm + Dx10^{-6}$

Rossiyada geodezik apparaturalarni OAJ "Rossiya radionavigatsiya va vaqt instituti" (RIRV), KB "NAVIS" ba "Kotlin" kompaniyalari ishlab chiqarmoqda. CH – 3601("NAVIS") priyomnigi geodezik plan olishlarda navigatsiya parametrlarini yuqori aniqlikda aniqlash, geodezik to'rlarni yaratish va rivojlantirish, davlat yer kadastri uchun ma'lumotlarni to'plash va boshqalar uchun mo'ljallangan. U, "GLONASS"(L1) va GPS (L1) yo'ldoshlar turkumlari tanlovini, ularning texnik holatini hisobga olib, uzluksiz avtomatlashtirilgan imkoniyatlarini beradi. Parallel qabul qilish kanallarining soni –14 ta, avtonom rejimda koordinatalarni aniqlash aniqligi 10–12 m ni, differensial rejimda 1–2 m ni tashkil qiladi. Boshlang'ich aniqlashlar vaqti "sovuq startda" – 180 s, "issiq startda" – 90 s. Koordinatalarni yangilanish intervali – 1 s dan ko'p emas.

Bundan tashqari, CH – 3601 joylashgan o'rnini aniq aniqlash va to'rt soat davomida bajarilgan o'lchashlarning natijalarini to'plash imkoniyatiga ega (saqlash sig'imi 20 Mbayt). Ma'lumotlar RS232C raqamli interfeysi bo'yicha uzatiladi. Asbobning elektr iste'moli 9-30 V iste'mol manbayidan amalga oshiriladi, talab qilinadigan quvvat 7 V ga teng. To'plamning og'irligi, antenna, qabul qiluvchi indikator, akkumulyator va antenna kabelni qo'shganda, 4,5 kg dan oshmaydi.

"Kotlin" YOAJ da topografik-geodezik ishlarni ("Zemlemer L1M" va "Geodezist") olib borishi uchun ikkita ikki chastotali GPS / GLONASS qurilmasi seriyali ishlab chiqarishga tayyorlangan edi. Juda kuchli, "Geodezist" priyomnigi GLONASS (L1, L2) uchun, 18 ta kanallar bilan,

GPS (L1, L2) uchun 24 ta kanallar bilan ishlashga hisoblangan. U noqulay ob-havo sharoitlarida va radioko‘rish kichik burchaklarida ham, signallarni ustuvor qabul qilishni ta‘minlaydi. Bu priyomnikning tarkibiga, dala sharoitlarida ishlash imkoniyatini beruvchi, tashqi klaviatura va JK-displey (40 simvollardan 8 qator) kiradi. Navigatsiya aniqlashlarining santimetrli aniqlik darajasiga, fazali sanoqlarini noaniqliklarini yuqori effektivli yechilishlarini qo‘llash hisobiga erishiladi. Asos chizig‘i uzunligini aniqlash aniqligi: $L1/L2$ chastotalardagi o‘lchashlarda 5 mm va $L1$ da – 10 mm larni tashkil etadi.

2003-yilning oxirida “RIRV” OAJ *GEO–161* (13.16-rasm) *BL – GI* qayta ishlash dasturli, bir chastotali, yo‘ldoshli geodezik priyomnikni ishlab chiqardi.



13.16-rasm. *CH – 3601 KB* ("NAVIS") chapda va *GEO – 161* OAJ “RIRV” Rossiya geodezik priyomniklari.

Priyomnik 16 ta kanalga ega, *GPS* va *GLONASS* tizimlari orasidagi kanallarni erkin taqsimlagan holda, standart aniqlikdagi signallarni qabul qiladi. Qurilmasi jihatdan priyomnik, mikrotasmali antennali, o‘lchashlarni qabul qiluvchi, ma‘lumotlarni saqlovchi, boshqarish paneli va akkumulyator batareyasini birlashtiruvchi, monoblok ko‘rinishida tayyorlangan. Priyomnikning ishlashini nazorat qilish, yorug‘lik va ovozli indikatsiya yordamida amalga oshiriladi. Priyomnik bilan kontroller sifatida, cho‘ntak shaxsiy kompyuteri qo‘llanilishi mumkin. Priyomnik barcha turdagi statik va kinematik o‘lchashlarni amalga oshirishni ta‘minlaydi. Asbobning ayrim tavsiflari 13.3-jadvalda keltirilgan [26].

13.1.4. Priyomnik va antenna xatosi

Priyomnikdagi shovqinlar. Apparatradagi termal shovqin, o'lchashlarda olingan, ma'lumotlardagi shovqinni hosil qiladi. Priyomnikdagi shovqin nazariy jihatdan, antennalardagi kuchlanish ko'effitsiyenti, yo'ldoshlar signallarining quvvati, priyomnikning harorat shovqin tavsifi hamda uni o'rab turuvchi atrof-muhit bo'yicha hisoblanishi mumkin. Shovqin ma'lumotlari yo'ldoshga yo'nalgan topotsentrik balandlikka bog'liqdir, chunki bundan antennadagi kuchlanish ko'effitsiyenti va Yer atmosferasida kuchsizlanishi natijasidagi signal kuchidagi yo'qotishlar hamda priyomnikdagi o'rtacha vaqtdan o'lchanadi. Shovqin ma'lumotlarini tajribaviy aniqlashning usullaridan biri, bitta antennadan ishlovchi, ikkita priyomnik bilan o'lchangan, faza yoki uzoqliklarni taqqoslashdan iboratdir. Bunday testlar shuni ko'rsatdiki, $L1$ va $L2$ chastotalarda fazali o'lchashlar shovqini 1 dan 5 mm gacha darajaga ega, ammo ko'pincha sistematik tuzuvchisi mavjud bo'ladi. Bu spetsifik xato, geodezik o'lchashlarga ta'sir ko'rsatmaydi. Priyomniklardagi shovqinni kamaytirish uchun, monitoring olib boruvchi, uni termostat kameraga joylashtiradi, dala kuzatishlarida kuchli quyosh nuridan himoya qilishga harakat qiladi.

Vaqt xatoligi ta'siri. Yo'ldoshning va priyomnikning soatlari xatolarini asosiy qismi ikkilamchi farqlarni shakllantirish yoki tasodifiy qonun bo'yicha o'zgaruvchi, soatlar tuzatmalarini baholashda chiqarib tashlanadi. Ushbu vaqtda, unda o'lchashlar olib borilgan, koordinatalarni aniqlashda, geodezik masalani nomutanosibligi natijasida, haqiqiy vaqtda geodezik o'lchashlarda bog'liqlik bor. GPS signallarining kvantlash vaqtini noto'g'ri kelishuvi bilan xatolarning qiymatlari, odatda 1 mks vaqt xatoligi uchun, 1 mm lardan iborat, signallarning dopler siljishlari bo'yicha hisoblanishi mumkin. Yo'ldoshli priyomnik, vaqtni aniqlashning bunday talablarini oson bajaradi, bunday holatlar bo'lmasligi ham mumkin. Priyomnikdagi xatoliklar, qayta ishlashning dastlabki bosqichida, dalada o'lchashlarni takrorlash imkoniyati bor bo'lganida, tuzatilishi kerak.

Lokal generatorning nobarqarorligi, chorrahali nishonga olish, kanallararo siljishlar, dreyflar va kvantlash shovqini. Chorrahali nishonga olish, kanallararo siljishlar, dreyflar va kvantlash shovqini, birinchi navbatda, apparaturaning tayyorlash sifatiga bog'liq va

kuzatuvchi bu ta'sirlar darajasiga faol qarshilik ko'rsatish imkoniyatiga ega emas. Lokal generatorning nobarqarorligi, asos chiziqlarining yechish jarayonidagi ikkilamchi farqlarni hosil qilish va alohida davrlar orasidagi kuzatish seriyalaridan normal joyni hosil qilish bilan kamaytirilishi mumkin bo'ladi. Kanallararo siljishlarning ta'siri, signal chastotasiga bog'liq va shuning uchun, GPS va GLONASS tizimlari bo'yicha bir vaqtda ishlaydigan apparaturalar uchun ayniqsa, jiddiydir. Bunday apparatura albatta, kechikishlarni avtomatik aniqlash uchun vositalarga ega bo'lishi kerak [152].

Priyomniklarni testdan o'tkazish. Umuman olganda, GPS priyomniklar o'zini sozlovchi qurilmalar hisoblanadi, foydalanuvchilar uskunani sozlashni bajarmaydi. Kuzatuvchi bajarishi kerak bo'lgan, yagona oddiy test, bu nol asos chizig'idir. Bu o'lchash, qachon ikkita yoki ko'p priyomniklar, bitta antennaga ulanganida bajariladi. Har xil priyomniklarga kiruvchi signallarni yo'naltirish uchun tok ayirgichlardan foydalanish kerak bo'ladi.

Oddiy seans (masalan, 60 minut) kuzatiladi va asos chizig'i oddiy tarzda hisoblanadi. Shuningdek, bitta antennadan foydalanilganda, asos chiziqlarining komponentlari nolga teng bo'lishi kerak. Bu testda, priyomnik zanjirlarining faoliyatini, uning elektronikasini nazorat qiladi va antennaning siljishiga bog'liq bo'lmagan, priyomnikdagi nosozlikni aniqlashning qulay uslubi tavsiya etiladi [100].

Antennalar fazali markazining o'zgarishi. Fazali yoki elektrik markaz – bu antennalar nuqtasidir, unga keluvchi radiosignallarning bir xil fazali frontlari mos keladi. Aynan, undan priyomnik yo'ldoshlargacha masofalarni o'lchashlarni olib boradi. Ammo, fazali markaz fizik nuqta hisoblanmaydi, undan geodezistga punkt markazi markasidan uzoqlashishni baholash mumkin bo'lsin. Uning joylashuvi yo'nalishning funksiyasi hisoblanadi, undan antenna signalni qabul qiladi. Bundan tashqari, GPS antennalari uchun, priyomnikning $L1$ fazali markazi va $L2$ fazali markazlari, odatda mos kelmaydi. Shuning uchun fazali markazning o'rtacha holati bir nechta antenna tayanch nuqtasiga nisbatan aniqlanadi [antennareference point, ARP], ushbu nuqtaning geodezik punkt markasiga nisbatan holati kuzatuvlar jarayonida o'lchanadi.

Idealda, yoʻldoshli priyomnik antenna fazali markazining holati, qayerdan signal kirishi, yoʻnalishiga bogʻliq emas. Ammo, antenna yoʻnalishining nosferik diagrammasi natijasidek, amalda azimutni va balandlik burchagini oʻlchashda, fazali markazning kichik siljishi (yaxshi loyihalangan geodezik antennada, santimetrdan kam) mumkin. Bir ishlab chiqaruvchi va bir modeldagi antennalarda, odatda bir xil oʻzgarishlarni koʻrsatadi, shuning uchun ularning taʼsirlarini bitta yoʻnalishdagi asos chiziqlarining oxiriga antennalarni oriyentirlash orqali, aytaylik, magnit meridiani boʻyicha kamaytirish mumkin. Geodezik antennalar uchun, oʻrtacha gorizontal holatdagi fazali markaz, odatda antenna fizik markazi bilan, yaʼni antenna aylanish oʻqi mos keladi va bir xil antennalardan foydalanilganda, fazali markazning haqiqiy holati uncha muhim boʻlmaydi; geodezik markadan antenna tayanch nuqtasi balandligini oʻlchash kerak boʻladi. Ammo turli xil antennalardan foydalanilganda, qayta ishlashlarda, antennalardagi tayanch nuqtalarga nisbatan, antenna fazali markazlarining balandliklarigina emas, balki yoʻldosh balandlik burchagiga bogʻliq fazali markaz holatining oʻzgarishini, tuzatmalar kiritish uchun, ham bilish kerak. Buning uchun dasturiy taʼminotda har qaysi turdagi, har qaysi chastota uchun fazali markaz holatidagi sozlash tuzatmalaridan olingan fayllar boʻlishi kerak boʻladi. Qayta ishlash dasturi xuddi shunday, antenna turiga moslashtirish uchun opsiyaga va parametrlarni qoʻshishga ega boʻlishi kerak. Antennalarni sozlash parametrlarini hisobga olmaslik, punkt balandligida 10 sm gacha xatolikka olib kelishi mumkin [130].

Antennalarning koʻrsatilgan ikki koʻrinishdagi parametrlari (antenna tayanch nuqtasiga fazali markazning siljishi va balandlikka bogʻliq fazali markazning oʻzgarish qiymatlari) antennalarni sozlash jarayonida aniqlanadi. Hozirgi vaqtda, deyarli qoʻllaniladigan barcha antennalar azimutal simmetrik hisoblanadi va fazaga ustunlik qiluvchi oʻzgarishlar taʼsiri gorizontdan yoʻldoshni balandligi bilan amalga oshiriladi. Ammo antenna atrofidagi lokal muhit ideal bajarilgan oʻlchashlardan qoʻshimcha azimutal va balandlik oʻlchashlarini kiritishi mumkin. Bu lokal oʻzgarishlar sozlash jarayonida hisobga olinishi kerak.

Ikki koʻrinishdagi sozlashlar: absolut va nisbiy ishlab chiqilgan. Absolut sozlashlarda, antenna parametrlari oʻrni, aniq radiomanbalarni kuzatishlardan chiqariladi. Nisbiy sozlashlarda, antenna parametrlari ikkita antenna bilan, aniq asos chiziqni, ulardan biri tayanch deb qabul qilinadi, kuzatishlardan olinadi.

Antennalarni absolut sozlash. Birinchi absolut sozlash, ehosiz kameralarda olib borilgan. Testdan o'tkaziluvchi antenna aniq to'g'rilangan, yo'l bo'yicha ehosiz kameraga joylashtirilgan va o'rni aniq GPS sun'iy signallarini qabul qiladi. Bunday sozlashning qiyinchiligi, sun'iy signallarning o'zida, tayanch nuqtani aniq aniqlashda, barcha qurilmalarni mexanik aniqligi, mumkin, qoldiq ko'pyo'llilikda mujassamlangan. Bundan tashqari, bunday tadqiqotlarda, antenna yarim sferasini qamrab oluvchi ko'p sonli kuzatishlarni olish qiyin. Nisbatan, qimmat laboratoriya sozlashlarida olinadigan, fazali markaz absolut o'zgarishlarining qiymatlari, amalda qoniqarli natijalarni bermadi.

Gannover Universiteti olimlari va GEO++(GFR) kompaniyasi antennaga beriladigan turli aylanishlar va qiyaliklarni ta'minlovchi maxsus qurilma yordamida, antennaga haqiqiy vaqtdagi, absolut dala sozlash uslubini ishlab chiqdi (13.17-rasm).



13.17-rasm. Haqiqiy vaqtda antennani absolut sozlash uchun qurilma.

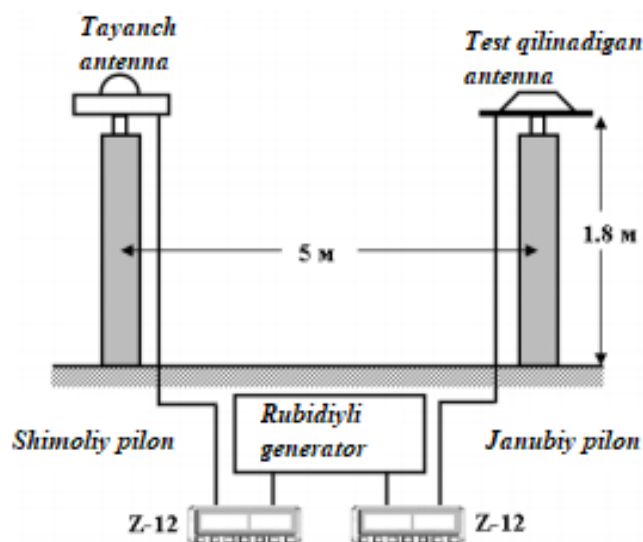
(http://www.geopp.com/gnpcvdb/AOA_DM_T/)

Qurilma kompyuter dasturi bilan boshqariladi va mohiyatiga ko'ra, ixtisoslashtirilgan robot hisoblanadi. Tadqiqot bir necha soat vaqtni sarflab, ikki kunda bajariladi. Birinchi kunda antenna gorizontol holatda

joylashadi va oddiy tarzda kuzatadi. Ikkinchi kunda antennaga turli xil aylanishlar va qiyaliklar (6000-8000 o'lchashlar) beriladi, buni robot yordamisiz bajarish mumkin emas. Ikki kunlik natijalar bo'yicha, ko'pyo'llilikdan amaliy ozod bo'lgan, "yulduzli-sinxron" farqlar hosil qilinadi. Fazali markazning, antennaga azimutal bog'liq o'zgarishlari bilan natijalar takroriyli namoyish qilinadi. Sozlash natijasida, siljishlar uchun 1 mm dan kam, o'rta kvadratik xatolikka erishiladi. Antennalar parametrlaridagi sezilarli o'zgarishlar nimalardan kelib chiqishi ko'rsatilgan edi: 1) bevosita antenna yaqinida radiomodem aloqali antenna bo'lganida; 2) antenna korpusining shakli; 3) gumbaz qurilmasi detallari; 4) to'suvchini borligi [147].

Antennani nisbiy dala sozlashi. Usul, AQSH Milliy geodezik xizmati (MGX) tomonidan ishlab chiqilgan va qo'llaniladi. Sozlash balandligi 1,8 m li beton pilonlarga mahkamlangan, uzunligi 5 m li asos chizig'ida olib boriladi (13.18-rasm). Pilonning yuqori tomoniga antennani doimiy mahkamlash moslamasi o'rnatilgan. Pilonlar orasidagi nisbiy balandlik va masofa geodezik o'lchashlardan aniq aniqlangan. Shimoliy pilonda tayanch antenna, janubiy pilonda – testdan o'tkaziladigan antenna o'rnatiladi. Ikkala antenna ham *Ashtech Z-12* priyomniklari bilan 10^0 balandlik niqobida ishlaydi. Ikkala priyomniklar uchun, chastotaning tashqi standarti sifatida, rubidiyli generatoridan foydalaniladi. Sozlash o'lchashlari uchun tayanch antennalar sifatida doimo, reaktiv harakatlar Laboratoriyasida ishlab chiqilgan, T turidagi *Dorne/Margolin* halqali antennalari qo'llaniladi (13.3-rasmga qarang).

O'lchashlar 24 soatli seanslar mobaynida o'tkaziladi. Qayta ishlashlar *PAGES* dasturi bo'yicha olib boriladi. Dastlab, bir chastotali yechim bo'yicha faza markazining o'zgarishi uchun tuzatmasiz, fazalarning ikkilamchi farqlari bo'yicha va troposfera kechikishlari baholanmasdan olinadi. Bunday juda qisqa chiziq, fazalarning ikkilamchi farqlari troposfera va ionosfera effektlaridan ozoddir. Bu yechimning natijalari bo'yicha, antennalar tayanch nuqtalariga nisbatan, $L1$ va $L2$ faza markazlarining siljishlari aniqlanadi. Siljishlar aniqlangandan keyin, $L1$ va $L2$ lar uchun alohida balandlik funksiyasidek, testdan o'tkazilayotgan antenaning faza markazlarining o'zgarishlari aniqlanadi.



13.18-rasm. MGX uslubi bo'yicha antennalarni nisbatan dala sozlashi uskunalarning joylashishi.

Faza markazlarining nisbiy o'zgarishlarini aniqlash uchun, bevosita ikkita har xil balandlikdagi, har xil yo'ldoshlar uchun, $L1$ yoki $L2$ faza birlamchi farqlari bo'yicha yechimdan foydalaniladi. Generatorning birlamchi farqlaridagi, priyomnik soatlariga xatolarning ta'siri chastotaning umumiy rubidiyli standartini qo'llash orqali kompensatsiyalanadi. Bu yechimlarda, faza markazlari azimutal bog'liqligi baholanmaydi. Faza birlamchi farqlarining qoldiq xatolari priyomnik soatlari tuzatmalari farqlarini va sinalayotgan antennalarning faza markazlarining o'zgarishlarini aniqlash uchun qo'llaniladi [130].

Dala sozlash usullarini taqqoslash shuni ko'rsatdiki, katta darajada ko'pyo'llilik ta'siriga o'lchamlari bo'yicha kichik antennalarda katta farqlar olinar ekan. Katta baza chiziqlari uchun va global yechimlarni olish uchun absolut sozlash ma'lumotlari ko'proq mos keladi [129].

Bir nechta turdagi antennalarga tuzatmalar fayllarini AQSH Milliy geodezik xizmati (www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml) va GEO++ kompaniyasining (http://www.geopp.com/gnpcvdb/AOA_DM_T/general/html) saytlaridan topish mumkin. 000 hollarda, antennani sozlashni mustaqil o'tkazish mumkin. Bu quyidagi tarzda qilinadi: juda qisqa (maksimum bir necha o'nlab metr) va yaxshi aniqlangan asos chizig'ini olish kerak. Bir turdagi antennalar asos chiziqlari punktlarining biriga, boshqa turdagilar – boshqa punktga

joylashtiriladi. Kuzatishlar bir necha soat sessiyalarida olib boriladi va ma'lumotlar qayta ishlanadi.

Ma'lumotlarni qayta ishlash quyidagi tarzda olib boriladi:

- ma'lumotlar *RINEX* da, antenna balandligi va fazalar markazlari konstruktorlik tuzatmalarini hisobga olgan holda o'zgartiriladi. Ushbu nazariy qiymatga nisbatan, faqat og'ish baholanadi;

- *RINEX* ning kirishida qabul qilinadigan, dasturiy ta'minot yordamida, asos chiziq hisoblanadi, jumladan, birinchidan, ikkilamchi fazalar farqlari ishlatiladi, ikkinchidan, chastotalar bo'yicha farqlarni aniqlash uchun, faqat $L1$ chastota yoki faqat $L2$ chastota ishlatiladi;

- bunday hisoblashlar uchun aniq orbitalarni qo'llashning ehtiyoji yo'q, bortli orbita sifatida – ushbu uzunlikdagi asos chizig'i yetarlidir.

Haqiqiy qiymat bilan asos chizig'ining hisoblangan baholashlarini taqqoslash, ikki turdagi antennalar orasida mavjud bo'lgan og'ishni chiqarish imkonini beradi.

Bu hisoblashlar kamida ikki marta, kun mobaynida turli vaqtlarda o'tkazilgan, ikkita sessiya uchun takrorlangan bo'lishi kerak. Bunday ehtiyotkorlik baholash jarayonida shakllanmaydigan, antenna og'ishini boshqa turdagi og'ishlardan farqlash imkonini beradi.

Bunday sozlashdan keyin og'ishlarga mos keluvchi asos chizig'ini har qaysi hisoblashlarida aniqlangan, ikkita turdagi mos keluvchi antennalar bilan kuzatilgan tuzatma qabul qilinadi [68].

13.1.5. GPS va GLONASS o'lchashlarini ta'minlash dasturlari

Yo'ldoshli apparaturalarning ajralmas qismi, ta'minlash dasturlaridir. GPS/GLONASS o'lchashlarini qayta ishlash uchun ko'plab dasturiy paketlar mavjud. Bu paketlar universitetlar yoki davlat tashkilotlari tomonidan tadqiqotlar maqsadida, ichki operativ iste'mol yoki juda aniq ilmiy qo'llanilishlar (ilmiy dasturlar) yoxud apparaturalarni ishlab chiqaruvchilar (tijorat dasturlari yoki firma dasturiy ta'minotlari) uchun ishlab chiqiladi. *GPS* ta'minot dasturlarining batafsil arxitekturasini, garchi, bir dasturdan boshqasiga sezilarli darajada o'zgarsada, bir qator funksiyalar borki, ular barcha dasturiy paketlarda bajarilishi kerak.

Har qanday dasturning asosiy komponentlari, kuzatishlarni rejalashtirishda, quyidagi yordamlarni: loyihani tuzish va rekognossirovka;

dala kuzatishlarini qayta ishlash; ma'lumotlarni qayta ishlash va nazorat; to'rti tenglashtirish va sifatini nazorat qilish; o'rnatilgan geodezik koordinata tizimida natijalarni o'zgartirishlarni o'z ichiga oladi.

Yo'ldoshli o'lchashlar qayta ishlashlar dasturiga talablar. GPS apparaturalarini ishlab chiqaruvchilar, uzluksiz ravishda, dasturlarini takomillashtiradi, ularni o'zlarining mahsulotlari bilan birgalikda tavsiya qiladi. Ammo, bir qator sabablar bor, ular yordamida juda yuqori darajada ishlarni bajarish imkoniyati bo'lmaydi, asosiy sabablardan biri, yo'ldoshli uslublar o'zini dinamik tabiatiga ega. Ishlab chiqarish bo'yicha ahamiyatli kuchlar, yangi va qayta ko'rilgan dasturlarga yo'naltirilgan, mavjud dasturlarni kuchaytirishga qaratilmagan. Shuningdek, ilmiy dasturlar imkoniyatlarini doimiy kengaytirish an'analari va tijorat dasturlarida qayta ishlashlarni maksimal qisqartirishlar ham kuzatilgan. Shunga qaramasdan, "yaxshi" dastur nimani bajarishini ko'rib chiqish kerak, yo'ldoshli texnologiya xaridori barcha geodezik "paket"ni dasturiy ta'minot komponentlarini, xuddi apparatura komponentlaridek, diqqat bilan baholash imkoniga ega bo'lsin.

Natijalar aniqligi va ishonchliligi, faqat qo'llanilayotgan ma'lumotlarni qayta ishlash algoritmlariga bog'liq emas, shuningdek, rejalashtirish sifatiga, dala ishlari uslubiga va apparaturalarga ham bog'liqdir. Agar yechimlar uchun kerakli dala o'lchashlari natijalari yomon sifatga ega yoki ma'lumotlar hajmiga mos kelmasa, unda ahamiyatga ega emas, qanchalik ta'minlash dasturlari mukammal bo'lsa, asos chizig'ining aniqligi va ishonchliligi qiyinlashadi. Ammo, aniqlik (kam darajada ishonchlilik), ular qandaydir berilgan geodezik qo'llanilishlarda ishlatiladigan bo'lishi, bevosita matematik modelni tanlash va qayta ishlash uslubiga bog'liq.

Samaradorlik va qayta ishlash tezligi, dasturning istagi hisoblanadi, o'z navbatida, bu qo'llaniladigan kompyuterlar, foydalaniladigan algoritmlar, ma'lumotlarni qayta ishlash hajmi va kerakli aniqlikka bog'liqdir. Yuqori aniqlikdagi masalalar, odatda qayta ishlashlarni turli nazorat bosqichlariga aralashishi uchun, boshqaruvda moslashuvchanlikni talab qiladi. *Yodda tutish kerakki, tijorat dasturlari ilmiy yoki yuqori aniqlikdagi geodezik masalalar uchun, qoida bo'yicha to'g'ri*

kelmaydi. Aniqligi yuqori bo'lmagan masalalar, 10-6 (oddiy geodeziyada), ya'ni operatorning aralashuvisiz, odatda avtomatik rejimda bajariladi.

Ma'lumotlarni qayta ishlash paketi uchun, muhim bozor omili geodezik texnologiyalarni yuqori samaradorligini qo'llab-quvvatlash imkoniyati hisoblanadi. Dala o'lchashlarini zamonaviy samarali uslublari, oddiy GPS statik uslubidan juda farq qiladi. Ammo, aynan, ma'lumotlarni qayta ishlash innovatsion algoritmlari, asos chiziqlarini olish, oddiy GPS uslublariga qaraganda, bir necha marta kam vaqt sarflab, yuqori aniqlikdagi natijalarni olish imkoniyatini beradi.

Yuqorida keltirilgan ko'plab, ikkilamchi mezonlarning katta qismi, kuzatishlar modeli va ishlatiladigan qayta ishlash uslublari, shuningdek, qo'llanilishiga bog'liq, har xil optimal nisbatlarga ega bo'ladi. Dasturning tuzilishi, qayta ishlashlar opsiyasida moslashuvchanlikka yo'l qo'ygan va uni yangi model va uslublar paydo bo'lganida moslashtirish mumkin bo'lsin. Bu asosan, haqiqiy vaqt rejimida kinematik qo'llanishlarga yoki mashina nazorati va mexanizmlarni boshqarishda, santimetr aniqligidagi aniqlik kerakli qo'llanishlarga tegishlidir. Nihoyat, dastur har qanday kompyuterda ishni bajarish uchun ixcham bo'lishi kerak. Haqiqatda, oxirgi talablar, hozirgi vaqtda kompyuter texnikasi ishlab chiqarishdagi ulkan yutuqlarga bog'liq ravishda, unchalik ahamiyatga ega bo'lmay qoldi. Ammo bunga, agar foydalanuvchilar interfeysi asbobga bog'liq va operatoridan katta miqdordagi ma'lumotlarni kiritish talab etilganida, erishish juda qiyin bo'lishi mumkin. Shuningdek, dasturning strukturasi, operatsion tizimga talablarni va ma'lumotlarni boshqarish tanlangan strukturasi samaradorlik, tezkor harakat va avtomatlashtirishni, bir tomondan – dasturning ixchamligini va boshqa tomondan – qo'llash imkoniyatini talab etadi.

Yo'ldoshli o'lchashlarning qayta ishlashlarini to'rtta asosiy vazifalarga bo'lish mumkin:

- yo'ldoshlarni rejalashtirishni mavjudligi va geodezik to'rlarni rejalashtirish;
- dastlabki qayta ishlashlar;
- o'lchashlarni tenglashtirish va koordinatalarni o'zgartirish;
- o'lchash natijalarini tahlili.

– *GPS* o‘lchashlarning tashqi aniqligi, dastlabki tahlili uchun dastur, navbatdagi qadam hisoblanadi, u boshqa manbalardan tanlangan *GPS* stansiyalari (va ularning sifati) koordinatalari to‘g‘risidagi ma’lumotlarni ishlatadi. Odatda, ayrim stansiyalarning koordinatalari, lokal koordinata tizimida va ular tez-tez natijalarni boshqa tizimga transformatsiyalashda qayd etiladi, unda ularni tashqi cheklanishlar to‘g‘risidagi ma’lumotlardek, qarash mumkin. Bunday dasturlar odatda, *GPS* uskunalari ishlab chiqaruvchilar tomonidan yetkazib berilmaydi.

Qoldiq siljishlardagi sistematik xatolarni (masalan, orbitalarda, troposfera refraksiyasi parametrlarini) hisobga oluvchi, dastlabki tahlil dasturi, ilmiy tadqiqotlar uchun foydalaniladi.

Dastlabki qayta ishlashlar bo‘yicha dasturiy ta’minot, odatda, quyidagilarni o‘z ichiga oladi:

1. Priyomnik yoki nazorat qiluvchining ichki xotirasidan yozilgan ma’lumotlarni kompyuterga tushirish.

2. Qayta ishlanmagan kuzatishlar va navigatsiya xabarlar, fayllarini tayyorlash. Agar ma’lumotlarni, boshqaruv tizimi dastur bilan birlashtirilgan bo‘lsa, unda mos keluvchi fayllar nomi, kataloglar va loyihalar tayinlanadi hamda keyingi foydalanishlar uchun kataloglashtiriladi. Qo‘shimcha stansiya fayllari so‘rovi o‘tkaziladi va fayl jurnaliga mos keluvchi kiritishlar qilinadi. Bu fayl shunday yozuvlarni o‘z ichiga oladi, kuzatuvchi tomonidan kiritilgan stansiyaning nomi, priyomnikning raqami, antenning balandligi va boshqalar.

3. Kerak bo‘lganida, ma’lumotlar fayllari formatini o‘zgartirish. Misol uchun, agar ma’lumotlarni arxivlash yoki qayta ishlashlar markaziga uzatish kerak bo‘lganida, qayerda har xil dasturlardan foydalanish mumkin bo‘lganida, unda “standart” format (priyomnikka bog‘liq bo‘lmagan) ishlatilishi mumkin. Hozirgi vaqtda *RINEX* formatiga ko‘p e’tibor berilmoqda [95].

4. Psevdouzoqlik o‘lchashlari bo‘yicha stansiyalar o‘rnini dastlabki hisoblash. Yo‘l-yo‘lakay mahsulotdek, ushbu yechimdan priyomnik soatlariga tuzatmalarni olish mumkin.

5. Faza ma’lumotlaridagi sikllar hisobi yo‘qotishlarini tiklash. Bu ko‘pincha uchlamchi farqlar bo‘yicha yechimdan keyin bajariladi.

Dastlabki qayta ishlashlar qadamidan chiqishda, “toza” ma’lumotlar fayllariga va qayta ishlashlarning keyingi fazalarini bajarish uchun, yordamchi ma’lumotlarga ega bo‘ladi.

Quyidagi izohlarni bajarish kerak:

Dastlabki qayta ishlashlar uchun dasturlar, *GPS* uskunalari ishlab chiqaruvchilari tomonidan yoziladi va ularning priyomniklari ishlashi uchun o‘ziga xos mahsulot hisoblanadi. Dastlabki qayta ishlashlarning ayrim modullari (asosan, ular 3, 4 va 5 jarayonlarni bajaradi) ham, dasturiy paketning uchinchi tuzuvchisi birlashtirilgan qismi hisoblanadi.

4 qadam, agar kodli-korrelyatsiya qilingan, *GPS* priyomnik kuzatuv vaqtida avtomatik ravishda o‘zining soatlarini tizimli vaqt shkalasiga (soatlarni “boshqarish” – *clock steering* deb nomlanadigan) qayta o‘rnatganida kerak bo‘lmasligi mumkin.

Hisob sikllari yo‘qolishlarini tiklash, agar qo‘lda bajarilsa, ko‘p mehnat talab qiladigan va mashaqqatli vazifa hisoblanadi. Hozir bu “standart” dastlabki qayta ishlashni aniqlash va hisob sikllari yo‘qolishlarini avtomatik ravishda tiklashni (ayrim priyomniklar dalada ma’lumotlarni yozishda, ularni tuzatishi mumkin) bajaradi.

Ayrim qayta ishlash dasturlari, ma’lumotlar farqlari fayllarini (masalan, priyomniklar orasidagi farqlar yoki ikkilamchi farqlar) yaratadi, dastlabki qayta ishlash qadamida, qayta ishlash strategiyasi bo‘yicha yechim qabul qilishini, qayta ishlovchidan talab qilishi mumkin.

Aniq dastlabki qadamlar (ma’lumotlarni tushirish, qayta formatlash, priyomnikni nuqtali pozitsionirlash) *faqat alohida punktlarda uchrashi mumkin*, ammo boshqa qadamlar, bir vaqtda ishlaydigan barcha priyomniklarning ma’lumotlari boshida bitta joy (kompyuter)ga jamlangan bo‘lishini talab etadi.

RINEX formati *GPS* va *GLONASS* rasmiy ma’lumotlari formatidek, keng tarqalish oldi. Priyomniklarning ko‘plab chiquvchi ma’lumotlari, birdaniga, ushbu formatda chiqariladi yoki qulay dasturlar orqali (bo‘shatilayotgan asbob uchun o‘ziga xos) o‘tiladi.

Dastlabki qayta ishlash dasturini priyomnikning o‘ziga kiritish an‘anasi kuzatilmoqda. *Bu haqiqiy vaqtda plan olishlar uchun kerakli.*

Fazali ma’lumotlarni qayta ishlashlar bo‘yicha mulohazalar. Ushbu komponent dasturiy paketning “yuragi” hisoblanadi. Fazali ma’lumotlarni qayta ishlashlar dasturi uchta katta klasslarga bo‘linadi:

– apparaturalar ishlab chiqaruvchilar tomonidan ishlab chiqilgan va oddiy geodezik ishlarda qo‘llash uchun, priyomnik bilan to‘plamda taklif qilingan, dasturlar. Bu “tijorat dasturiy mahsulotlari” deb nomlanadi;

– asosan davlat tashkilotlari yoki akademik institutlar tomonidan, eng aniq “ilmiy” yoki geodezik ishlar uchun mo‘ljallangan dasturlar;

– “maxsus” (yoki g‘ayrioddiy) qo‘llanishlar, jumladan, dengiz yoki havo ishlarini qo‘llashdek, GAT uchun ma‘lumotlar to‘plash, bir nechta antennadan oriyentirni aniqlash uchun tizimlar, boshqa datchiklar bilan birlashish (aeroplan olish kameralari, inersial navigatsiya tizimi va boshqalarni kiritganda) dasturlari.

Ushbu klassdagi dasturlar orasida bir necha farqlar mavjud:

– *tijorat va maxsus dasturlar* odatda, bitta turdagi asboblarni ma‘lumotlarini boshqarish uchun yoziladi. Ilmiy dasturlar *RINEX* formatidagi ma‘lumotlardan foydalangan holda, asboblarga bog‘liq bo‘lmaydi;

– *tijorat dasturlari* “foydalanuvchi uchun qulay” bo‘lish an‘anasiga ega, qayta ishlovchidan minimum kiritishlar talab qilib, shaxsiy kompyuterlarga qo‘yiladi. *Ilmiy dasturlar* tadqiqotlar va aniq pozitsionirlash maqsadlari uchun, ko‘plab opsiyalarni taklif qilib va hisoblovchidan foydalanishda, katta mahorat talab qiladigan holda ishlab chiqiladi. Qo‘shimcha sifatida, bunday dasturlar katta xususiyatlarga ega va juda qiyin ma‘lumotlarni modellashtirishni qo‘llaydi, kompyuterga talablari sezilarli darajada qat’iy;

– *tijorat dasturlari* geodezik o‘lchashlar aniqligi uchun optimalashtirilgan (nisbiy aniqligi – bir necha birliklarda 10^{-6}), ushbu vaqtda ilmiy dasturlar, odatda eng yuqori aniqlikdagi ishlarga tegishlidir. *Ilmiy dasturlar* qayta ishlashning eng yupqa modellashini va uslubini tan oladi, jumladan, orbita elementlarini tenglashtirish, troposfera kechikishlarini baholash, bitta sessiyadan ko‘p bo‘lganida, bir vaqtda kuzatuvlarni qayta ishlashlar va boshqalar;

– *tijorat dasturlari* ma‘lumotlarni qayta ishlash, eng optimal bo‘lmagan algoritmlaridan foydalanadi, odatda alohida asos chiziqli rejimda, hatto ikkitadan ko‘p priyomnik bir vaqtda ishlaganda ham, ushbu vaqtda ilmiy dasturlar ko‘plab chiziqlar va ko‘plab seanslarda qayta ishlash imkoniyatiga ega;

– maxsus dasturlarni qo‘llash doirasi tezlik bilan kengaymoqda. Ayrim maxsus dasturlar “nafis” mahsulotlar bo‘lishi mumkin, boshqalari esa oddiy qo‘pol interfeys bo‘lishi mumkin [143].

To‘rni tenglashtirish dasturi bo‘yicha mulohazalar. Fazali GPS ma’lumotlarini qayta ishlash mumkin bo‘lgan, juda kichik birliklar uchun: katta bir vaqtdagi tenglashtirishda yoki ular orasidagi qandaydir kombinatsiyalarda, o‘lchashlarda to‘plangan, alohida asos chizig‘i yoki barcha ma’lumotlarda bajarilishi mumkin. Har qanday holatda ham, fazali ma’lumotlarni barcha qayta ishlashlari uchun bir qancha umumiy xususiyatlari bor.

Odatda, ular to‘r (yoki asos chizig‘i)dagi bitta stansiya koordinatalariga asoslangan, minimal cheklangan yechimlar hisoblanadi. Natijalar uch o‘lchamli koordinata shaklida (yoki dekart tizimida X, Y, Z yoki ushbu ellipsoiddagi B, L, H geodezik koordinatalarda) taqdim etiladi. Topilgan koordinatalar WGS – 84 tizimiga (aniqlik darajasida, ular qayd qilingan stansiya ma’lumotlari bilan aniqlanadi) tegishli.

Agar fazali ma’lumotlarni qayta ishlash asta-sekin bajarilsa, ya’ni alohida asos chiziqli rejimda yoki alohida sessiya qayta ishlash rejimida, alohida natijalar to‘plami to‘rni ketma-ket tenglashtirishda birlashtirilishi kerak. Shu sababli, to‘rni ikkilamchi tenglashtirish uchun dastur quyidagini bajarishi kerak:

– to‘rga alohida asos chiziqlarni (yoki *multi-baselina* rejimida ko‘p chiziqlarni) yechimlarini birlashtirish. GPS o‘lchashlarda, har doim ortiqcha ma’lumotlar bo‘ladi, unda koordinatalarni topishning eng yaxshi usuli – to‘rni tenglashtirish dasturiga GPS natijalarini *kiritishdir*. Yechimlarni birlashtirish, unda minimal cheklangan bo‘lib qoladi, ya’ni faqat bitta stansiyaning koordinatalari qayd qilinadi;

– to‘rni tenglashtirish tashqi nazorat stansiyalarining koordinatalari, lokal geodezik tizim bilan GPS yechimlarini (WGS – 84 kvazitizimida) aloqa vositalarini ta’minlashni va GPS yechimlarini cheklashni o‘z ichiga oladi;

– GPS ellipsoidal balandligini ko‘proq foydali normal balandlikka bir qancha yoki barcha kuzatuv stansiyalari uchun, geoid balandligi to‘g‘risidagi ma’lumotlarni kiritish orqali o‘zgartirish;

– turli shakldagi va formatdagi jadval tuzish imkoniyatiga ega bo‘lgan koordinatalar katalogi, to‘r sxemasi bilan hisobot tuzish.

Sanab o‘tilgan vazifalarni *to‘rni tenglashtirish dasturi* yordamida bajarish mumkin, u faqat, ushbu maqsadlar uchun, tuzilishi kerak yoki geodezik to‘rlarni tenglashtirish uchun, oddiy dasturiy ta‘minot yordamida, unga geodezik kuzatishlar boshqa turi sifatida fazali o‘lchashlarni qayta ishlash dasturidan *GPS* ma‘lumotlarini kiritish orqali bajariladi. Bu oddiy yer usti o‘lchashlari ma‘lumotlariga, ya‘ni gorizontal yo‘nalish, masofa, zenit masofasi va boshqalarga qo‘shimcha bo‘ladi.

Dastur *GPS* apparaturalari ishlab chiqaruvchilar tomonidan ishlab chiqilishi mumkin va to‘liq dastur “paketida” qo‘shimcha moduldek, taklif qilinishi mumkin, Ammo, o‘tmishda taklif etiladigan dastur paketlari oddiy to‘rlarni tenglashtirish tajribasiga ega, geodezistlar tomonidan yozilgan va alohida paketdek taklif etilgan.

Eng mashhur dasturiy paketlar vositalar to‘plamiga ega, ular fazali ma‘lumotlarni qayta ishlash, ko‘pchilik tijorat dasturlarini chiqish fayllarini o‘qishi mumkin, bu ma‘lumotlarni qo‘lda kiritishdan (baza vektorlarining koordinatalari va korvariatsiya matritsalarini) qutulish imkoniyatini beradi.

Ko‘pincha, asos chiziqlarini qayta ishlash dasturiga qo‘yiladigan, yo‘ldoshli ma‘lumotlarni aniqligini baholashda, korvariatsiya matritsasidan ma‘lumotlarni “masshtablashtirish” kerak bo‘ladi.

To‘rni tenglashtirish dasturi, yo‘ldoshli o‘lchashlarni bajarilish jarayonidagi, umumiy sifatini monitoring qilish, foydali vositasi hisoblanadi. Asos chiziqlari yoki sessiyalar o‘lchash natijalarini tenglashtirishlarini dasturga ketma-ket qo‘shish va yechimni nazorat qilish mumkin. Agar, yo‘l qo‘yib bo‘lmaydigan og‘ishlar (masalan, yomon asos chizig‘i natijasida) aniqlansa, unda o‘lchash rejalarini o‘zgartirishni (noqulay asos chizig‘ini qaytadan kuzatish yoki qo‘shimcha stansiya kiritish mumkin) talab qilish mumkin.

Bunday dasturni chiqishi, aniqligini baholash bilan (korvariatsiya matritsalarini, ellipslar yoki ellipsoidlar xatolari) stansiya koordinatalari to‘plami (*WGS-84* tizimida yoki lokal geodezik koordinata tizimida) hisoblanadi.

To‘rni tenglashtirish ayrim dasturlarida, *geoidni qurishni* imkoniyati bo‘lmaydi, shuningdek, alohida dastur talab qilinishi mumkin. Geoidni hisoblash dasturi, garchi geoid balandligi to‘plamlari mavjud bo‘lsa ham, nisbatan, kam hisoblanadi. Masalan, oldindan hisoblangan geoid

balandligini to‘r bo‘yicha interpolatsiya qilish uchun AQSHga, Kanadaga hamda Avstraliyaga dastur mavjud. Kam sonli dasturlar gravimetrik plan olish ma’lumotlari bo‘yicha, geoidning balandligini hisoblashga qodir.

Trimble, Ashtech (Thales Navigation), Leica Geosystems, Javad (Topcon) firmalari to‘rni tenglashtirish dasturlarini, qayta ishlash tijorat paketlarining ichida moduldek taklif etadi.

GPS apparaturalari ishlab chiqaruvchilar paketiga, natijalarni taqdim etish dasturlarini qo‘shish va to‘r sxemasi, koordinatalar vedomosti va boshqalarni yaratib, buyurtmachi uchun hisobot tuzishga yordam berish an’anasi bor [143].

14-BOB. RADIOTO‘LQINLARNING TARQALISH MUHITI

14.1. Radioto‘lqinlar tarqalishiga muhitning ta’siri

Signallarning tarqalish tezligi, har qanday dalnomer tizimlari uchun alohida ahamiyatga ega. Aynan, tezlik tarqalishning o‘lchangan vaqt intervaliga ko‘paytirilgan o‘lchash uzoqligini ta’minlaydi.

GPS / GLONASS yo‘ldoshlari bilan uzatiladigan signallar, Yerdan yoki yuzaga yaqin joylashgan, priyomnikacha bo‘lgan yo‘lni bosib o‘tadi, bunda ular yer atmosferasi orqali o‘tishga majbur. Natijada signallar, zaryadlangan zarralar tarkibi va neytral atomlar hamda atmosfera molekulalari bilan o‘zaro ta’sirlashadi, ularning tarqalish tezligi va yo‘nalishi o‘zgaradi. Tarqalishning eng tavsifli sohalari troposfera, tropopauza, stratosfera va ionosferalar hisoblanadi.

Ionosfera Yer yuzasidan 50 va 1500 km oralig‘idagi atmosfera sohasini qamrab oladi va ozod elektronlarning (manfiy zaryadlangan) borligi bilan tavsiflanadi. 30 MGs dan past tashuvchi chastotalar ionosferada aks ettiriladi, unga faqat, eng yuqori chastotalar kirib boradi. Ionosfera tarqalish muhitiga qarshilik ko‘rsatmaydigan hisoblanadi, ya’ni tashuvchi chastota modulyatsiyasi va fazasi turli xil ta’sirlarga duch keladi, bu ta’sir tashuvchi chastotaning funksiyasi hisoblanadi.

Troposfera, tropopauza va stratosferalardan tarkib topgan, neytral atmosferaning birlashgan ta’siri, troposfera refraksiyasi deb ataladi. Troposfera refraksiyasining ta’siri Yer yuzasidan, taxminan, 40 km balandlikkacha bo‘lishi mumkin. 30 GGs dan past chastotalar uchun troposfera o‘zini qarshilik ko‘rsatuvchi muhit kabi tutadi, ya’ni refraksiya, u orqali uzatilayotgan chastota signallariga bog‘liq emas.

Yo‘ldosh signallari, qachon yer yuzasiga yetganida, ular ideal holatda bevosita antennada qabul qilinadi. Ammo, antenna priyomnik atrofida predmetlardan aks ettirilgan signallarni ham qabul qilishi mumkin. Bu hodisa signallarning ko‘pyo‘lliligi (yoki ko‘pnurli) deb ataladi, faza kodlari va tashuvchi fazalarni kuzatishlarda, nomaqbulliklarni keltirib chiqaradi. Ko‘pyo‘llilik pozitsionirlashda xatolar manbayining dominantlaridan biri hisoblanadi. Antennaning elektr markazi va geometrik markazi doimo aniq mos kelmaydi va vaqt o‘tishi bilan ozroq o‘zgarish an’anasiga ega. Bu o‘zgarish yo‘ldoshlar

geometriyasining funksiyasi hisoblanadi. Bu o'zgarishning qiymati santimetrlik oraliqlarida bo'lishi mumkin, fazali markazning holatini o'zgarishi, aniq pozitsionirlashda, juda jiddiy hisoblanadi [123].

Yer atmosferasining tuzilishi. Fanda eng ko'p qo'llaniladigan, atmosferaning vertikal tuzilish modeli, turli xil fizik parametrlar bilan har xil qalinlikdagi qatlamlar to'plami to'g'risida tasavvurga ega bo'lish uchun xizmat qiladi. Balandlik bo'yicha haroratning taqsimlanishiga ko'ra, atmosfera quyidagi asosiy qatlamlarga bo'linadi: troposfera (9–17 km gacha), stratosfera (50–55 km gacha), mezosfera (80–85 km gacha) va termosferalar (14.1-rasm). Ushbu qatlamlar orasidagi chegaralar yoki o'tish qatlamlari quyidagicha nomlanadi: troposfera va stratosfera orasidagi – tropopauza, stratosfera va mezosfera orasidagi – stratopauza, mezosfera va termosfera orasidagi – mezopauza. Fizik-kimyoviy jarayonlar bo'yicha ozonosfera (10–50 km) ajraladi, neytral atmosfera (yuzadan 70–80 km), ionosfera (70–80 km dan yuqori), xemosfera (stratosferadan termosferaning quyi qismigacha).



14.1-rasm. Yer atmosferasining tuzilishi [123].

Elektromagnit signallarning tarqalishiga eng ko'p ta'sirni, o'zining fizik tavsiflari kuchida, atmosfera stratifikatsiyasining turli uslublariga tegishli bo'lgan, ikkita qatlam ko'rsatadi. Agar qatlamlar, ularning elektromagnit xususiyatlaridan kelib chiqib ajralsa, unda signallarning tarqalishiga sezilarli ta'sirni ionosfera ko'rsatadi. U quyosh shamoli bilan ionlashadigan (to'g'ri quyosh radiatsiyasi bilan) va elektronlarning ionlashishida ozod bo'lgan zarralardan iboratdir.

Ionlarning elektr maydoni elektromagnit to‘lqinlarning tezligiga ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu ta’sirning natijasi, ionosfera refraksiyasi deb nomlanuvchi, yo‘ldoshgacha o‘lchangan masofaning I_p sistematik xatoligi hisoblanadi, u birinchi yaqinlashtirishda ionosferadagi E elektronlar zichligiga proporsional va f signal chastotalari kvadratlariga teskari proporsionaldir.

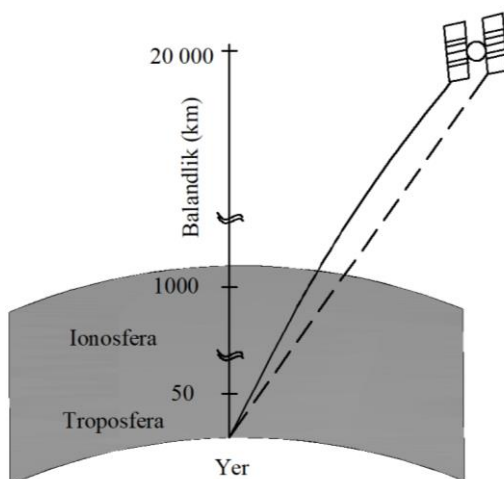
Ionosferadan pastda joylashgan, neytral atmosfera qatlami ham, elektromagnit signallarining o‘tishiga ta’sir qiladi. Ushbu qatlamda mavjud bo‘lgan atomlar va molekulalar elektrik neytral hisoblanadi, ya’ni 30 GGs gacha chastotalar uchun qarshilik ko‘rsatuvchidir, ammo ular tezlikni kamaytirib va signalni tarqalish trassasini qiyshaytirib, muhitning sinish ko‘rsatichiga ta’sir ko‘rsatadi, buning natijasida, vakuum uchun hisoblangan vaqt bilan taqqoslanganida u kechikadi.

Agar neytral atmosferani (yuzadan 70 km balandlikkacha), uning fizik xususiyatlari nuqtayi nazaridan (harorat, bosim, namlik) qarasak, unda troposfera va stratosferaning qaysidir qismlari mos keladi. Troposfera deb, haroratni bir tekis tushishi bilan tavsiflanadigan, yer yuzasi atmosfera qatlamiga aytiladi. Navbatdagi qatlam troposferadan tropopauza – yuzasi bilan ajratilgan, unda vertikal harorat gradiyenti $\beta = dT/dH$ birdaniga amalda 0 gacha tushadi. Stratosferada harorat, taxminan doimiy qoladi yoki balandlik bilan xatto oshadi. β parametr ayrim hollarda, balandlik bilan haroratni tushish tezligi deb aytiladi.

Adabiyotlarda signallarning o‘tishiga, troposfera ta’siri to‘g‘risida aytish qabul qilingan, ammo shuni tushunish kerakki, “troposfera” atamasini “neytral atmosfera” atamasi bilan almashtirish yanada to‘g‘riroq bo‘lar edi. Keyinchalik bu ikkala atama ham elektromagnit to‘lqinlarning tarqalishiga, ularning ta’siri nuqtayi nazaridan ekvivalentdek qo‘llanilishi mumkin.

GPS signallari yo‘ldoshdan priyomnikacha bo‘lgan tarqalish muhitining ta’siriga uchraydi. Bosib o‘tilgan masofa yo‘ldoshning ko‘tarilishiga va tushishiga qarab, 20000 km oralig‘iga teng, yo‘ldosh zenitda bo‘lganida, taxminan 26000 km gacha. Shuni hisobga olish mumkinki, to‘lqin bosib o‘tgan yo‘lning atigi 5% vakuumda yoki ochiq koinotda joylashgan, ular orqali elektromagnit signallar doimiy tezlik $c = 299792458$ m/s bilan o‘tadi, bu barchaga yaxshi ma’lum, universal

doimiylik hisoblanadi. Yer yuzasiga yaqin, taxminan 1000 km balandlikda (14.2-rasm) signallar zaryadlangan zarralardan iborat, ionosfera deb ataluvchi atmosferaga kiradi. Yana Yer yuzasiga yaqinroqda 40 km atrofida signallar troposfera deb ataluvchi elektrik neytral gazli atmosfera bilan duch keladi.



14.2-rasm. Yer atmosferasida GPS signallari refraksiyasi
signallarning tezligi va yoʻnalishining oʻzgarishiga olib keladi. Signal
nurlarining egriligi natijasida, yoʻlning oshishi, rasmda boʻrttirib
koʻrsatilgan, odatda ahamiyatga ega emas[137].

Atmosfera radiosignallarni tarqalish tezligini (qiymati va yoʻnalishini) oʻzgartiradi. Bu hodisa refraksiya deb ataladi. Tarqalish tezligidagi oʻzgarish, signalni oʻtish vaqtini ham oʻzgartiradi, u GPS oʻlchashlarida asos hisoblanadi. Qisqacha refraksiya tabiatini va radiotoʻlqinlarni tarqalishini koʻrib chiqamiz.

Muhitning n sinish koʻrsatkichi, vakuumda c signalning tarqalish tezligini, v muhitdagi tezligiga nisbatidek aniqlanadi:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (14.1)$$

Shuningdek, ionosfera va troposfera tarkibi boʻyicha bir xil hisoblanmaydi, sinish koʻrsatkichi signal yoʻli boʻylab oʻzgaradi. Ikki muhit orasidagi chegaralarda turli sinish koʻrsatkichi bilan (yoki sinish koʻrsatkichi oʻzgaruvchan muhitda) signal nurining yoʻldan ogʻishi Snellius qonuniga koʻra tavsiflanadi.

Ushbu qonunga mos holda,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad (14.2)$$

bu yerda: n_1 – birinchi muhitdagi sinish ko‘rsatkichi; θ_1 – tushish burchagi (tushuvchi signal yo‘nalishi va muhitlar orasidagi yuzaga normal orasida); n_2 – ikkinchi muhitning sinish ko‘rsatkichi; θ_2 – o‘zgartirilgan burchak (o‘zgartirilgan signal yo‘nalishi va yuzaga normal orasidagi).

Yo‘lning og‘ishi Ferma tamoyilining (kam vaqt tamoyili) to‘g‘ridan to‘g‘ri oqibati hisoblanadi, barcha mumkin bo‘lgan yo‘llardan, yoritgich (va boshqa elektromagnit to‘lqinlar), eng kam vaqt sarflaydigan yo‘l bo‘yicha tarqaladi. Shunday qilib, signal tezligining o‘zgarishi, signalning o‘tish vaqtini ham o‘zgartiradi, shuningdek, yo‘ldoshgacha masofa ham o‘zgaradi. Muhitdagi sinish ko‘rsatkichining o‘zgarishi, signal yo‘lining egilishiga olib keladi va natijada to‘g‘ri chiziqli geometrik uzoqlikka qaraganda, yo‘lni uzoqroq qiladi (14.2-rasmga qarang). Bu egilgan yo‘l bo‘ylab o‘tish vaqti, ammo, to‘g‘ri chiziqli bo‘yicha o‘tgan yo‘lga qaraganda qisqaroq. Signal yo‘lining egilish ta‘siri kichik balandlikdagi burchaklardan tashqari juda kam.

S yo‘ldoshdan R priyomnikkacha signalning tarqalish yo‘li bo‘ylab, sinish ko‘rsatkichining profilini bilgan holda, o‘tish vaqti quyidagicha topiladi

$$\tau = \frac{1}{c} \int_S^R n(s) ds, \quad (14.3)$$

bu yerda integrallash signalning tarqalishi bo‘ylab olib boriladi, $n(s)$ esa muhitning sinish ko‘rsatkichi o‘zgarishini ifodalaydi. Refraksiya natijasida signalning tarqalishi (kechikishi) ortiqcha vaqti uchun, ifodani quyidagidek, yozish mumkin:

$$\tau = \frac{1}{c} \int_S^R [n(s) - 1] ds, \quad (14.4)$$

yoki, ekvivalent yo‘l uzunligida haqiqiy uzayishdek (yo‘l kechikishi)

$$\Delta s = \int_S^R [n(s) - 1] ds. \quad (14.5)$$

Agar muhitning sinish ko‘rsatkichi signal chastotasiga bog‘liq bo‘lsa, unda muhit *tarqatuvchi* deb ataladi. Masalan, shisha prizma ko‘rinadigan yorug‘lik uchun tarqatuvchi hisoblanadi. L diapazonidagi

radiosignallar uchun, ionosfera tarqatuvchi muhit hisoblanadi, ammo troposfera neytral muhit hisoblanadi.

Signalning vaqt mobaynida o'tishidagi ortiqchaligini aniqlashda, uni ionosfera va troposferada o'tishlarini, tarqalish yo'li bo'ylab, sinish ko'rsatkichini aniqlash kerak bo'ladi.

Fazali va guruhli tezlik. f chastota va λ to'lqin uzunligi bilan fazali elektromagnit to'lqinlarning tarqalish tezligi quyidagiga teng:

$$v_{\phi} = \lambda f. \quad (14.6)$$

GPS va GLONASS fazali tashuvchi to'lqinlari, ushbu tezlikda tarqaladi. Guruhli to'lqinlar uchun chastota sezilarli darajada boshqacha va guruh uchun tarqalish tezligi quyidagicha aniqlanadi

$$v_g = -\frac{df}{d\lambda} \lambda. \quad (14.7)$$

Differensiallash (6.6) orqali fazali va guruhli tezliklar orasidagi nisbatni o'rnatish mumkin

$$dv_{\phi} = f d\lambda + \lambda df, \quad (14.8)$$

bundan

$$\frac{df}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{dv_{\phi}}{d\lambda} - \frac{f}{\lambda}. \quad (14.9)$$

(14.9) ni (14.7) ga qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$v_g = -\lambda \frac{dv_{\phi}}{d\lambda} + f\lambda = v_{\phi} - \lambda \frac{dv_{\phi}}{d\lambda}. \quad (14.10)$$

Muhitdagi to'lqinlarning tarqalish tezligi, muhitning sinish ko'rsatkichiga bog'liq:

$$v = c/n, \quad (14.11)$$

bu yerda: c – yorug'likning vakuumdagi tezligi.

Fazali va guruhli tezliklarni (14.11) ifodada qo'llab, quyidagini topamiz:

$$v_{\phi} = \frac{c}{n_{\phi}}; \quad v_g = \frac{c}{n_g}, \quad (14.12)$$

bu yerda: n_{ϕ} va n_g – mos keluvchi sinish ko'rsatkichlari.

v_{ϕ} ni differensiallab, λ orqali bog'lab va (14.10) ga qo'yib, quyidagini ko'rsatish mumkin

$$n_g = n_{\phi} + f \frac{dn_{\phi}}{df}. \quad (14.13)$$

Troposfera uchun, fazali va guruhli sinish ko'rsatkichlari chastotaga bog'liq emas, shuning uchun $n_{\phi} = n_g$ [68].

14.1.1. Ionosferaning kuzatish parametrlariga ta'siri

Ionosfera, Yerdan 50 km atrofidagi balandlikdan boshlab, taxminan, 1000 km gacha cho'zilgan ionlashgan gazlar (ozod elektronlar va ionlar) sohasi hisoblanadi. Ionlash quyosh radiatsiyasidan kelib chiqadi va ionosferaning holati, asosan, quyosh faolligi intensivligidan aniqlanadi. Ionosfera turli balandliklardagi qatlamlar ($D, E, F1$ va $F2$ deb ataluvchi qatlamlar) dan iborat, har qaysisi o'zining hosil bo'lish tezligiga va ozod elektronlarning yo'qolishiga ega. Elektron zichlikning cho'qqisi (elektronlar soni kub metrda) 250 – 400 km ($F2$ qatlam) balandlik oralig'iga to'g'ri keladi.

Ionosferaning fizik tavsiflari kundan tungacha, keng chegaralarda o'zgaradi. Quyosh chiqishi bilan, uning ultrabinafsha nurlari gaz molekulalarini (asosan, katta balandliklarda H_2 va H_e kichik balandliklarda esa - O_2 va N_2) ionlarga va ozod elektronlarga parchalashni boshlaydi. Elektron zichlikning cho'qqisi, mahalliy yarim kundan keyin, soat 14:00 yaqin boshlanadi, so'ng esa, zichlik kamayishni boshlaydi. Tunda ionlashish sodir bo'lmaydi va ionlar hamda elektronlar bir-birlarini topadi va ozod elektronlar sonini kamaytirib, birlashadi. Yil vaqtiga va quyosh faolligi siklining 11 yillik fazasiga bog'liq holda, sezilarli o'zgarishlar kuzatiladi. (Joriy quyosh sikli 1995-yildan boshlangan va 2000-yilda cho'qqiga chiqqan). Quyosh faolligi va geomagnit buzilishlarga bog'liq holda, kundan-kunga sezilarli o'zgarishlar ham paydo bo'lishi mumkin. Oldindan aytib bo'lmaydigan, qisqa muddatli ta'sirlar va lokal anomaliyalar (harakatlanuvchan ionosfera buzilishlari) ham bor.

Ionosferada radiosignallarning tarqalish tezligi, to'liq elektron konsentratsiyasi TEC (*Total ElektronContent*) qiymatidan aniqlanadigan, ularning yo'lidagi ozod elektronlar soniga ham bog'liq. Priyomnikdan yo'ldoshgacha cho'zilgan, 1 kv. metr kesimli ustun o'z ichiga olgan elektronlar sonidir:

$$TEC = \int_S^R n_e(s) ds, \quad (14.14)$$

bu yerda: $n(s)$ – signalning yo‘li bo‘ylab, o‘zgaruvchan elektron zichlik, integrallash S yo‘ldoshdan R priyomnikkacha signalning yo‘li bo‘ylab olib boriladi. Ionosfera orqali yo‘lning uzunligi, zenit yo‘nalishida eng qisqa va TEC vertikal yo‘nalishda (*Vertical TEC, TECV*) eng kichik qiymatga ega. TEC qiymati 10^{16} elektronlar/kv.metrdek aniqlanadigan, $TECU$ (*TEC Units*) birliklarida o‘lchanadi. Odatda, $TECV$ 1 va 150 $TECU$ orasida o‘lchanadi. Ushbu joyda, ushbu vaqtda, $TECV$ uning o‘rtacha oylik qiymatidan 20–25% ga o‘zgarishi mumkin. Ionosferaning zamonaviy modellari sutkalar orasida, TEC ga yetarli o‘zgarishlar taqdim etishni ta’minlamaydi.

Ionosfera, odatda o‘rtacha kengliklarda tinch xulqqa ega, ammo ekvator yaqinida va magnit qutblarida tebranishi mumkin. Ionosfera kechikishi eng yuqori bo‘lgan rayon, magnit ekvatoridan $\pm 20^\circ$ oraliqlarda yotadi. Quyoshdagi portlashlar va navbatdagi magnit bo‘ronlari, tashuvchi fazaga va $SRNS$ signallari amplitudasiga, ulkan va tez tebranishlarni yaratishi mumkin. Bu hodisa, garchi, o‘rta kengliklarda, qisqa muddatli va kam uchraydigan bo‘lishiga qaramasdan, qutbiy va ekvatorial rayonlarda, signallarni to‘xtovsiz kuzatishlarda qiyinchilik tug‘dirishi mumkin.

Fazali o‘zish va guruhli kechikish. Ionlashgan gaz, radioto‘lqinlar uchun, tarqatuvchi muhitni yaratadi. n_ϕ fazali sinish ko‘rsatkichi f chastotali radioto‘lqinlar uchun quyidagiga teng:

$$n_\phi \approx 1 - \frac{40.3n_e}{f^2}, \quad (14.15)$$

bu yerda: n_e – elektronlarning zichligi. Sinish ko‘rsatkichi 1 dan ozroq kichik ($\approx 0,99998$ markaziy $L1$ chastotalar uchun) va ionosferada GPS fazali tezligi aniq pozitsionirlash qiymati uchun yetarli darajada katta vakuumdagi yorug‘lik tezligidan oshadi. Sinish ko‘rsatkichi uchun ifodadan I_τ fazali kechikishni (sekundlarda) hisoblash mumkin, ionosfera orqali uni tarqalishida, signal uni o‘zida sinaydi:

$$I_\tau = \frac{1}{c} \int_S^R (n_\phi(s) - 1) ds = -\frac{1}{c} \int_S^R \frac{40.3n_e(s)}{f^2} ds = -\frac{40.3 \cdot TEC}{cf^2}. \quad (14.16)$$

Fazali kechikish manfiy, ya’ni faza bo‘yicha o‘zish kuzatiladi. Fazali o‘zish I_ϕ (metrda) signal yo‘lidagi elektronlar soniga to‘g‘ri proporsional, ya’ni:

$$I_{\phi} = c \cdot I_{\tau} = -\frac{40.3 \cdot TEC}{f^2}. \quad (14.17)$$

(6.13) dan guruhli sinish ko'rsatkichini aniqlash mumkin:

$$n_g = 1 + \frac{40.3 \cdot TEC}{f^2}, \quad (14.18)$$

Unda kodlar bo'yicha o'lchangan, psevdouzoqlik uchun ionosfera kechikishi (metrda) quyidagiga teng:

$$I_p = \frac{40.3 \cdot TEC}{f^2}. \quad (14.19)$$

Fazali o'zish qiymati ko'pincha, sikllarda, ya'ni I_{ϕ} o'z ichiga olgan, mos keluvchi to'liq uzunligi sonida ifodalanadi. Chunki $\lambda = c/f$, unda

$$I_{\phi} = -\frac{40.3 \cdot TEC}{cf}. \quad (14.20)$$

f gerslarda, TEC esa, elektron/kv. metrda berilgan shartlarda, (14.17) va (14.19) formulalar ionosfera kechikishi qiymatlarini metrda beradi. Endi guruhli ionosfera kechikishini, oddiy I bilan, fazali kechikishni esa $-I$ bilan belgilaymiz, bunda uning o'lchamlarini (I_{ϕ} , I_p metrlarda, I_{ϕ} sikllarda yoki I_{τ} sekundlarda) ko'rsatish mumkin.

14.1-jadvalda bir necha chastota uchun va TEC kattalik ikkita qiymatlari uchun, ionosfera kechikishlari keltiriladi. Ionosferaning $L1$ va $L2$ chastota diapazonlariga katta ta'sir ko'rsatishi ko'rinib turibdi. TEC kattalik, odatda 10^{16} dan 10^{18} gacha oraliqlarda joylashadi [123, 137].

14.1-jadval

Uzoqlikka ionosfera tuzatmalari (metrlarda)

Chastotalar	$TEC = 10^{16} (el/m^2)$	$TEC = 10^{18} (el/m^2)$
1000 MGs	40.000	4000.0
400 MGs	2.500	250.0
f_{L1}	0.260	26.0
f_{L2}	0.160	16.0
2 GGs	0.100	10.0
10 GGs	0.004	0.4

Ionosfera modellari. (14.17), (14.19) va (14.20) formulalar ko'rsatadiki, psevdouzoqlik va tashuvchi faza o'zgarishlariga tuzatmalar kiritish uchun, radionur yo'nalishi bo'yicha, to'liq elektron

konsentratsiyasini – TEC parametrlarini yetarlicha aniq bilish kerak bo‘ladi. O‘lchash parametrlariga, o‘lchash natijalari bo‘yicha yoki modellashtirish yordamida, ionosfera ta’sirini kamaytirish uchun yoki hisobga olish uchun, bir necha usullar ishlab chiqilgan. Shu bilan birgalikda, ionosfera kechikishi chastotadan, shuningdek, uning turli fazali va kodli o‘lchashlarga ta’sirlariga bog‘liqdek foydalaniladi. Ushbu masalani ko‘rib chiqishda, psevdouzoqlik va tashuvchi fazalarni o‘lchashlarni soddalashtirilgan modelidan foydalanamiz. A

priyomnik bilan i yo‘ldoshgacha o‘lchangan P_A^i psevdouzoqlik boshqa xatolar manbayi yo‘q bo‘lganida, geometrik uzoqlik ρ_A^i bilan quyidagicha bog‘langan

$$P_A^i = \rho_A^i + c(dt_A - dt^i) + I_A^i + T_A^i + e_p. \quad (14.21)$$

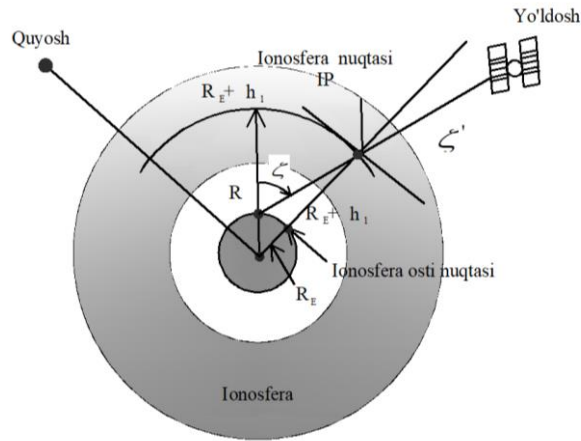
Shunday tarzda, chiziqli o‘lchashlarda taqdim etilgan, tashuvchi fazani o‘lchash, o‘xshash formulaning geometrik uzoqligi bilan bog‘langan:

$$\Phi_A^i = \rho_A^i + c(dt_A - dt^i) + I_A^i + T_A^i + \lambda N_A^i + \varepsilon_\phi, \quad (14.22)$$

bu yerda: N_A^i – fazaning boshlang‘ich bir xil emasligi; dt_A, dt^i – priyomnik va yo‘ldosh soatlariga tuzatmalar; T_A^i – troposfera kechikishi; e_p va ε_ϕ – psevdouzoqlik uchun va fazalar uchun shovqin o‘lchashlari.

Ionosferaning nuqtali modeli. Geometrik modellashtirishni soddalashtirish uchun, ionosferani Yerni o‘rab turuvchi yupqa qobiqdek qarash mumkin (14.3-rasm). Signal yo‘lining uzunligi osmonda yo‘ldosh o‘rni o‘zgarishida almashadi: yo‘ldosh qancha pastda bo‘lsa, shunchalik yo‘l uzun va TEC katta bo‘ladi. Elektronlarning yon gradiyentlarini, yo‘q deb hisoblasak, vertikal TEC ($TECV$) orqali signal yo‘li bo‘ylab, TEC uchun oddiy va kompakt tavsifni qabul qilish mumkin. Bu ko‘paytma, OF qiyalik omili (“ionosfera aks ettirish funksiyasi” atamasi ham qo‘llaniladi) deb ataladi. S yo‘ldoshni R priyomnikka nisbatan o‘rnini tasavvur qilish uchun, zenit masofasini ζ ko‘rib chiqishga kiritamiz.

Ionosfera qatlamining o‘rtacha balandligi yoki o‘rtacha ionosfera balandligi h_f , odatda 300–400 km oraliqlarda olinadi.



14.3-rasm. Ionosfera orqali radionurning o'tishi.

IP ionosfera nuqtasi h_i balandlikdagi sferik qatlam bilan vizirlash chizig'ining kesishish nuqtasidek aniqlanadi. Yer yuzasiga radius-vektor bo'yicha, uning proyeksiyasi *ionosferaosti nuqtasi* deb ataladi. Endi *TECV* ni *TEC* bilan ζ zenit masofasida, yupqa ionosfera qatlamini yo'l uzunligidek, bog'lash mumkin:

$$TEC(\zeta) = \frac{1}{\cos \zeta'} \cdot TECV, \quad (14.23)$$

bu yerda: ζ va ζ' – yo'ldoshning zenit masofasi, mos ravishda, foydalanuvchi va *IP* ionosfera nuqtasi o'rinlari. $(\cos \zeta')^{-1}$ a'zo qiyalik omilini aniqlaydi, uni quyidagi tarzda, kuzatuvchining o'rnida yo'ldoshning zenit masofasi orqali yozish mumkin. Yer markazi, R priyomnik va *IP* ionosfera nuqtasi bilan hosil qilingan, uchburchakdan, sinuslar teoremasiga ko'ra, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{\sin \zeta}{R_{Ye} + h_i} = \frac{\sin \zeta'}{R_{Ye}}, \quad (14.24)$$

bu yerda: R_{Ye} – Yerning o'rtacha radiusi, 6371 km ga teng. Bu yerdan ζ zenit masofasi uchun OF_I ionosfera qiyalik omili topiladi:

$$OF_I(\zeta) = \left[1 - \left(\frac{R_{Ye} \sin \zeta}{R_{Ye} + h_i} \right)^2 \right]^{-1/2}. \quad (14.25)$$

OF_I kattaligi birdan (zenitga yo'nalish uchun) 5° dagi balandlik burchaklari uchun, taxminan uchtagacha oraliqlarda yotadi.

(14.23) nisbatni (14.17) va (14.19) bilan mos ravishda *SRNS* signallari uchun fazali o'zish yoki guruhli kechikishlarga bevosita

aylantirish mumkin. Ionosfera kechikishini $I(\zeta)$ zenit masofasining funksiyasidek belgilab, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$I(\zeta) = I_z \cdot OF_I(\zeta). \quad (14.26)$$

I_z ionosfera zenit kechikishi, ya’ni zenit yo‘nalishidagi yo‘l kechikishi, odatda o‘rta kengliklarda tunda, taxminan, 1–3 m, tushda 5–15 m gacha o‘zgaradi. Quyosh siklining faolligi cho‘qqisida, ekvatorida zenit kechikishi 36 m bo‘lganligi kuzatilgan [137]. Shuningdek, $I(\zeta)$ va I_z kattaliklar birgina va ushbu momentga, aynan, t kuzatishlar momentiga tegishli bo‘lishi kerak.

Ionosferaning tekis modeli. Ionosferaning oddiy modeli, ozod elektronlarning bir xil tarqalishiga ega bo‘lgan, tekis qatlamga teng qalinlikdagi priyomnikning alohida o‘rni uchun yaqinlashadi. Bu model Yerning egriligini hisobga olmaydi. Bunday oddiy model uchun vertikal guruhli kechikish yo‘l bo‘ylab, quyidagicha taqdim etiladi

$$I_A^i = \frac{I_z}{\cos \zeta_A^i} = \frac{I_z}{\sinh_A^i}. \quad (14.27)$$

R priyomnik bilan ko‘rinadigan, ζ_A^i simvol bilan i yo‘ldoshning zenit masofasi belgilangan. Ushbu modelda, vertikal guruhli kechikish, yo‘ldosh azimutidan mustaqil, doimiy hisoblanadi. Zenit masofasi o‘rniga, yo‘ldoshning gorizontdan balanddagi stansiyasi $h_A^i = 90^\circ - \zeta_A^i$ qo‘llanilishi mumkin. (14.21) va (14.22) birlashtirib, apparaturadagi kechikishni va ko‘pyo‘llilikni e’tiborga olmasdan quyidagini hosil qilamiz:

$$P_A^i - \Phi_A^i = 2I_A^i \frac{1}{\sinh_A^i} - \lambda N_A^i. \quad (14.28)$$

Har ehtimolga qarshi, konseptual jihatdan, vertikal guruhli kechikish va noaniqlikni kodli hamda fazali o‘lchashlar seriyasidan aniqlash mumkin. Haqiqatda, priyomnik va yo‘ldosh apparaturalaridagi, har qanday kechikishlar, qaysidir kechikishlar doimiy qoladi, qaysidir o‘lchashlarda noaniqlik yig‘indisiga kiradi.

Sutkalik kosinus modeli. Priyomnikning o‘rniga nisbatan, Yerning aylanishi va Quyoshning sutkalik harakati, bir nechta eng mukammallashgan modellarni hisobga oladi. Masalan,

$$I_z(t) = I_{z,\max} \cos(t_{\text{Sun}} - 2^h). \quad (14.29)$$

$I_{Z,max}$ simvol bilan maksimal vertikal kechikish belgilangan, u mahalliy vaqt bilan 14:00 atrofidagi o‘ringa ega [123]. Quyoshning soat burchagi t_{Sun} ga teng. (14.29) modelni (14.28) ga qo‘yish mumkin.

Ikki chastotali o‘lchashlar bo‘yicha kechikishni baholash. Ikki chastotali apparaturaga ($L1-L2$) ega bo‘lgan foydalanuvchi, ionosfera guruhli kechikishini va o‘lchashlar bo‘yicha fazali o‘zishni baholashi hamda o‘lchash xatolari manbalaridan, ionosfera ta’sirini sezilarli darajada chiqarib tashlashi mumkin. Psedouzoqlikni o‘lchash uchun, $L1$ yoki $L2$ da o‘lchashlar uchun, qo‘shimcha pastki indeks kiritib, (14.21) tenglamani qaytadan yozamiz:

$$P_q = \rho + c[dt_A - dt^i] + I_q + T + e_{\rho_q}, \quad (14.30)$$

bu yerda: $q = L1$ yoki $L2$. Chastota kvadratiga bog‘liq, ionosfera kechikishini modellashtirish va ionosfera effekti bilan bog‘liq bo‘lmagan, a’zolari birlashtirib, yuqorida keltirilgan tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$P_q = P^* + \frac{A}{f_q^2}, \quad (14.31)$$

bu yerda: $PL1$ va $PL2$ – lar mos ravishda $L1$ yoki $L2$ larda o‘lchangan psedouzoqliklar, $fL1$ va $fL2$ – mos keluvchi tashuvchi chastotalar, P^* – ionosfera ta’siridan ozod, psedouzoqlik, ya’ni ionosfera effekti yo‘qligidagi psevdouzoqlikni o‘lchash va $A = 40.3 \cdot TEC$ kattalik noma’lum parametr hisoblanadi. Ikki chastotali o‘lchashlardan P^* va A ni aniqlash mumkin. Masalan, ionosferali guruhli kechikishi $L1$ ga teng

$$I_{L1} = \frac{A}{f_{L1}^2} = \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} (P_{L2} - P_{L1}), \quad (14.32)$$

ionosfera ta’siridan ozod, psedouzoqlik esa,

$$P^* = \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} P_{L2} - \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} = 2.546P_{L1} - 1.546P_{L2}. \quad (14.33)$$

Ionosfera-ozod psevdouzoqligi (6.33) masalasida ikkita mulohaza bor. Birinchidan, bu o‘lchashlarda, $PL1$ dagidek $PL2$ da ham, to‘lig‘icha yo‘ldosh soatlari, efemerida va troposfera natijasida xatolar mavjud. Ikkinchidan, ionosfera ta’sirini yo‘qotish uchun, haq to‘lash kerak bo‘ladi: $L1$ va $L2$ da o‘lchangan, psedouzoqlikka qaraganda, ionosfera-ozod psevdouzoqligi sezilarli darajada shovqinli. Agar biz

ko‘pyo‘llilik va priyomnik shovqinini bog‘lanmagan va bir xil dispersiyaga ega $L1$ va $L2$ dek, modellash tirsak, unda ionosfera-ozod psevdouzoqligi shovqini, taxminan, $L1$ yoki $L2$ qaraganda,

$$\sqrt{2,546^2 + 1,546^2} = 3$$

marta katta bo‘ladi.

Tashuvchi fazalarni o‘lchash kam shovqinlidir va ularga asoslanib, ionosfera faza o‘lchashlarini baholashga urinib ko‘rish mumkin. Birinchidan, $L1$ va $L2$ o‘lchashlarda farqlarni kiritib, tashuvchi fazalarni (14.28) o‘lchash uchun ifodani yozamiz:

$$\Phi_q = \rho - I_q + T + c(dt_A - dt^i) + \lambda N_q + \varepsilon_{\phi_q}. \quad (14.34)$$

(14.32) yoki (14.33) o‘xshash, tenglamalarni butun noaniqliklarni qo‘shgan holda, ionosfera-ozod tashuvchi fazalari uchun yozish mumkin. Shunday qilib, $L1$ da fazali o‘zish quyidagiga teng:

$$I_{L1} = \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} [\lambda_{L1}(\Phi_{L2} - N_{L1}) - \lambda_{L2}(\Phi_{L1} - N_{L2})], \quad (14.35)$$

Ionosfera kechikishlarini baholashda (14.32) kodli o‘lchashlar noaniqliklarni o‘z ichiga olmaydi, ammo juda ham qo‘pol. (14.35) fazali o‘lchashlar bo‘yicha mos keluvchi baholashlar aniq bo‘ladi, ammo $NL1$ va $NL2$ butun noaniqliklarni o‘z ichiga olmaydi, ularni aniqlash yetarlicha qiyin masaladir. $NL1$ va $NL2$ doimiylarni saqlagan holda va fazalarni kuzatish davomli vaqtda olib borilganligi sababli, (14.35) ni unda haqiqiy vaqtda o‘lchash davrlari orasidagi ionosfera kechikishlaridagi o‘lchashlarni baholash uchun qo‘llash mumkin. Bunday o‘lchashlar differensial kechikishlar deb ataladi va uni (14.35) bo‘yicha baholash santimetrli aniqlik darajasiga ega. Kodlar bo‘yicha ionosfera kechikishlari shovqin baholashlarini, fazali o‘lchashlardan, differensial kechikishni baholash bo‘yicha tekislash mumkin. Olingan tekislangan baholashlar, odatda yo‘ldosh 30° balandlikkacha ko‘tarilganidan keyin, detsimetrli aniqlik darajasiga ega bo‘ladi.

Navstar navigatsiya xabarida ionosfera modeli. Haqiqiy vaqtda, pozitsionirlashni (navigatsiya va geodezik o‘lchashlarda) olib borishda, alohida priyomnikka yordam berish uchun, $L1$ chastotada zenit vaqtinchalik kechikishini hisoblashda, ko‘pincha “Klobuchar modeli” ishlatiladi. Algoritm tungi soatlarda va kunduzgi soatlarda (14.4-rasm) kosinusli taqdimotlarda (ijobiy yarim davr) ionosfera kechikishining

doimiylikiga asoslangan. Zenitli ionosfera kechikishini t mahalliy vaqtda baholash quyidagicha beriladi:

$$\frac{\hat{I}_z}{c} = \begin{cases} A_1 + A_2 \cos\left(\frac{2\pi(t - A_3)}{A_4}\right), & \text{agar } |t - A_3| < A_4/4, \\ \text{aks holda } A_1 & \end{cases} \quad (14.36)$$

bu yerda: A_1 – 5 ns kattalikda qayd etilgan, tungi vaqtda zenitli kechikishning qiymati; A_2 – kunduzgi qiymatlar uchun kosinus funksiyasining amplitudasi; A_3 – 50400 s kattalikda qayd qilingan, kosinus funksiyasiga mos keluvchi cho‘qqi, mahalliy vaqt bo‘yicha coat 14:00 ga to‘g‘ri keladigan, faza; A_4 – kosinus funksiyasining davri (>72000 c).

A_2 va A_4 parametrlarning qiymatlari, ko‘p a‘zoli to‘rtta koeffitsiyent funksiyasi orqali, har qaysi yo‘ldosh tomonidan uzatilayotgan, navigatsiya xabarlarida beriladi:

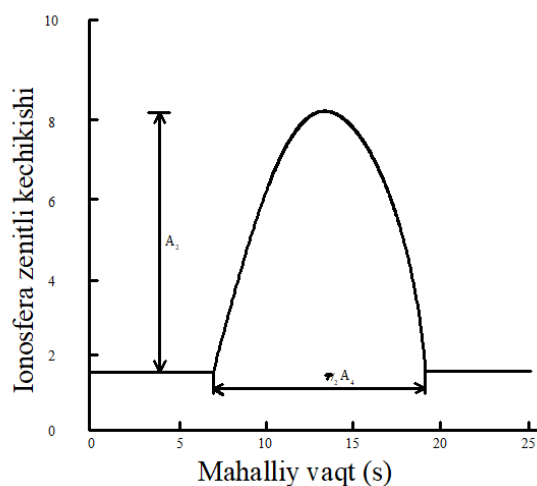
$$A_2 = \sum_{i=0}^3 \alpha_{i-1} \cdot \Phi_m^{i-1}; \quad (14.37)$$

$$A_4 = \sum_{i=0}^3 \beta_{i-1} \cdot \Phi_m^{i-1}, \quad (14.38)$$

bu yerda: Φ_m – ionosferaosti nuqtasining geomagnit kengligi (14.3-rasmga qarang) yarim sikllarda ifodalangan:

$$\Phi_m = \Phi_i + 0.064 \cdot \cos(\lambda_i - 1.617), \quad (14.39)$$

bu yerda: Φ_i va λ_i – yarim sikllardagi foydalanuvchining kengligi va uzoqligi. (Radianlarda qiymatlarni olish uchun, yarim sikllarni 2π ga ko‘paytirish kerak). α a‘zolar vertikal kechikish qiymatini taqdim etish uchun, kub tenglamalar koeffitsiyentlari hisoblanadi, β a‘zolar esa ionosfera davri modeli taqdim etuvchi, kub tenglamalari koeffitsiyentlari hisoblanadi.



14.4-rasm. Klobuchar modelida sutka mobaynida ionosfera kechikishining o'zgarishi.

Foydalanuvchi hisoblashning quyidagi ketma-ketligini bajaradi:

1. O'zining kengligi va uzoqligini (taxminan, ham mumkin) hamda yo'ldoshni fazodagi o'rnini bilgan holda, foydalanuvchi yo'ldoshga vizirlash yo'nalishi azimut chizig'ini va balandlikni hisoblaydi.

2. Ionosferaning o'rtacha balandligini 350 km deb hisoblab, foydalanuvchi ionosfera (ionosferaosti nuqtasi) va vizirlash chizig'i kesishish nuqtasi uchun kenglik va uzoqlikni hisoblaydi.

3. Keyin ionosferaosti nuqtasi, geomagnit kengligini hisoblaydi. Ionosferaosti nuqtasi geografik kengligi va uzoqligiga ega bo'lib, shimoliy geomagnit qutb va nuqta orasidagi burchakni hisoblaydi; 90° manfiy bu burchak, geomagnit kenglikni aniqlaydi. Geomagnit kenglik, oddiy kenglikka o'xshash, faqat birgina istisno tariqasida, geografik qutb geomagnit qutbga (uning geografik kengligi $78.3^\circ N$ va uzoqligi $291.0^\circ E$) almashadi.

4. Yuqorida olingan ma'lumotlar asosida, foydalanuvchi (14.35) tenglama orqali vertikal kechikishni hisoblaydi. Nihoyat, ushbu kechikish qiyalik omili, ya'ni yo'ldoshga yo'naltirilgan balandlik burchagi funksiyasi orqali oshirilishi kerak bo'ladi.

Yo'ldoshlardan qabul qilinuvchi, sakkizta ionosfera koeffitsiyentlari, 8 ta parametrlar bo'yicha, 370 ta to'plamlardan tanlanadi. Bu parametrlar, mavsumiy qo'llanilishlar funksiyalari va quyosh nurlanishi darajasi hisoblanadi. Yil mavsumlari uchun 3710-sutkalik guruhlariga

ega bo‘lib, har qaysi guruhda, quyosh faolligi kattaligi bilan bog‘liq, 10 tadan to‘plamlar mavjud. Yo‘ldoshga yetkazib berish uchun to‘plamni tanlashni Kolorado-Springsdagi Bosh nazorat stansiyasi olib boradi.

Bort modeli uchun qiyalik koeffitsiyenti yo‘ldoshni gorizontdan balandligi h orqalidek, ifodalanadi:

$$OF_I(h) = 1.0 + 16.0 \times (0.53 - h)^3, \quad (14.40)$$

bu yerda, yarim sikllarda ifodalanadi (1 yarim sikl = 180° yoki π radian). Bu ifoda (14.30) formulaning soddalashtirilgani hisoblanadi. Soddalashtirish uchun turtki ifodani, 1970-yillar prosessorlari uchun muhim bo‘lgan, butunlay sodda qilish istagi bilan tushuntiriladi.

Bort modeli kompensasiya qilinmagan, ionosfera kechikishlari natijasida uzoqlikni o‘lchashlardagi xatoliklarni, taxminan, 50% ga kamaytiradi. O‘rta kengliklarda qoldiq kechikishlari, sutka mobaynida 10 m ga yetishi mumkin va yuqori quyosh faolligida esa – biroz ko‘proq.

Ionosfera ssintilyatsiyasi va magnit bo‘ronlari. Agar yo‘ldoshdan priyomnikkacha signal yo‘lidagi elektronlar soni tez o‘zgarib, tashuvchi fazalarning tez o‘zgarishiga olib kelsa, unda priyomnikdagi fazalarni kuzatish zanjirlari uchun, qiyinchiliklar tug‘dirishi mumkin. $L1$ signalini kuzatuvchi priyomniklar uchun vaqt intervallarida fazalarning 1 radianga (0.19-1016 m-2 TEC) o‘zgarishi, faqat priyomnikning kuzatish zanjiri uchun muammolar keltirib chiqarishi mumkin. Agar priyomnik o‘tkazish kengligi, faqat 1 gersga teng bo‘lsa, unda fazadan ikkinchi hosila sekundiga 1 Gs dan oshadi, tutishni yo‘qolishi sodir bo‘ladi. Bunday hodisa vaqtida, signal amplitudasi ham so‘nadi. Bu amplituda va faza signaliga qisqa davrli o‘zgarishlar (1 dan 15 s gacha) ionosfera ssintilyatsiyasi (miltillashi)dek ma’lumdir.

Tutishni yo‘qolishi natijada, fazalarni uzilishiga yoki sikllar hisobining yo‘qolishiga olib keladi. Sikllar hisobini yo‘qolishlari, navbatdagi sikllar yo‘qolishigacha, ma’lumotlardan foydalanishda tuzatilgan bo‘lishi kerak. Qisqa vaqt intervallarida, uzoqlik ionosfera siljishlaridagi katta o‘zgarishlar, ushbu uzilishlar bilan bog‘liq sikllar to‘g‘ri butun sonini aniqlashda, qiyinchilik tug‘dirishi mumkin. Agar uzoqlikning ionosfera siljishidagi o‘zgarishlari tashuvchi sikllarning yarmidan oshsa, unda ular ma’lumotlarni qayta ishlashda, sikllarni hisobi yo‘qolgandek, xato talqin qilinishi mumkin.

Ikkita soha bor, ulardagi buzilishlar, signalni qisqa muddatli soʻnishini keltirib chiqaruvchi, yer ionosferasida koʻpincha sodir boʻladi, bu oʻz navbatida, GPS priyomniklarning kuzatish qobiliyatlariga ogʻir taʻsir qiladi. Bu soha ikkala tomonga ham, $\pm 30^\circ$ choʻzilgan, geomagnit ekvatoridan va avroral hodisalar (qutb yogʻdusi bilan bogʻliq) rayonlari va qutb qopqoqlaridir. Soʻnish shunchalik kuchli boʻlishi mumkinki, signalning darajasi toʻligʻicha, priyomnik bilan signalni ushlab ostonasidan ham pastga tushadi. Qachon bu sodir boʻlganida, priyomnik signalni qaytadan tutmagunga qadar, maʼlumotlar yoʻqoladi. Yoʻqolishlar jarayoni va takroriy ushlab olishlar bir necha soat davom etishi mumkin.

Xuddi shunday signalning soʻnishi, geomagnit boʻronlar vaqtida ham sodir boʻladi. Magnit boʻronlari (va u bilan bogʻliq ionosfera boʻronlari) quyoshdagi portlashlardan yuqori energiya bilan zaryadlangan zarralarning Yer magnit maydoni qarshiligini keltirib chiqarishida sodir boʻladi. Zaryadlangan zarralar Yer neytral atmosferasi bilan uygʻotilgan ionlar va qoʻshimcha elektronlarni hosil qilib, oʻzaro taʻsir qiladi. Ushbu jarayonda paydo boʻlgan, kuchli elektr maydonlari, ionosfera morfologiyasida sezilarli oʻzgarishlarni keltirib chiqaradi, bu psevdouzoqliklardagi tarqalish kechikishlarida katta tebranishlarga va bir minut interval oraliqlaridagi tashuvchi fazalarda oʻzishga olib keladi. Ionosfera qutbiy va avroral sohalaridagi magnit boʻronlari bir necha soat davom etishi mumkin.

14.1.2. Troposferaning kuzatish parametrlariga taʻsiri

Neytral atmosfera (troposfera, tropopauza va stratosfera) tarqalmaydigan muhitlar hisoblanadi. Uning taʻsiri toʻgʻrisida, troposfera refraksiyasi toʻgʻrisidagidek gapiriladi, u chastotaga bogʻliq emas va shuningdek, kodli modulyatsiyasi va tashuvchi fazaga bir xil tarzda taʻsir qiladi. Taʻsir kechikishini (kodlar uchun ionosferadagi, ushbu ishorada) ifodalaydi, u zenit yoʻnalishida 2.0–2.5 m larga yetadi va 5° balandlikda 20–28 m larga yetgan holda, balandlik kosekans burchagiga, taxminan proporsional oshib boradi. Oʻlchangan uzoqlik, yoʻldosh va priyomnik orasidagi geometrik masofaga qaraganda, uzunroq boʻladi. Kechikish harorat, namlik va bosimga bogʻliq boʻladi, foydalanuvchining balandligi va quyi signal traektoriyasining joy turi

bilan o'zgaradi. Troposfera refraksiyasi tashuvchi chastotalarga bog'liq bo'lmaganligi natijasida, ionosfera refraksiyasidan farqli, uni ikki chastotali kuzatishlarda tuzatib bo'lmaydi.

N sinish ko'rsatkichini, n sinish ko'rsatkichining indeksi orqali $N = (n-1) \times 10^{-6}$ dek aniqlash qulay. Ionosfera refraksiyasi uchun (14.16) ifoda bilan o'xshashligiga ko'ra, troposfera kechikishini quyidagidek ifodalash mumkin:

$$T_R^S = \int_R^S cN dt. \quad (14.41)$$

Joylashgan o'rnini aniqlashda, yo'ldoshli tizimlarda qo'llaniladigan, elektromagnit to'lqinlar uchun havoning sinish ko'rsatkichi, atmosfera holatiga, ya'ni T havo harorati, P bosim va e namlik (suv bug'lari bosimi) ga bog'liq:

$$N = f(T, P, e). \quad (14.42)$$

Sinish ko'rsatkichi nuqtaning fazodagi o'rnini funksiyasi hisoblanadi, u orqali signal yo'li o'tadi, shuningdek, atmosfera meteorologik maydoni, faqat shartli ravishda muntazam hisoblanadi. U asosan, Yer yuzasiga yaqin joylarda, har xil hisoblanadi. Shuning uchun, yo'ldosh signali bilan o'tilgan va bevosita yoki bivosita aniqlashlardan topilgan, yo'lni hisoblash uchun, yo'l bo'ylab haqiqiy havoning sinish ko'rsatkichini bilish kerak bo'ladi.

Haqiqiy o'rtacha sinish ko'rsatkichi n quyidagi ifodadan nazariy aniqlanadi:

$$N = \frac{1}{S} \cdot \int_{x=0}^{x=S} N(x) dx. \quad (14.43)$$

Bu tenglik, x yo'ldan $N(x)$ funksiyaning aniqligini oldindan taklif qiladi. U atmosferaning tuzilishi to'g'risidagi yoki to'g'ridan to'g'ri o'lchashlardan, faqat ishonchli taxminlardan aniqlanishi mumkin.

Harorat maydoni. Atmosferaning harorat maydoni Yer yuzasidan, hatto kam balandliklarda ham, sutka davomida Quyoshning isitishi natijasida, uning teskari nurlanishi bilan aniqlanadi. Bunda relyef, kun va yil vaqti, ob-havo va yuzani qoplama tafsilotlari katta ahamiyatga ega.

Yer yuzasi ta'siriga uchraydigan, havo qatlamining qalinligi, bir necha yuz metrlarga yetadi. Undan yuqorida joylashgan havo qatlamlari, kam darajada haroratning tebranishiga uchragan va ushbu

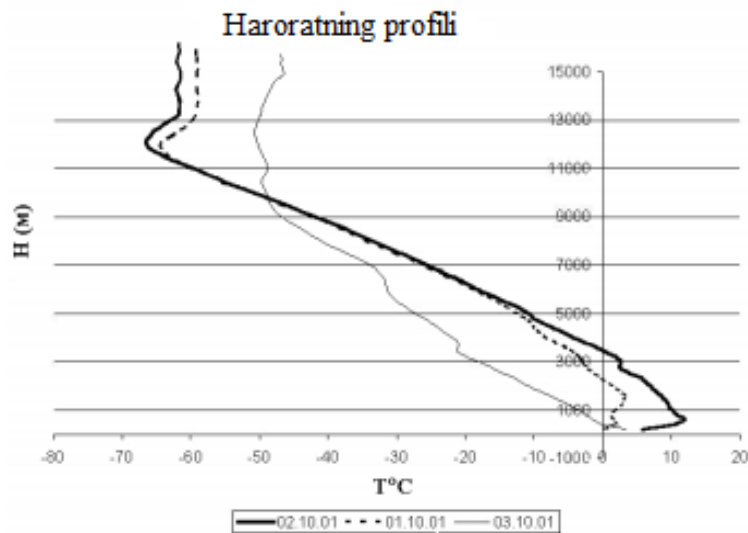
tebranishlar darajasi balandlik bilan kamayadi. Bu qatlamlar ozod atmosferalar deb ataladi. Ozod atmosferaning oʻrtacha yillik β vertikal harorat gradiyenti, taxminan $-0.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ni tashkil qiladi. Yer yuzasi taʼsiriga uchragan, qatlam ichidagi izotermik yuzalar relyefni takrorlab joylashgan.

Harorat qatlamlarining yuza yaqinidagi joylashuvlari kunduzi va tunda boshqacha boʻladi. Kunduzi, hatto toʻliq bulutli boʻlganida ham, u quyoshli va nurlanish aks ettirilgan kabi aniqlanadi. Quyosh energiyasi, uni qisman yutuvchi, havo qalinligi orqali oʻtadi va Yerni qizdiradi. Yer sekin soviy boshlab, yer usti qatlamiga issiqlik beradi. Shuningdek, u suv bugʻlari va havoning uglerod gazi bilan shimilgan, infraqizil diapazonning uzun toʻlqinli qismida Quyosh nurlanishini aks ettiradi. Turbulent almashinuv (konveksiya) jarayonlari hisobiga, bu issiqlik yuqoridagi qatlamga uzatiladi.

Yer usti qatlamidagi (300 m gacha) havo haroratining balandlikka bogʻliqlik tadqiqotlari koʻrsatdiki, toʻgʻri va teskari nurlanishlar oʻzaro taʼsirida kelib chiqib, uni pastki quyi qatlamlarga boʻlinishi sodir boʻladi. Pastki harakatchan quyi qatlamda, β vertikal harorat gradiyenti logarifmik qonun boʻyicha kamayadi, uning qalinligini tebranishi sutka vaqti va mavsumiga bogʻliq boʻladi. Harakatchan quyi qatlam yuqori chegaralarida $\beta < -1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ gradiyent kuzatiladi.

Navbatdagi, oraliq quyi qatlam, adiabatik $\beta = -1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ harorat gradiyentiga ega. Chegaralarning joylashuvi yil va sutka vaqtiga bogʻliq holda tebranib turadi, yozda uning balandligi 200–300 m, ochiq ob-havoda esa 1000 m ga yetadi. Tropapauzadan balandda (10–12 km) harorat deyarli doimiy qoladi. Balandlik bilan haroratning oʻzgarishi toʻgʻrisidagi tushuncha, Novosibirsk shahridagi aerologik zondlash natijalari boʻyicha olingan, 14.5-rasmdagi profilni beradi.

Pastki quyi qatlam va adiabatik qatlamlash, hatto kuchli yogʻingarchiliklarda ham, ob-havo sharoitlaridan tashqari, yana Yer yuzasi termik xususiyatlaridan va uni qoplovchi oʻsimliklarga ham bogʻliq boʻlishini eʼtiborga olish muhim. Shahar qurilishi boʻlgan joylar ustidagi havo harorati, qishloq qoʻrgʻonlari ustidagiga qaraganda, yuqori. Bu farq butun tun davomida saqlanib, yoz oqshomlarida 2°C ga, ochiq shamolsiz havoda esa $6-7^{\circ}\text{C}$ ga yetishi mumkin.



14.5-rasm. 2001-yil 1–3-oktabrda Novosibirskdagi aerologik zondlash ma’lumotlari bo‘yicha haroratning profili.

Yer yuzasiga yaqin atmosfera maydoni haroratining tuzilishi kechasi, Yer yuzasini, o‘simliklarni va Yer ustidagi havo qatlamining sovishi bilan aniqlanadi.

Sovish mexanizmi, sovuq yer va issiq havo orasidagi haroratning tushishi va qisman havo tarkibidagi suv bug‘lari va karbonat angidrid gazlari bilan issiqlikning yutilishi hisobiga nurlanishni o‘z ichiga oladi. Bu jarayonlar, turbulent hodisalar bilan birga, katta balandliklargacha haroratning bir tekis tushishini hosil qilinishiga olib keladi. Yer ustida katta qalinlikda joylashgan, havo qatlamining harorati, undan balandda joylashgan ozod atmosfera qatlamlarining haroratidan sezilarli darajada past. Bu hodisa haroratning tungi inversiyasi nomlanishi ostida ma’lum.

Inversiyalar ochiq va bulutli havolarda paydo bo‘ladi, ammo shu bilan birga, ularning paydo bo‘lish tezligi turli xil, inversiya qatlamning qalinligi ochiq tunlarda 30–40 m dan yuzlab metrlargacha ortadi. Inversiya zonaning ichki tuzilishi, Yer yuzasi ta’siri ostida joylashgan, kunduzgi qatlamlar tuzilishiga o‘xshashdir. Kechasi yuza ustida inversiya quyi qatlami hosil bo‘ladi, uning qalinligi bir necha o‘nlab metrga yetadi.

Inversiya qatlamining ustida, kunduzgi adiabatik qatlamga mos keluvchi, oraliq qatlam joylashadi. Uning qalinligi tun davomida inversiya qatlamining qalinligidan ko‘p marta ortishi mumkin.

Yer usti havo qatlamlarida, haroratning tarqalishiga shudringning ta'siri qiziqish uyg'otadi. Agar Yer yuzasidagi harorat shudring hosil qilish nuqtasiga yetganida, uni tushish jarayonida ozod bo'lganlari, yuza qatlamlarini isishi va tunda harorat o'zgarishi tabiatining buzilishlari, issiqlik keltirib chiqaradi. Bu jarayon 2 m gacha balandliklarda haroratning sakrashli ko'rinishini keltirib chiqaradi.

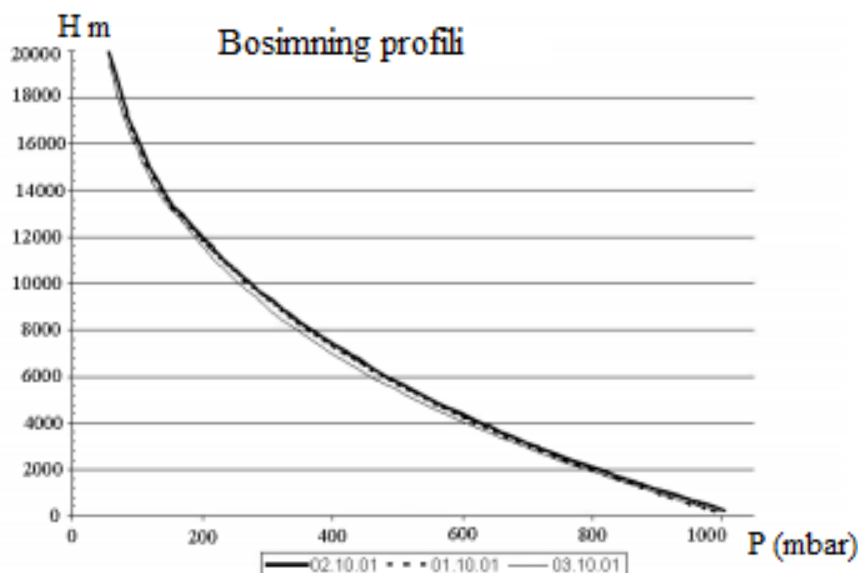
Yer yuzasi atrofidagi havo qatlamlari hosil bo'lish intensivligiga sezilarli ta'sirni, havo massasi harakati ko'rsatadi. Shamol havo qatlamlarini aralashishiga, sokinlik – har xil haroratli qatlamlarni hosil qilish intensivligiga olib keladi. Yuzaga yaqin qatlamlar, aniq chegarasiz ozod atmosferadan yuqorida joylashgan qatlamga o'tadi. Shamol, pastki va yuzalarga yaqin qatlamlar yoki qatlamlarga ajralishga, umuman qarshilik ko'rsatib, harorat bo'yicha havoning qatlamlarga ajralish darajasini kamaytiradi.

Atmosfera maydoni haroratining tuzilishi haqidagi tushuncha, sutka vaqtiga bog'liq holda, qaysidir sxematik modelni beradi. Haqiqatan ham, atmosferada sodir bo'layotgan jarayonlar, mahalliy ta'sirlar va vaqtning ta'siri xilma-xilligi natijasida sezilarli darajada murakkabdir. Atmosferaning harorat maydoni turli xil va tartibsiz maydonlarga ega.

Bosim maydoni. O'lchashlar bilan qamrab olingan, fazodagi havo bosimining tarqalishini, qonuniy va bir turdagidek qarash mumkin, ya'ni tekis bosimning yuzasi amalda gorizontal joylashadi. Dengiz sathida, taxminan 1000 mbar qiymatdan 20 km balandlikda 45 mbar gacha balandlik bilan bosim kamayadi (14.6-rasm).

Normal ob-havoda gorizontal tekislikda bosimning tushishi, maksimum yo'nalishida o'rtacha 100–150 km ga 1 mbar ni tashkil qiladi. Quyosh ta'sirida kelib chiqadigan, davriy sutkalik tebranishlar, o'rta kengliklarda millibarning o'ndan bir bo'lagini tashkil qiladi. Bu ham, shamol bo'lganida paydo bo'luvchi, bosimning mahalliy o'zgarishiga tegishli.

Atmosferadagi suv bug'lari. Atmosferada suv bug'larini mavjudligi ikkita manbadan ta'minlanadi. Bug'larning asosiy qismi dengiz va okean yuzasidan bug'lanishda, quruqlik ustida joylashgan sohalarga tushib, atmosferada advektiv jarayonlar yordamida hosil bo'ladi. (Adveksiya – havoni gorizontal yo'nalishga ko'chirish va shu bilan birga, uning xususiyatlarini ham: harorat, namlik va boshqalar). Qolgan qismi quruqlikdagi bug'lanishlar – ichki suv havzalari yuzasidan, tuproq va o'simliklar namligi hisobiga paydo bo'ladi.



14.6-rasm. 2001-yil 1–3-oktabrda Novosibirskdagi aerologik zondlash ma’lumotlariga ko‘ra bosimning profili.

Bug‘lanish har qanday ob-havoda va haroratda sodir bo‘ladi, ammo harorat ko‘tarilganida va shamolning tezligida oshib boradi. Suv bug‘lari atmosferada diffuziya va shamol hisobiga tarqaladi.

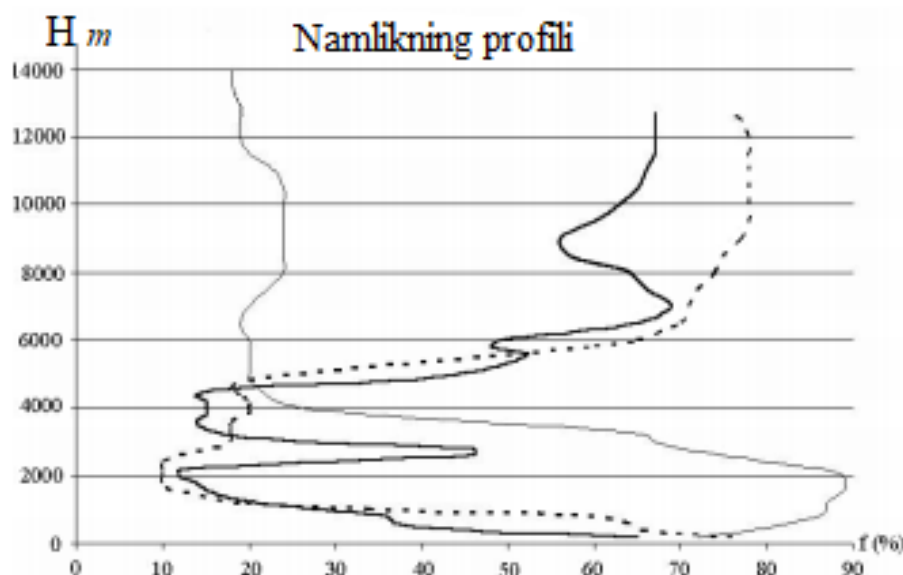
Atmosferadagi suv bug‘larining tarkibi, balandlikning oshishi va dengizdan uzoqlashish bilan kamayadi. Atmosferadagi suv bug‘larining miqdori, uning qatlamlari yuzalariga yaqinlarini hisobga olmaganda, o‘zining kelib chiqishining yagonaligi sharofati bilan, barqaror ob-havoda katta gorizontall masofalarda bir xil. Yer yuzasida to‘g‘ridan to‘g‘ri joylashgan, haroratning sutkalik tebranishlari bilan bog‘liq va havoning bunday harakatlaridan, namlikning davriy tebranishlari paydo bo‘ladi, ularning amplitudalari mahalliy sharoitlarga bog‘liqdir. Katta balandlikdagi qatlamlarda, taxminan 300 m dan boshlab, bunday tebranishlar paydo bo‘lmaydi.

Suv bug‘larining havodagi tarkibi, boshqa gazli tuzuvchilardan farqli, havo harorati bilan cheklangan. Har bir haroratga, havodagi suv bug‘larining, to‘yinganlik holati deb nomlanadigan, aniq maksimal tarkibi mos keladi. Agar mos keluvchi haroratning to‘yinganlik holati oshgan bo‘lsa, unda ortiqcha bug‘lar shudring, tuman va bulutda kondensiyalanadi. Bug‘larning tarkibini, suv bug‘lari bosimining e ekvivalent qiymati bilan tasavvur qilish yaxshiroq.

14.7-rasmda keltirilgan namliklik profili, harorat va bosim profillaridan farqli, ularning o‘zgarishi, balandlik bo‘yicha ham, vaqt

bo'yicha ham, aniq qonuniyatga ega emas, bu modellashtirishni sezilarli darajada qiyinlashtiradi.

Turli klimatik rayonlar va turli balandliklarda havoning namligini o'lchash natijalarini taqqoslash ko'rsatdiki, balandlik yoki to'yinganlik darajasi oshganida, suv bug'lari bosimining nisbiy kamayishi, bir xil balandliklar uchun yaxshi mos keladi, ya'ni yuzadagi suv bug'lari bosimga bog'liq emas.



14.7-rasm. 2001-yil 1–3-oktabrda Novosibirskdagi aerologik zondlash ma'lumotlariga ko'ra namlikning profili.

Standart atmosfera. Sinish ko'rsatkichini hisoblash, tropofera parametrlari orqali o'tkaziiladi. Ularni maxsus uskunalar yordamida o'lchash mumkin. Ammo kuzatuvchida har doim ham, o'lchashlar bilan shug'ullanishga, ayniqsa katta balandliklarda o'tkazishda imkoniyatlar bo'lmaydi. Shuning uchun muqobil uslub sifatida sinish ko'rsatkichining qiymatini aniqlash uchun, ko'pincha *standart atmosfera modeli* ishlatiladi. Bunday modelda xalqaro kelishuv bo'yicha yer shari bo'yicha o'tkazilgan, ko'plab haqiqiy o'lchashlar o'rtachasidek, qabul qilingan, dengiz sathidan balandliklar uchun harorat, bosim va namlik (va boshqa bir qator parametr)larning qiymatlaridan foydalaniladi. Standart atmosferada havo, gidrostatik muvozanat holatidagi, ya'ni vertikal yo'nalishda tezlanishsiz, ideal gazning qonunlariga bo'ysunadi. Boshqa balandliklarda atmosfera holatini topish uchun, dengiz o'rtacha sathidagi balandlikdan H

(kilometrlarda) harorat, bosim va namliklarning funksiyalaridan foydalaniladi. Bu funksiyalar quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\begin{aligned} P &= P_0 \cdot (1 - 0.0226 \cdot H)^{5.226}; \\ T &= T_0 - 6.5 \cdot H; \quad t = T - 273.15; \\ e &= e_0 \cdot 10^{\frac{H \cdot \left(\frac{1+H}{8}\right)}{8}}; \quad f = e \cdot \frac{100}{E}; \\ E &= 6.107 \cdot 10^{\left(\frac{7.5+i}{283+i}\right)}, \end{aligned} \quad (14.44)$$

bu yerda: P – bosim (mbar); T – harorat (K); t – harorat ($^{\circ}\text{C}$); e – suv bug‘lari parsial bosimi (mbar); f – nisbiy namlik (%); E – suv bug‘lari to‘yinish bosimi (mbar); P_0, T_0, e_0 – dengiz sathidagi parametrlarning qiymatlari.

Turli tadqiqotchilar, dengiz sathidagi har xil parametrlar qiymatlaridan foydalanishadi. 14.2-jadvalda turli manbalarda berilgan standart atmosfera parametrlari keltirilgan.

Xalqaro standart atmosfera (*International Standard Atmosphere, ISA*), 1976-yildagi AQSHning Standart atmosferasi (*USSA1976*) (<http://www.pdas.com/atmos.htm>) eng mashhur standart atmosferalar hisoblanadi. 1976 yildagi AQSHning Standart atmosferasiga qo‘shimchalar harorat, bosim, zichlik, ovoz tezligi, yopishqoqlik, yozgi va qishgi sharoitlar uchun 15, 30, 45, 60, 75 $^{\circ}$ kengliklar uchun haroratni o‘tkazuvchanligi jadvallarini o‘z ichiga oladi. Suv bug‘larining parsial bosimi yoki namlik to‘g‘risidagi ko‘rsatmalar odatda bo‘lmaydi.

14.2-jadval

Standart atmosfera parametrlari

Parametrlar	Ma’lumotlar manbai yoki modellar			
	[143]	DIN5450	ISA	USSA 1976
P_0 , mbar	105.25	105.25	105.00	105.25
T_0 , mbar	291.20	288.00	288.2	288.15
t_0 , $^{\circ}\text{C}$	-	-	15.0	
e_0 , mbar	15.00	-	-	
r_0 , %	-	60.00	50.00	
Haroratni tushish tezligi, K/km			-6.5	-6.5

Mikroradioto‘lqin uchun havoning sinish ko‘rsatkichi. Havoning sinish ko‘rsatkichi $N = 10^6(n-1)$, harorat (T), quruq gazning parsial bosimi (P_d) va suv bug‘larining (e) funksiyalari hisoblanadi:

$$N = K_1 \left(\frac{P_d}{T} \right) Z_d^{-1} + \left[K_2 \left(\frac{e}{T} \right) + K_3 \left(\frac{e}{T^2} \right) \right] Z_w^{-1}, \quad (14.45)$$

bu yerda: K_1, K_2, K_3 – empirik aniqlanadigan koeffitsiyentlar; Z_d – quruq havo uchun siqilish koeffitsiyenti; Z_w – suv bug‘lari uchun siqilish koeffitsiyenti. Ideal gazdan (uning uchun $P/T = R\rho$, bu yerda: R – mos keluvchi gazga, gazli doimiylik, ρ – gazning zichligi) havo holatida og‘ish uchun hisoblashlarga tuzatmalar, siqilish koeffitsiyenti hisoblanadi. Yer yuzidagi o‘xshash shartlar uchun Z_d va Z_w lar 1 dan 10^{-3} gacha farq qiladi.

Troposfera shunchaki, tarqalmaydigan muhit hisoblanmaydi, unda N qiymat chastotaga bog‘liq bo‘lmaydi. 14.3-jadvalda taqdim etilgan, Smit, Veyntraub va Tayerlarning doimiy sinishlari to‘plamlari eng ko‘p qo‘llaniladi.

Mikroradioto‘lqinlar uchun havoning sinish ko‘rsatkichi quyidagicha taqdim etilishi mumkin:

$$N = K_1 \frac{P}{T} + K_2^* \frac{e}{T^2}, \quad (14.46)$$

bu yerda

$$K_2^* = [(k_2 - K_1)T + K_3]. \quad (14.47)$$

14.3-jadval

Sinish ko‘rsatkichi doimiyligi uchun tadqiqotlardan aniqlangan qiymatlar

	O‘lchamlari	Smit va Veyntraub	Tayer
K_1	$K \text{ mbar}^{-1}$	77.61 ± 0.01	77.60 ± 0.014
K_2	$K \text{ mbar}^{-1}$	72 ± 9	64.8 ± 0.08
K_3	$K^2 \text{ mbar}^{-1}$	$(3.75 \pm 0.03) \times 10^5$	$(3.776 \pm 0.004) \times 10^5$

Sinish ko‘rsatkichini aniqlash uchun, ifodalardan eng mashhuri Smit va Veyntraub tenglamasi hisoblanadi:

$$N = \frac{77.6}{T} \cdot \left(P + \frac{4810 \cdot e}{T} \right) \quad (14.48)$$

yoki

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2}, \quad (14.49)$$

bu yerda: P – to‘liq bosim, millibarda (mbar); T – kelvindagi harorat (K); e – suv bug‘larining parsial bosimi (mbar). (14.48) tenglamadagi birinchi va ikkinchi a‘zolarini ko‘pincha, sinish ko‘rsatkichining *quruq va nam* komponentlari deb ham ataydilar.

Muqobil sinish ko‘rsatkichini quyidagidek ifodalash mumkin

$$N = K_1 \frac{M}{M_d} \frac{P}{T} - \left(K_1 \frac{M}{M_d} - K_2 \right) \frac{e}{T} + K_3 \frac{e}{T^2}, \quad (14.50)$$

bu yerda:

$$\frac{M}{M_d} = \frac{T}{T'} = \left(1 + 0.3780 \frac{e}{P} \right)^{-1}. \quad (14.51)$$

Bu yerda: T' – haqiqiy harorat, M va M_d esa mos ravishda nam va quruq havoning molyar massasini belgilaydi. (14.50) tenglamadagi birinchi a‘zo sinish ko‘rsatkichining *gidrostatik* komponenti deb ataladi, u nam havoning funksiyasi hisoblanadi, u to‘g‘risida oldindan taxmin qilinadi, u gidrostatik muvozanat holatida bo‘ladi.

(14.50) tenglamani quyidagicha yozish mumkin

$$N = K_1 R_d \rho + K_2' R_w \rho_w + K_3 R_w \frac{\rho_w}{T}, \quad (14.52)$$

bu yerda: R_d va R_w – mos ravishda, quruq havo va suv bug‘larining gazli doimiysi; ρ – namlik havoning to‘liq zichligi; ρ_w – suv bug‘larining zichligi,

$$K_2' = \left(K_2 - \frac{M_w}{M_d} K_1 \right), \quad (14.53)$$

bu yerda: M_w – suv bug‘larining molyar massasi.

(14.50) va (14.53) tenglamalar gidrostatik komponentlarga asoslangan, zenit kechikishlari tenglamalarini (quyida qarang) chiqarish uchun qo‘llaniladi, u taqdim etilgan quruq komponentdan farqli, suv bug‘lari tarkibi ta‘siriga uchramagan [152].

Troposfera kechikishlari modeli. Sinish ko‘rsatkichini N , atmosferadagi suv bug‘lari va quruq gazlar sinish ko‘rsatkichlarining yig‘indisidek tasavvur qilamiz:

$$N = N_d + N_w, \quad (14.54)$$

bu yerda: N_d va N_w mos ravishda, quruq va nam sinish ko'rsatkichlari deb ataladi. Troposfera refraksiyasi (metrlarda) natijasidagi yo'l kechikishlarini quyidagicha yozish mumkin

$$\tilde{T} = 10^{-6} \int N(l) dl = 10^{-6} \int [N_d(l) + N_w(l)] dl = \tilde{T}_d + \tilde{T}_w, \quad (14.55)$$

bu yerda: $\tilde{T}_d$ va $\tilde{T}_w$ signal yo'li bo'ylab, integrallashdan aniqlanadigan, mos ravishda quruq va nam kechikishlari deb aytiladi. Bu bo'limda troposfera kechikishi haroratni belgilanishi bilan, ularni chalkashtirmaslik uchun tilda belgisi qo'shib belgilanadi. Ionosfera orqali signallarni o'tishida, biz signal yo'li egriligini inobatga olamiz va signal tezligini kamayishi natijasidagi kechikish qiymatiga diqqatimizni qaratamiz.

Troposfera modellarida quruq (yoki gidrostatik) va nam sinish ko'rsatkichlarini signal yo'li bo'ylab baholashga va (14.55) bilan mos holda to'liq kechikishni topishga harakat qiladilar. Havoning sinish ko'rsatkichi uchastkasi, harorat va quruq gaz hamda suv bug'larining parsial bosimiga bog'liq. Havo uchastkalari uchun, quruq va nam sinish ko'rsatkichlari uchun, taxminiy ifoda (empirik topilgan koeffitsiyentlar bilan) quyidagiga teng:

$$N_d = 77.64 \frac{P}{T}; \quad N_w = 3.73 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2}, \quad (14.56)$$

bu yerda: P – to'liq bosim; e – suv bug'larining parsial bosimi, ikkalasi ham millibarlarda beriladi; T – harorat kelvinlarda.

Signalning tarqalish yo'li bo'ylab, bosim, harorat va namlikni bilish, sinish ko'rsatkichi va troposfera kechikishini aniq aniqlash imkoniyatini beradi. Bunday o'lchashlar, radiozond (aerologik ballonlar)larda o'rnatilgan, apparaturalarni qo'llab, atmosfera tadqiqotchilari tomonidan vertikal yo'nalishlar nominallari uchun topiladi. GPS foydalanuvchilari, kamdan kam hollarda, bunday o'lchashlarni o'tkazish uchun ruxsatga ega bo'ladilar. Kam og'irlikdagi yondashuv – bu antenna o'rnatilgan joydagi meteorologik sharoit (bosim, harorat va namlik)larni o'lchashdir va bu o'lchashlarni, gaz qonunlari va empirik modellardan foydalanib, signal yo'li bo'ylab P, T va e bilan bog'lashdan iboratdir. Tadqiqotchilar, ularga GPS o'lchashlari yuqori aniqligi kerak bo'ladi, ko'pincha yuza meteorologik ma'lumotlarini yozib oladi. Masalan, doimiy tektonik monitoring to'rlari GPS stansiyalari, har qaysi punktda

meteorologik o'lchashlarni to'xtovsiz ravishda ta'minlashni talab qiladi.

Navigatsiyada meteorologik asboblarni qo'llash amalda emas. Haqiqatda, ko'plab SRNS foydalanuvchilari troposfera kechikishlarini, foydalanuvchini kengligi, uzoqligi va yilning kuni uchun *standart atmosfera* modeli bo'yicha, qaysidir o'rtacha meteorologik shartlar asosida baholashni tartibga soladilar.

Ikki qadamda troposfera kechikishlarini baholashni ko'rib chiqamiz:

1) mos keluvchi $\tilde{T}_{z,d}$ quruq va $\tilde{T}_{z,w}$ namlik kechikishlar orqali $\tilde{T}_z$ zenit kechikishini (ya'ni zenit yo'nalishidan signal bilan bog'liq, kechikishlarni) baholash, quyidagidek:

$$\tilde{T}_z = \tilde{T}_{z,d} + \tilde{T}_{z,w}; \quad (14.57)$$

2) E balandlik burchagi yoki ζ zenit masofasi funksiyasidek, zenit kechikishlarini masshtablashtirish uchun, qiyalik omilini aniqlash. Fizik atmosfera tadqiqotchilari troposfera qiyalik omilini aks ettirish funksiyasi (*mapping function*) deb ham ataydilar. Unda

$$\tilde{T}(E) = \tilde{T}_{z,d} \cdot m_d(E) + \tilde{T}_{z,w} \cdot m_w(E). \quad (14.58)$$

Bu yerda biz mos ravishda, quruq va nam komponentlar uchun, m_d va m_w alohida aks ettirish funksiyalarini kiritdik. Oddiy modellarda, ko'pincha quruq gazlar va suv bug'lari atmosferasi profillaridagi farqlarni e'tiborga olmaydigan, bitta umumiy aks ettirish funksiyasidan foydalaniladi.

Ko'plab troposfera modellari ishlab chiqilgan, ular muallifning familiyasi yoki tashkilotning nomi bilan atalgan, ularda ishlab chiqishlar bajarilgan. Ular haroratning o'zgarishi va turli balandliklarda suv bug'larining tarkibiga tegishli, qabul qilingan, oldindan taxminlarga ko'ra ajratiladi. Quyida Xopfild, Saastamoynen va Bleklar tomonidan ishlab chiqilgan uchta model keltirilgan.

Xopfildning troposfera kechikishi va sinish ko'rsatkichi modeli. Xopfild modeli (*Helen S. Hopfield*) yer yuzasida va h balandlikdagi sinish ko'rsatkichi orasidagi nisbatlarga asoslangan. Bu nisbatlar katta hajmdagi o'lchashlar bo'yicha empirik chiqarilgan edi. Topilgan modelni, to'rtinchi tartibdagi sinish ko'rsatkichi profiliga ega, model deb ataydilar:

$$N_d(h) = N_{d0} \left(1 - \frac{h}{h_d}\right)^4, \quad (14.59)$$

bu yerda: h – anennadan balandligi; N_{d0} – yuzadagi quruq sinish ko‘rsatkichi; h_d – (=43 km) antennadan balandligini aniqlaydi, unda sinish ko‘rsatkichi $N_d(h_d) = 0$ no‘lga teng.

Nam sinish ko‘rsatkichlari uchun Xopfild modeli (14.59) ga o‘xshash:

$$N_w(h) = N_{w0} \left(1 - \frac{h}{h_w}\right)^4, \quad (14.60)$$

bu yerda: N_{w0} – yuzadagi nam sinish ko‘rsatkichi; $h_w = 12$ km. (14.41) dan quyidagini yozamiz:

$$\tilde{T}_z = 10^{-6} \int [N_d(h) + N_w(h)] dh = \frac{10^{-6}}{5} [N_{d0} h_d + N_{w0} h_w] = \tilde{T}_{z,d} + \tilde{T}_{z,w}. \quad (14.61)$$

Quruq va nam sinish ko‘rsatkichlari uchun (14.56) dan, ifodani qo‘yish quyidagilarni beradi:

$$\tilde{T}_{z,d} = 77.64 \cdot 10^{-6} \frac{P_0}{T_0} \frac{h_d}{5}; \quad (14.62)$$

$$\tilde{T}_{z,w} = 0.373 \cdot 10^{-6} \frac{e_0}{T_0^2} \frac{h_w}{5}. \quad (14.63)$$

$\tilde{T}_{z,d}$ qiymat dengiz sathida 2.3-2.6 m ni tashkil etadi va balandlik oshgan sari kamayib boradi: 1.5 km ga yaqin balandlikda 2 m atrofida va Himolay cho‘qqilarida 1 m ga yaqin. Mos keluvchi nam kechikishi, signal yo‘li bo‘ylab, suv bug‘larining tarqalishiga bog‘liq va juda o‘zgaruvchan bo‘lishi mumkin. Nam kechikishlari $\tilde{T}_{z,w}$ modeli Yer yuzasi uchun, meteorologik ma’lumotlarga asoslangan, ularning odatiy xatosi – 1–2 sm. O‘rtacha meteorologik shartlardan foydalanish, haqiqiy bo‘lmagan o‘lchashlar, quruq va nam kechikishlarini modellashtirishga, qo‘shimcha xatolar kiritadi va to‘liq zenit kechikishlaridagi xatolar 5–10 sm bo‘lishi mumkin.

Zenitga yo‘nalishdan Xopfilddagi E balandlikka, quruq va nam aks ettirish funksiyasi kiritiladi:

$$m_d(E) = \frac{1}{\sin \sqrt{E^2 + 6.25}}; \quad m_w(E) = \frac{1}{\sin \sqrt{E^2 + 2.25}}. \quad (14.64)$$

Natijada, E balandlik uchun to‘liq troposfera kechikishi (14.58) formula bo‘yicha olinadi. Xopfild bir necha troposfera modellarini

ishlab chiqdi, ular profillarni integrallash usullari bilan farqlanadi [100, 101,137].

Saastamoynen modeli (Yuko Saastamoinen) bosimga, haroratga va balandlik bilan namlikning o'zgarishlariga tegishli, gaz qonunlari va soddalashtirilgan taxminlardan foydalanib ishlab chiqilgan. Quruq va nam zenit kechikishlari quyidagicha beriladi:

$$\tilde{T}_{z,d} = 0.002277(1 + 0.0026\cos 2\varphi + 0.00028H)P_0; \quad (14.65)$$

$$\tilde{T}_{z,w} = 0.002277\left(\frac{1255}{T_0} + 0.05\right)e_0, \quad (14.66)$$

bu yerda: T_0 – harorat (kelvinda); P_0 – to'liq bosim va e_0 – suv bug'larining parsial bosimi (ikkalasi ham millibarlarda), barchasi antenna joylashgan o'rnida, o'lchashlar yoki standart atmosfera modeli ma'lumotlari bo'yicha aniqlangan. φ – kenglik; H – dengiz sathidan antenaning balandligi (km). Bu modelga qo'shimcha tuzatuvchi a'zolar kiritilmagan, ularga bu yerda biz duch kelmadik [43, 100].

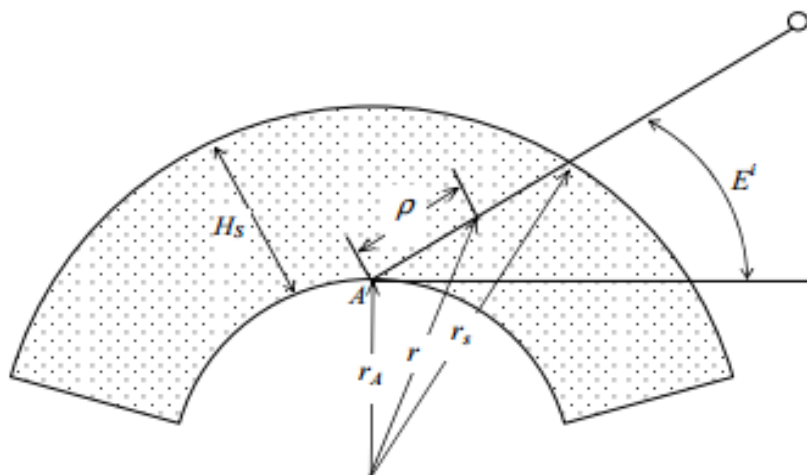
Blekning troposfera kechikishi modeli. Blek (Harold D.Black) 1978-yilda o'zining modelini e'lon qildi [62], uning aniqlashtirilishi 1984-yili paydo bo'ldi [63]. Shuni hisobga olish kerakki, Blek modelini SRNS paydo bo'lgunga qadar, ishlab chiqqan, buning natijasida, aniqlashtirishlarda, uni past orbitali (1200 km va kam) yo'ldoshlarda qo'llash mumkin deb, taxmin qilgan.

Troposfera kechikishi ifodasini ishlab chiqishda Blek tomonidan qo'llanilgan, troposferada nurning o'tish geometriyasi to'g'risidagi tasavvurni 14.8-rasm beradi. ρ geometrik uzoqlik ifodasi, ushbu taqdimotdan kelib chiqqan holda, quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\rho = \sqrt{r^2 - r_A^2 \cos^2(E^i) - r_A \sin(E^i)}. \quad (14.67)$$

S va A satr osti indeksleri, mos ravishda, neytral atmosferaning va Yer yuzasidan stansiyaning yuqori chegarasini belgilaydi. H_s – neytral atmosferaning balandligi; E^i – gorizontdan kuzatiladigan obyektning burchak balandligi; r – past orbitali yo'ldosh yoki meteorologik

ballonning o‘rnini radius-vektori; ρ – yuzadagi stansiyadan atmosferada kuzatilayotgan obyektgacha to‘g‘ri chiziqli bo‘yicha geometrik uzoqlik, $\rho = |\vec{r} - \vec{r}_A|$.



14.8-rasm. Blek modelida signalning o‘tish geometriyasi.

Blek analitik formulani ishlab chiqishda, boshlanishi 1971-yilda e‘lon qilingan, Xopfild sinish ko‘rsatkichi modelini qo‘lladi. Quruq atmosferaning ideal gaz qonuniga bo‘ysunishi va gidrostatik muvozanat holatida bo‘lishiga, asoslanib, Xopfild quyidagicha xulosaga keldi. Troposfera kechikishi quruq tuzuvchisi, yuza bosimiga to‘g‘ri proporsional va yuza haroratiga sezuvchan emas. Bu tasdiqni va bosim va haroratni gorizontallari gradiyentlari kamligi to‘g‘risidagi taxminlarni ishlatib, Blek o‘zining troposfera kechikishi formulasini keltirib chiqardi:

$$\tilde{T} = 10^{-6} \int_0^{\rho} N_h d\rho + 10^{-6} \int_0^{\rho} N_h d\rho. \quad (14.68)$$

“Gidrostatik tuzuvchi” atamasi [79] ishlarida chiqarilgan edi va “quruq tuzuvchi” (sinish ko‘rsatkichi yoki troposfera kechikishlari, atmosferalar uchun) atamasiga qaraganda, juda aniq hisoblanadi, modomiki, bosim to‘liq, ya’ni suv bug‘larining parsial bosimlarini ham qo‘shish bilan aniqlanadi.

Blek (14.68) dagi gidrostatik tuzuvchi ifodasini tahlil qilib, Xopfild tomonidan ishlab chiqilgan, N_h sinish ko‘rsatkichi (14.59) formulasidan foydalandi.

Troposfera kechikishi gidrostatik qismini Blek quyidagi ifoda bilan taqdim etdi:

$$\tilde{T}_h = 2.343 \cdot P_A \left(\frac{T_A - 4.12}{T_A} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{\cos(E^i)}{1 + (1-L)H_{S,h}/r_A} \right]^2}}, \quad (14.69)$$

nam tuzuvchini esa,

$$\tilde{T}_w = k_w \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{\cos(E^i)}{1 + (1-L)H_{S,h}/r_A} \right]^2}}, \quad (14.70)$$

bu yerda: $H_{S,h} = 14898(T_A - 4.12)$ va $H_{S,w} = 13000$ m stansiya ustida; $L = 0.85$; r_A – metrda beriladi; P_A – atmosferada; T_A – kelvinda. k_w koefitsiyent uchun qiymatlar 14.3-jadvalda keltirilgan.

14.3-jadval

Blek modelida k_w koefitsiyentni klimatik sharoitlarga bog‘liq tanlash

Klimatik sharoitlar	k_w
yoz tropiklarda yoki o‘rta kengliklarda	0.28
bahor yoki kuz o‘rta kengliklarda	0.20
qish o‘rta kengliklarda (dengiz)	0.12
qish o‘rta kengliklarda (qit’a)	0.06
qutbiy rayonlar	0.05

Blek bu modelni, nurning “egilishi” sezilarli darajadagi xatoliklarni keltirib chiqarishi sababli va neytral atmosfera vertikal gradiyentlarini tanlash xatoliklariga sezuvchanligi oshishi natijasida, balandligi 5° kam bo‘lgan yo‘ldoshlar uchun qo‘llashni tavsiya etmaydi.

Troposfera aks ettirish funksiyalari. Oldingi bo‘limda, qanday tarzda, zenit yo‘nalishi uchun troposfera kechikishini $\tilde{T}_z$ bilgan holda, E balandlikda signalning o‘tish yo‘li uchun $\tilde{T}(E)$ kechikishni topish mumkin. Buning uchun, aks ettirish funksiyasi $m(E)$ qo‘llaniladi:

$$\tilde{T}(E) = \tilde{T}_z \cdot m(E). \quad (14.71)$$

Yigirmadan ko‘p aks ettirish funksiyalari (yoki troposfera qiyalik omillari) taklif etilgan edi. Quruq va namkomponentlar uchun, oddiy model – bu $1/\sin E$. Bu model tekis Yer uchun to‘g‘ri keladi va kichik

balandliklardagi yoʻldoshlar ($E < 15^\circ$) uchun mutlaqo toʻgʻri kelmaydi. Taxminan, juda aniq model quyidagi ifoda hisoblanadi:

$$m(E) = \frac{1}{\sqrt{1 - (\cos E / 1.001)^2}}. \quad (14.72)$$

Boshqa misol –quruq va nam kechkishlar uchun, alohida aks ettirish funksiyalari

$$m_d(E) = \frac{1}{\sin(E) + \frac{0.00143}{\operatorname{tg} E + 0.0445}}; \quad m_w(E) = \frac{1}{\sin(E) + \frac{0.00035}{\operatorname{tg} E + 0.017}}. \quad (14.73)$$

Cheksiz kasr kesilgan shakliga asoslangan, juda mukammallashgan aks ettirish funksiyasi, birinchi boʻlib Dj. Marini (*John W. Marini*) [132] tomonidan taklif etilgan edi, oʻzining troposfera tuzatmalari uchun formulasini keltirib chiqarib, balandlik burchagiga bogʻliq, har qanday gorizont choʻzilgan atmosferada, cheksiz kasrni kengaytirish yordamida $1/\sin(E)$ orqali taxmin qilish mumkin:

$$m(E) = \frac{1}{\sin(E) + \frac{a}{\sin(E) + \frac{b}{\sin(E) + \frac{c}{\dots}}}}. \quad (14.74)$$

Ifodadagi toʻrtta aʼzoni qoʻllab, Marini 1° dan past balandlikkacha zenitdan 0.3% ga qaraganda, yaxshi boʻlgan atmosfera modeli bilan nur traektoriyasining moslashishini topdi. 0.1% dan kam xatoliklarni toʻrtta empirik aniqlangan koeffitsiyentlar boʻyicha, sozlash yoʻli bilan olish mumkin. Hozirgacha ishlab chiqilgan, koʻpchilik aks ettirish funksiyalari [122], shunday kengayish shaklini qoʻllagan.

Nayellning aks ettirish funksiyasi. *A.E.Nayell (Artur E.Niell)* gorizontdan 3° koʻp balandlikdagi yoʻldoshlardan keluvchi radio-toʻlqinlar uchun, gidrostatik va nam kechikishlar aks ettirish funksiyalari uchun ifodani topdi [141].

Neytral atmosferada radiotoʻlqinlarni kechikishi, gidrostatik va troposfera nam tuzuvchisi orqali aniqlanishini hisobga olganda, Nayell oʻzining tadqiqotlari uchun, quyidagi toʻliq troposfera kechikishlari uchun ifodani qoʻlladi:

$$\tilde{T} = \tilde{T}_{z,h} \cdot m_h(E) + \tilde{T}_{z,w} \cdot m_w(E), \quad (14.75)$$

bu yerda: $\tilde{T}_{z,h}$ va $\tilde{T}_{z,w}$ – mos ravishda zenitli gidrostatik va nam troposfera kechikishlari; m_h va m_w – E balandlik uchun gidrostatik va nam aks ettirish funksiyalari.

Nayell funksiyani keltirib chiqarishi uchun, asos sifatida Marinining kesilgan uzluksiz kasridan foydalandi [132]:

$$m(E) = \frac{\frac{1}{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1 + c}}}}{\sin(E) + \frac{a}{\sin(E) + \frac{b}{\sin(E) + c}}}. \quad (14.76)$$

Aks ettirish funksiyasi har qaysi stansiya uchun, har qanday kun uchun, o'lchashlar koeffitsiyentlarni interpolatsiya qilish yordamida olinishi mumkin. Nayell (14.76) ifoda koeffitsiyentlarining kenglikga bog'liqligi uchun analitik ifodani topa olmadi va ular uchun, jadvaldan chiziqli interpolatsiyani tanladi. Ekvatordan $\pm 15^\circ$ gacha kengliklar uchun, 15° kengliklar uchun koeffitsiyentlar qiymati, 75° dan qutbgacha - 75° kenglik koeffitsiyentlari qiymatlari qo'llaniladi.

Nayellning tadqiqotlari ko'rsatdiki, gidrostatik aks ettirish funksiyasidagi $m_h(E)$ vaqtinchalik o'zgarishlar, sinusoidal tavsifga ega bo'ladi. Har qaysi kengliklar uchun, koeffitsiyentlar 365.25 sutkadagi davr bilan vaqt bo'yicha sinus funksiyasi va yanvar hamda iyul qiymatlari orasidagi farqlarning yarmi amplitudasi bilan modellash-tirilgan. Aks ettirish funksiyasi fazalari sifatida yilning kun tartib raqami (Day of year, DOY) qabul qilingan.

Gidrostatik aks ettirish funksiyalari uchun koeffitsiyentlar, 0.0 (UT vaqti bo'yicha) yanvardan sutkalarda davrga jadval kengligida, quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$k(\varphi_i, t) = k_{ypm}(\varphi_i) + k_{amnl}(\varphi_i) \cos\left(2\pi \frac{t - T_0}{365.25}\right), \quad (14.77)$$

bu yerda: T_0 – qabul qilingan boshlang'ich faza, Nayellda 28 sutkaga teng. $k(\varphi_i, t)$ koeffitsiyentlardan har qanday qiymat 14.4-jadvaldagi yaqin qiymatlar orasida chiziqli interpolatsiya qilish orqali

topiladi. Janubiy yarim shar uchun yil vaqti, yil yarmini janubiy kenglik uchun fazaga qo‘shib hisobga olinadi.

Nam aks ettirish funksiyasining $m_w(E)$ yanvar va iyul koeffitsiyentlari sezilarsiz darajada farq qiladi va shuning uchun, sanalar bo‘yicha interpolyasiya, bu yerda keltirilmagan, koeffitsiyentlar esa 14.5-jadval bo‘yicha faqat kenglik bo‘yicha interpolyatsiyalanadi.

Kenglik va yil vaqtiga bog‘liqlikdan tashqari, gidrostatik aks ettirish funksiyasi, shuningdek, geoiddan kuzatish punkti balandligiga ham bog‘liqdir, chunki balandlik bilan atmosfera “qalinligi”ning egrilik radiusiga nisbati kamayadi. Gidrostatik aks ettirish funksiyasining dengiz sathidan H (metrlarda) stansiya balandligiga keltirilishi quyidagi formula bilan bajariladi:

$$m_h(E, H) = m_h(E) + \frac{dm(E)}{dH} \cdot H, \quad (14.78)$$

unda balandlik gradiyenti quyidagidek joylashadi:

$$\frac{dm(E)}{dH} = \frac{1}{\sin E} - \frac{1 + \frac{a_{ht}}{1 + \frac{b_{ht}}{1 + c_{ht}}}}{\sin E + \frac{a_{ht}}{\sin E + \frac{b_{ht}}{\sin E + \frac{b_{ht}}{\sin E + c_{ht}}}}}. \quad (14.79)$$

a_{ht}, b_{ht}, c_{ht} parametrlar 14.4-jadvalda keltirilgan.

14.4-jadval

Nayellning gidrostatik aks ettirish funksiyalari koeffitsiyentlari

Koeffitsiyentlar	Kenglik				
	15°	30°	45°	60°	75°
O‘rtacha koeffitsiyentlar $k_{ort.}$					
a	$1.2769934e^{-3}$	$1.2683230e^{-3}$	$1.2465397e^{-3}$	$1.2196049e^{-3}$	$1.2045996e^{-3}$
b	$2.9153695e^{-3}$	$2.9152299e^{-3}$	$2.9288445e^{-3}$	$2.9022565e^{-3}$	$2.9024912e^{-3}$
c	$62.610505e^{-3}$	$62.837393e^{-3}$	$63.721774e^{-3}$	$63.824265e^{-3}$	$64.258455e^{-3}$
Koeffitsiyentlar amplitudasi $k_{ampl.}$					

a	0.0	$1.2709626e^{-5}$	$2.6523662e^{-5}$	$3.4000452e^{-5}$	$4.1202191e^{-5}$
b	0.0	$2.1414979e^{-5}$	$3.0160779e^{-5}$	$7.2562722e^{-5}$	$11.723375e^{-5}$
c	0.0	$9.0128400e^{-5}$	$4.3497037e^{-5}$	$84.765348e^{-5}$	$170.37206e^{-5}$
Stansiya balandligi uchun tuzatma					
a_{ht}	$2.53e^{-5}$				
b_{ht}	$5.49e^{-3}$				
c_{ht}	$1.14e^{-3}$				

Nayellning aks ettirish funksiyasi, *RSDB* geodezik ma'lumotlarini tahlilida qo'llanilgan, shunchaki, minimal balandlik ma'lumotlari 12 dan 3^0 gacha kamayadi, 10400 km gacha asos chiziqlarining uzunligini baholashlari 5 mm dan kanga o'zgaradi. Ular meteorologik yuzaga bog'liq emas, ammo yer usti meteoma'lumotlaridan foydalanuvchi, funksiyalar bilan aniqligi bo'yicha taqqoslasa bo'ladi.

Nayellning nam aks ettirish funksiyasi koeffitsiyentlari 14.5-jadvalda berilgan.

Aks ettirish funksiyasini qo'llash bo'yicha Xalqaro Yer aylanishi xizmatining tavsiyanomasi. Matematik troposfera modellari orasidagi farqlar, xatoliklarga qaraganda, ko'pincha kam, ular tavsifi, nam komponentlarni tarqalishi va azimutal asimmetriya natijasidagi sinish ko'rsatkichining tarqalishiga ko'ra kiritilishi mumkin. Shu sababli, geodezik ma'lumotlarni qayta ishlashda ijrochining vazifasi, zenitli troposfera kechikishlarini baholash va faqat aks ettirish funksiyasini modellashtirish hisoblanadi, ular berilgan balandlikda zenit kechikishlariga, kechikish nisbatini o'zida aks ettiradi. Shunga mos ravishda, Xalqaro Yer aylanishi xizmati tomonidan tavsiya etiladigan model, asosan aks ettirish funksiyasiga tegishli. Juda aniq aytadigan bo'lsak, aprior gidrostatik kechikishga, qachon zenitli kechikishlarning aniqligini baholash juda muhim, Saastamoynen [43] formulasini qo'llash kerak bo'lganida, u Devisda [79] berilganidek ko'rinishda, ayniqsa keraklidir.

Radiozondlash ma'lumotlarini global tarqalishi bo'yicha nurlar traektoriyasini qurish bilan 15 ta aks ettirish funksiyalarini taqqoslash Djeyns [110]; Mendes va Lengli [135] tomonlaridan qilingan edi.

Nayellning nam aks ettirish funksiyasi koeffitsiyentlari

Koef- fitsiye- ntlar	Kenglik				
	15 ⁰	30 ⁰	45 ⁰	60 ⁰	75 ⁰
<i>a</i>	$5.8021897e^{-4}$	$5.6794847e^{-4}$	$5.8118019e^{-4}$	$5.9727542e^{-4}$	$6.1641693e^{-4}$
<i>b</i>	$1.4275268e^{-3}$	$1.5138625e^{-3}$	$1.4572752e^{-3}$	$1.5007428e^{-3}$	$1.7759908e^{-3}$
<i>c</i>	$4.3472961e^{-2}$	$4.6729510e^{-2}$	$4.3908931e^{-2}$	$4.4626982e^{-2}$	$5.4736038e^{-2}$

10⁰ dan past balandliklarni kuzatishlar uchun, punkt balanligining aniqligini oshirish uchun, geodezik dasturga nimani kiritish mumkin, eng aniqlari bo‘lib, Lani [122], Ayfadis [108], Xerring, MTT dek belgilanadigan [99] va Nayell, NMF dek belgilanadigan [141] larning aks ettirish funksiyalari ko‘rsatildi. Faqat, oxirgi uchta funksiyalar 6⁰ dan past balandliklarni kuzatishlar uchun ishlab chiqilgan, bundan tashqari, MTT va NMF lar 3⁰ gacha, Ayfadis esa – 2⁰ gacha haqqoniydir.

Bu funksiyalarning har qaysisi, suv bug‘lari uchun komponentlardan va yoki to‘liq atmosfera uchun (Lani), yoki to‘liq kechikishlardagi gidrostatik tuzuvchilar (Ayfadis, MTT, NMF) komponentlardan iborat. Har qanday holatlarda ham, nam tuzuvchini aks ettirilishi, qoldiq atmosfera zenitli kechikishlarini baholash uchun xususiy hosiladek o‘tkazilishi kerak.

Kuzatishlar vaqtida o‘lchanadigan atmosfera parametrlari – bu yuza harorati, bosim va nisbiy namliklardir. Lani, Ayfadis va Xerringlarning aks ettirish funksiyalari, aynan shunday ma‘lumotlarni qo‘llash uchun ishlab chiqilgan edi. Lani funksiyasi qo‘shimcha izotermik yuza qatlami balandligi orqali ularni ifodalash imkonini beradi. Bu ma‘lumotlarsiz, meteorologik yuzani qo‘shilishi, radiozondlar ma‘lumotlari orasida, Ayfadis va Xerring modellariga qaraganda, katta farqlarga olib keladi.

NMF Nayellning gidrostatik aks ettirish funksiyasi boshqa uchtasidan, meteorologik yuzaga bog‘liq bo‘lmaganligi bilan ajralib turadi. Buning o‘rniga u, taxminan, 1 km balandlikdagi atmosfera sharoitlariga katta hissa qo‘shishi nazarda tutiladi, bu hissa yil vaqtiga kuchli bog‘liqdir. Shunday qilib, NMF modeli MTT va Ayfadis modellari bilan ular aniq meteorologik ma‘lumotlar bilan ta‘minlanganida,

ammo tashqi o'lchashlarga bog'liq bo'lmaganida, absolut aniqlik va yaqinlik (ichki aniqlik) tengligini taklif etadi.

Shunday qilib, agar atmosferada haroratning vertikal tarqalishi to'g'risida ma'lumotlar bo'lsa, unda Lani modeli afzal. Aks holda, boshqa uchta modellardan biri qo'llanilishi kerak [102].

14.1.3. Gradiyent modellar

So'nggi yillarda asosiy e'tibor, azimutal simmetriyadan atmosfera kechikishlariga qaratilgan. Troposfera kechikishlarining yuqorida keltirilgan modellari, atmosferani bir xil sinish ko'rsatkichli sferik qobiqqa bo'lish mumkin degan shartlarga asoslangan edi. Sinish ko'rsatkichi indeksi uchun, bir xil sferik qobiqlar to'g'risidagi taxminlar, troposfera kechikishlari modelini azimutga bog'liq bo'lmagan, faqat balandlik burchagiga bog'liqlikka aylantirdi. Azimutal assimetriyadan atmosfera kechikishlari ta'sirlari va qiymatlari tadqiqotlari birinchi bo'lib, Gardner tomonidan bajarildi. 1977-yilda radiozond ma'lumotlari bo'yicha quruq troposfera kechikishlarini nosimmetrik qismini baholashda, atmosfera azimutal asimetriyasi ifodasi uchun, formulani keltirib chiqardi. O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida, 20° gorizontdan balandlikda asimetriyaning ta'siri bir necha santimetrlarga yetishi mumkin [76].

Qatlamlarning qiyaligi ta'sirini hisobga olganda, troposfera kechikishlari quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\tilde{T}(E, A) = \tilde{T}_{sym}(E) + \tilde{T}_{az}(E, A), \quad (14.80)$$

bu yerda: $\tilde{T}_{sym}(E)$ – (6.75) formula bilan ifodalanadigan, azimutal simmetrik atmosferadan troposfera kechikishlari. Azimut yo'nalishidan radiomanbaga bog'liq, kechikishning ushbu qismi uchun, Chen va Xerring quyidagi modelni taklif qildi:

$$\tilde{T}_{az}(E, A) = G_{ns} m_{az}(E) \cos A + G_{ew} m_{az}(E) \sin A, \quad (14.81)$$

bu yerda: G_{ns} va G_{ew} – “shimol” – “janub” va “sharq” – “g‘arb” yo‘nalishidagi troposfera kechikishlari gorizontallari gradiyentlari komponentlari; $m_{az}(E) - E$ balandlik uchun, troposfera kechikishlari gradiyent komponentlari uchun aks ettirish funksiyasi. Uning uchun quyidagi ifoda topilgan

$$m_{az}(E) = \frac{1}{\sin EtgE + C}, \quad (14.82)$$

unda C tuzatmali a‘zo uchun 0.0032 qiymat qo‘llanilgan.

Troposfera kechikishlari gradiyent qismining ta‘siri, bosh a‘zolar-nikiga qaraganda, bir muncha kam (odatda, 30 mm dan oshmaydi, ammo yuqori aniqlikdagi *GPS/GLONASS* va *RSDB* o‘lchashlar uchun bu sezilarli darajadadir. Shu bilan birgalikda, “shimol” – “janub” yo‘nalishidagi gradiyent o‘rtacha qiymati, kenglikga bog‘liq va ekvatoridan qutblarga haroratni umumiy kamayishi bilan tushuntiriladi. “Sharq” – “g‘arb” yo‘nalishi uchun gradiyentlar aniqlanmagan. Shuningdek, gidrostatik va nam komponentlarni, alohida baholash mumkin emasligi to‘g‘risida xulosalar qilingan; shuning uchun, olingan baholashlar, ularning kombinatsiyalari hisoblanadi [76].

[59] maqolasida, fazali o‘lchashlar bo‘yicha absolut usulda koordinatalarni aniqlashda, troposfera gradiyentlarini modellashtirish usuli yoritiladi. $5-7^0$ balandlikdagi burchak kesishishlar qo‘llanilganida, natijalar juda ishonchli olinmoqda.

T. Emardson va P. Yarlemarklar “nam” neytral atmosferani gorizontallari tarqalishini yorituvchi, uchta modelini baholadi: gorizontallari qatlam bilan atmosfera modeliga asoslangan, standart model; ikkita gradiyent parametrlardan foydalanilgan gradiyent model va turli yo‘nalishlarda nam kechikishlar korrelyatsiya qiymatlarini qo‘llovchi, turbulent modellar.

Onsala (Shvetsiya) observatoriyasi o‘rtacha qiymatidan 10 marta ko‘p bo‘lgan, katta gradiyentlar bo‘lganida, shu narsa aniqlanganki, gradiyent usul nam kechikishlar va stansiyalar balandliklari uchun o‘rta kvadratik xatoliklarni beradi, ular standart yondashuvlarda olinganlarga, qaraganda 3–7 mm ga kamdir. Turbulent uslub, standart uslubga qaraganda, o‘rta kvadratik xatoliklarni yana 1–5 mm ga kam beradi. Nisbatan kuchli turbulentliklar bo‘lganida, nam kechikishlar va balandliklar uchun o‘rta kvadratik xatoliklar, gradiyent va turbulent

uslublarda olinganlari, standart yondashuvni qo'llanilganiga qaraganda, 1–3 mm ga kamdir. Shu dalillarga asoslangan holda, gradiyent model gorizont-al-qatlamli atmosferalar uchun beriladi, turbulent model ham, *GPS* qayta ishlashlarida ikkita birinchi modellarga muqobildek, ishlatilishi mumkinligi to'g'risida xulosalar qilingan.

Bundan tashqari, gradiyent usul ishonchli hisoblanadi, ya'ni u uchun mo'ljallanmagan sharoitlarda ham, masalan, atmosfera o'zgarishlari turbulent usul bilan mos kelganida va atmosferada gradiyentlar bo'lmaganida ham, yaxshi bajariladi. Gradiyent modeli, 23° dan baland burchaklardan kuzatilgan, suv bug'lari radiometrlar ma'lumotlaridan foydalanib ishlab chiqilgan edi. Quruq tuzuvchilar uchun, gradiyent-larning ta'sirlari ko'rib chiqilmagan [85].

14.1.4. Meteoparametrlarni aniqlash usullari

Yer atmosferasida *SRNS* yo'ldoshlari signallarini kechikishlarini modellashtirish, kechikishlarni tabiiy doimiy bo'lmaganligi va qanday-dir boshqa vositalar bilan, o'zlarini *GPS* o'lchashlaridan tashqari, kechi-kishlarni aniqlashning amaliy vositalarini ishlab chiqishni qiyinligi nati-jasida, o'lchash aniqligini cheklovchi, bosh omillardan biri hisoblanadi.

Troposfera kechikishlari $\tilde{T}$ zenitdagi qiymati (*zenit kechikishi*) 2.4 m ga yaqinni tashkil etadi. U, zenit masofasini oshishi bilan oshib boradi va 15° balandlikda, 9.3 metrga yetadi. Oddiy modellar, zenit kechikishlarini 20 sm aniqligini oson ta'minlaydi, bu kodli o'lchashlar uchun to'lig'icha yetarlidir. Fazali o'lchashlarni qayta ishlashlar uchun Xopfild, Saastamoynen, Goad va Gudmen va boshqalarning – ko'proq aniq va murakkab modellaridan foydalaniladi. Atmosfera kechikish-larining katta qismi gidrostatik (yoki quruq) tuzuvchidek, oldindan aytish mumkin. Zenitda u 2.1–2.4 metrlarni tashkil etadi. Zenitli troposfera kechikishlari $\tilde{T}_{z,w}$ nam tuzuvchilari qutbiy hududlarda, bir necha millimetrlargacha va cho'l hududlari uchun 40 sm gacha hamda tropiklarda ko'proq santimetrlarga o'zgaradi. Nam kechikishga asosiy hissani 1.5 km lar atrofidagi balandlikkacha bo'lgan atmosfera qatlamlari va 4 km gacha balandlikdagi bulutlar beradi. Kechikishning ushbu qismini hisobga olishning qiyinligi quyidagidan iborat, Yer yuzasida harorat va namlikni o'lchash, yo'ldoshdan priyomnik anten-nasiga radionurlarni o'tish yo'li shartlariga mos kelmaydi.

Troposfera kechikishlari gidrostatik komponentlarini hisoblash uchun kalit parametr, antenna yaqinida o'lchanadigan barometrik bosim hisoblanadi. Nam tuzuvchilar uchun, shuningdek, harorat va suv bug'larining parsial bosimi muhimdir. Meteoparametrlarni o'lchash xatoliklari troposfera kechikishlarini aniqlash aniqliklariga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Agar, harorat 0.3°C , bosim – 0.5 mbar yoki namlik – 1.5% xato bo'lsa, 15 km uzunlikdagi asos chiziqlari uchun, kechikish xatoligi 1 mm ga to'g'ri keladi. Ushbu tartibdagi qiymatlar uchun, harorat $T=0^{\circ}\text{C}$, bosim $P=1000\text{mbar}$ va dengiz sathidagi namlik $H=50\%$ amal qiladi. $T=30^{\circ}\text{C}$, bosim $P=1000\text{mbar}$ va dengiz sathidagi namlik $H=100\%$ uchun, ushbu xatolarning ta'siri, harorat va namlik natijasida 5 martaga oshadi [60].

Yer yuzasida meteoparametrlarni o'lchash. Troposfera tuzatmalarini ko'plab modellari, kuzatishlar vaqtida yuzada bajarilgan, to'g'ridan to'g'ri meteorologik o'lchashlar bo'yicha zenit kechikishlarini hisoblash uchun ishlab chiqilgan. O'lchashlar uchun, meteorologik asboblari – barometrlar, harorat o'lchagichlar va psixrometrlar yoki gigrometrlar qo'llaniladi. Asboblari sifatiga talablar yetarlicha yuqori: sanoq olish aniqligi harorat uchun – 0.1°C , bosim uchun – 0.1 mbar, namlik uchun – 1-2%. Asboblari meteorologik attestatsiya to'g'risidagi guvohnomaga ega bo'lishi kerak. Agar nisbiy namlik RH o'nlik kasr ko'rinishida o'lchanadigan bo'lsa, unda u suv bug'lari e parsial bosimiga aylantirilishi kerak bo'ladi:

$$e = 6.108RH \exp \frac{17.15T - 4684}{T - 38.45}, \quad (14.83)$$

bu yerda harorat T kelvinda berilgan [113].

Zamonaviy meteorologik apparatura (14.9-rasm) kerakli aniqlikdagi o'lchashlarni olish imkoniyatini beradi va mos keluvchi dasturiy ta'minot bo'lganida, GPS priyomnikka meteoma'lumotlar faylini yozib oladi.

620–1100 GPa diapazonlarida bosimni o'lchash aniqligi $\pm 0.08\text{ GPa}$. Haroratni o'lchash aniqligi -50 dan $+60^{\circ}$ gacha $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Nisbiy namlikni o'lchash aniqligi 0 dan 100% diapazonlarda, harorat 25°C bo'lganida $\pm 2\%$ (<http://www.paroscientifik.com>).

Yuzada o'lchashlarning asosiy kamchiligi, olingan meteoma'lumotlar umumiy hollarda, priyomnikdan yuqori namlik tarqalishi

kuchsiz indikatori hisoblanadi. Meteoma'lumotlarni to'plash o'z-o'zidan qiyin masala hisoblanadi, tez-tez mutlaqo xato ma'lumotlarni beradi. Yer yuzasiga yaqin va lokal anomaliya ob-havo sharoitlarida, obyektiv ma'lumotlarni yig'ish qiyinlashadi. Atmosferadagi dinamik jarayonlar, yuzadan 100 metr balandlikdan boshlab, bu ta'sirlarni tekislashtiradi.



14.9-rasm. *Paroscientifik kompaniyasining Met3A meteorologik tizimi.*

Meteoparametrlarni modellashtirish. Amaliyotda kamdan kam hollarda, yuza meteorologik kuzatishlari qilinadi, sababi meteoma'lumotlardan foydalangandagiga taqqoslanganda, asos chiziqlarini aniqlash yomon natijalarni beradi. Kichik masshtablardagi plan olishlar uchun (uzunligi bir necha o'n kilometrdan kam) ko'p hollarda, meteoparametrlar modellashtirilgan qiymatidan foydalanish tavsiya etiladi. Ular, (14.44) ko'rinishdagi tenglamani dengiz sathi uchun qo'llab, "standart" qiymatlar bo'yicha olinadi. Bu meteoma'lumotlardagi kichik sistematik xatoliklarga (bular, asboblarni sozlashdagi xatoliklar va kuzatuvchini daladagi xatoliklari), "standart atmosfera" qo'llagandagiga qaraganda, ko'pincha katta siljishlarni kiritishi mumkin. *Bundan tashqari, barcha qayta ishlash tijorat dasturlari ham, dala meteoma'lumotlarini qabul qilmaydi* [143].

To'g'ridan to'g'ri o'lchashlar va meteoma'lumotlarni modellashtirish orasidagi oraliq variant, atmosfera standart modelini qurish hisoblanadi. Bunday hollarda, bosim P_0 , harorat (quruq) T_0 va nisbiy namlikning (foizlarda) RH_0 bitta stansiya (tayanch) uchun o'lchangan qiymatlaridan

foydalaniladi, boshqa stansiyalar uchun esa, standart atmosfera modelaridan T , P va RH uchun balandlik gradiyentlari bilan sun'iy meteoma'lumotlar moslashtiriladi. Tayanch stansiya balandligi h_0 bo'yicha, stansiya berilgan balandligiga h ma'lumotlarni keltirish misoli sifatida, quyidagi model xizmat qilishi mumkin:

$$\begin{aligned} T &= T_0 - 0.065(h - h_0); \\ P &= P_0(1 - 0.0226(h - h_0))^{5.225}; \\ RH &= RH_0 \cdot e^{-0.0006396(h - h_0)}. \end{aligned} \quad (14.84)$$

Agar, meteosharoitlar juda o'ziga xos yoki balandliklarda katta farqlar mavjud bo'lsa, unda o'lchangan meteoparametrlar bo'yicha yaratiladigan, atmosferaning lokal modeli qo'llaniladi. Bunday uslubda meteoma'lumotlarni Yerda, hech bo'lmaganda, yetarlicha tez davomiylikda (o'lchashlar orasi 10-30 minut) va har qaysi brigada uchun bir vaqtda o'lchaydilar. Barcha olingan ma'lumotlar bitta tayanch balandlikka keltiriladi va mahalliy model parametrini olish uchun, ulardan o'rtachasi hisoblanadi. Ushbu uslub tanlangandan keyin, dala ishlaridan oldin barometrlar, harorat o'lchagichlar va psixrometrlar etalonlashtiriladi va etalon o'lchashlar to'g'risidagi hisobotlardan foydalaniladi [68].

Meteorologik ma'lumotlarni modellashtirishni chegaraviy holati – bu ularning o'lchashlarini rad etish va (14.44) formula bilan aniqlanadigan, standart atmosfera modelini qo'llashdir.

Radiozondlarda o'rnatiladigan meteorologik anjomlar, vertikal ko'tarilishdagi har xil balandliklarda, o'rab turuvchi havoning bosimini, haroratini va namligini (shuningdek, shamolning tezligi va yo'nalishini) o'lchaydi. Vyaysyalning radiozondi, havo kemasidan parashyutda tushishda, ushbu funksiyani bajaradi. Ularning ma'lumotlaridan troposfera tuzatmalarining nam tuzuvchilarini hisoblashda foydalanish mumkin. Radiozondlarning kamchiligi, ularning shamol yo'nalishiga bog'liqligi hisoblanadi, buning natijasida, ular har doim ham, punktlar uchun zenitli kechikishlar to'g'risidagi ma'lumotlarni bermasligi mumkin. Meteostansiyalarda olib boriladigan, radiozondlarni ishga tushirish, sutkada 1–2 marta sodir bo'ladi va ular atmosferaning to'liq dinamikasi bo'yicha ma'lumotlarni bera olmaydi. Bundan tashqari, radiozondlar bilan jarayonlar ahamiyatli va qimmat infrastrukturani talab etadi. Buning natijasida, maxsus radiozondlarni ishga tushirish juda kamdan kam va oddiy GPS plan olishlarida emas, tadqiqot loyihalarida foydalaniladi.

[4] ishlarida, nam zenitli kechikishlarni hisoblash uchun, aerologik zondlash ma'lumotlari, yuza o'lchashlari bilan birlashtirilgan edi. Bunda sinish ko'rsatkichining nam qismi [58] maqolasida taklif etilgan ko'rinishda ifodalangan edi va to'rtburchaklar usulida integralni hisoblash uchun qo'llanilgan:

$$\tilde{T}_{z,w} - 10^{-6} \sum_{i=0}^{i_t} (K_2'' e_i / T_i + K_3 e_i / T_i^2) \Delta H. \quad (14.85)$$

Bu yerda, $i=0$ indeks dengiz sathidan balandlik H_0 bilan priyomnik antennasining yuzasi ma'lumotlariga to'g'ri keladi, $i=i_t$ - tropopauzalar balandligiga mos keladi; namlik e_i parsial bosim va absolut T_i haroratlar ma'lumotlari $i=0$ bo'lganida radiozondlarda o'lchashlarga to'g'ri keladi. Qiyalik troposfera kechikishlariga o'tish uchun Nayellning [141] gidrostatik va nam aks ettirish funksiyasidan foydalaniladi.

Suv bug'lari radiometrlari. Suv bug'larini radiometrlar yordamida o'lchashlarni, har qanday yo'nalishga nam komponentlarni yuqori aniqlik bilan olish uchun qo'llaniladi. Radiometr o'zida juda sezuvchan radiopriyomnikni ifodalaydi, u chiziqli bo'ylab, suv bug'larining barcha molekulalari yorqinlik harorati (ya'ni nurlanish energiyasi)ni o'lchaydi, u bo'yicha passiv antenna yo'naltirilgan (14.10-rasm).



14.10-rasm. Radiometrics korporatsiyasi suv bug'larining mikroto'liqlik radiometri (<http://radiometrics.com>)

Ushbu asboblarda odatda, 23.8 GGs suv bug'larining tarkibini o'lchash uchun va 31.4 GGs bulutlardagi suyuq suv tarkibini o'lchash uchun, ikkita chastotalarda ishlaydi. Troposfera kechikishlari nam tuzuvchilari 10 mm aniqlik bilan olinadi. Bunda, asos chiziqlarini o'lchashlar millimetrli

aniqliklarda olinishi mumkin [56]. Buning uchun, radiometrlar spektral gigrometrlardan foydalanib, sinish ko'rsatkichi o'lchashlari bo'yicha sozlanadi, radiozondlar yoki suv bug'larini o'lchashlarning boshqa uslublari, mumkin bo'lgan sistematik xatolarni keltirib chiqarishi mumkin.

Nam kechikishlari to'g'risidagi ma'lumotlarni, shuningdek, bir necha ko'rinishdagi lidarlar (lazerli radarlar) yordamida ham, olish mumkin. Ammo lidarlardek, suv bug'larini mikroto'lqinli radiometrlari ham yetarlicha qimmat uskunalarni (punktga 200000\$ larga yaqin) o'zida ifodalaydi va yaqin kelajakda GPS o'lchashlarida qo'llanilish ehtimoli kam. Monitoring stansiyalarini, bundan mustasno qilishi mumkin, masalan, RSDB antennasidan yaqinda joylashgan, XGT stansiyalarini ko'rsatish mumkin.

Fazali o'lchashlar bo'yicha troposfera kechikishlarini aniqlash. 1990-yillarda GPS o'lchashlar, neytral atmosferada suv bug'lari tarkibini muvaffaqiyatli aniqlashi mumkinligini ko'rsatuvchi, bir qator tadqiqotlar paydo bo'ldi. Bunda aniqlik, radiozondlar va suv bug'lari radiometrlari yordamida erishiladigan natijalardan, deyarli qolishmaydi. Bunga qo'shimcha ravishda, GPS tizimi, boshqa usullarga qaraganda, sifatli fazoviy o'lchashlar tarqalishini ta'minlaydi. Buning natijasida, GPS o'lchashlar, cho'kma suv bug'lari miqdori to'g'risidagi, ob-havoni oldindan aytish uchun, qimmatli ma'lumotlar manbayiga aylanmoqda. Buning uchun meteorologlar GPS ma'lumotlardan foydalanishni turli usullari bilan ob-havoni taxmin qilishni sonli modellarida baholaydilar. Geodezistlar uchun, neytral atmosfera keltirib chiqaradigan, signallarning tarqalishidagi ushbu kechikishlar, pretsizion pozitsionirlash aniqligi cheklangan, bosh omillardan biri bo'lib qolmoqda. Ko'plab geodezik ilovalarda kutilayotgan aniqlik yaxshi moslashtirilgan qayta ishlash sxemalarini qo'llashni talab etadi, ularda asosiy e'tibor, troposfera xatolarini hisobga olish usullariga qaratilishi kerak bo'ladi. Millimetrli aniqlik, cho'kindi suv bug'larini GPS baholashlar uchun va uni meteorologiyada qo'llash uchun kerakli bo'lgan hamda geodeziyada bugungi kunda kerakli aniqlik, troposfera kechikishlarini baholash muammolariga qaratiladi.

SRNS yo'ldoshlari kuzatishlari bo'yicha nam kechikishlarni aniqlash prinsipi quyidagidan iborat. Agar (14.27) faza tenglamasidan ionosfera kechikishini chiqarib tashlansa, u fazali ikki chastotali o'lchashlardan aniqlanishi mumkin, unda gidrostatik (yoki "quruq") va

nam komponentlardan tarkib topgan troposfera kechikishlari qoladi. Boshqa xatolarsiz, aniq troposfera kechikishlarini topish uchun, aniq orbitalar, yo‘ldoshlar soatlari aniq tuzatmalari va stansiyaning aniq o‘rni kerak bo‘ladi. Odatda, stansiyaning o‘rni mustaqil yoki *GPS* ga bog‘liq bo‘lmagan ma’lumotlar (masalan, radiometrlar)ni qo‘llash orqali topiladi. Troposferada ko‘pyo‘llilik yoki nurning egilishini, balandlik bo‘yicha burchak kesishini oshirib, kamaytirish mumkin. To‘liq zenitli troposfera kechikishini $\tilde{T}$ nuqtani aniq absolut fazali ikki chastotali pozitsionirlashdan aniqlash mumkin. Zenitli gidrostatik kechikish yuzaga to‘liq bosim orqali hisoblanadi. To‘liq va gidrostatik kechikishlar zenitli nam kechikishini beradi:

$$\tilde{T}_{z,w} = \tilde{T}_z - \tilde{T}_{z,h}. \quad (14.86)$$

Modomiki, suv bug‘larining ta’siri bosim va haroratga fonli o‘zgarishlari ta’siridan ajralmas bo‘lishi mumkin, to‘liq zenitli kechikish baholanadigan bo‘ladi, nam tuzuvchilari esa – keyinchalik hisoblanadi. To‘liq kechikish, shovqinlar jarayoni bilan tavsiflanuvchi, birinchi tartibli Gauss – Markova jarayonidek yoki tasodifiy adashish jarayonidek (birinchi tartibli Gauss–Markova cheksiz vaqtinchalik korrelyatsiya bilan) baholanadi [154].

Xalqaro *GPS* xizmatlarining ko‘plab stansiyalari uchun nam yoki nam va to‘liq troposfera kechikishlarining qiymatlari beriladi. Ushbu ma’lumotlar aniqligi – 4 mm ga yaqin, kechikish – 4 haftaga. Ma’lumotlar haftasiga yangilanadi. Ushbu ma’lumotlarni kuzatishlarni qayta ishlashlarda qo‘llash ilmiy mahsulot dasturi bilan cheklanadi, tijorat dasturiy ta’minotlari, ushbu ma’lumotlarni qo‘llashga hisoblanmagan.

Ob-havoning raqamli modelini qo‘llash. AQSH Milliy okeanografik va atmosfera boshqaruvi taxminiy tizimi laboratoriyasida (*Forecast Systems Laboratory, FSL*), *Mesoscale Analysis and Prediction System* (O‘rta masshtabli tahlil tizimi va oldindan aytishlar, *MARS*) ob-havoning raqamli modeli ishlab chiqilgan [133]. *MARS* modelini har soatda oddiy va yangi ma’lumotlar manbayi tahlili bilan ta’minlash maqsadida, AQSH va qo‘shni territoriyalar uchun aviatsiya va boshqa o‘rta masshtablardan foydalanuvchilarni qo‘llashga mo‘ljallangan. *MARS* uchun boshlang‘ich ma’lumotlar to‘rtta turdagi meteorologik kuzatishlarni o‘z ichiga olgan: 1) radiozondlar; 2) tijorat havo kemalari bilan kuzatish; 3) asosan, AQSH markazida joylashgan, 35 ta shamollar

troposfera profillaridan kuzatishlar; 4) harorat, bosim, namlik va boshqa miqdorlarni an'anaviy yuzadagi o'lchashlari. *MARS* meteorologik mahsulotlari to'rlar uchun beriladi, u AQSHning kontinental qismini egallaydi. Joriy kechikishlar, *MARS* qayta ishlashlari bilan bog'liq, har qaysi soatdan keyin 21 minutga teng.

[133] ishlarida qo'llanilgan, *MARS* modeli, tomonlar o'lchami 40 km bo'lgan, to'r tugunlarida ifodalangan, *PWV* suv bug'larida cho'kmalari aprior qiymatlari ta'minlagan. Hidrostatik zenitli kechikishni $\tilde{T}_{z,w}$ topish uchun, yuza harorati va *PWV* [61] dan tenglama yordamida qayta hosil qilingan edi:

$$\tilde{T}_{z,w} = \Pi \cdot PWV \quad (14.87)$$

atmosfera harorati T_m va bir necha doimiylar quyidagicha ifodalanadi:

$$\Pi = \frac{10^6}{\rho_0 R_v (K_3 / T_m + K_2')}, \quad (14.88)$$

bu yerda: ρ_0 – suvning zichligi; R_v – suv bug'lari uchun gazli doimiylik; K_2' va K_3' – sinish ko'rsatkichi doimiylari. T_m harorat mavsumiy va geografik o'zgarishlarini namoyon qiladi.

PAGES (AQSH Milliy geodezik xizmatlari tomonidan yaratilgan, *GPS* o'lchashlarini qayta ishlashlar uchun ilmiy dastur) dasturiy ta'minoti yordamida, 62 dan 304 km gacha uzunliklar bilan, statika rejimida 23 asos chiziqlarida bir oyda to'plangan, qator ma'lumotlar to'plami qayta ishlangan edi. *GPS* ma'lumotlari sessiyalarda 1/2, 1, 2 va 4 soatlarda qayta ishlangan edi. Bosh masala, mavsumiy ob-havo modellarida, odatiy qabul qilingandan foydalanib, topilgan balandlik aniqligini, *MARS* ob-havo modellari bo'yicha balandlik aniqligi bilan taqqoslash edi. Tahlillar ko'rsatdiki, agar sessiyalar davomiyligi 2 soatdan qisqa bo'lganida, *MARS* ning joriy versiyasi *GPS* balandliklar aniqligi oshirilishiga olib keladi. 2 soatdan uzun sessiyalar uchun nisbatan, aniq balandlikni, kam aniqlikdagi mavsumiy modelga, balandlikni baholash jarayonida to'g'ri keluvchi halaqit beruvchi parametrlarni kiritish yo'li bilan topish mumkin.

15-BOB. YO‘LDOSHLI KUZATISHLAR PARAMETRLARINING MODELI

15.1. Yo‘ldoshli kuzatishning turlari

SRNS signallari bo‘yicha ishlaydigan, har qaysi priyomnik ishga tushirilgandan so‘ng, navigatsiya yo‘ldosh signallarini qabul qiladi, kerakli o‘lchashlarni olib borib, ularni qayta ishlaydi, navigatsiya xabarlarini shifrlaydi va koordinata, harakat tezligi va vaqt qiymatlarida olingan ma’lumotlarni qayta hosil qiladi. *GLONASS/GPS* yo‘ldoshli texnologiyalarda P psevdouzoqlik, ϕ tashuvchi fazalar va D dopler chastotalari siljishlari o‘lchashlari qo‘llaniladi. Psevdouzoqlik dalnomer kodlari bo‘yicha o‘lchanadi, shuning uchun, psevdouzoqlik C/A – (standart) $P_{C/A}$ kodi bo‘yicha, $P(Y)$ – kodi bo‘yicha (yoki yuqori aniqlikdagi kod bo‘yicha) P_{L1} birinchi chastotada yoki P_{L2} ikkinchi chastotada bo‘lishi mumkin. Tashuvchi fazalar (sikllarda) ϕ_{L1} birinchi chastotada yoki ϕ_{L2} ikkinchi chastotada o‘lchanishi mumkin. Shunga o‘xshash, dopler siljishi ham, D_{L1} birinchi chastotada yoki D_{L2} ikkinchi chastotada o‘lchanishi mumkin. Chiziqli o‘lchashlarda tashuvchi fazalar ϕ bilan belgilanadi. Yangi turdagi *GPS* signallarning paydo bo‘lishi bilan *GPS* va *GLONASS* larda o‘lchashlarning yangi turlari: ikkinchi chastotadagi standart kod bo‘yicha psevdouzoqlik, uchinchi chastotadagi tashuvchi faza va boshqalar paydo bo‘ladi. Sanab o‘tilgan parametrlar orasida, holatni aniqlash uchun psevdouzoqlik va fazalarni o‘lchashlar qo‘llaniladi. Dopler siljishlarining qo‘llanilishi tezlikni yoki psevdouzoqliklarni tekislashlarni olish bilan chegaralanadi, shuning uchun kelgusida, ushbu tur o‘lchashlariga minimum diqqat qaratiladi. Belgilashlarni soddalashtirish uchun, agar bu kontekst bo‘yicha kerak bo‘lmasa, signal turini ko‘rsatuvchi pastki indeks, odatda pastga tushiriladi.

Psevdouzoqlik va *GPS* tashuvchi fazalarini barcha kuzatishlarini quyidagicha modellashtirish mumkin:

$$B_A^i = \rho_A^i + b_A + b^i + b_A^i + v_A^i, \quad (15.1)$$

bu yerda: ρ_A^i – signallarning kelish momentidagi i yo‘ldoshgacha signallarni chiqish momentida A stansiyadan *geometrik* yoki *haqiqiy*

uzoqligi; B_A^i – priyomnik bilan o‘lchash natijalari, ya’ni psevdouzoqlik yoki tashuvchi faza; b_i – yo‘ldoshga bog‘liq tuzatma; b_A – stansiyaga bog‘liq tuzatma; b_A^i – kuzatishlarga bog‘liq tuzatma; v_A^i – o‘lchash xatolari. Ko‘p hollarda, “o‘lchash xatolari” atamasi radiotexnika va spektral tahlildan kirib kelgan “shovqin o‘lchashlari” atamasi bilan almashtiriladi. Psevdouzoqlikda shovqin o‘lchashlari fazali ma’lumotlarga, ya’ni sezilarli darajada aniq fazali o‘lchashlarga qaraganda, taxminan 2–3 tartibga yuqoridir.

Har qaysi tuzatma a’zolari b_A, b^i, b_A^i bir necha komponentlardan iborat, ular qaysidir model bo‘yicha yoki o‘lchashlarni qayta ishlash jarayonidan hisoblanadi. Shunchaki, bu tuzatmalar doimo bir qator xatoliklar bilan aniqlanadi, bu o‘z navbatida, o‘lchash parametrlarini sistematik xatolikka olib keladi, ular ko‘pincha siljishlar deb ataladi.

Bizni qiziqtiradigan koordinatalar faqat geometrik uzoqlikdan iborat.

Barcha siljishlar kuzatishlarga, psevdouzoqlik va tashuvchi fazalarga ta’sir qiladi.

Bundan tashqari, turli usullar bilan bosh parametrlarni kombinatsiyalashda o‘lchashlarni qayta ishlash jarayonida bosh o‘lchash parametrlari oldida, aniq ustunliklarga ega bo‘lgan, *qo‘shimcha parametrlarni* hosil qilishi mumkin.

15.1.1. Psevdouzoqlik

P_A^i psevdouzoqlik, yorug‘likning vakuumdagi c nominal tezligiga ko‘paytirilgan, signalni qabul qilish momentidagi t priyomnik vaqti va signalni uzatish momentidagi t^i yo‘ldosh vaqti orasidagi $t - \tau_A^i$ farqqa tenglashtiriladi:

$$P_A^i(t) = c[t_A(t) - t^i(t - \tau_A^i)] + e_A^i, \quad (15.2)$$

bu yerda: τ_A^i – yo‘ldoshdagi signallar generatoridan priyomnikdagi signallar korrelyatorigacha signallarni o‘tish vaqti; e_A^i – psevdouzoqlik o‘lchash xatoligi. Psevdouzoqliklar P – kodi (Y -kodi) f_1 va f_2 chastotalari korrelyatsiyalari orqali yoki C/A - kodi f_1 chastotasi korrelyatsiyasi orqali o‘lchanadi. Priyomnik vaqti va yo‘ldosh vaqti, soatlarga mos keluvchi tuzatmalar (siljishlar) hisobga olingan (*GPS* yoki *GLONASS*) vaqt tizimiga tengdir:

$$t_A(t) = t + dt_A(t); \quad (15.3)$$

$$t^i(t - \tau_A^i) = t - \tau_A^i + dt^i(t - \tau_A^i). \quad (15.4)$$

(15.3) va (15.4) tenglamalarni (15.1) tenglamaga qo'yish quyidagini beradi

$$P_A^i(t) = c\tau_A^i + c[dt_A(t) - dt^i(t - \tau_A^i)] + e_A^i. \quad (15.5)$$

Signallar τ_A^i o'tish vaqtini uchta har-xil a'zolarga bo'lish mumkin: signal generatsiyasi va yo'ldosh anten nasidan, uni uzatilishi orasidagi yo'ldoshda sodir bo'ladigan, d^i signalni kechikishi; signalni uzatuvchi anten nadan priyomnik anten nasigacha $\delta\tau_A^i$ o'tish vaqti va qabul qiluvchi anten na va priyomnikdagi signallar korrelyatori orasidagi d_A signalning kechikishi:

$$\tau_A^i = d^i + \delta\tau_A^i + d_A. \quad (15.6)$$

Antennalar orasidagi signalning o'tish vaqti, signal yo'li bo'ylab v signalning tarqalish tezligi funksiyasi hisoblanadi:

$$v = \frac{ds}{dt}. \quad (15.7)$$

Signalning tarqalish tezligi, muhitning n sinish koeffitsiyenti orqali vakuumdagi elektromagnit nurlanish c tarqalish tezligi bilan bog'liqdir:

$$v = \frac{c}{n}. \quad (15.8)$$

Signalning tarqalish tezligi uchun, ushbu ikki tenglamani bitta tenglamaga birlashtirilishi, o'tish vaqti va bosib o'tilgan masofa orasidagi differensial nisbatni beradi:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{c}{n} \quad \text{yoki} \quad cdt = nds, \quad (15.9)$$

uni signal yo'li bo'yicha integrallash quyidagini beradi:

$$c\delta\tau_A^i = \int_{path} nds. \quad (15.10)$$

Bu integralni uchta alohida a'zolarga bo'lish qulaydir:

$$c\delta\tau_i^k = \int_{geom} ds + \int_{geom} (n-1)ds + \left\{ \int_{path} nds - \int_{geom} nds \right\}, \quad (15.11)$$

bu yerda geometrik integralda integrallash, yo'l bo'yicha integral-lashdan farqli ravishda, to'g'ri chiziq bo'yicha olib boriladi. Yo'l to'g'ri chiziq hisoblanmaydi.

(15.11) o'ng tomonidagi birinchi a'zo, uzatuvchi va qabul qiluvchi anten nalarni bog'lovchi, to'g'ri chiziq bo'ylab, chiziqli integral

hisoblanadi. Ideal muhitda, bu integral, signalni uzatish momentidagi yo‘ldosh antenasi va signalni qabul qilish momentidagi priyomnik antenasi orasidagi $p_A^i(t, t - \tau_A^i)$ geometrik masofaga tengdir. Ammo, agar signal, to‘g‘ri chiziq bo‘yicha kelsa, signalni boshqa nusxalari bilan interferirlanadi, ular turli yo‘llar bo‘ylab tarqaladi, unda birinchi a‘zo, $p_A^i(t, t - \tau_A^i)$ geometrik masofa va dm_A^i ko‘pyo‘llilik natijasidagi xatolarning yig‘indisi bo‘ladi. Shunday qilib,

$$\int_{geom} ds = p_i^k + dm_i^k. \quad (15.12)$$

(15.11) tenglamadagi ikkinchi va uchinchi a‘zolar atmosfera refraksiyasini, ya‘ni tarqalish muhitida refraksiya koeffitsiyentini birlikdan og‘ishi natijasida hosil bo‘ladigan ta‘sirni ifodalaydi. Ikkinchi a‘zo atmosfera refraksiyasi ta‘siri natijasida signalni tarqalish tezligini o‘zgarishidan kelib chiqadigan, kechikishlar asosiy tomonini ifodalaydi. Uchinchi a‘zo, aloqani to‘g‘ri chiziqdan farqlanuvchi, signalni tegishli yo‘l bo‘ylab, signalni tarqalishidan paydo bo‘ladigan kechikishlarni ifodalaydi. Bu a‘zo atmosfera natijasida egiladigan nurdan kelib chiqqan. U ikkinchi a‘zoga qaraganda, juda kichik bo‘lganligidan, ayrim hollarda e‘tiborga olinmaydi.

Atmosfera refraksiyasi ta‘sirini, odatda n_I ionosfera refraksiyasi koeffitsiyentini birlikdan farqlanishi natijasida hosil bo‘lgan, I ionosfera refraksiyasi ta‘siriga

$$I_A^i = \int_{geom} (n_I - 1) ds + \left\{ \int_{path} n_I ds - \int_{geom} n_I ds \right\}, \quad (15.13)$$

va n_T troposfera refraksiyasi koeffitsiyentini birlikdan farqlanishi natijasida hosil bo‘lgan, T troposfera refraksiyasi ta‘siriga ajratiladi.

$$T_i^k = \int_{geom} (n_T - 1) ds + \left\{ \int_{path} n_T ds - \int_{geom} n_T ds \right\}, \quad (15.14)$$

Endi (15.6) va (15.10) – (15.14) tenglamalarni (15.5) qo‘yamiz va psedouzoqlikni o‘lchash uchun tenglamani hosil qilamiz:

$$P_A^i(t) = \rho_A^i(t, t - \tau_A^i) + I_A^i + T_A^i + dm_A^i + c[dt_A(t) - dt^i(t - \tau_A^i)] + c[d_A(t) + d^i(t - \tau_A^i)] + e_A^i. \quad (15.15)$$

Pseudouzoqlik kuzatishlar tenglamalarini chiqarishdagi so‘nggi qadam – bu bizni qiziqtiruvchi nuqta (ya‘ni pozitsionirlash markazi bilan), yo‘ldosh massasi markazi va uning antenasi hamda priyomnik antenasi orasidagi keltirish elementlarini kiritishdir.

Yoʻldosh massasi markazi vektorini r^i orqali, yer usti punktlari vektorini R_A orqali, punkt markaziga priyomnik antenasi markazi δR_A fazali oʻlchashlaridan keltirish elementlari vektorini va δr^i uzatuvchi antennalar uchun keltirish elementlari vektorini belgilasak, quyidagi nisbatni hosil qilamiz:

$$\rho_A^i = \|(r^i + \delta r^i) - (R_A + \delta R_A)\|, \quad (15.16)$$

bu yerda qoʻsh qavslar vektor (modul) uzunligini belgilaydi. (15.16) tenglamani (15.15) qoʻyib, psevdouzoqlik yakuniy tenglamasini hosil qilamiz:

$$P_A^i(t) = \|(r^i(t - \tau_A^i) + \delta r^i(t - \tau_A^i) - (R_A(t) + \delta R_A(t)))\| + I_A^i + T_A^i + c[dt_A(t) - dt^i(t - \tau_A^i)] + c[d_A(t) + d^i(t - \tau_A^i)] + e_A^i. \quad (15.17)$$

Tenglamaning oʻng tomonida navbati bilan: keltirish elementlariga mos keluvchi yoʻldosh va punktlar vektorlari orqali ifodalangan, uzatuvchi va qabul qiluvchi antenna orasidagi geometrik masofa; troposfera va ionosfera tuzatmalari, yoʻldosh va priyomnik soatlari tuzatmalari, yoʻldosh va priyomnik uskunasiidagi kechikishlar, signallarning koʻpyoʻlligi va oʻlchash xatolari kiradi. Ayrim hollarda, drg_A^i relyativistik-gravitatsion effektlar hisobi uchun tuzatma qoʻshiladi.

Yoʻldosh va priyomnik yoʻldosh soatlari tuzatmasi hamda troposfera kechikishlari signal chastotasiga bogʻliq emas. Boshqa barcha aʼzolar, keltirish elementlarini qoʻshganda, umumiy hollarda, har xil signal chastotalari uchun turlicha boʻladi.

Koʻpincha tashuvchi fazalarni oʻlchash bilan oʻxshashliklar boʻyicha, psevdouzoqlikni oʻlchashlar, kodning fazalarini oʻlchashlardek aytiladi [152].

15.1.2. Vaqt, chastota va faza orasidagi munosabat

Generator bilan yaratilgan, sinusoidal signalning *vaqt, chastota va faza orasidagi* asosiy munosabatlarini keltiramiz. Signal chastotasi f signal fazasidan ϕ vaqt boʻyicha hosila hisoblanadi va teskarisi signal fazasi signal chastotasidan vaqt boʻyicha integral hisoblanadi:

$$f(t) = \frac{d\phi(t)}{dt}; \quad (15.18)$$

$$\phi(t) = \int_{t_0}^t f(\tau) d\tau + \phi(t_0), \quad (15.19)$$

bu yerda: $\phi(t_o)$ – nol moment uchun signalning boshlang‘ich fazasi. Signal fazalari sikllarda, chastota – gerslarda o‘lchanadi. Faza muqobil ravishda 2π ga ko‘paytirish yo‘li bilan radianda taqdim etilishi mumkin. Unda $f(t)$ chastota $\omega(t)$ burchak chastotasiga aylanadi.

Signal fazasi $\phi(t_o)$ boshlang‘ich fazani ajratish va *generatoring* f_o nominal chastotasiga navbatdagi bo‘lish orqali t vaqtiga o‘zgartirilishi mumkin. Bu vaqt, t vaqtdan farq qilishini ko‘rsatish uchun t vaqtiga i indeksni qo‘llaymiz:

$$t_i(t) = \frac{\phi(t) - \phi(t_o)}{f_o} = \frac{\phi(t)}{f_o} - t_i(t_o). \quad (15.20)$$

Agar generator chastotasi doimiy va nominal chastotaga teng bo‘lsa, unda (15.19) va (15.20) tenglamalar quyidagini beradi:

$$t_i(t) = -t_i(t_o), \quad (15.21)$$

ya’ni signal fazasi, boshlang‘ich fazasi no‘l bo‘lmaganligi natijasida hosil qilinadigan, doimiy a’zogacha vaqt o‘lchovi hisoblanadi. Doimiy bo‘lmagan chastotada

$$t_i(t) = \frac{1}{f_o} \int_{t_o}^t f(\tau) d\tau - t_i(t_o). \quad (15.22)$$

Haqiqiy chastotani nominal chastotaga va chastota deviatsiyasi yoki $\mathcal{F}$ chastotalar xatoligiga bo‘lib, quyidagini hosil qilamiz:

$$t_i(t) = \frac{1}{f_o} \int_{t_o}^t \{f_o + \mathcal{F}(\tau)\} d\tau - t_i(t_o). \quad (15.23)$$

Keyinchalik δt_i deviatsiya vaqtiga chastotalar nisbiy og‘ishini integraldek kiritib

$$\delta t_i = \frac{1}{f_o} \int_{t_o}^t \frac{\mathcal{F}(\tau) d\tau}{f_o}, \quad (15.24)$$

t haqiqiy vaqt va generator bilan yaratilgan signal fazalari bo‘yicha o‘lchangan, vaqt orasidagi so‘nggi munosabatni hosil qilamiz:

$$t_i(t) = t + \delta t_i(t) - t_i(t_o). \quad (15.25)$$

Generator chiqishida ko‘rsatilgan vaqt, haqiqiy vaqt, generator haqiqiy chastotasi og‘ishiga bog‘liq a’zolar va generatorning no‘l bo‘lmagan boshlang‘ich fazalari ta’sirlari yig‘indisiga teng bo‘ladi. Ko‘pincha (15.8) tenglamani o‘ng tomonidagi ikkita oxirgi a’zolar, munosabatga boshlovchi, dt_i soatlarga tuzatmalarni bir joyga birlashtiradi:

$$t_i(t) = t + dt_i(t). \quad (15.26)$$

SRNS yo'ldoshlari generatorlari (yo'ldosh vaqti yoki bortli vaqt shkalasi), GLONASS/GPS priyomniklari (priyomnik vaqti) bilan chiqariladigan vaqtlar va GPS yoki GLONASS (tizimli vaqt) nazorat segmentlari bilan qo'llaydigan vaqtlar, t haqiqiy vaqtni joriy qilish hisoblanadi.

15.1.3. Tashuvchi faza tebranishlari

Tashuvchi chastota ϕ_A^i fazasi (sikllarda), signalning qabul qilish momentida priyomnikda yaratilgan, signalning ϕ_A fazasi va signalning uzatish momentida yo'ldoshda yaratilgan, signalning ϕ^i fazasi orasidagi farqqa teng. Signal yo'ldosh tomonidan qabul qilinganida, faqat fazalarning kasr tomoni o'lchanishi mumkin, ya'ni to'lqin butun soni N noma'lum. N kattalik fazalar butun noaniqliklari deb ataladi, unda

$$\phi_A^i(t) = \phi_A(t) - \phi^i(t - \tau_A^i) + N_A^i + \varepsilon_A^i. \quad (15.27)$$

(15.20), (15.25) va (15.26) tenglamalardan foydalangan holda, (15.27) o'ng tomonidagi fazalarni ifodalaymiz:

$$\phi_A(t) = f_0 t_A(t) + \phi_A(t_0) = f_0(t + dt_A(t)) + \phi_A(t_0), \quad (15.28)$$

$$\phi^i(t - \tau_A^i) = f_0(t - \tau_A^i + dt^i(t - \tau_A^i)) + \phi^i(t_0). \quad (15.29)$$

(15.28) va (15.29) tenglamalarni (15.27) qo'yib, tashuvchi faza uchun kuzatishlar tenglamasini hosil qilamiz:

$$\phi_A^i(t) = f_0[\tau_A^i + dt_A(t) - dt^i(t - \tau_A^i)] + [\phi_A(t_0) - \phi^i(t_0)] + N_A^i + E_A^i. \quad (15.30)$$

Bu tenglama masofa birligida o'zgartirish uchun tashuvchi signal nominal to'lqin uzunligiga ko'paytiriladi:

$$\lambda = c / f_0, \quad (15.31)$$

bu nimani beradi

$$\lambda \phi_A^i(t) = c \tau_A^i + c[dt_A(t) - dt^i(t - \tau_A^i)] + \lambda[\phi_A(t_0) - \phi^i(t_0)] + \lambda N_A^i + \lambda E_A^i. \quad (15.32)$$

O'ng tomondagi ikkita birinchi a'zo, psevdouzoqliklar uchun (15.5) kuzatish tenglamalariga o'xshash, tashuvchi signalning o'tish vaqti va priyomnik va yo'ldosh soatlariga tuzatmalarni ifodalaydi. Uchinchi a'zo doimiy hisoblanadi, priyomnikning va yo'ldoshning hosil qilingan signallar boshlang'ich fazalari no'ldan farqlarini ifodalaydi, to'rtinchi a'zo esa butun sonli fazali noaniqlikni ifodalaydi.

Tashuvchi fazani o'tish vaqtini, (15.6) – (15.14) tenglamalardagi psevdouzoqliklar uchun xulosalarga o'xshash tushuntirish mumkin. Natijada, bu quyidagini beradi:

$$\begin{aligned} \Phi_A^i(t) = & \rho_A^i(t, t - \tau_A^i) - I_A^i + T_A^i + \delta m_A^i + c[dt_A(t) - dt^i(t - \tau_A^i)] + \\ & + c[\delta_A(t) + \delta^i(t - \tau_A^i)] + \lambda[\phi_A(t_0) - \phi^i(t_0)] + \lambda N_A^i + \lambda E_A^i. \end{aligned} \quad (15.33)$$

Ko'paytmaning chap tomonidagi to'liq uzunligiga tashuvchi fazalari orqali Φ belgilangan, ya'ni Φ – bu faza, masofa birligida ifodalangan:

$$\Phi_A^i(t) = \lambda \phi_A^i(t). \quad (15.34)$$

Shuningdek, o'lchash xatolaridan oldin, to'liq uzunligi ko'rinishidagi ko'paytma tushirib qoldirilgan.

(15.33) tenglamani (15.17) psevdouzoqliklarni kuzatish mos keluvchi tenglamasi bilan taqqoslab, quyidagi xulosalarni qilamiz:

– ikkala tenglama ham, $\rho_A^i(t, t - \tau_A^i)$ geometrik masofani o'z ichiga oladi;

– ikkala tenglama ham, $c[dt_A(t) - dt^i(t - \tau_A^i)]$ soat tuzatishlari bilan a'zolari o'z ichiga oladi;

– ikkala tenglama ham, T_A^i troposfera kechikishlari a'zosini o'z ichiga oladi;

– I_A^i ionosfera refraksiyasi uchun tuzatmaning ishorasi qarama-qarshi;

– dm_A^i psevdouzoqlikka ko'pyo'llilikning ta'siri natijasidagi xatolik, δm_A^i fazalar ko'pyo'lliligi xatoligiga almashtirilgan;

– psevdouzoqlik uchun, uskunalarga $c[d_A(t) + d^i(t - \tau_A^i)]$ signalni kechiktirish uchun tenglama a'zolari, tashuvchi fazalar uchun uskunalarga $c[\delta_A(t) + \delta^i(t - \tau_A^i)]$ kechiktirish a'zolari bilan almashtirilgan;

– tashuvchi fazalar kuzatish tenglamalari, generatorlar boshlang'ich fazalari nolidan farqlanadigan va λN_A^i tashuvchi fazalar noaniqliklari a'zolari bo'yicha topilgan, $\lambda[\phi_A(t_0) + \phi^i(t_0)]$ a'zoni o'z ichiga oladi.

Nihoyat, geometrik masofani chiqarish uchun, psevdouzoqliklar tenglamalari uchun qo'llanilgan, priyomnikning va yo'ldoshning koordinatasini bog'lovchi va keltirish elementlari, u bilan bog'langan, (15.33) kuzatish fazalari tenglamalarida tarqaladi. Bunday kengaytirish oxirida quyidagini beradi:

$$\begin{aligned}\Phi_A^i(t) = & \left\| (r^i(t, t - \tau_A^i) + \delta r^i(t, t - \tau_A^i) - R_A(t) - \delta R_A(t)) \right\| - \\ & - I_A^i + T_A^i + \delta m_A^i + c[dt_A(t) - dt^i(t - \tau_A^i)] + \\ & + c[\delta_A(t) + \delta^i(t - \tau_A^i)] + \lambda[\varphi_A(t_0) - \varphi^i(t_0)] + \lambda N_A^i + \lambda E_A^i.\end{aligned}\quad (15.35)$$

Fazalarga tegishli, keltirish elementlarini belgilash uchun, oldingi belgilashlardan $\delta R_A, \delta r^i$ foydalanildi, garchi umumiy hollarda, ular antenna effektli markazlaridagi farqlar natijasida psevdouzoqliklar uchun, keltirish elementlaridan farqlanadigan bo'ladi.

Tenglamalar orasida juda yashirin va bitta qo'shimcha farq bor: signalning to'liq o'tish vaqti, uskunalaridagi kechikishlar va ionosfera effektlaridagi farqlar natijasida, tashuvchi faza va psevdouzoqlik uchun bir qancha farqlanadi. Natijada, yo'ldoshning koordinatalarni aniqlash vaqtinchalik argumenti ham turli xil bo'lishi mumkin.

Tashuvchi fazalar va psevdouzoqliklar tenglamalariga kiruvchi, parametrlardagi farqlar, aniqliklari tavsiflaridan tashqari, yana bitta omil mavjud, u koordinatalarni aniqlash uchun, o'lchashlar qo'llanilishi bilan bog'liq. Psevdouzoqlik buni bir zumda, bajarish imkonini beradi. Fazali o'lchashlar qandaydir kuzatish vaqtini talab etadi, uning mobaynida priyomnik signalni ushlashni uzluksiz saqlashi kerak bo'ladi.

Tashuvchi fazalar va psevdouzoqliklarni yuqorida keltirish modellari [152] kitobida beriladi. Boshqa manbalarda keltirilgan modellar, bulardan juda kam farqlanadi. [100] kitobida uzluksiz fazadagi sikllar hisobi yo'qolishi natijasida, noaniqliklardagi siljishlar a'zolari bilan tenglashtirish ham uchraydi. A.Leyk Dopler effektini [123] hisobga olish bilan fazalar va psevdouzoqliklarni tenglashtirish xulosalarini keltiradi. Guochang Xu [161] kitobida, suv oqimlarining ta'siri uchun tuzatma qo'shiladi. Amalda, barchasida geometrik uzoqliklar uchun ifodalar keltirish elementlarini hisobga olmasdan beriladi. Fazalar noaniqliklarda va soatlar tuzatmalarida qarama-qarshi ishorali mavjud bo'lmagan tenglamalar ham uchraydi [9]. Yechiladigan vazifaga bog'liq holda, ko'pincha fazalar va psevdouzoqliklarning qisqartirilgan modellari qo'llaniladi.

15.1.4. Tashuvchi fazalar va psevdouzoqliklar modellarining komponentlari

Modellarni asosiy vazifalari bo'yicha pozitsiyali va pozitsiyasiz bo'lmaganlarga bo'lish mumkin. Ulardan birinchisi nuqta koordinatalarini aniqlash uchun, asos chiziqlari vektorlarini aniqlash uchun, tezlik va koordinatalarga differensial tuzatmalarni aniqlash uchun va boshqalarda qo'llanilishi mumkin. Pozitsiyasiz modellar priyomnikning ishlashini nazorat qilish uchun, psevdouzoqliklarni anomal o'lchashlarini yoki uzluksiz fazalar sikllarini yo'qolishini aniqlashtirish, juda aniq fazalar bo'yicha nisbatan, qo'pol psevdouzoqliklarni tekislash uchun, ma'lumotlarni filtrlash uchun, ionosferalar monitoringi uchun, troposferadagi suv bug'lari tarkibini aniqlash va boshqalarda qo'llaniladi.

Vazifalardan har qaysisini yechish uchun xoh pozitsiyali, xoh pozitsiyasiz bo'lsin, imkoniyatiga ko'ra, iloji boricha kam parametrlarni baholashi mumkin bo'lishi talab etiladi. Bu tizimlar shartlarini yaxshilaydi va asosiy parametrlarni aniqlash aniqligini oshiradi. Shuning bilan birga, ma'lum parametrlarning aniqligi, o'lchash potensial aniqligiga mos kelishi kerak. Bu o'lchashlar aniqligi shovqin kattaligi bilan tavsiflanadi. Boshqa parametr, u ham pozitsionirlash aniqligini cheklaydi, – bu efemeridalar aniqligi.

O'lchash modellari parametrlari turli omillarga bog'liq va ularning har qaysisi uchun, hisobga olishning bir qancha usullari mavjud.

Shovqin o'lchashlari. O'lchashlar ishonchli ruxsat etilishlar 1% aniqlik darajasida mumkin yoki to'lqin uzunligidan kam. Ikki asosiy GPS masofa o'lchashlar uchun, aniqlik darajasi quyidagilar.

Psevdouzoqlikdagi "shovqin". C/A - kodning "To'lqin uzunligi", taxminan, 300 m, shuningdek, psevdouzoqlik yoki masofalarni o'lchash shovqini 3 m ga teng. Ammo, C/A - kodni metrdan kam kattalikkacha ruxsat berishga yetkazish an'anasi bor. P – kodning "To'lqin uzunligi", taxminan 30 m, shuningdek, masofalarni o'lchash shovqini 0.3 m ga teng.

Tashuvchi faza "shovqini". Tashuvchi to'lqin uzunligi L_1 , taxminan, 0.19 m, fazalarni o'lchash ruxsat etilishlari millimetrda nazarda tutiladi. Tashuvchi to'lqin uzunligi L_2 , taxminan, 0.24 m, fazalarni o'lchash ruxsat etilishlari ham millimetrda nazarda tutiladi.

Yo‘ldoshlar efemeridasi, yo‘ldoshlar soatlariga tuzatmalar. Navigatsiya xabarlarida (bortli efemeridalar) yo‘ldoshlar bilan translyatsiya qilinadigan, efemeridalarni, priyomnik o‘lchash jarayonida to‘g‘ridan to‘g‘ri oladi. Ushbu efemeridalar aniqligi doimiy ravishda yaxshilanmoqda: agar 1980-yilning boshlarida GPS yo‘ldoshlari uchun u 20–30 m ni tashkil qilgan bo‘lsa, hozirgi vaqtda u, 2 m gacha olib kelingan.

Agar bortli xabar efemeridasi aniqligi yetarli bo‘lmasa, unda Xalqaro GPS xizmatlari efemeridalaridan foydalanish mumkin. Xalqaro GPS xizmatlari to‘rt xil efemeridalarni taqdim etadi: final efemeridalar, 13 sutkalik kechikish bilan kirish imkoniyati mavjud, shoshilinch efemeridalar, taxminan ular 17 soat orqali kirish imkoniyati mavjud, juda tez efemeridalar. Bularidan tashqari, joylashgan o‘rni 10 sm bo‘lgan xato bilan tez bashorat ma’lumotlariga ega. Bortli efemeridalaridagi 7 ns bilan taqqoslaganda, final soat tuzatmalaridagi xatolik 0.1 ns ga teng.

Ko‘rib turganimizdek, yo‘ldoshlarda vaqtni saqlash aniqligi, psevdouzoqliklar bo‘yicha o‘lchashlar aniqligiga, to‘lig‘icha mos keladi. Ammo, fazali o‘lchashlar uchun, u aniq yetarli emas va ularni qayta ishlashlarda, bir vaqtda bir va xuddi shu yo‘ldoshni kuzatuvchi, priyomniklar orasidagi farqlarni hosil qilish yordamida, ushbu parametrlarni chiqarib tashlash usuli qo‘llaniladi.

Yo‘ldosh anteninalari uchun keltirish elementlari. Yo‘ldosh anteninalari uchun keltirish elementlari (15.1-rasm) maxsus tadqiqotlardan aniqlanadi (masalan, [127] ga qarang). Bu elementlarni aniqlash aniqligi – taxminan, 0.5 sm. 15.1-jadvalda Internetdan (NGA, National Geospatial – Intelligence Agency, <http://www.nga.mil> caytlari) olingan, GPS yo‘ldoshlari uchun keltirish elementlari berilgan.

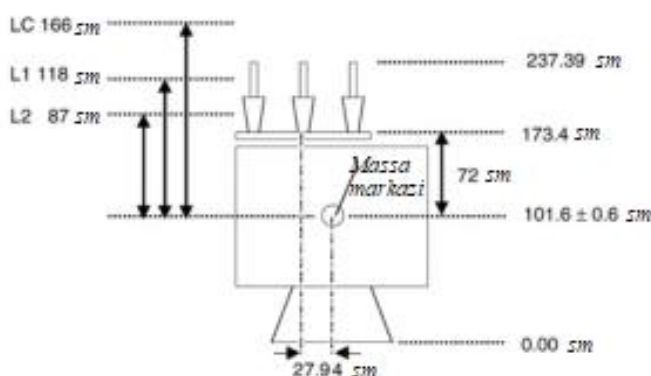
Trassa bo‘yicha signalning tarqalishini kechikishi. Ushbu parametrlar kategoriyasiga troposfera va ionosfera kechikishlari hamda signallarning ko‘pyo‘lliligi kiradi.

Troposfera ta’siri (aniqroq, neytral atmosfera) chastotalarga bog‘liq emas, shuning uchun, uni $L1$ va $L2$ chastotalarda kuzatishlar kombinatsiyalari orqali chiqarib tashlash mumkin emas. Troposfera kechikishlari qiymatlari, $L1$ va $L2$ da kuzatishlar uchun, psevdouzoqliklar uchun va tashuvchi fazalar uchun o‘xshashdek, bir xil. Zenitli yo‘nalishlar uchun gidrostatik tuzuvchilar qiymatlari 2.1 m ga yaqinni tashkil qiladi va faqat bosimga bog‘liq, nam tuzuvchisining qiymati esa, taxminan bir

necha santimetrlardan 40 santimetrlargacha tebranishi mumkin va asosan, namlikga bog‘liq. Zenitdan qiyalik yo‘nalishiga o‘tishda kechikish, 20–30 m gorizont yaqiniga yetganida ortadi. Troposfera kechikishini, ko‘plab refraksiya modellaridan biri uchun kirish ma’lumotlari sifatida meteoparametrlar qiymatlarini qo‘llab hisoblash mumkin. Bunday modellar, taxminan, to‘liq kechikishdan 90% gacha hisobga olishi mumkin, ammo qolgan 10% (asosan nam tuzuvchilari natijasida) joylashgan o‘rnini yuqori aniqlik bilan aniqlashda, jiddiy ta’sir ko‘rsatadi. Shunday qilib, troposfera kechikishlari katta qismi nisbatan, oddiy modellarni qo‘llab, hisobga olinadi, ammo 10–20 sm ni hisobga olish uchun, sezilarli kuch, shu jumladan moddiy xarajatlar talab etiladi [73].



a)



b)

15.1-rasm. IIA blokini GPS yo‘ldoshlarining antennalari:

a) birinchi mualliflardan [127] antenna bilan;

b) yo‘ldosh korpusida antenna elementlarining joylashuv diagrammasi

(<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL>)

Atmosferadan qatlamlarga ionosferaning ta’siri, taxminan yer yuzasidan 50 dan 1000 km gacha tarqaladi. Ionosfera kechikishi maksimal qiymati zenitda 30 m ga yaqin, gorizont yaqinida deyarli uch marta ko‘p. Kechikishning kunduzgi qiymati, tundagiga qaraganda, taxminan, 5–10 marta katta. Kechikish yil davomida va quyosh faolligi 11-yillik sikllari mobaynida o‘zgaradi. Kechikish qiymati chastotaga bog‘liq va uning qiymati psevdouzoqlik va fazalarga qarama-qarshi

ishora bilan, o‘lchangan tashuvchi fazalarga tuzatmalar musbat, ushbu vaqtda, psevdouzoqliklarga tuzatmalar – manfiy bo‘ladi.

Ko‘pyo‘llilik antenna bilan bir vaqtda, yo‘ldoshning to‘g‘ri signalini va uning yuzasini o‘rab turgan aks ettirilgan signalni qabul qilish vaqtida paydo bo‘ladi.

Ko‘pyo‘llilik signalni o‘lchashda “sakrashlar” keltirib chiqarishi mumkin, funksiya chastotalari hisoblanadi. Psevdouzoqlikdagi ko‘pyo‘llilik natijasida nazariy maksimal siljish, chip uzunligining yarmigacha yetishi mumkin, unda C/A -kod uchun 150 m va P -kod uchun 15 m bor. Tashuvchi fazalar uchun ko‘pyo‘llilik, taxminan, $\frac{1}{4}$ to‘lqin uzunligidan oshmaydi, ya’ni $L1$ yoki $L2$ uchun 5–6 sm bor. “Yo‘ldosh–priyomnik” geometriyasi o‘zgarganida (shuningdek, tushish burchagi va aks ettiriladigan yuzaga nisbatan, signalning aks ettirilishi ham o‘zgaradi), ko‘pyo‘llilikning ta’siri sinusoidal qonun bo‘yicha o‘zgaradi va odatda bir necha minutdan soatning to‘rtidan bir qismigacha yoki ko‘proq davr uchun “o‘rtachalanadi”. Ko‘pyo‘llilik “yo‘ldosh–priyomnik” geometriyasiga bog‘liq, shuningdek, tutgan o‘rniga xatolik natijasida ko‘pyo‘llilik, odatda har qaysi yulduz sutkasida takrorlanadi.

15.1-jadval

**Yo‘ldoshlar antennalarining siljishi
(yo‘ldoshsentrik koordinatalar, metrlarda)**

Yo‘ldoshlar	<i>Delta x</i>	<i>Delta y</i>	<i>Delta z</i>
<i>Block II</i> (barcha yo‘ldoshlar)	0.2794	0.0000	0.9519
<i>Block IIA</i> (barcha yo‘ldoshlar)	0.2794	0.0000	0.9519
<i>Block IIR PRN 11</i>	0.0019	0.0011	1.5141
<i>Block IIR PRN 13</i>	0.0024	0.0025	1.6140
<i>Block IIR PRN 14</i>	0.0018	0.0002	1.6137
<i>Block IIR PRN 16</i>	-0.0098	0.0060	1.6630
<i>Block IIR PRN 18</i>	-0.0098	0.0060	1.5923
<i>Block IIR PRN 20</i>	0.0022	0.0014	1.6140
<i>Block IIR PRN 21</i>	0.0023	-0.0006	1.5840
<i>Block IIR PRN 22</i>	0.0018	-0.0009	0.0598
<i>Block IIR PRN 28</i>	0.0018	0.0007	1.5131

Pozitsion yechimlarda ko‘pyo‘llilikning ta’sirini oldindan aytish yoki aniqlash uchun umumiy matematik model mavjud emas, ammo

uning masofalarni kuzatishdagi ta'sirini, L_1 va L_2 va psevdouzoqlik uchun tashuvchi fazalar, fazali ma'lumotlari kombinatsiyalari bo'yicha o'lchash mumkin.

Priyomnikning soatlari xatoligi. Yo'ldosh priyomniklari kvarsli generatorlar bilan jihozlangan, ular o'zining kichik o'lchamlari, past iste'moli va imkoniyat darajasidagi narxi natijasida, ustunliklarga ega. Qo'shimcha sifatida, ular yaxshi chastotalar (yoki vaqtni saqlash) qisqa muddatli barqarorligiga ega. Ayrim priyomniklar, maxsus qo'llanishlar uchun kerakli bo'lgan, tashqi seziyli, rubidiyli va hatto vodorod standart chastotalar, ularga ulanish uchun portlar bilan jihozlangan.

Alohida priyomniklarning soatlari bilan aniqlanadigan, vaqt shkalalari garchi, ozod boshlanishlarga ega bo'lsada, uni sistematik vaqt shkalasiga bir qator usullar bilan, masalan, 1.5.5-bo'limda keltirish, usulidan foydalanib, psevdouzoqliklar bo'yicha navigatsiya yechimi yordamida bog'lash mumkin. Bundan keyin priyomnikning to'g'rilangan soatlari bo'yicha aniqlanadigan, vaqt shkalasi, yo'ldosh tizimlari nominal vaqti hisoblanadi.

Bu vaqt shkalasini o'zgartirish aniqligi, *yo'ldoshning bortli vaqt shkalasi bilan sinxronlashtirish* aniqligidan aniqlanadi. GPS yo'ldoshlari uchun SA rejim mavjud bo'lganida, u faqat vaqtning 0.1 mikrosekundi darajasigacha, SA rejim mavjud bo'lmaganida esa, 0.01 mikrosekundgacha bajarilishi mumkin, bu mos ravishda, 30 va 3 m masofalar xatoligiga ekvivalentdir.

Vaqt shkalasining barqarorligi to'g'ridan to'g'ri foydalaniladigan generatorning sifatiga va shu bilan birga, soatlar joriy vaqti qanchalik tez-tez, psevdouzoqliklarni kuzatish orqali tizimli vaqt bilan sinxronlashtirilishiga bog'liq.

Priyomnikdagi tizimli vaqt shkalasi aniqligi, ko'pchilik hollarda, yetarli bo'lmaganligi sababli, vaqt to'g'risidagi ma'lumotlarni olish uchun quyidagi imkoniyatlar mavjud:

- soatlar parametrlarini, psevdouzoqliklarni kuzatish yoki yo'ldoshlar orasidagi fazalar farqlarini hosil qilish yordamida chiqarib tashlash;
- priyomnik soatlari xatoligini, “tasodifiy jarayon”dek modelashtirish va ularni qo'shimcha parametrlardek baholash.

Har qaysi opsiya, priyomnik bilan bir vaqtda ikkita va undan ko'p yo'ldoshlar kuzatilishini talab etadi. Ikkala opsiya ham, juda samaralidir, to'lig'icha yo'ldoshlar soatlari xatoligi ta'sirini yo'qotadi.

Farqlarni qayta hosil qilishda, soatlar tuzatmalari, generatorlar boshlang'ich fazalari va priyomnikning zanjiridagi kechikishlar chiqarib tashlanishiga e'tibor beramiz. Priyomnikdagi kechikishlar kerak bo'lganida, maxsus sozlashlardan aniqlanishi mumkin.

Bir kanalli priyomniklardagi kechikish, turli yo'ldoshlardan bir vaqtda qabul qilingan signallar uchun bir xil hisoblanadi va shuning uchun u priyomnikning soatlariga qo'shimcha tuzatmalardek ta'sir qiladi. Ko'p kanalli priyomniklar kanallararo siljishlarga ega, ularni puxta sozlash kerak bo'ladi. Bu sozlash, odatda priyomnikning mikroprotsessori bilan qilinadi. Kanallar orqali signallar yo'li uzunliklari, biroz boshqacha bo'lishi mumkin va shuning uchun, turli kanallarda bir vaqtda va momentda qilingan, o'lchashlardagi xatoliklar bir xil bo'lmaydi. Ammo, zamonaviy priyomniklarda, bu siljishlarni 0.1 mm darajasigacha yoki yaxshiroq sozlash ham mumkin [100].

Ko'pyo'llilik va priyomnik antenasi uchun keltirish elementlari. Keltirish elementlarini (markazlashtirish yoki reduksiya) aniqlash – triangulyatsiyani kuzatishda oddiy jarayondir. Priyomnik antenasi uchun bu elementlarni aniqlash, planli siljishlarni va geodezik punktning markasidan antenna tayanch nuqtasi balandligini va fazali markaz joylashgan o'rnini o'zgarishi uchun, ularga tuzatmalar kiritishlar o'lchashlarini o'z ichiga oladi. Hatto, agar antenna tayanch nuqtasini markaga bog'lash xatosiz bajarilgan bo'lsada, sozlashni aniq bo'lmagan bajarilishi natijasida, fazali markazning tutgan o'rnidagi o'zgarishning ta'siri, o'lchashlar aniqligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Kuzatish modellari parametrlarining umumiy xususiyatlari. Shunday qilib, yuqorida keltirilgan qiymatlar bo'yicha, quyidagi sharhlarni qilish mumkin.

O'lchashlarning barcha turlari (hozirgi vaqtda pozitsionirlash masalasini yechish uchun beshta turi qo'llaniladi), priyomnikning va yo'ldoshning soatlariga tuzatmalardan va troposfera kechikishlaridan bir xil kattalikdagi (ekvivalent masofa) siljishlarga ega.

Fazali kuzatishlarni e'tiborga olmasa ham bo'ladigan, kichik shovqinga ega. P -kod bo'yicha psevdouzoqlik uchun kuzatishlar shovqini, bir necha detsimetrlarni tashkil qiladi, C/A -kod bo'yicha psevdouzoqlik esa – eng “shovqinli”. Ko'pyo'llilik (agar u qatnashsa) - C/A -kod bo'yicha psevdouzoqlik uchun eng katta va fazali o'lchashlar uchun – eng kichik bo'ladi.

Ionosfera L_1 va L_2 larda psevdouzoqliklarni o'lchashlardagi farqlarning katta qismi uchun javob beradi. Bu L_1 va L_2 larda fazalarni kuzatishlardagi farqlarga, qachon ular masofaga (chiziqli o'lchashlarga) o'zgartirilganida ekvivalentdir.

C/A - kodli psevdouzoqlikdagi ionosfera kechikishlari, L_1 da P – kodli psevdouzoqlikdagi kechikish bilan teng va L_1 da (agar chiziqli o'lchashlarda ifodalansa) fazalardagi kechikishlar, kattaligi bo'yicha teng, ammo ishoralari bo'yicha teng emas.

Psevdouzoqliklarni o'lchash bo'yicha ionosfera kechikishlari shuni bildiradi, ular masofani o'lchaydilar, "haqiqiyga" qaraganda, ular uzunroq, fazali kuzatishlar esa, masofaga mos keladi, "haqiqiyga" qaraganda, ular qisqaroq bo'ladi.

L_1 da fazalar noaniqliklari noma'lum, L_2 da fazalar noaniqliklaridan farq qiladi va ular turli yo'ldoshlarda turli xildir.

16-BOB. KOORDINATALARNI ANIQLASHNING YO‘LDOSHLI TEXNOLOGIYASI

16.1. Yo‘ldoshli aniqlashning absolut va differensial usullari

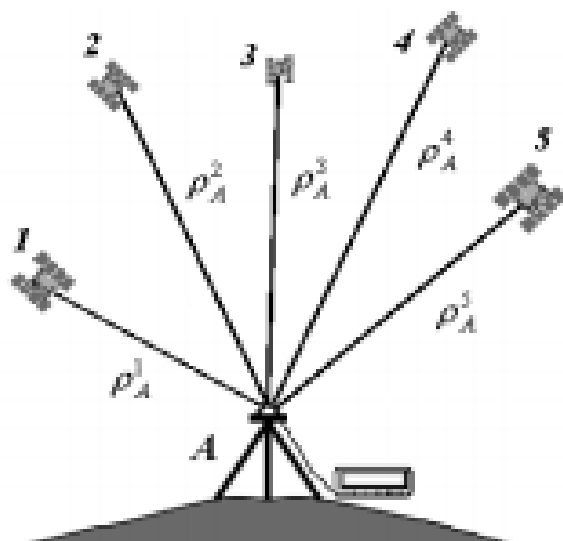
Yo‘ldoshli navigatsiya tizimlari kuzatishlari bo‘yicha koordinatalarni aniqlash, absolut, differensial va nisbiy usullar bilan bajariladi. Absolut usulda koordinatalar, bitta priyomnik bilan koordinatalar tizimida aniqlanadi, ularning tashuvchilari, nazorat va boshqaruv quyi tizimlari stansiyalari, shuningdek, navigatsiya tizimining yo‘ldoshlari hisoblanadi. Shu bilan birga, kosmik apparatning ma’lum o‘rnidan priyomnikning o‘rnigacha kesishtirish usuli joriy qilingan. Ko‘pincha ushbu usulni nuqtali pozitsionirlash deb ataydilar.

Differensial va nisbiy usullarda, kuzatishlar kamida ikkita priyomniklarda olib boriladi, ulardan bittasi koordinatasi ma’lum tayanch punktda joylashtiriladi, ikkinchisi esa, aniqlanadigan obyekt bilan moslashtiriladi. Differensial usulda, tayanch punktdagi kuzatishlar natijalari bo‘yicha, uning koordinatalariga yoki noma’lum punkt uchun, mos keluvchi kuzatishlar parametrlariga tuzatmalar qidiriladi, ya’ni kuzatishlar alohida qayta ishlanadi. Ushbu usul, odatda haqiqiy vaqtdagi yechim deb nomlanadigan, lahzalik yechimni ta’minlaydi. U absolut usulga qaraganda, juda yuqori aniqlikka, ammo faqatgina tayanch stansiyaga nisbatan erishiladi. Kuzatishlarning nisbiy usulida, tayanch punktda va aniqlanadigan punktda bir vaqtda qilingan kuzatishlar, birgalikda qayta ishlanadi. Bu nisbiy differensial usullar orasidagi asosiy farqdir, u nisbiy usuldagi yechimlarning aniqligi oshishiga olib keladi, ammo lahzalik yechimni chiqarib tashlaydi. Nisbiy usulda, tayanch va aniqlanadigan punktlarni bog‘lovchi, asos chizig‘i vektori deb ataluvchi, vektor aniqlanadi.

Yo‘ldoshli aniqlashning absolut usuli. Absolut usulda priyomnik o‘zining koordinatasini, tezligini va vaqtini, boshqa priyomniklardan mustaqil ravishda SRNS yo‘ldoshlari bo‘yicha aniqlaydi (16.1-rasm).

Asosiy parametrlar, u bo‘yicha koordinatalar topiladigan, 15-bo‘limda topilgan, P_A^i psevdouzoqlik tenglamasi hisoblanadi, uni quyidagi ko‘rinishda keltiramiz:

$$P_A^i = \rho_A^i + cdt_A - cdt^i + I_A^i + T_A^i + d_A + d^i + dm_A^i + e_A^i. \quad (16.1)$$



16.1-rasm. Yo‘ldoshli aniqlashning absolut usuli.

Eslatamiz, pastki indeks A kuzatishlar punktiga, yuqori indeks i – yo‘ldoshga tegishli, $i=1, 2, \dots, s$, bu yerda s – kuzatilayotgan yo‘ldoshlarning soni. O‘ng tomonda: ρ_A^i – geometrik uzoqlik, mos ravishda priyomniklar uchun va yo‘ldoshlar uchun dt_A va dt^i soatlar shkalalari siljishlari (soatlarga tuzatmalar), I_A^i – ionosfera va T_A^i – troposfera kechikishlari, d_A – priyomnikning va d^i – yo‘ldoshning apparaturalaridagi signallarning kechikishlari, dm_A^i – ko‘pyo‘llilik va e_A^i – o‘lchashlarning tasodifiy xatolari (shovqin) ta’sirlari topiladi. Radioto‘lqinlarning vakuumdagi tarqalish tezligi c orqali belgilangan.

Bu tenglamani amalda qo‘llanilishi, agar o‘lchangan psevdouzoqlikka barcha tuzatmalarni hisobga olish kiritilganida mumkin. Troposfera va ionosfera ta’sirlari uchun tuzatmalar, 14-bo‘limda keltirilgan, modellar bilan mos ravishda hisoblanadi. GPS yo‘ldoshlari soatlariga tuzatmalar, polinomial modellar ko‘rinishidagi navigatsiya xabarlarini o‘z ichiga oladi:

$$dt^i(t) = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r, \quad (16.2)$$

bu yerda: a_0, a_1, a_2 – polinomning koeffitsiyentlari; t_{oc} – koeffitsiyentlar uchun tayanch vaqt (soatlar vaqti), Δt_r a’zo esa, relyativistik effektlarni hisobga oladi. Jumladan, $a_0 - t_{oc}$ davrlar uchun soatlar siljishi (soatlar tuzatmasi); $a_1 - t_{oc}$ davrdagi soatlar yurishi; $a_2 - t_{oc}$ davrdagi soatlar yurishiga yarim tezlanishlardir. GLONASS

yoʻldoshlari uchun navigatsiya xabarida soatlar yurishi va yurish tezligi keltirilmagan.

Yoʻldoshning va priyomnikning apparaturasidagi signallarning kechikishi sozlash yoʻli bilan yoki umuman hisobga olinmaydi, yaʼni shovqin oʻlchashlariga kiradi. Signalning koʻpyoʻlliligini taʼsiri, odatda nomaʼlum.

ρ_A^i geometrik uzoqlik, yoʻldosh bilan signalning chiqish momenti va priyomnik bilan signalning qabul qilish momenti orasidagi masofani oʻzida ifodalaydi hamda vektorlar farqlari modulidek, umumiyer koordinata tizimida R_A stansiya va r^i yoʻldoshning radius-vektori orqali ifodalanadi:

$$\rho_A^i = \|r^i - R_A\| = \sqrt{(X^i - X_A)^2 + (Y^i - Y_A)^2 + (Z^i - Z_A)^2}. \quad (16.3)$$

$r_{nav.xab.}^i$ yoʻldoshlarning koordinatalari signalning chiqish momenti navigatsiya xabari $t - \tau_A^i$ boʻyicha hisoblanadi, bu yerda $\tau_A^i = \rho_A^i / c$. GPS yoʻldoshlari uchun hisoblashlarning analitik usuli, GLONASS yoʻldoshlari uchun – sonli integrallash qoʻllaniladi. Yoʻldoshlarning joylashgan oʻrni vektorlari $r_{nav.xab.}^i$ umumiyer tizimlaridan birida (PZ – 90, WGS – 84) berilishi natijasida, ularni τ_A^i signalni oʻtish vaqtiga Yer burilishi uchun tuzatma bilan sozlash kerak boʻladi:

$$r^i = R_3(\omega_{\oplus} \tau_A^i) \cdot r_{nav.xab.} = \begin{bmatrix} \cos(\omega_{\oplus} \tau_A^i) & \sin(\omega_{\oplus} \tau_A^i) & 0 \\ -\sin(\omega_{\oplus} \tau_A^i) & \cos(\omega_{\oplus} \tau_A^i) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot r_{nav.xab.}, \quad (16.4)$$

bu yerda: $\omega_{\oplus}$ – Yer aylanishi burchak tezligi. SRNS yoʻldoshlari balandligi – 19–20 ming km, shuning uchun, signallarning oʻtish vaqti 63–66 ms kam boʻlmaydi. Yer $15''/c$ tezlik bilan buriladi, shuning uchun, Yerning burchak siljishi, oʻz oʻqi atrofida aylanishida $1''$ ga yaqinni tashkil qiladi. Agar umumiyer koordinatalari ushbu tuzatmalarsiz qoʻllanilsa, unda koordinatalari aniqlanadigan stansiyalar, uzoqligi boʻyicha, taxminan $1''$ ga siljirilgan boʻladi [152].

Geometrik uzoqlikning chiziqlashtirilgan koʻrinishidan foydalanamiz, yoʻldoshlarning koordinatalari maʼlum deb hisoblaymiz, punktning $(R_A)^0 = ((dX_A)^0, (dY_A)^0, (dZ_A)^0)$ taxminiy joylashgan oʻrniga, vektor tuzatmasini $dR_A = (dX_A, dY_A, dZ_A)^T$ qidirish talab etiladi:

$$\rho_A^i = \sqrt{\|r^i - (R_A)^0\|^2} - u_A^i dR_A = (\rho_A^i)^0 - u_A^i dR_A, \quad (16.5)$$

bu yerda $(\rho_A^i)^0$ – geometrik uzoqlikning taxminiy qiymati;

$$(\rho_A^i)^0 = \sqrt{X^i - (X_A)^0 + Y^i - (Y_A)^0 + Z^i - (Z_A)^0}. \quad (16.6)$$

u_A^i vektor esa, yo‘ldoshga topotsentrik yo‘nalish birlik vektori hisoblanadi:

$$u_A^i = \left(\frac{X^i - (X_A)^0}{(\rho_A^i)^0}, \frac{Y^i - (Y_A)^0}{(\rho_A^i)^0}, \frac{Z^i - (Z_A)^0}{(\rho_A^i)^0} \right)^T. \quad (16.7)$$

Shunday qilib, (16.1) tenglamada to‘rtta noma’lum bo‘ladi: X_A, Y_A, Z_A uchta koordinata stansiyalari va dt_A priyomnikning soatlariga tuzatma hamda tuzatma tenglamasi quyidagicha hosil qilinadi:

$$-u_A^i dR + cdt_A + l_A^i = v_A^i \quad (16.8)$$

yoki

$$-u_{X,A}^i dX_A - u_{Y,A}^i dY_A - u_{Z,A}^i dZ_A + cdt_A + l_A^i = v_A^i, \quad (16.9)$$

bu yerda l_A^i – ozod a’zo;

$$l_A^i = (\rho_A^i)^0 - P_A^i(t) + I_A^i + T_A^i - cdt^i(t - \tau_A^i) + cd_A(t) + cd^i(t - \tau_A^i), \quad (16.10)$$

v_A^i xatolarga esa, shovqin o‘lchashlari, yo‘ldosh koordinatalari xatolari va boshqa barcha atmosfera refraksiyasi natijasidagi modellash-tirilmagan xatolar, ko‘pyo‘llilik va boshqalar kirgan.

(16.9) tenglamadagi to‘rtta noma’lumni aniqlash uchun noma’lumlar soniga qaraganda, kuzatishlar soni tenglashtirilishi yoki ko‘proq bo‘lishi kerak bo‘ladi. Bu shart yetarli, ammo u, doimo yechimni bermaydi. Buning sababi shundaki, normal tenglamalar matritsasi yaroqsiz bo‘ladi, bu ma’lum joylashgan o‘rniga, darajadagi nuqson deb, nomlanuvchiga olib keladi.

Agar o‘lchashlar soni har qaysi davrda bir xil bo‘lsa, unda kuzatishlarning to‘liq soni $n = s \cdot E$ bo‘ladi, bu yerda s orqali yo‘ldoshlar soni, E orqali esa – davrlar soni belgilangan.

Statik pozitsionirlashda uchta kuzatish punktlari koordinatalari va har qaysi kuzatishlar davri uchun, priyomnikning soatlariga tuzatmalar, noma’lumlar hisoblanadi. Shunday qilib, noma’lumlar soni $3 + E$ teng. Asosiy konfiguratsiya quyidagidek aniqlanadi:

$$s \cdot E \geq 3 + E, \quad (16.11)$$

bu yerdan aniq nisbatni hosil qilamiz:

$$E \geq \frac{3}{s-1}. \quad (16.12)$$

Yechimni hosil qilish uchun yo‘ldoshlarning minimal soni $s = 2$ teng, bu kuzatishlar davri soniga $E \geq 3$ olib keladi. $s = 4$ uchun yechim

$E \geq 1$ da hosil qilinadi. Bu yechim lahzalik pozitsionirlash imkoniyatlarini aks ettiradi, bu yerda har qanday davrdagi to'rtta noma'lum, hech bo'lmaganda, to'rtta yo'ldoshni kuzatish mumkin bo'lganida topiladi.

Nuqtali kinematik pozitsionirlash uchun, asosiy konfiguratsiya quyidagi ko'rib chiqishdan, bevosita chiqarilishi mumkin. Priyomnikning harakati natijasida, stansiyalar koordinatalari noma'lumlari soni $3E$ teng. Priyomnikning soatlari tuzatmalariga noma'lumni qo'shsak, bunda to'liq noma'lumlar soni $4E$ tengligini hosil qilamiz. Shuningdek, asosiy talab (16.11) tenglama bilan aniqlanadi:

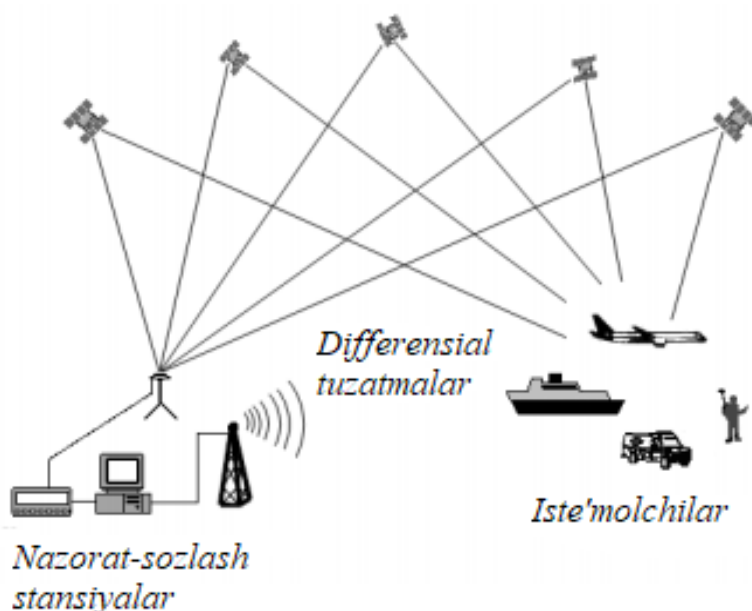
$$s \cdot E \geq 4E, \quad (16.13)$$

bu $s \geq 4$ ni beradi. Boshqacha so'z bilan aytganda, harakatlanayotgan priyomnikning joylashgan o'рни (va tezligi)ni har qanday momentda, hech bo'lmaganda, to'rtta yo'ldosh kuzatilayotganida aniqlash mumkin.

Statik pozitsionirlash uchun $s = 2$ va $E \geq 3$ dagi yechim, misol sifatida, nazariy jihatdan, uchta davr mobaynida ikkita yo'ldosh bilan kuzatish yetarlidir. Ammo, amalda bu tafsilot, kerakli natijani bermaydi yoki agar davrlar katta oraliqlarda (masalan, o'nlab minut) turmaganida, kuzatish tenglashtirish tizimlarini yaroqsizligi natijasida, hisoblashlar muvaffaqiyatsiz bo'ladi. Yechim shuningdek, agar ikkita yo'ldosh uchun uchta davrda, ularning orqasidan uchta qo'shimcha davrga, ammo yo'ldoshlarning boshqa juftlari uchun, kuzatishlar qilinganida mumkin bo'lar edi. Bunday qo'llash kamdan kam bo'ladi, ammo uni ayrim sharoitlarda (masalan, shahar hududida) tasavvur qilish mumkin [100].

Yo'ldoshli aniqlashning differensial usuli. SRNS (DGPS, DGLONASS) pozitsionirlash differensial usulida, psevdouzoqliklarni (yoki psevdouzoqliklarni va tashuvchi fazalarni) o'lchaydigan, kamida ikkita priyomniklardan foydalaniladi. Priyomniklardan biri, WGS-84 yoki PZ-90 umumiyer koordinata tizimida ma'lum joylashgan o'рни bilan punktga doimiy o'rnatiladi. Uni tayanch stansiya, jamoaviy asos stansiya (BS) yoki nazorat-tuzatish stansiyasi deb ataydilar (16.2-rasm). Ikkinchi priyomnik esa, koordinatasi aniqlanishi kerak bo'lgan nuqtada joylashadi. Bu priyomnik uchun: mobil aloqa (MS), ko'chiriladigan priyomnik, uzoqdagi stansiya, iste'molchi, iste'molchining tashiladigan apparaturalari, atamalaridan foydalaniladi.

Differensial usulning mohiyati bunga olib keladi, *BS* priyomnik, o'z anten nasining fazali markazlari aniq koordinatalaridan foydalanib, yo'ldoshlarni kuzatishlardan psevdouzoqliklar (yoki fazalar uchun) yoki koordinatalar uchun tuzatmalarni aniqlaydi, ular bilan *MS* priyomnik o'zining mos keluvchi parametrlarini tuzatadi va natijada aniq koordinatalarni topadi. Bu usulning asosida, quyidagi qoida yotibdi, o'lchash natijalariga turli xil xatolar manbalarining ta'siri, asos uchun, mobil priyomnik uchun, bir xildek, ya'ni tuzatiladigan xatolar xususiyatidan foydalaniladi.



16.2-rasm. SRNS ning differensial usuli.

Asos chizig'idan dala priyomnigiga differensial tuzatmalar post-qayta ishlashlarda yoki vaqtning real masshtabida uzatilishi mumkin. Birinchi holatda, kuzatishlar bajarilganidan so'ng, o'lchash natijalari bilan fayllar bitta kompyuterga o'tkaziladi, bu yerda ularning maxsus ta'minot dasturida qayta ishlashlari o'tkaziladi. Ikkinchi holatda, asos stansiyasidan tuzatmalar dala priyomnigi orqali radiomodem yoki boshqa simsiz aloqa yo'llari bilan uzatiladi. Bu navbatdagi o'lchashdan keyin, bir necha sekund ichida, ish uchastkalarida *MS* koordinatalarini olish imkonini beradi. Ma'lumotlarni operativ uzatish uchun, AQSH-ning dengizda suzib yurish bo'yicha Radiotexnik komissiyasining 104-maxsus komiteti tomonidan ishlab chiqilgan *RTCM* 104formati qo'llaniladi. 2.2 formatning versiyasi *GPS* yo'ldoshlariga ham, *GLONASS*

yoʻldoshlariga ham, maʼlumotlarni uzatish imkonini beradi. Asos stansiyasida, priyomnikning daladagi joylashgan oʻrnini aniq bilish kerak boʻlgan hollarda, inversli (teskari) differensial usuldan (Inverse Differential GPS IDGPS) foydalaniladi. Bu usulda oʻlchash maʼlumotlari oqimi dala priyomnigidan asos stansiyasiga boradi. Bu yerda ham, vaqtning haqiqiy rejimi va post-qayta ishlashlar qoʻllaniladi. Differensial usulning bunday varianti, masalan, transport vositalari parklarini joʻnatishda keng qoʻllaniladi.

Differensial usulda tuzatmalarni uzatish, berilgan kuzatishlar oʻrniga, uzatiladigan maʼlumotlarning hajmini sezilarli darajada qisqartiradi va deyarli juda yuqori aniqlikka erishmasdan, natijalar operativligini oshiradi.

Lokal differensial usul (Local Differential LDGPS)da, 300–500 kilometrgacha (kodli aniqlanishlarda) masofalarda barcha yaqin mobil priyomniklarga xizmat koʻrsatuvchi, bitta asos stansiyasi ishlaydi. Asos stansiyasidan mobil priyomniklarni uzoqlashishi xatolari orasidagi tuzatishni kamayishi natijasidagi aniqlikni pasayishi, asos stansiyalari toʻridan foydalanish gʻoyasiga olib keldi. Ushbu usulda asos stansiyalari toʻri maʼlumotlari boʻyicha, tuzatmalarni fazoviy-vaqtinchalik modeli yaratiladi, yaʼni tuzatmalardagi sekin oʻzgarishlar hisobga olinadi. Bunga keng zonali differensial usulda (Wide Area DGPS, WADGPS) ishlashga asoslangan, bu yerda xizmat koʻrsatish sohasining oʻlchami 5000 kilometrga yetishi mumkin. Tashuvchi fazalarni kuzatishlar boʻyicha differensial usulga nima tegishli, unda yagona asos stansiyalaridan masofalar, odatda 10 kilometr oraliqlarda topiladi va kamdan kam hollarda 30 kilometrgacha yetadi. Bir nechta tayanch stansiyali (Multiple Reference Stations, MRS) usuldan foydalanilganda, sohalar oʻlchami bir necha yuzlab kilometrlarga yetishi mumkin. Reaktiv harakatlar laboratoriyasida (AQSH) global quyi tizimi DGPS (Global DGPS, GDGPS) ishlab chiqilgan.

16.2. GLONASS/GPS usulini boshqa pozitsiyalash usullari bilan birlashtirish

GLONASS/GPS yoʻldoshli texnologiyalari, oʻzining aniqligi, global kirish imkoniyati mavjudligi va iqtisodiy samaradorli sababli, koʻplab dasturlarda yangi yoʻllarni koʻrsatdi. Ammo, ayrim tafsilotlar borki,

ularda *SRNS* signallarining qismlari, shunday bloklangan bo‘ladiki, bunda priyomnik pozitsionirlash uchun yetarli yo‘ldoshlarni “ko‘r-maydi”. Bunday tafsilotlarga misollar sifatida, baland qurilishlari bo‘lgan shahar hududlari, chuqur karyerlar, o‘rmon massivlari hisoblanadi. Boshqa sababi, ularning natijasida priyomnik yo‘ldoshlarni “eshitmaydi”, kelib chiqishi turli xil bo‘lgan shovqinlar bo‘lishi mumkin. Nihoyat, tafsilotlar uchraydiki, ularda, masalan, planli joylashgan o‘rnini aniqligi foydalanuvchini qoniqtiradi, balandlikni aniqlash aniqligi esa yetarli emas.

Barcha bu muammolarni, yo‘ldoshli navigatsiya tizimlarini o‘zlari orasida yoki boshqa yo‘llar bilan yoki pozitsionirlash tizimlarini birlashtirganda, muvaffaqiyatli yengib o‘tish mumkin. Geometriyani yaxshilashni, yo‘ldoshlar sonini oshirish hisobiga, nima qilish mumkin, bitta priyomnikka *GPS* va *GLONASS* (*GNSS* priyomnik) yo‘ldoshlari kuzatish imkoniyatlarini birlashtirib, erishish mumkin bo‘ladi. Ikki tizimli navigatsiya priyomniklari, bir qator Rossiya ishlab chiqaruvchilari tomonidan ishlab chiqilmoqda. Ikki tizimli geodezik priyomniklar Javad, Thales Navigation va boshqa firmalar tomonidan ishlab chiqilmoqda. *GPS*, *GLONASS* va *Galileo* signallari bo‘yicha ishlovchi, apparaturalar ishlab chiqarilishga tayyorlanmoqda. Ammo, bu yerda biz, *SRNS* ishlarini kuchaytirishning boshqa imkoniyatlariga to‘xtalamiz. Ko‘p sonli tadqiqotlar, integrallashgan tizimning ishi, bitta tizimga qaraganda, sezilarli darajada yaxshiligini ko‘rsatdi. *SRNS* ni kuchaytirish mos keluvchi datchik (sensor) bilan jihozlash orqali cheklanmaydi. Quyida ko‘rsatilganidek, *GPS* ma’lumotlarini qayta ishlash va samarali to‘plash, kompyuterda joylashtirilgan, masalan, GAT dek, vositalar bilan kuchaytirilishi mumkin [3, 84, 126].

16.2.1. GPS va GATni birlashtirish

Geografik axborot tizimlari (GAT) to‘plash, saqlash, boshqarish, tahlil qilish va ekranga chiqarish hamda boshqa fazoviy taqsimlangan ma’lumotlarni tashishga qodir bo‘lgan, kompyuter vositalarini o‘zida aks ettiradi. Fazoviy ma’lumotlar – bu ma’lumotlar, ularning geografik joylashuvlari bilan (ko‘chalar, yo‘llar, binolar, yong‘in gidrantlari va boshqalardek, shunday obyektlar) mos ravishda, ular tan olinadi.

Fazovi yoki geografik ma'lumotlarni, turli xil bunday manbalardan, masalan, mavjud kartalardan, kosmik va *GPS* suratlaridan olish mumkin. Ma'lumotlar yig'ilganidan keyin, GAT uni qatlamlar to'plamidek, o'zining ma'lumotlar bazasida saqlaydi. Bundan keyin GAT ma'lumotlarni tahlil qilish uchun va samarali yechimni qabul qilishda foydalanishi mumkin.

SRNS tizimi GAT dala ma'lumotlarini samarali va aniq to'plash uchun foydalaniladi. *GPS* priyomnigi bilan ma'lumotlar real vaqt rejimida yoki post-qayta ishlashlarda, raqamli formatda yig'ilishi mumkin. Hozir bozorda bir nechta *GPS/GAT* tizimlari mavjud, ular aniqlik darajasini santimetrdan metrgacha ta'minlaydi. Bu tizimlardan ko'pchiligi, foydalanuvchiga har qaysi obyektning planini olish uchun, atributlarni kiritish imkonini beradi. Shuningdek, mulk obyektlarining joylashuvini takroran, aniqlash imkonini beruvchi, o'rnatilgan navigatsiya funksiyalar ham mavjud. Ayrim *GPS* apparaturalari ishlab chiqaruvchilari, ma'lumotlarni to'plash jarayonida muharrirlash imkonini beruvchi, kompyuter qalamli tizimlarini ishlab chiqarmoqda.

Ko'plab sohalar, boshqaruv xizmatlari, o'rmon va qishloq xo'jaligi, jamoat xavfsizligi, transport parklarini boshqarishlarni qo'shganda, *GPS* va *GAT* ni birlashtirishdan foyda oladilar [24, 84, 149].

16.2.2. GLONASS/GPS usulini mobil aloqa qurilmalari bilan birlashtirish

Uyali aloqa texnologiyasi butun dunyoda keng qo'llanilib borilmoqda. Foydalanuvchilar soni va qamrab olish maydonlari doimo kengaymoqda. Bundan tashqari, ovozli va ma'lumot uzatishga qodir, juda takomillashgan qamrovlari oshib bormoqda. Bu uyali tizimni, qator bozorlar uchun, qutqaruv xizmatini, transport va *GPS* nazorat tizimlarini qo'shganda, juda jozibador qiladi.

Mobil aloqa tizimining asosiy cheklanishi – bu ularning, qo'ng'iroq qayerdan qilinganligini, aniq aniqlash imkoniyatining yo'qligidir. Garchi bu cheklanish, *RTK GPS* ga o'xshash, qo'llanishlar uchun kritik hisoblanmaydi, ular qutqaruv xizmati va transport vositalarini avtomatlashgan nazorat tizimlari uchun juda muhimdir. Misol sifatida, AQSHda, 911 qutqaruv xizmatiga qo'ng'iroqlarning, taxminan, 1/3

qismi mobil telefonlardan qilinadi. Ulardan, taxminan 1/4 qism qo'ng'i-roq qiluvchilar o'zining joylashgan o'rnini aniq tasvirlab bera olmaydi, bu yordamga yuborishda operatorlar uchun qiyinchiliklar tug'diradi. Shuning uchun, AQSHdagi aloqa bo'yicha Federal komissiya (FCC), 2001-yilning oktabridan, 911 xizmatiga yordam so'rab murojaat qiluvchilarning, 127 m aniqlik bilan 67% ehtimollikda yoki yaxshiroq, abonentlar mobil aloqalarining joylashuvini aniqlash majburiyatini oldi.

FCC komissiyasining aniqlik talablariga javob berish uchun, simsiz aloqa operatorlari, to'rtli usuldan yoki telefon trubkalaridan foydalanib, joylashgan o'rnini aniqlaydilar. To'rtli usullarda abonentlarning o'zni signallarning kirish momentidagi farqlari (Time difference of arrival, TDOA) bo'yicha yoki signalning kirish burchagi (Angle of arrival, AOA) bo'yicha aniqlanadi. Birinchi usulda uyali to'r katakchasiga yoki uning asos stansiyasiga, signalning kirish momentlari farqlari o'lchanadi. Abonentning o'rnini, agar signal minimum uchta asos stansiyada qabul qilinganida aniqlash mumkin. Ushbu usulda stansiya soatlarini sinxronizatsiyasi, juda muhim omil hisoblanadi. Ikkinchi usulda bosqichli antenna massivlaridan foydalaniladi, bunda burchakni hisoblash uchun, signal asos stansiyasiga keladi. Abonent o'rnini hisoblash uchun, minimum ikkita asos stansiyasi kerak bo'ladi. TDOA va AOA usullarida ustunliklar va kamchiliklar mavjud. Ayrim to'rtlar, ikkala usulni birlashtirib ishlaydi.

Telefon trubkasi yordamida o'rnini aniqlash texnologiyasi, GPS bilan uyali aloqani, GPS chipini mobil telefon trubkasiga o'rnatish orqali birlashtiradi. Ushbu usul, selektiv kirishning o'chirilgan rejimida, 911 xizmatlari abonentining o'rnini, FCC talablaridan 10 marta ko'p bo'lgan aniqlik bilan aniqlashi mumkin. To'rtli usuldan farqli ravishda, mobil trubkalar texnologiyasi qo'llanilishda juda oddiy va asos stansiyalarida telefon to'rtlari maxsus uskunalarini (masalan, aniq vaqtni aniqlovchi, GPS priyomniklar) o'rnatishni talab etmaydi. Bu texnologiyani kamchiliklaridan biri shundan iboratki, bunda faqat yangi telefonlar GPS uskunolari bilan jihozlanishi mumkin. Bundan tashqari, bino ichkarisida qabul qilish uchun GPS signallari juda kuchsizdir. Bu cheklashni, yaqin kelajakda, GPS / MEMS birlashtirilishi ishlab chiqilganidan keyin, samarali yengib o'tish mumkin.

Yaqin kelajakda, keng diapazonli raqamli to'rtlarning, 3G simsiz texnologiyalari uchinchi avlodining ishlab chiqarilishi tugallanadi. Bu

texnologiya ovozli uzatishni, yuqori tezlikli ma'lumotlarni va multimediyali ilovalarni ta'minlaydi. Bundan tashqari, bu texnologiyada umumiy dunyo standartlaridan foydalaniladi, ular nafaqat jarayonlar narxini pasaytiradi, shuningdek, tizimdan butun dunyo foydalanadigan bo'ladi. Bundan tashqari, yangi texnologiya bilan apparatlar, ma'lumotlarni uzatish uchun doimiy ravishda yoqilgan bo'ladi, chunki foydalanuvchi ma'lumotlar paketi uchun haq to'laydi, ularni u uzatadi yoki qabul qiladi.

Oldin muhokama qilingan, simsiz aloqa va texnologiyalardagi o'rnini aniqlashdagi muvaffaqiyatlar, xo'jalikning ko'plab sohalariga kuchli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Kemalar navigatsiyasi bozori, misol sifatida, simsiz aloqa va Internet texnologiyalarini rivojlanishidagi muvaffaqiyatlardan foyda olishi kutilmoqda. Hozirgi vaqtda kemalar murakkab tizimdan foydalanmoqda, ular o'rnini aniqlash texnologiyasini avtomashinalar kompyuteridagi navigatsiya tizimlari bilan birlashtirgan, ular elektron yo'l kartalari va boshqa foydali ma'lumotlarni o'z ichiga oladi. Kabinaning ichidagi tizim, navigatsiya tizimining baza ma'lumotlaridagi (masalan, transport oqimlaridagi o'lchashlar), dunyodagi haqiqiy o'lchashlar to'g'risida bilmasligi aniq. Simsiz Internet xizmatining paydo bo'lishi, markaziy serverdagi ma'lumotlar bazasini tezlik bilan yangilanishi, haydovchilarga, avtomashina ichidagi murakkab kompyuter tizimlaridan, ya'ni "burilishdan keyin burilish" dek navigatsiya, transport ma'lumotlari va lokal ob-havo sharoitlaridan, qutulishga, yordam berishi mumkin edi. Bu usul oddiy, xarajatni qoplaydigan, egiluvchan va kelajakda qo'llanilishi uchun salohiyatga ega [81, 84].

GPSni barovisotomer bilan jihozlash. Kodli priyomnik bilan balandliklarni aniqlash aniqligini, uni barovisotomer bilan jihozlab, oshirish mumkin. Misol sifatida, Rossiya bozorlarida bor bo'lgan, GARMIN Trex Vista va GPSMAR 76S asboblari 12-kanalli kodli priyomniklar hisoblanadi. Ular priyomnikning korpusiga o'rnatilgan barovisotomer va raqamli kompasga ega. Balandlikni aniqlash pasport aniqligi 2–5 metrni tashkil qiladi.

Barometr bilan o'lchashning kamchiligi, havo massasi siljishlari bilan o'zaro bog'liq, no'l-punktning dreyfi hisoblanadi. Boshlang'ich aniqlikdagi 1 metr, bir soatdan keyin aniqlik 10 metrgacha tez yomonlashadi. DGPS bilan xuddi shunday, ma'lum balandlikda

joylashgan, barometrik asos stansiyalaridan foydalanilganda, natijalar va ularning vaqtinchalik barqarorligi sezilarli yaxshilanadi. [119] ga ko‘ra, σ_H balandlikning o‘rtacha xatosi D masofaga bog‘liq holda, $\sigma_H = 46\text{cm} + 42 \cdot D \cdot 10^{-6}$ dek o‘zgaradi. Differensial barometriya vertikal komponent aniqligini sezilarli yaxshilaydi. Bundan tashqari, bu qo‘shimcha ma’lumotlar boshqa ustunliklarni (uchta yo‘ldosh bilan pozitsionirlash va o‘lchash xatolarini aniqlash imkoniyatlarini paydo bo‘lishi) keltiradi [40].

17-BOB. YO‘LDOSH KUZATISHLARINING XATOLIGI

17.1. Xatolik manbalari

Geodezist uchun eng qiyin vazifalardan biri – o‘lchash sifatini baholashdir. Yo‘ldoshli texnologiyalarda, bu ayniqsa, juda muhimdir, chunki o‘lchashlar texnikasining o‘zi, burchaklarni, masofalarni yoki nisbiy balandliklarni an’anaviy usullarda o‘lchashlardan farqli, jismnan aniq haqiqat hisoblanmaydi. Geodezist to‘lig‘icha apparaturaga, qayta ishlash vositalariga suyanishga majburdir va ularning ishlarini ishonchliligi aniq talablarni bajarishda shubha keltirib chiqarmasligi kerak.

Oddiy geodezik o‘lchashlaridek, *GLONASS/GPS* texnologiyalarda ham, xatolarni to‘rtta asosiy manbalarga ajratish mumkin:

- kuzatuvchining xatosi (antenna balandligini noaniq o‘lchash, markazlashtirish xatosi, meteoapparaturalar ko‘rsatkichidagi xatolar);
- apparaturalarning xatolari, ularga apparaturadagi shovqinlarni tavsiflovchi, fazali va kodli hisoblar xatolari, o‘lchangan vaqtinchalik kechikishlardagi xatolar yoki yo‘ldoshlardagi va priyomniklardagi soatlarga tuzatmalar, antenna fazali markazlarining nobarqarorligi;
- signalning trassa bo‘yicha tarqalishida, tashqi sharoitlarning ta’siri (troposferaning va ionosferaning bir xil bo‘lmaganligi, ko‘pyo‘llilik, interferensiya, to‘siqlar natijasida signallarning zaiflashishi, magnit bo‘ronlarining ta’siri);
- matematik qayta ishlash xatolari (yulduzlar turkumining zaif geometriyasi, orbitalar va asos chizig‘i boshlanishining aprior koordina-talaridagi xatolar, geofizik modellar yoki stoxastik modellar xatolari).

Kuzatuvchini xatosi aniq va bu yerda ko‘rib chiqilmaydi.

Qisqacha o‘lchash xatolari klassifikatsiyasiga, shovqinlar (tasodifiy xatolar) yoki siljishlardeklarga (sistematik xatolar) qaytamiz. Shovqinlarga, odatda tez o‘zgaruvchi xatolar kiradi, ular “qisqa” vaqt intervallarida nolgacha o‘rtachalanadi, bu yerda “qisqa” tushunchasi vaqt mobaynida to‘plangan yoki priyomnikda o‘lchashni tekislash jarayoni vaqti bilan taqqoslaganda aniqlanadi. Priyomnikning shovqini bu talabga javob beradi. Ko‘pyo‘llilik natijasida uzoqlik xatolari kvazisinusoidal hisoblanadi va ularni ham, o‘n minut va ko‘proq intervallarda, shovqindek, qarash mumkin. Lahzalik o‘lchashlar uchun

(kinematik rejimda) ko'pyo'llilik tasodifiy xatolikga olib keladi. Troposfera va ionosferadagi signallarning tarqalishidagi kechikishlar natijasidagi xatolar, tuzatilgan yoki tuzatilmagan modellar bilan mos ravishda, o'n minut yoki ko'proq saqlanishi mumkin. Yo'ldosh soatlari va efemeridalaridan xatolar (selektiv kirish rejimi bekor qilingandan keyin) ham sekin o'zgaradi va ular tarqalish xatolariga o'xshash, ularni siljishlardek, klassifikatsiya qilish mumkin. Tarqalish muhitidagi xatolar ta'siri, yo'ldosh soatlari xatolari va efemeridalar ham no'lgacha o'rtachalanishi kerak, ammo bu bir necha kun va hatto haftani egallashi mumkin [137]. Bu faktni e'tiborsiz qoldirish, qayta ishlash natijalari ichki o'xshashligi bo'yicha mukammal aniqlikni ko'rsatadi, ammo tashqi o'xshashlik bo'yicha sezilarli darajada oshuvchi xatolarga olib keladi.

Sanab o'tilgan xatolar manbalaridan ayrimlari oldin eslatilgan va ular absolut, differensial va nisbiy pozitsionirlash kontekstida qisqa ko'rib chiqiladi, xuddi shu vaqtda, boshqa spetsifik xatolar manbalari, ular hozircha tegilmagan, batafsil ko'rib chiqiladi.

17.2. Apparatura xatoliklari

17.2.1. Priyomnikning shovqinlari

O'lchashlarda topilgan, shovqin ma'lumotlari, xatolar to'plamiga kam hissani beradi. Priyomnikdagi shovqinlar antennani kuchaytirish koeffitsiyenti, yo'ldoshlar signallari kuchlari va priyomnikning harorat shovqin tavsiflari hamda uni o'rab turuvchi muhit bo'yicha nazariy hisoblanishi mumkin. Shovqin ma'lumotlari yo'ldoshga topotsentrik yo'naltirilgan balandlikka bog'liq, chunki bundan antennadagi kuchaytirish koeffitsiyenti va Yer atmosferasidagi zaiflashish natijasida signal kuchidagi yo'qotishlar hamda priyomnikdagi vaqtdan o'rtachalanishlar o'zgaradi. Shovqin ma'lumotlarini tajribadan aniqlash usullaridan biri, bitta antennadan ishlovchi, ikki priyomnik bilan o'lchangan, fazalarni va psevdouzoqliklarni taqqoslashdan iborat. Bunday testlar, L_1 va L_2 chastotalarda fazali o'lchashlar shovqini 1 dan 5 mm gacha darajaga egaligini ko'rsatadi, ammo ko'pincha sistematik tuzuvchini o'z ichiga oladi. Bu spetsifik xato, geodezik o'lchashlarga ta'sir ko'rsatmaydi, chunki ikkilamchi o'lchashlarda chiqarib tashlanadi, ammo u,

ehtiyotkorlik bilan tadqiq qilinishi va ionosfera kechikishlarini o'lchashlarda hisobga olinishi kerak [152].

C. Rizos shovqin qiymatini aniqlash uchun oddiy qoidani beradi: signalning to'lqin uzunligidan 1% ga yaqini, quyidagilarga mos keladi:

- C/A - kod uchun 3 m (standart kod);
- $P(Y)$ - kod uchun 0.3 m (aniq kod);
- tashuvchi faza uchun 2 mm [143].

Tor korrelyatorning qo'llanilishi, C/A – kodli priyomnikni P – kodli priyomnikka aylantiradi, ya'ni shovqin darajasini bir tartibga kamaytiradi [82]. Tashuvchi fazalarni o'lchashlar bilan psevdouzoqliklarni tekislash shovqin darajasini ikki martaga kamaytiradi [137].

17.2.2. Ko'pyo'llilikning ta'siri va fazali markazning o'rni

GPS -priyomniklarda ko'pyo'llilik natijasidagi xatolar, aks ettirilgan signallardan psevdouzoqlik yoki fazalarni o'lchashlarda mos keluvchi ulushdek qaralishi kerak. Ko'pyo'llilikning qatnashishi eng yaxshi alomatlaridan biri, qabul qilingan signallarning amplitudasi hisoblanadi, u ko'pyo'llilik bo'lganida tebranadi. *RINEX* formatining mavjud versiyasi yo'ldoshli ma'lumotlar bilan almashinishda, amplitudalarni yetarlicha raqamlar bilan belgilanadigan sonlarini yozib olish imkoniyatiga ega emas, aks holda, ko'pyo'llilik bilan zararlangan signallarni sozlash va aniqlash imkoniyati paydo bo'lar edi. Ko'pyo'llilikning boshqa indikatori, geometrik yopiq qurilmalarda, yuqori darajadagi xatolar hisoblanadi.

Ko'pyo'llilik natijasida xatolar, odatda seans mobaynida sekin o'zgaradi va u o'rtachalanishda chiqarib tashlanishi mumkin. Kuzatishlar qisqa seanslarida (20–30 minut, balandlik burchagini o'lchash tezligi va antenaning balandligiga bog'liq holda) yoki ayrim hodisalarda, masalan, qor yog'ishi boshlanganida, ko'pyo'llilik no'lga o'rtachalanmaydi va bu kuzatishlar natijalariga jiddiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Ayniqsa bu, kinematik va tezstatik plan olishlar uchun xavfli, bu yerda kuzatish vaqti bir necha minutdan oshmaydi. Bunday hollarda, xatolar o'rni o'nlab millimetrlarga yetishi mumkin va agar aniqlikka talablar yuqori bo'lsa, unda koordinatalarni uzatishning bilvosita usulidan foydalanilsa yaxshi bo'ladi. Bunday holda, antenna punktning o'zida emas, balki, unga yaqin nuqtada joylashadi, bu yerda

ko'pyo'llilik sezilarli darajada kam va keltirish elementlari aniqlanadi [15, 16].

GPS -priyomniklar barcha yo'nalishli antennalarni loyihalashdagi eng bosh ziddiyatlardan biri, kichik balandliklarda nisbatan, yuqori kuchaytirishni saqlash va drosselli halqali antennalarni qo'llash hisoblanadi. Ko'pyo'llilikni butunlay tavsiflash qiyin, chunki uning amplitudasi va fazasi ko'plab omillarga bog'liq, garchi ulardan bir qismi yetarlicha doimiydir. Bu, *SRNS* orbitasida takrorlanishi bilan mos ravishda, har kuni takrorlanadigan, ko'pyo'llilikni kuzatish imkonini beradi. Doimiy harakatdagi stansiyalarda, ayrim tadqiqotchilar, yulduz sutkalari orqali [147] fazali farqlarni hosil qilish yordamida yoki filtrlash algoritmini qo'llash [90] yordamida ko'pyo'llilik ta'sirini zaiflashtirishni tavsiya qiladilar.

Fazali markaz bilan geometrik markazning aniq nisbatini ta'minlashdagi qiyinchilik, *GPS* ga o'lchashning haqiqiy universal millimetrli vositasi bo'lish, hatto qisqa masofalarda ham, tashuvchi fazalarni yuqori aniqlikda o'lchash ruxsat etilishlariga qaramay, imkoniyat bermaydi. Fazalarning o'zgarishlarini kamaytirish uchun va fazali markazni ishlab chiqaruvchilarini muammolari, odatda bitta turdagi antennalardan foydalanishni tavsiya etadilar, ular bitta yo'nalishga mos ravishda oriyentirlangan bo'lishi kerak. Ammo, uzun asos chiziqlarida xatolarning to'liq kompensatsiyasi, bir xil antennalarda sodir bo'lmaydi. Antenna xatolaridan ayrimlari qo'llanishga bog'liq, masalan, Yerdagi tayanch priyomnik bilan havodagi (samolyotda) kinematika. Bu yerda bir xil fazali javob, ya'ni yo'nalishning sferik diagrammasi kerak bo'ladi. U signallarning ko'pyo'lliligiga sezuvchanlikni kamaytirish maqsadida, kichik balandliklar uchun antennani "ko'r" qilish kerakligi bilan to'qnashuvga kiradi.

Har xil turdagi antennalardan foydalanishda, fazali markazning xatolarini chiqarib tashlashni ta'minlovchi, yana bir vosita sifatida, ayrim hollarda, asos chiziqlarini ikkita usul bilan kuzatish qo'llaniladi, ular orasida priyomniklar antennalari bilan joylarini almashadi. Kuzatishlar bitta va ushbu yo'ldosh turkumlari bo'yicha, ya'ni yo'ldoshlarning ko'rinish vaqti o'zgarishlarini hisobga olib, turli kunlarda olib borilishi kerak.

Fazali markaz o'rnining o'zgarishi ta'sirini hisobga olish uchun, antennani maxsus sozlash o'tkaziladi. Yo'ldoshli apparaturalar ishlab

chiqaruvchi, ayrim firmalar, sozlash natijalarini qayta ishlashlarga kiritish uchun, opsiyalar dasturiy ta'minotiga kiritishlarga ega va ularning borligida, o'lchash natijalarini tuzatish mumkin [123, 152, 89].

17.2.3. Vaqt xatolarining ta'siri

Yo'ldoshning va priyomnikning soatlari xatolarini asosiy qismi, tasodifiy qonun bo'yicha o'zgaruvchi, ikkilamchi farqlarni shakllantirishda yoki soatlar tuzatmalarini baholashda chiqarib tashlanadi. Ushbu vaqtda, haqiqiy vaqtdan geodezik o'lchashlarga bog'liqlik bor, ularda koordinatalarni aniqlash geodezik masalasi chiziqli bo'lmaganligi natijasida, o'lchashlar o'tkazilgan. GPS signallarini kvantlash vaqti noto'g'ri mos kelishi bilan bog'liq, xatolar qiymati, signallarning dopler siljishlari bo'yicha hisoblanishi mumkin va odatda, 1 mks dagi vaqt xatolari uchun 1 mm ga yaqinni tashkil etadi. Garchi yo'ldoshli priyomnik vaqtni aniqlash talablarini oson bajaradi, bunday holatlar bo'lmasligi ham uchraydi. Bunday holatlar, faza kombinatsiyalari farqlaridan topilgan, ionosfera kechikishlari qiymatlarida ta'sir ko'rsatishlarning yo'qligidagi ikkilamchi farqlardagi yakka sakrashlardek, tan olinadi. Priyomnikning bunday xulqi quyidagi holat bilan, e'lon qilingan momentlardan farqli, u o'lchashlardagi momentlarda qirganida kelishadi. Bunday turdagi xatolarning umumiy ta'siri kam, faqat quyidagi holatdan tashqari, priyomnik qachon C/A - kodli psevdouzozqliklar millisekund noaniqliklarini noto'g'ri yechganida, ularda o'lchashlar qayerda qilinganligini aniqlash ham mumkin emas. Bu agar o'rinli bo'lsa, ma'lumotlarning, taxminan barchasi yaroqsiz bo'ladi. Xatolar priyomnikda signallarning dastlabki qayta ishlashlarida tuzatilishi, dalada o'lchashlarni takrorlash imkoniyati borligida, kerak bo'ladi [123].

17.3. Atmosfera ta'siri xatoliklari

Ionosfera tarqaluvchi muhit hisoblanadi, ya'ni I_{τ} signalning kechikishi (vaqt birligida) chastota bilan quyidagi tarzda o'zgaradi:

$$I_{\tau} = \frac{40.3}{cf^2} \int_0^{Sat.} Ndl, \quad (17.1)$$

bu yerda $\int_0^{Sat} Ndl$ to'liqin yo'li bo'ylab l , yo'ldoshgacha o'lchangan yer usti nuqtalaridan ozod elektronlar sonini jamlaydi, odatda u, ushbu yo'l bo'ylab, (TEC) qiya to'liq tarkibli elektronlar deb ataladi; c – yorug'lik tezligi, m/s da; f – tizimning ishchi chastotasi, Gerslarda. Yer ionosferasida TEC uchun odatiy sonlar $10^{16} - 10^{19} \text{ el./m}^2$ oraliqlarda joylashadi. TEC dagi – o'lchash kengligi, taxminan uch tartib qiymatga ko'plab omillar natijasida sodir bo'ladi, bularning ichida – sutka vaqti, yil vaqti, stansiya o'rni va quyoshli ultrabinafsha ionlashgan nurlanishi.

(17.1) ifoda quyidagidek taqdim etilishi mumkin:

$$I_r = \frac{A}{f^2} + \frac{B}{f^3} + \frac{C}{f^4} + \dots, \quad (17.2)$$

bu yerda: A, B, C – radioto'liqlarning tarqalish muhiti xususiyatlarini tavsiflovchi, koeffitsiyentlar. O'rta balandliklardagi $SRNS$ signalari uchun, (17.2) dagi ikkinchi va uchinchi a'zolar e'tiborsiz qoldiriladi. 1.5 GGs chastotalar uchun, ularning ulushi, mos ravishda, 0.08 ns va 0.25 ns dan oshmaydi, bu 2.4 va 7.5 santimetr ga mos keladi [10].

Ionosfera kechikishlarini hisobga olishning asosiy usullari:

- umuman uni e'tiborsiz qoldirish; bu absolut usulda masofada 20-30 m va undan ko'pgacha xatolikni beradi;
- navigatsiya xabarlarini modellari sakkizta parametrlaridan foydalanish, tuzatma qiymatlaridan 50% gacha hisobga olish imkonini beradi. Zamonaviy ionosfera modellari, yuzlab koeffitsiyentlarni talab qiluvchi, qoldiq siljishlarni, taxminan 10% ga ta'minlaydi;
- differensial tuzatmalarda hisobga olish, bu 100 kilometrgacha masofalarda 0.1–0.2 metrgacha xatolarni beradi;
- ionosfera ta'siridan ozod, psevdouzoqlik va fazalar kombinatsiyalarini hosil qilish. Fazali ma'lumotlar bo'yicha masofalardagi qoldiq xatolar – santimetrdan ko'p emas.

Modellashtirishning boshqa usullari ham qo'llaniladi, masalan, stoxastik modellashtirishdek [80], ammo ular, tijorat dasturlarida tarqalish topmadi.

Masofalarda troposfera kechikishlari ancha doimiydir, odatda butun Yer bo'yicha kamida 20% ga o'zgaradi. Bu, taxminan, 90% masofalarda troposfera kechikishlari, yer troposferasi tuzuvchilarini (juda jiddiy gidrostatik) quruq deb nomlanishi, natijasida sodir bo'ladi, u to'liq bosimga va absolut haroratga proporsionaldir. Baxtimizga na

absolut bosim, na absolut harorat, nominal absolut qiymatdan bir necha foizlarga qaraganda ko'pga o'zgarmaydi.

Ko'pchilik troposfera modellari uchun asos, zenit kechikishlari uchun birlashtirilgan qiymat hisoblanadi, u gidrostatikdan yoki "quruq", tuzuvchilar va atmosferadagi suv bug'lari natijasidagi nam tuzuvchilardan iborat. Zenitli bo'lmagan yo'nalishlar uchun, quruq va nam kechikishlar yig'indisi, aks ettirish funksiyasiga ko'paytiriladi, u masofalarda zenit kechikishlarini, juda past balandliklarda kechikishlar bilan bog'laydi. Chunki, har qaysi burchak balandligi uchun funksiya qaysidir darajada har xil, ulardan ko'pchiligi, zenit kechikishlari ko'rsatilgan bo'lishini, keyin esa burchak balandligi funksiyasi hisoblanadigan songa ko'paytirilganligini talab qiladi. Vertikal kechikishlarni belgilash uchun klimatologik usullar, shuningdek, berilgan vaqtda, belgilangan balandlik burchaklariga mos keluvchi, eng yaxshi tarzda, kechikishning kuzatilgan qiymatlarini tenglashtirish va turli balandliklarda bir nechta *GPS* priyomniklardan, aniq ikki chastotali ma'lumotlarni qo'llash uchun boshqa usullar va bosim, harorat va suv bug'lari tarkibini deyarli real vaqtda o'lchangani bo'yicha haqiqiy kechikishlarni aniqlash uchun ham, usullar mavjud. Bu usulda aniqlik yo'ldoshgacha bo'lgan masofada 1–2 sm tartibda e'lon qilinadi.

Zenitli kechikishning ko'plab shakllaridan biri, unda gidrostatik zenit tuzuvchisi va nam zenit tuzuvchisi ajratilgan hamda ularda lokal harorat, bosim va suv bug'lari tarkibini hisobga olish mumkin bo'lgan quyidagi ko'rinishni oladi:

$$T = T_{z,h} \cdot m_h E + T_{z,w} \cdot m_w E, \quad (17.3)$$

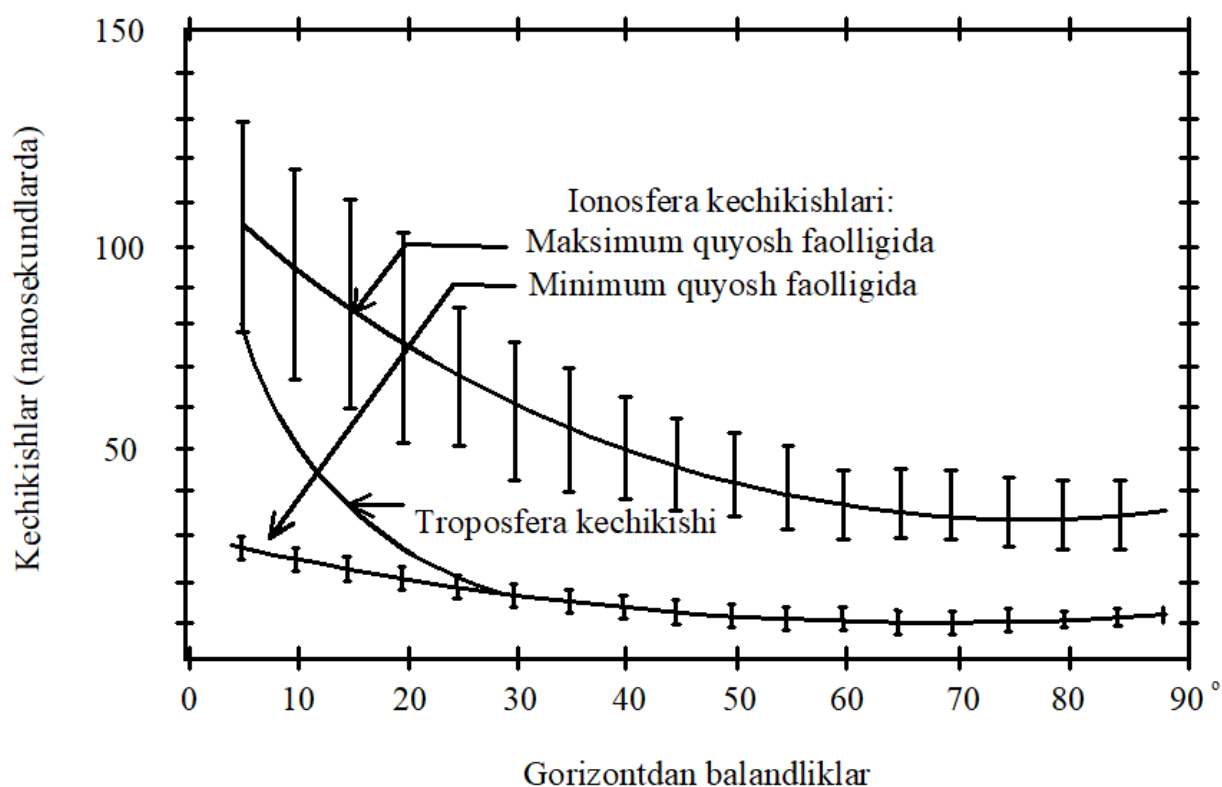
bu yerda: $m_h E$ va $m_w E$ – yo'ldosh balandligiga bog'liq E gorizontdan aks ettirish funksiyasi. Oddiy qiymatlarda bosim uchun 1013 mbar, harorat uchun $15^\circ C$ yoki 288 K va 50% nisbiy namlik uchun to'liq zenit kechikishi quyidagi qiymatga ega:

$$T_z = 2.18 + 0.08 = 2.26 \text{ m.}$$

$E = 5^\circ$ balandliklar uchun barcha tashqil qiluvchilar, taxminan, 10 martaga ortadi. Shu bilan birga, "nam" komponent to'liq kechikishdan faqat 3.5% ni tashkil qiladi.

[115] maqolasidan 17.1-rasmda yer troposferasi uchun balandlik burchaklariga bog'liq va quyosh faolligi turli sharoitlarida *GPS L1*

chastotalar uchun, oʻrta-kenglik ionosferalari uchun kechikishlar koʻrsatilgan.

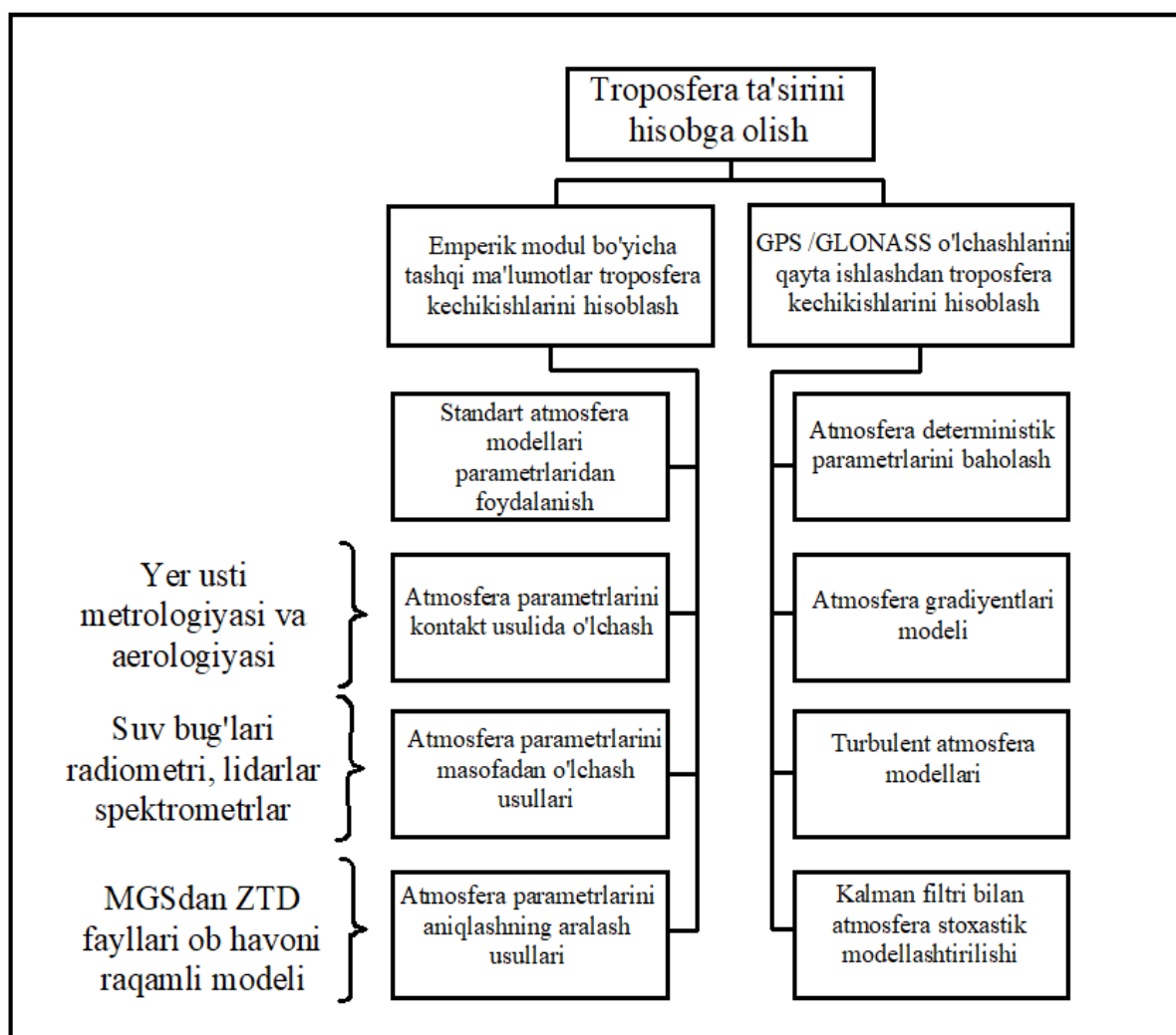


17.1-rasm. Ionosfera va troposfera kechikishlari va ularning xatolarini oʻrtacha kenglik va turli balandliklardagi oʻrtacha shartlar uchun taqqoslash [115].

17.1-rasmda kuzatilgan, bir nechta muhim omillarni belgilaymiz. Birinchidan, katta balandlik burchaklaridagi troposfera kechikishlari, quyosh faolligi minimum shartlari uchun, oʻrta kengliklardagi ionosfera kechikishlariga oʻxshashdir. Ikkinchidan, 5° minimal balandliklargacha zenitga yoʻnalishlardan kechikishlardagi oʻzgarishlar, ionosfera uchun 3 marta, ammo troposfera uchun 10 marta koʻpayish bilan sodir boʻladi. Bu shu bilan tushuntiriladiki, troposfera yer yuzasidan boshlanadi, ushbu vaqtda, ionosfera zichlik nuqtasi, 250–300 kilometr ga yaqin balandlikka toʻgʻri keladi. Shunday qilib, troposfera qatlami qalinligining oshishi, ionosferaga qaraganda, tez sodir boʻladi, u katta balandlikda joylashgan. Nihoyat, 1σ kechikishlarni aniqlash xatolari taxminiy qiymatlariga eʼtiborni qaratamiz (17.1-rasmda ular shtrixlar bilan belgilangan). Ionosfera kechikishlaridagi xatolar, oylik oʻrtacha shartlar

bo'yicha butun sutka vaqti mobaynida, yil vaqtidan va quyosh darajasi va geomagnit faolligidan qat'i nazar, 25% ga yaqinni tashkil qiladi. Troposfera uchun bu xato kechikish qiymatidan 5% ga kam.

Troposfera kechikishlarini hisobga olishning ko'plab usullari ishlab chiqilgan, ularni ikkita guruhga bo'lish mumkin (17.2-rasm). Ularning birinchisida kechikish ayrim tashqi ma'lumotlar bo'yicha hisoblanadi va ayrim modellar bilan (Xopfield, Saastamoynen va boshqalar) mos ravishda o'lchashlarga kiritiladi. Ushbu usul, odatda tijorat ta'minot dasturlarida qo'llaniladi. Troposfera ta'sirlarini hisobga olish usullarining ikkinchi guruhi masofadan zondlash vositasidek, *SRNS* signallaridan foydalanadi, ularda troposfera parametrlari o'lchashlari *GPS/GLONASS* qayta ishlashlaridan aniqlanadi.



17.2-rasm. Troposfera kechikishlarini hisobga olish usullari

Qo'llaniladigan pozitsionirlash usuliga bog'liq, koordinatalarda har xil siljishlarni kutish mumkin. Agar absolut aniqlanishlardagi troposfera tuzatmalari hisobga olinmaganda, unda bu, yo'ldoshgacha masofalarda, zenitda 2.5 metrdan va 5° balandlikda 25 metrgacha xatoni beradi; punktlarning topilgan balandliklari, ularning haqiqiy qiymatlariga nisbatan, haddan tashqari oshirib yuboriladi. Balandlik bo'yicha punktning siljish qiymati, taxminan, balandlik bo'yicha kesishish burchagi uchun, aks ettirish funksiyasiga proporsionaldir (VDOP aniqlikni yo'qolish koeffitsiyentini, ushbu holatda qo'llash mumkin emas, chunki u, kesishtirish geometriyasi va tasodifiy xatolar ta'siri bilan bog'langan). Natijada, 5° balandlik niqobida, punktning balandligida 25 m siljishni topamiz. Bu xato odatda, yer usti va dengiz navigatsiyasi uchun unchalik muhim emas, ammo havo navigatsiyasi uchun, ayniqsa, havo kemalarini qo'ndirish jarayonida katta muammo hisoblanadi. Aynan bu, kanadalik olimlarni aviatsiya uchun UNB3 troposfera kechikishi maxsus modelini ishlab chiqishga undadi. UNB3 modelidagi xatolar tarqatilishi $\sigma = 5 \text{ sm}$ nol o'rtacha standart xatolik bilan tavsiflanadi. Normal tarqatilishni UNB3 modeli xatolari juda yaxshi tavsiflaydi, taxminan, $\pm 4\sigma$ gacha, bu yerda qoldiq xatolar qiymati $\pm 20 \text{ cm}$ ga deyarli aniq teng. Balandlikni aniqlash xatosi 5° balandlik niqobida, 0.5 m darajada bo'ladi [77].

Differensial usulda pozitsionirlashda, tayanch stansiyadagi troposfera tuzatmalari hisoblangani, mobil stansiya uchun, priyomniklar orasidagi masofalar 10 km undan ko'p bo'lganida, 10–20 sm ga xatolikni beradi [137].

Fazali differensial va nisbiy aniqlanishlarni qayta ishlashlar, Standart atmosferaga asoslangan, ayrim tuzatma modellari bilan mos ravishda o'tkaziladi. Yo'ldoshgacha masofalardagi qoldiq xatolar, punktlar orasidagi masofa va ular orasidagi balandliklar farqlari, haqiqiy sharoit bilan modelli atmosfera mos kelmasligiga bog'liq. Qoidadagidek, bu usul asos chiziqlaridagi nisbiy xatolarni $2 \cdot 10^{-6}$ darajada ta'minlaydi.

Agar juda yuqori aniqlik talab etilsa, unda troposfera kechikishiga, o'lgangan meteoparametrlar (harorat, bosim, namlik) bo'yicha, modellarga ayrim tuzatmalar bilan mos ravishda kiritiladi. Ta'sirni hisobga olish aniqligi o'lchash usullari bilan aniqlanadi: kontaktli (yer usti o'lchashlari, aerologik o'lchashlar) yoki masofali (suv bug'lari

radiometrlari, lidarlar qoʻllanilganida). Oʻlchash usuli qanchalik aniq boʻlsa, u shunchalik qimmat boʻladi. Masofadan zondlashning eng mukammal usullari, kechikishlarni aniqlashni, taxminan, 6 mm gacha aniqlik bilan taʼminlaydi.

Oʻlchashlarni qayta ishlash jarayonida troposfera kechikishlarini aniqlash, ilmiy dasturlarda va ayrim tijorat qayta ishlashlarida foydalaniladi. Ortiqcha nomaʼlumning qoʻshilishi, odatda seansning yetarli boʻlmagan davomiyligida asosiy parametrlarni aniqlash aniqligini yomonlashtiradi. Xalqaro Geodezik stansiyalari qayta ishlash natijalaridan yoki Amerika MAPS turidagi ob-havo raqamli modellari [133] yoki Yevropa NWPdan [111] foydalanish uchun maxsus taʼminot dasturi kerak boʻladi.

Ishlab chiqilgan usullarning koʻpligi, tezislarda, troposfera taʼsirini hisobga olish, yuqori aniq oʻlchashlarda, eng qiyin omillardan biri boʻlib qolganligini tasdiqlaydi [67, 96, 114, 158].

Absolut usuldagi troposfera va ionosfera bosh taʼsirlari – bu punktlar balandliklaridagi xatolar, nisbiy usulda esa, kichik toʻrlardagi – bu masshtablarga taʼsirdir. Atmosfera bilan toʻliq eʼtiborsizlik toʻrning kengayishiga olib boradi. Biroz soddalashtirilgan masshtab xatosini, zenit yoʻnalishidagi ΔR metrlarda atmosfera siljishi natijasida quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{M_D}{D} = \frac{1}{\cos z_{\max}} \cdot \frac{\Delta R}{R}, \quad (17.4)$$

bu yerda: $z_{\max}$ – maksimal zenit masofasi; $R \approx 6.4 \cdot 10^6 \text{ m}$ – yer radiusi.
 $z_{\max} = 70^\circ$ uchun, taxminan,

$$\frac{M_D}{D} = 0.4 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta R. \quad (17.5)$$

Modellashtirilmaydigan siljishlar natijasida, troposfera kechikishlarini hisobga olish xatolari (zenitga yoʻnalishlarda), barcha stansiya toʻrlari uchun umumiy, agar bosim, harorat va namlik barcha stansiyalarda oʻlchanganda, 5 sm dan kam boʻlishi kerak. Shunday qilib, ikki chastotali oʻlchashlar natijasidagi atmosfera bilan kiritiladigan, masshtab xatolari, kichik toʻrlarda, umuman $0.2 \cdot 10^{-6}$ kam [60].

17.4. GPS o'lchashlaridagi korrelyatsiya

GPS ma'lumotlarini qayta ishlash, o'lchashlar to'plami bo'yicha noma'lum parametrlar qiymatlarini hisoblashni yoki kuzatishlarni, dastlab ba'zi yo'llar bilan birlashtirgan, ular baholanadigan parametrlar qiymatlari sifatini ifodalaydi. Shubhasiz, kichik kvadratlar usuli bo'yicha baholash, kerakli baholashni olish uchun, eng ommabop usulni yaratadi. Ushbu usulni, yagona matematik jarayonda, noma'lum parametrlar to'liq vektorini aniqlash uchun, barcha kuzatishlarni bir vaqtda qo'llab, "paketli" algoritmda kuchaytirish mumkin.

Kalman filtrini muqobil qo'llash mumkin, u kichik kvadratlar usuli rekursiv algoritmini ifoda etadi. Bu jarayon, ularni kuzatishlardan to, hisoblash momentlarigacha olib borish, vaqtinchalik parametrlarga asoslangan baholash imkonini beradi. Shu sababli, Kalman filtri asosan, navigatsiya qo'llanishlari uchun (haqiqiy vaqtda) to'g'ri keladi.

Agar bizga, kichik kvadratlar usuli mezonlari (vaznli) bilan mos ravishda, parametrlarni baholashni hisoblash kerak, biz kuzatishlar orasidagi nisbatni va noma'lum parametrlar bilan, koordinatalarni qo'shganda, mumkin bo'lgan atmosfera kechikishlari va yana bunday "halaqit beruvchi" parametrlar, soat xatolari va fazali noaniqliklardek, *determinik* yoki *funksional* modellarini ko'rsatishimiz kerak. Bizga soatlar xatolari yoki fazali noaniqliklarni bilish shart emas, garchi bo'lganida ham, bu parametrlar modelda aniq qatnashishi shart, ularni biz aniqlashimiz kerak.

Sovqin kuzatishlari tavsiflarini tasvirlash uchun bizga funksional modelga qo'shimcha *stoxastik model* kerak bo'ladi. Bu maqsadlar uchun kovariatsiya matritsasi xizmat qiladi. Bu matritsa psevdouzoqlik va fazalarni kuzatishlar korrelyatsiyasi (o'zaro bog'liqlik) va aniqligini tasvirlaydi. Bosh diagonalda dispersiya (dispersiyadan kvadrat ildiz, standart og'ishni yoki o'rtacha kvadratik xatolikni beradi), diagonal bo'lmagan elementlar esa, kovariatsiya hisoblanadi (ulardan korrelyatsiya koeffitsiyentlari oson topiladi). Baholash natijalari optimalini topish uchun, kichik kvadratlar usuli algoritmda, vaznli matritsadek, teskari kovariatsion matritsa funksiyalanishi kerak.

Korrelyatsiya o'zgaruvchilar orasidagi o'zaro bog'liqlikni ifodalaydi. Korrelyatsiya chiziqli bog'likligi bilan x va y ikkita o'zgaruvchi uchun quyidagidek ifodalanadi:

$$r_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (17.6)$$

bu yerda:

- σ_x - x uchun standart og'ish;
- σ_y - y uchun standart og'ish;
- σ_{xy} - x va y orasidagi korvariatsiya.

Korrelyatsiya koeffitsiyenti qiymati -1 va $+1$ orasidagi diapazonlarda yotadi. Ikkita o'zgaruvchi korrelyatsiyasi ± 1 maksimumga yaqinlashganida, bunday o'zgaruvchi, ular kuchli korrelyatsiyalangan, deb gapiriladi. Korrelyatsiya, bitta qiymatdagi o'zgarish boshqasida, albatta, bo'lishi mumkin bo'lsada, o'zgarish keltirib chiqaradi degani emas. Ko'plab hollarda, tashqi ta'sirlar ikkala o'zgaruvchiga ham bir xil tarzda ta'sir ko'rsatadi. Yo'ldoshli o'lchashlarda uchraydigan, ikkita turdagi: *fizik korrelyatsiya* va *matematik korrelyatsiyalar* bor.

Matematik korrelyatsiya matematik modellar parametrlariga tegishli. Uni ikkita ko'rinishga ajratish mumkin, ular tenglashtirishning matematik modellari ikkala komponentlariga: funksional korrelyatsiya va stoxastik korrelyatsiyaga mos keladi.

Funksional korrelyatsiyada, bir nechta kattaliklar bitta va kuzatishlar modelida, ushbu parametрни qo'llaydi va ularga ushbu parametrlarning xatolari ta'sir qiladi. Funksional sozlangan qiymatlarga misol bo'lib, priyomnik soatlari yoki yo'ldosh soatlari xatolarida kiritiladigan, fizik korrelyatsiyani hisobga olish uchun foydalanadigan, bir yo'llik kuzatishlar modelida soatlar tuzatmalari xatolari hisoblanadi.

Stoxastik korrelyatsiya (yoki *statik korrelyatsiya*), korvariatsiya matritsasida no'ldan farq qiluvchi diagonal bo'lmagan elementlar qatnashganida, kuzatishlar orasida sodir bo'ladi. Bu korrelyatsiya, shuningdek, dispersiyani uzatish qoidasi natijasida kuzatish funksiyalari ko'rib chiqilayotganida (masalan, fazalar farqlari hosil qilinayotganida) uchraydi. Ammo, agar kuzatishlar kovariatsion matritsasi diagonal (stoxastik korrelyatsiyasiz) hisoblanadi, kichik kvadratlar usuli bo'yicha baholash parametrlaridan topilgan, kovariatsion matritsa, odatda to'liq matritsa bo'ladi va shuning uchun stoxastik korrelyatsiyani ko'rsatadi.

Absolut usuldagi punktning joylashgan aniqligi, funksional modeldagi kuzatilgan qiymatlar funksiyalari aniqligi hisoblanadi. Yo‘ldoshning joylashuvidagi xatolar natijasida, yo‘ldoshning va priyomnikning soatlaridagi xatolar va psevdouzoqliklar qo‘llanilganida, punktning absolut joylashuvi signallarning tarqalishidagi kechikishlarda, bir necha metrlardan yaxshi bo‘lmagan (va hatto o‘nlab metrlar) aniqlikka ega bo‘ladi. Ammo, *GPS* va *GLONASS* tizimlaridagi xatolar manbayi (yo‘ldoshlar orbitalari, yo‘ldoshlar va priyomniklar soatlari, atmosfera-dagi tarqalishlar va boshqalar), bir nechta stansiyalarda qabul qilingan, signallar orasida ayrim *fizik korrelyatsiyalarni* ko‘rsatadigan bo‘ladi, ular bir vaqtda, ushbu yo‘ldoshlar to‘plamini kuzatadi. Shuning uchun, geodezik qo‘llanishlar uchun, nisbiy yoki differensial usullardan foydalanish kerak bo‘ladi, bunda ikki yoki undan ko‘p priyomniklar, bir vaqtda bitta va ushbu yo‘ldoshlarni kuzatishi kerak. Unda bu fizik korrelyatsiyalar, funksional modeldagi umumiy a‘zolar siljishidek, modellashtirish mumkin. Matematik jarayonlardan foydalanilganida, bular, kuzatishlar parametrlari farqlarini hosil qilishdek, bu ta’sirlarni, santimetrli aniqlikka erishib, chiqarib tashlash yoki sezilarli darajada zaiflashtirish mumkin. Shunga ko‘ra, stansiyalar orasidagi masofalar uzunroq bo‘ladi, bu atmosfera kechikishlari va orbita xatolaridan fizik korrelyatsiyani zaiflashtiradi.

Fundamental muammo, u bilan, ayirish jarayoni bajarilayotganida duch kelinadi – bu aniq va har tomonlama aniqlashdir, bu qay darajada elementlar sozlangan hisoblanadi va ularni qanchalik yaxshi modellashtirish mumkin. Fizik korrelyatsiya tabiatiga ko‘ra, fazoviy va vaqtinchalik yoki bir vaqtda, shunday va boshqacha bo‘lishi mumkin. Bunga misol refraksiya kechikishi hisoblanadi, ular troposfera va ionosfera orqali, ularni o‘tishida yo‘ldoshlar mikroto‘lqinli signallarini sinaydilar. Bu kechikishlar fazoviy va vaqtinchalik fizik korrelyatsiyalarning sezilarli manbalari hisoblanadi, ularni hisobga olish qiyin.

Tajriba ma’lumotlari asosida A. El-Rabbani eksponensial korvariat-siya funksiyasini keltirib chiqardi, u *vaqtinchalik fizik korrelyatsiyani* tasvirlaydi:

$$r(\tau) = \exp\left(\frac{\tau}{T}\right), \quad (17.7)$$

bu yerda: $r(\tau)$ – vaqtinchalik kechikish uchun τ korrelyatsiya koeffitsiyenti (sekundlarda), T esa- vaqtinchalik korrelyatsiya uzunligi (sekundlarda). T oddiy qiymati 250–350 sekundlarga yaqinni tashkil etadi, ya'ni ma'lumotlar, ushbu priyomnik va ushbu yo'ldoshdan, 350 sekund orqali va undan ko'p vaqtda to'plangan, to'lig'icha korrelyatsiyaning magandek ko'rish mumkin (ular uchun korrelyatsiya koeffitsiyenti no'lga teng bo'ladi). $r(\tau)$ qiymati ma'lumotlarni yig'ish turli sur'atlari uchun (davrlar orasidagi intervallarda) (17.7) formula bo'yicha quyidagilarga teng: 0.996, 0.981, 0.944, 0.891, 0.794 – mos ravishda τ intervallar uchun, quyidagilarga teng: 1, 5, 15, 30, 60. Shu sababli, agar ma'lumotlar yig'ish sur'ati doimiy hisoblansa, unda ikki davr orasidagi korrelyatsiya koeffitsiyentlarini quyidagidek ifodalash mumkin:

$$r(i) = r(1)^i. \quad (17.8)$$

Masalan, $r(1) = 0,944$, 15 sekunda ma'lumotlarni yig'ish intervalida va navbatdagi davrlar orasidagi ma'lumotlar uchun korrelyatsiya koeffitsiyenti 0.944 ga teng, 30 sekund orqali ma'lumotlar ikkita to'plami uchun, ammo u $0,944^2$ teng va 45 sekund orqali ma'lumotlar ikkita to'plami uchun $0,944^3$ teng va boshqalar. Shu sababli, vaqtinchalik korrelyatsiya, ma'lumotlar orasidagi intervallarning oshishi bilan kamayadi. Bunday keltirib chiqariladigan empirik korrelyatsiyalarni, bir yo'llik kuzatishlar korvariatsiya matritsasiga kiritish mumkin emas va tijorat dasturlari uni odatda, hisobga olmaydi. Bu asos chizig'i aniqligining oshishiga olib keladi.

Tashuvchi fazalarni kuzatish berilgan *farqlarini hosil qilishda* va ularning matematik modelida modifikatsiya qilinadi, shu sababli, topilgan kuzatish parametrlarida *matematik korrelyatsiya* qatnashadi. Bu matematik va stoxastik modellarni o'zgarishini bildiradi.

Chunki ikkilamchi farqlarni hosil qilish jarayoni, topilgan kuzatishlarga matematik korrelyatsiyani kiritadi, unda ikkilamchi qayta ishlangan va farqlarni hosil qilmasdan fazalarni qayta ishlash orasidagi matematik ekvivalentlikni ta'minlash uchun, ikkilamchi farqlarni kuzatish korvariatsiya matritsasini hosil qilish kerak bo'ladi, u kuzatishlar parametrlari orasidagi korrelyatsiyani ifodalaydi. Amalda, har qaysi davr uchun korvariatsiya matritsasini hisoblash majburiy emas, chunki u faqat, ikkilamchi farqlarni hosil qilish uchun

foydalaniladigan, “yo‘ldosh – priyomnik” o‘lchash kombinatsiyalarida o‘zgaradi. Uchlamchi farqlar ma’lumotlari ham, matematik sozlangan.

Ayirish natijasida paydo bo‘luvchi, tijorat dasturlari to‘plamlarining ko‘pchiligida, matematik korrelyatsiya, odatda e’tiborga olinmaydi va ikkilamchi va uchlamchi farqlar uchun diagonal matritsadan foydalaniladi. Ma’lumotlarni tenglashtirishdagi, bu soddalashtirishning ta’siri, odatda qisqa asosli chiziqlar uchun kam, $(1 \div 2) \cdot 10^{-6}$ bo‘lishi mumkin. Ikkita va undan ko‘p priyomnik (ikkita yoki undan ko‘p mustaqil asos chiziqlari) bilan bir vaqtda kuzatishlarda hosil qilingan, ikkilamchi farqlarda matematik korrelyatsiyani e’tiborga olinmasligi, bitta asos chiziqlari qayta ishlashlari va ko‘p asos chiziqlari orasidagi bosh farq hisoblanadi [23, 143, 145, 153].

18-BOB. DALA O'LCHASH ISHLARINI BAJARISH TEXNOLOGIYASI

18.1. Ishlar bajarilishining umumiy tartibi

GLONASS / GPS yo'ldoshli apparaturalari bilan ishlarni bajarish texnologiyasi quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- obyektidagi geodezik ishlar loyihasini tuzish;
- rejimli yoki xususiy territoriyalarda ishlash hamda radiostansiyaning ishlashi uchun, ruxsat olish;
- dala rekonstruksiya, uning natijasida obyekt, ishlarning bajarilish tartibi va o'lchashlarning material-texnik ta'minoti xususiyatlari to'g'risida xulosalar qilinadi. Yakunida dala ishlari loyihasi tuziladi va kerakli kartografik materiallar tayyorlanadi;
- markazlarni o'rnatish;
- asos stansiyalarini tashkil qilish (agar texnologiya buni talab etsa);
- kuzatishlar seansini rejalashtirish, ular, o'lchashlar optimal vaqtinchalik intervallarini aniqlashni, seanslar ketma-ketligi loyihalanişini yoki plan olish obyektlarining aylanish marshrutlarini, o'z ichiga oladi;
- topografik obyektlarning kodlari bilan jadvallar tuzish va obyektlar klassifikatorida texnik topshiriqda ko'rsatilishi bilan mos ravishda shtrix-kodli kartalarni bosib chiqarish. Bu topografik yoki GAT plan olishlarini samarali bajarish uchun keraklidir;
- dala o'lchashlari (obyektlarni planga olish);
- kameral qayta ishlash, o'lchash natijalarini chiqarish;
- texnik hisobotni tuzish va kerakli hujjatlarni rasmiylashtirish;
- dala nazorati, materiallarni arxivlash va topshirish.

Ishlar ro'yxatidan ko'rinadiki, yo'ldoshli va an'anaviy texnologiyalarda ko'plab umumiylik bor, keyinchalik faqat yo'ldoshli texnologiyalar tavsifli xususiyatlari muhokama qilinadi.

Ayrim mualliflarning tavsiyalariga asoslangan, yana bir ko'rinishdagi tadbirlarni ko'rsatamiz (masalan, [149]). Bu kuzatuvchilarni dalaga chiqishdan oldin o'qitish. Bu, yangi apparaturani (priyomniklar, kontrollerlar) yoki dasturiy ta'minotni qo'llanilishi rejalashtirilayotganida, ayniqsa muhimdir.

Tashkiliy-huquqiy nuqtayi nazardan, plan olish uchun qo'llaniladigan apparatura quyidagi hujjatlarga ega bo'lishi kerak:

- davlat territoriyasida, ushbu apparaturadan foydalanish huquqini beruvchi sertifikat;
- asbob (apparaturalar)ning dala ishlari davridagi pasport ma'lumotlarini tasdiqlovchi, meteorologik tekshirish haqidagi guvohnoma;
- Bosh radiochastota markazini radiomodemlardan foydalanishga ruxsat berishi.
- Topografik-geodezik ishlarni olib boruvchi, tashkilot, to'g'ri keluvchi litsenziyaga ega bo'lishi kerak.

18.1.1. Pozitsiyalash usulini tanlash

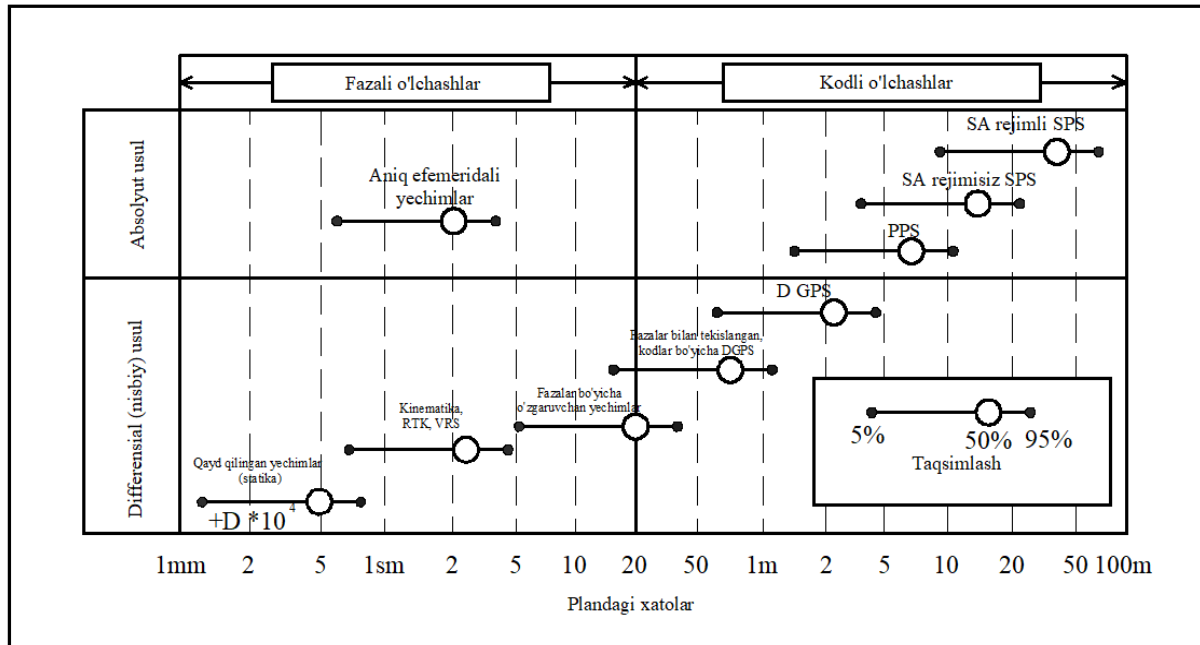
Koordinatalarni aniqlash usulini asoslash. O'lchash usullarini tanlash, agar mos keluvchi me'yoriy hujjatda ko'rsatilmagan bo'lsa, ko'plab omillarga bog'liq bo'ladi, bular ma'lumotlar tezkorligiga talablar, tayanch punktlardan uzoqlashish darajasi, ishlar dinamikasi tavsiflari, mos keluvchi infrastrukturaning mavjudligi va boshqalardek. Ammo, bosh omil bo'lib, albatta, usulning potensial aniqligi hisoblanadi. 18.1-rasmda bugungi kunda, pozitsionirlash usullarining ko'pchilikga kirish imkoniyati mavjud bo'lganlari uchun aniqlik diapazoni ko'rsatilgan. Kompyuter texnologiyalaridagi tez taraqqiyot, aloqa vositalaridagi, SRNSni modernizatsiyasidagi, apparaturadagi va algoritmlardagi takomillashtirishlarga, yangi usullarning paydo bo'lishiga va mavjud usullarni sezilarli darajada yaxshilanishiga olib keldi. Geodezik ishlarni bajarishda, odatda to'rtta pozitsionirlash usuli qo'llaniladi:

- kodli psevdouzoqliklar (SPS) yoki psevdouzoqliklar bo'yicha absolut pozitsionirlash, tashuvchi fazalar bo'yicha tekislash (metrlar birligi darajasida aniqlik);

- kodli psevdouzoqliklar (SPS) yoki psevdouzoqliklar bo'yicha differensial pozitsionirlash (lokal, regional, keng zonali) tashuvchi fazalar bo'yicha tekislash (bir metr darajasidagi aniqlik);

- RTK usuli bilan, RTK to'g'ri, tashuvchi fazalar bo'yicha differensial pozitsionirlash (0.01–0.5 m tartibida aniqlik), VRS tayanch stansiyasi virtual texnologiyasini qo'llash;

– tashuvchi fazalar bo'yicha nisbiy pozitsionirlash (noaniqliklar ruxsat etishlari shartlari bo'yicha miilimetrlar birligidan bir necha santimetrlargacha aniqlik).



18.1-rasm. GLONASS / GPS o'lchashlar usullari aniqligi ([98] maqolasi bo'yicha).

Absolut pozitsionirlashda bitta priyomnik (nuqtani pozitsionirlash) bilan koordinatalarni aniqlash tushuniladi. Differensial yoki nisbiy pozitsionirlashda – bu ish, minimum juft priyomniklarda, ulardan biri – koordinatalari ma'lum bo'lgan, asos yoki tayanch punktda joylashgan. “Nisbiy pozitsionirlash” o'rniga ko'pincha “differensial pozitsionirlash” atamasi qo'llaniladi (masalan, [42]. Bu ikki usul (hech bo'lmasda, nazariy) turli xil hisoblanadi. Differensial pozitsionirlash, nuqtani pozitsionirlashni eng yaxshi usuli hisoblanadi va noma'lum punktda psevdouzoqlikka (kodli yoki fazali) oldindan aytilgan tuzatmalarni qo'llashga asoslangan. Bu usul lahzalik yechimlarni (odatda, haqiqiy vaqtdagi yechimlar deb ataladigan) ta'minlaydi, bu yerda tayanch stansiyaga nisbatan, yaxshilangan aniqlikka erishiladi.

Oldinlari nuqtali pozitsionirlash navigatsiya bilan nisbiy pozitsionirlash esa – geodezik aniqlik o'lchashlari bilan bog'liq bo'lgan. Xuddi shunday “nisbiy” atamasi tashuvchi fazalar bo'yicha kuzatishlar uchun, “differensial” atamasi esa – kodli psevdouzoqliklar bo'yicha kuzatishlar uchun foydalanilgan [100].

Haqiqiy vaqt rejimi yoki post-qayta ishlashlar. Texnologiyalarni tanlashdagi boshqa muhim talab, ma'lumotlarni taqdim etish muddatidan aniqlanadi. Ma'lumotlarni tezlik bilan olish, ya'ni nuqtaga amalda birdaniga, haqiqiy vaqt rejimida mumkin bo'ladi. Agar joylashgan o'rnini hisoblash uchun, yagona davr kuzatishlaridan foydalanilsa va qayta ishlashlar vaqti ahamiyatsiz bo'lsa, natijalarni "lahzalik" dek qarash mumkin. GPS boshlang'ich konsepsiyasi, tekislanmagan kodli psevdouzoqliklar bo'yicha harakatlanayotgan kema (masalan, avtomobil, samolyot) lahzalik navigatsiyasiga maqsad qilinganda edi. Boshqa va kamroq jiddiy haqiqiy vaqt rejimida aniqlashda – bu kuzatish, ular bir necha sekund kechikish bilan natijalarni hisoblashni o'z ichiga olar edi. Jiddiy aytganda, bu natijalar deyarli haqiqiy vaqtdagidir. Bugungi kunda, ma'lumotlarni uzatish turli usullari, haqiqiy vaqtdagi turli punktlardan o'lchashlarni birlashtiradi. Post-qayta ishlashlar haqidagi, ma'lumotlar punktga kelganidan keyin qayta ishlanganida, gapiriladi.

Statik va kinematik pozitsionirlash. Statika rejimi deb, joylashgan o'rnini stansionar kuzatishlarga aytiladi, ushbu vaqtda, kinematika rejimdagidek, harakatdagi o'lchashlarni taxmin qiladi. Statik rejimda signalni ushlashni vaqtinchalik yo'qolishi, kinematik rejimdagidek, bunday kritik hisoblanmaydi.

"Statika" va "kinematika" atamalarini, nuqtali yoki nisbiy pozitsionirlash kontekstida, qarash kerak bo'ladi. Bu rejimlarni tipik misollari, bu atamalar bilan o'quvchilarni tanishtirish uchun beriladi.

Agar nuqtaning koordinatalari o'rtacha aniqlikka (1–5 m) ega bo'lganida, kodlar bo'yicha *statik nuqtali pozitsionirlash* foydalidir.

Kinematik nuqtali pozitsionirlashdan, apparatning uch o'lchamli traektoriyasini aniqlash uchun, vaqtning funksiyasidek foydalanish mumkin. Shuning uchun, kinematik pozitsionirlash uchun tipik misol, kemalar navigatsiyasi hisoblanadi. Ayrim priyomniklar, fazalar bilan tekislangan, psevdouzoqliklar bo'yicha aniq navigatsiyani (traektoriya o'lchashlari) bajarishi mumkin.

Tashuvchi fazalar bo'yicha *statik nisbiy pozitsionirlash*, pozitsionirlashning eng aniq usuli hisoblanadi va eng ko'p geodezistlar tomonidan foydalaniladi. Bu usul ikkita statsionar priyomniklar orasidagi asos chiziqlari vektorini aniqlash uchun mo'ljallangan. Statik plan olishlarda 10^{-6} – 10^{-7} aniqlikka va hatto yaxshiroqga ham erishish

mumkin, bu bir necha kilometr uzunlikdagi asos chiziqlarida millimetrli aniqlikka ekvivalentdir.

Kinematik nisbiy pozitsionirlash, bitta statsionar va bitta harakatlanuvchi priyomnikni (yoki bir necha priyomniklarni) o‘z ichiga oladi. Ikkita priyomnik bir vaqtda kuzatishlarni bajaradi. Bir necha tayanch stansiyali usulda, statsionar priyomniklar to‘ridan foydalaniladi. Bu usulning asosiy qo‘llanilishi, asosan xuddi shu, kinematik nuqtali pozitsionirlashdek, ammo santimetrli aniqlik darajasiga erishish mumkin. Asos chiziqlari stansiyalari orasidagi radioaloqadan foydalanish, haqiqiy vaqtdagi (RTK) kinematik rejimga olib keladi. Ma’lumotlarni (fazalar yoki fazali tuzatmalar) turlariga bog‘liq, ular haqiqiy vaqtdagi mobil priyomnikga uzatiladi, usul nisbiy yoki differensial pozitsionirlashga tegishli bo‘ladi.

18.1.2. Apparaturni tanlash

Turli xil ishlar uchun, apparaturalarni tanlash muammolari, bir qator nashrlarda yoritilgan [57,100] va boshqalar. Priyomnikni va hamrohlik qiluvchi apparaturalarni to‘g‘ri tanlash, kerakli aniqlikka va minimal material xarajatlarida yuqori unumdorlikka erishish imkonini beradi yoki kutilmagan ko‘ngisizliklardan saqlaydi. Shuni ham yodda tutish kerakki, ko‘plab priyomniklar opsiyalar to‘plamiga ega, ularning har qaysisi uchun qo‘shimcha haq to‘lash kerak bo‘ladi. Ularning imkoniyatlariga (va narxlariga) bog‘liq holda, yo‘ldoshli priyomniklar taxminiy shkalasini quyidagicha tuzish mumkin:

- GPS yoki GLONASS standart kodi bo‘yicha navigatsiya uchun kodli priyomnik;
- post qayta ishlashlaridagi differensial rejim bilan kodli priyomnik;
- haqiqiy vaqtda differensial rejim bilan kodli priyomnik;
- tashuvchi fazalar bo‘yicha psevdouzoqliklarni tekislash bilan kodli priyomnik;
- fazali bir chastotali priyomnik (statika talab qilinadi, tez statika, haqiqiy kinematika va “to‘xta” – “yur” (Stop-and-Go) kinematikasi – kerak bo‘lganida);
- ushbu imkoniyatlari bilan va haqiqiy vaqtdagi ishlash imkoniyati bilan fazali bir chastotali priyomnik;

– fazali ikki chastotali priyomnik, bir chastotali priyomnikka o'xshash, statika, tez statika, haqiqiy kinematika, "to'xta" – "yur" imkoniyatlari bilan, haqiqiy vaqtdagi yoki faqat post-qayta ishlash imkoniyatlari bilan.

Yo'ldoshli apparaturalarni ayrim qiymatlarini ko'rib chiqamiz.

1. *Qabul qilinadigan signallarning turlari, fazalarni o'lchash usullari.* Priyomniklarning koordinatalarni aniqlash uchun, beshta turdagi signallar: S/A -kod, ikkita chastotalarda $P(Y)$ -kod va ikkita chastotalarda tashuvchi fazalar foydalanish mumkin. Hozirda yangi turdagi signallar paydo bo'lmoqda. Millimetrli aniqlikni, faqat tashuvchi fazalarni o'lchashlar ta'minlashi mumkin, kodning fazasi faqat, metrli aniqlik darajasini berishi mumkin. Bir chastotali o'lchashlarning asosiy kamchiligi, ionosfera kechikishini aniq hisobga olish imkoniyatiga ega emasligidan iborat. Ammo kam uzunlikdagi asos chiziqlari uchun, taxminan 20 km gacha, ikki chastotali priyomnikdek, bir chastotali priyomniklar ham shunday natijalarni ta'minlaydi, chunki ionosfera refraksiyasi (asosan), asos chiziqlari punktlari orasidagi fazalarni o'lchashlarni ayirishda chiqarib tashlanadi. Asos chiziqlari uzunligi, quyosh dog'lari yuqori faolligi davrida kamayishi mumkin. Ikkita chastotalarda kuzatishlar ionosfera ta'sirini sezilarli darajada zaiflashtiradi va juda tez (taxminan 1.5–2 marta) va ishonchli natijalarni ta'minlaydi.

Geodezik priyomniklar bozorida eng ko'p tarqalgani, tashuvchi chastotalar to'liq to'lqinli fazasini kuzatuvchi, korrelyatsiyalar bilan kodlar bo'yicha ko'p kanalli priyomniklar hisoblanadi. To'liq to'lqin uzunligi bilan L_1 va L_2 chastotalarda fazalarni aniq o'lchashlarni, to'lqin uzunligi 86 sm bo'lgan farqlar kombinatsiyalarini hosil qilib, birlashtirish mumkin. Bunday kombinatsiyalarning butun noaniqligi, to'lqin uzunligi 19 sm bo'lgan tashuvchi fazalarga qaraganda, sezilarli darajada oson yechiladi. Ammo, signallarni qayta ishlash boshqa usullaridan foydalanuvchi (fazalar urishini kvadratlash bilan kodsiz, kodning fazasi bo'yicha kuzatishlar yoki boshqa usullar), agar ularning attestatsiyasidan olinadigan natijalar talab etilgan aniqlikni tasdiqlasa, boshqa priyomniklardan ham foydalanish mumkin bo'ladi.

2. *Priyomnikdagi kanallar soni.* Barcha ko'rinadigan yo'ldoshlarni kuzatish uchun (all-priyomnik, in-view konsepsiyasi), faqat GPS bo'yicha ishlaydigan, yuqori aniqlikdagi priyomniklar, kamida 12 ta

kanallarga ega bo'lishi kerak. Agar priyomnik ikkita tizimda ishlasa, unda kamida 20 ta kanallarga ega bo'lishi kerak. Bu aniqlikni, ishonchlilikni va natijalarni olishda tezlikning oshishiga olib keladi. Qoniqarli natijalarni olish uchun, faqat 5 ta yo'ldoshlar bilan kuzatishlarda, priyomnik nuqtada bir soatlarga yaqin ishlashi kerak, ushbu vaqtda 10 ta yo'ldoshlar bilan kuzatishlarda esa, bir necha minut, ayrim hollarda, sekund yetarlidir. Yo'ldoshlarning ko'p soni (9 tadan ko'p) haqiqiy vaqt rejimidagi kinematika uchun, ayniqsa, foydalidir.

3. *Priyomnikning sezuvchanligi.* Priyomniklar 20 dB/Gs darajacha signallarni kuzatishi mumkin, deb hisoblanadi. Bunday sezuvchanlikda priyomnik, signallarni hatto, barglar orqali ham kuzatishi mumkin, u sezilarli darajada ularning kuchini zaiflashtiradi.

Priyomnikning ustunliklaridan biri, uning kuzatish zanjiridagi o'tkazish tasma-sini tanlash qobiliyati hisoblanadi, bu kinematika rejimida ishlash uchun, ayniqsa muhimdir. Signallar yo'qolishidan ogohlantirish uchun, o'tkazish tasmasi yetarlicha keng bo'lishi kerak, ammo "signal–shovqin" yuqori nisbatini ta'minlash uchun, yetarlicha tor bo'lishi kerak. Shuning uchun, priyomniklar optimal natijalarni ta'minlaydigan bo'ladi, ular o'zining dinamikasiga bog'liq holda, o'tkazish tasmasi kengligini moslashtirishga qodir.

4. *Bir tizimli va ikki tizimli priyomniklar,* ya'ni faqat GPS yoki GLONASS signallari bo'yicha yoki ikkala tizim signallari bo'yicha ishlaydigan. 55° (GPS yo'ldoshlari qiyalik qiymati) shimoliy parallelda joylashgan punktlar uchun, osmonning shimoliy qismida, Amerika yo'ldoshlari uchun kirish mumkin bo'lmagan, zona joylashgan, ammo u bo'yicha, GLONASS yo'ldoshlarining ko'rinadigan traektoriyalari o'tadi, bu DOR aniqliq pasayishi geometrik omillarini yaxshilaydi. Bu ayniqsa, yopiq va yarim yopiq territoriyalar (shahar "kanonlari", karyerlar va boshqalar) da ishlashlarda muhimdir.

5. *Oddiy ma'lumotlarni yozish tezligi:* statik o'lchashlar uchun, ma'lumotlarni yozish oddiy diskretligi – 15–30 sekund, kinematik qo'llanishlar uchun, bir muncha yuqori tezlik kerak bo'ladi, hatto 0.10–0.55 sekund bo'lishi mumkin.

6. *Signallarni qayta ishlash yo'li bilan ko'pyo'llilik ta'sirini zaiflashtirish.* Tashuvchi fazalar bo'yicha ko'pyo'llilik natijasidagi xatolar, antenna va aks ettiruvchi yuzalar orasida 30 metr va undan ko'p masofalarda, 1 millimetrdan kam bo'lishi kerak. Kodlar bo'yicha

ko'pyo'llilik natijasidagi xatolar, xuddi shu masofalarda, 1 metrdan oshmasligi kerak. Bu omilning qiymati aniq: ko'pyo'llilik aniqligini, ishonchlilikni va natijalarni olish tezligini yomonlashtiradi.

7. *Interferensiyani bostirish.* Priyomnikning ishiga boshqa manbalardan, ular *GLONASS – GPS* chastotalar tasma-siga tushganida, signallar garmonikasiga halaqit bermasligi uchun priyomnik interferensiyani, hech bo'lmaganda, 50 dB tasma-sida, bostirishi kerak bo'ladi.

8. *Antennalarni turlari va uning tavsiflari.* O'lchash aniqligi qancha yuqori bo'lsa, priyomnik antennalariga talab ham, shuncha yuqori bo'ladi. Geodezik priyomnik uchun, antenna fazali markazi planda, 2 mm ga qaraganda, yaxshi simmetriyaga ega bo'lishi muhimdir. Bu talab, yo'ldoshlar yordamida haqiqatdan hisoblanadigan joylashgan o'rni, anten-naning elektrik markaziga tegishliligi bilan tushuntiriladi. Keyinchalik u, ARP anten-nasining tayanch nuqtasiga, bundan keyin esa – o'lchangan antenna balandligi orqali punktning markasiga keltiriladi. Agar markaz, antennalar oriyentirlashi bilan mos ravishda aralashsa, unda bu hisoblangan joylashgan o'rniga xatoni keltirib chiqaradi. Antenna ko'rsatilgan tavsiflarga ega bo'lishi uchun, u to'rt tasmali iste'mol zanjiriga ega bo'lishi kerak. Geodezik priyomnikning anten-nasi, gorizontning tomoniga nisbatan, oriyentirlash uchun imkoniyatga ega bo'lishi kerak.

Signallarning ko'pyo'lliligiga qarama-qarshi turishi, anten-naning unchalik muhim qobiliyatlari hisoblanmaydi: bular aks ettiruvchi tekislikning mavjudligi yoki drossel halqasi, Stealth turidagi texnologiyalarning qo'llanilishidir. Ammo, yopiluvchi halqali antennalar – o'lchamlari bo'yicha katta, og'ir va kinematik o'lchashlar uchun yomon yondashishini bilish kerak. Anten-naning faqat, o'ng tomonli doiraviy qutblanish bilan signallarni qabul qilish qobiliyati ham, ko'pyo'llilikdan saqlaydi, chunki bir marta aks etgan signal, qutblanishini teskariga almashtiradi. Konus gumbazli antennalar, tekis antennalardan farqli, qushlardan yaxshi himoyani ta'minlaydi, bu asos stansiyalar uchun, ayniqsa, muhimdir.

Priyomnikdagi antennalar ichki va tashqi bo'lishi mumkin. Ayrim priyomniklarda, ikkala turdagi antennalar ham bo'ladi, unda tashqi antennaga ulanishda ichki antenna o'chadi.

9. *Tashqi signallar.* Priyomnik, *SRNS* vaqti bilan sinxronlashtirilgan, sekundiga 1 impuls (1 gers chastotali signal) chiqarishga ega

bo'lishi kerak. Bu vaqtni aniqlash, aerofotoplan olish va boshqalardek, ishlar uchun keraklidir. Priyomnik 25 ns dan yomon bo'lmagan vaqtni qayd qilish aniqligi bilan tashqi voqealar markeriga ega bo'lishi kerak, bu ko'plab turdagi kinematik plan olishlar uchun bularga aerofotoplan olish va boshqalardek keraklidir.

Priyomnik, uzoq seanslarda va monitoringda kerakli bo'lgan tashqi generatordan 5, 10 yoki 20 MGs li barqaror chastotalar uchun kirishga ega bo'lishi kerak.

Topografik va GAT plan olishlar uchun mo'ljallangan priyomniklarda, kerakli ma'lumotlarni faylga yozish imkonini beruvchi, datchiklar (sensorlar) ga ulanish uchun imkoniyatiga ega bo'lishi kerak:

- obyektlar plan olishlari atributlari shtrix-kodli hisoblagichlar;
- tuproqning qislotalanganligini aniqlash;
- radioaktivlik darajasini aniqlash;
- o'rmonchi o'lchov vilkasi;
- biomassalarni aniqlash va boshqalar.

10. *Avtomatik meteostansiyalarni mavjudligi.* Kuzatishlarni qayta ishlashlarda, o'lchash jarayonida topilgan, meteorologik ma'lumotlar kerak bo'lishi mumkin. Avtomatik meteostansiyaning haroratni, bosimni va namlikni o'lchash natijalarini punktdagi kuzatish fayliga yozish mumkin. Bunday ma'lumotlar quyidagi ishlarni bajarishda, ayniqsa, muhimdir, ularda balandlikni aniqlash aniqligiga talablar oshirilgan, chunki bu, birinchi navbatda, punktlar orasidagi balandliklar (50–100 va undan ham ko'p) sezilarli darajada farq qiladigan hududlardagi ishlarga, shu jumladan, GPS ga bog'lash bilan aerofoto plan olishlarga tegishlidir.

11. *Ichki xotiraning hajmi.* Yo'ldoshli priyomnik natijalarni yozish uchun alohida xotiraga va priyomnikni konfiguratsiyasi uchun ham xotiraga ega. Priyomnikdagi xotira turli turdagi (I, II turdagi RCCMA kartochkalari, flesh-xotira va boshqalar) yechiluvchi texnik tashuvchilarda joylashishi mumkin. O'lchash natijalarini yozish uchun kerakli, priyomnikning xotirasi hajmiga talablar, bajariladigan ishlar turiga, o'lchash parametrlariga va rejimiga, priyomniklarning turiga bog'liq bo'ladi. Ikki chastotali, ikki tizimli yo'ldoshli priyomniklar bilan 30 sekund intervallar yozuvi bilan sutkalik seanslarda, doimiy yo'ldoshli o'lchashlar uchun, priyomnikning xotirasi 64 MB dan kam

bo'lmashligi kerak, chunki sutkalik o'lchashlar faylining hajmi, apparaturaning turiga bog'liq holda, 1.9 MB va undan ko'p bo'lishi mumkin. Plan olish asoslarini qurishda yoki plan olishlar uchun qo'llaniladigan priyomniklar uchun, kinematika rejimidagi 1 sekund diskretlik bilan yo'ldoshli o'lchashlar natijalarini yozish uchun xotira hajmi 8 MB dan ko'p bo'lishi kerak.

12. *Modemlar*. Asos va mobil priyomnik orasidagi aloqani ta'minlash uchun radiomodemlardan foydalaniladi. Ular bilan ishlash uchun Bosh radiochastota markazining ruxsatnomasiga ega bo'lish kerak. Chunki, har qaysi davlat va xatto hudud uchun radioaloqalar aniq chastota diapazonlarida ajratiladi, unda apparatura, ushbu parametrlarga mos kelishi kerak. Uzatgichning quvvati, unga uzatish olib borilayotgan, masofaga javob berishi kerak. Iloji boricha, uzatgich priyomnik bilan qo'shimcha kabellarsiz birlashtirilgan bo'lishi kerak, ular ish jarayonida noqulayliklar keltirib chiqaradi va sovuqda sinishi mumkin. Telefon modemi ishlash uchun ruxsatnoma talab etilmaydi, ammo uyali aloqa operatorining xizmati kerak bo'ladi.

13. *DGPS*. DGPS rejimi differensial tuzatmalarni asos stansiyalardan dala priyomnigiga uzatishlardan iborat. Kodli kuzatishlar metrli darajadagi aniqlikni ta'minlaydi. Uzatiladigan tuzatmalar uchun ma'lumotlar standart formatlari mavjud. Har qaysi ishlab chiqaruvchi o'zining xususiy ma'lumotlar formatiga ega bo'lishi mumkin. Bu turli ishlab chiqaruvchilar priyomniklaridan birgalikda foydalanishni, dasturiy ta'minot, tayanch stansiyalarida va dala priyomniklarida RTCM dek formatlarda ishlashni ta'minlashi kerak.

14. *Haqiqiy vaqtdagi kinematika rejimi* (Real Time Kinematik, RTK) asoslardan dala priyomniklariga tashuvchi fazalar tuzatmalarini uzatishdan iborat. Ushbu tuzatmalarni uzatish uchun, ba'zi ma'lumotlar standart formatlari mavjud. Shuningdek, har qaysi firma ma'lumotlarni, o'zining xususiy formatida berishi mumkin. Bu turli ishlab chiqaruvchilar priyomniklaridan birgalikda foydalanishni, dasturiy ta'minot, asos stansiyalarida va mobil stansiyalarda RTCM RTK dek formatlarda ishlashni ta'minlashi kerak.

15. *Nazorat displeyi bloki*. Displeyning spesifikatsiyasini ko'rsatish uchun, kuzatuvchi dalada nima ish qilishini tasavvur qilish kerak. Statik yoki kinematik rejimlarda ma'lumotlarni yozishni boshlash va to'xtatish uchun grafik imkoniyatli displeyning bo'lishi majburiy emas.

Kiritiladigan ma'lumotlar hajmini cheklash uchun, priyomnikning operatsiyalari bilan boshqarish mumkin. Sovuqda, qorong'ulikda yoki noqulay sharoitlarda kamroq xatolar bo'ladi. Diktafonda operatsiyalar va ma'lumotlar dala jurnalini yuritish mumkin, keyin esa ofisda jurnalning faylini yaratish mumkin. Ammo, displeyning borligi, masalan, yo'ldoshlarning osmonda joylashishini kuzatish yoki joyning kartasiga ega bo'lish imkonini beradi.

16. *Apparatura priyomnikning yoqish va o'chirish uchun vositaga* ega bo'lishi, ma'lumotlarni yozishni boshlash va to'xtatish hamda priyomnikning mos keluvchi operatsiyalarini ko'rsatishi kerak. Bu kichik interfeys, ular operatorga kerak. Katta imkoniyatli foydalanuvchilar interfeysi yuqori malakali kuzatuvchi uchun samarali bo'ladi.

17. Priyomnik *ma'lumotlarni kiritish uchun vositaga* ega bo'lishi mumkin, bular: nuqtaning nomi va antennani balandligi. Bu albatta, majburiy emas.

18. *Energiya ta'minoti va batareyalar.* Priyomnik va antenna to'plami bir necha opsiyalı past energiya iste'moliga ega bo'lishi kerak. Tizim yengil bo'lishi mumkin, ammo yuqori energiya iste'molini talab etadi, bu dalaga og'ir akkumulyatorlarni olib borishga majbur qiladi. Turli texnologiyalardagi akkumulyatorlar turli vaznga va baholarga ega. Zaryadlanmaydigan litiyli batareyalar yengil, ammo juda qimmat. Qo'rg'oshinli kislotalilar ancha arzon, ammo og'ir. Iste'molning kam sarfi elektronika umrini uzaytiradi. Kablesiz ulanadigan, batareya qo'yiladigan priyomniklarga ega bo'lish qulay, garchi bu, ko'plab turdagi o'lchashlarda ahamiyatsiz. Shuni bilish ham muhimki, samolyotlar va poyezdlarda barcha turdagi akkumulyatorlarni olib yurishda, ularni faqat yukxonalarda tashishga ruxsat berilgan.

19. *Atrof-muhit.* Odatda apparatura -20 dan $+50^{\circ}$ gacha atrof-muhit haroratida ishlashi kerak. Ammo, Sibir va Yakutiya sharoitlarida, harorat undan past bo'lish holatlari uchraydi, agar priyomnik yoki uning antennasi bunday haroratga hisoblanmagan bo'lsa, unda apparaturani isitish choralari ko'rishga to'g'ri keladi yoki dala ishlaridan voz kechiladi.

Tizim yomg'ir yog'ayotganda ham ishlashi kerak. Bu dalada ishlaydigan priyomniklar uchun muhimdir. Monitoring bo'yicha ishlovchi priyomniklar uchun bunday tavsiflarga antenna ega bo'lishi kerak.

20. Qishki vaqtlarda ishlashlarda, ayniqsa, *kabellar* muammosi juda dolzarbdir. Apparatūra to‘plamida bir nechta turli kabellar (antenna-priyomnik, iste‘mol bloki-priyomnik, kontroller-priyomnik, priyomnik kompyuter) bo‘lishi mumkin. Kabelning zaif joyi – ulagich bilan birlashtirish. Apparaturalar ishlab chiqaruvchilar kabellar va ulagichlar sonini kamaytirishga harakat qiladilar. Antenna bilan yagona butunlik (monoblok) hosil qiluvchi, priyomniklar ishlab chiqarilmoqda, priyomniklarning energiya iste‘molini kamaytirish, zaryadlanadigan batareyalardan faol foydalanishga olib keldi. Simsiz aloqali – infraqizil portlar va bluetooth radioaloqali, apparaturalar paydo bo‘ldi.

21. *Aksessuarlar*: dalaga ko‘chirish va o‘rnatish uchun, transportda tashish va qadoqlash uchun: keys, ryukzak, shtativlar, kinematik veshkalar (binogi), tregerlar, markazlashtirgichlar, antennani shtativga o‘rnatish uchun adapterlar, ruletki (o‘lchov reykasini) va boshqalar. Bu uskunalar qulay, yengil, ishlarni talab etilgan aniqlik darajasini ta‘minlashi kerak. Shuni esda tutish kerakki, import uskunalar (shtativlar, markazlashtirgichlar)da, an‘anaviy metrliklardan farqli, dyumli rezbalar qo‘llaniladi. Bu uskunalarni mos kelmasligiga olib kelishi mumkin.

22. *Fizik tavsiflari*. Barcha tizimlar: priyomnik, antenna, displey, akkumulyator, zaryadlash qurilmasi, shtativ va post qayta ishlashlar uchun kompyuter o‘lchami 55x40x20 sm li keysni band qilishi kerak. Agar apparatura samolyot salonida olib yurilganida bu muhimdir.

Priyomnikning qurilmasi mustahkam, yengil va ko‘chma bo‘lishi kerak.

23. *Aniqlik*. Agar apparaturaning parametralari to‘g‘ri tanlangan bo‘lsa, unda o‘lchashlar aniqligi, geodezist tizim bilan qay darajada ishlashga bog‘liq bo‘ladi. Masalan, agar uzun chiziqli kuzatilsa, seansning davomiyligi esa, kichik bo‘lsa yoki DOR aniqligi yo‘qotilishi geometrik omili katta bo‘lganida, xatolar katta bo‘ladi.

24. *Priyomniklarning mos kelishi*. Bitta loyihada, priyomniklarni turli modellaridan yoki ishlab chiqaruvchilaridan foydalanish mumkin. Ammo, ularning mos kelishi va kuzatishlar sinxronizatsiyasi (bu meteorologik attestatsiyaning bitta masalalaridan) tekshirilgan bo‘lishi kerak. Bundan tashqari, kanallar sonining har xilligi, signallarni qayta ishlash turli xil texnologiyalari va vaqt belgisiga har hil bog‘lanishlari natijasidagi muammolar paydo bo‘lishi mumkin.

25. *Narxi*. Bugun sotib olingan, *GPS* uskunalarining diqqatga sazovorligi, ajoyib natijalarni ta'minlashida, shuning uchun, qanday asbobdan foydalanish kerak degan qaror qabul qilishda, birinchi navbatda, uning yengilligi va narxi barchani qiziqtiradi. *GPS* priyomniklarining narxi doimo pasaymoqda, imkoniyatlari esa oshib bormoqda.

Priyomnikning jihozlanish usullari juda o'ziga jalb qiluvchandir – bu mualliflangan opsiya fayllaridan foydalanishdir. Mahsulotning xususiyatlari to'g'risidagi dolzarb ma'lumotlarni olish uchun ishlab chiqaruvchi bilan bevosita muloqot qilish kerak bo'ladi. Manzillarni *GPS World* jurnali yilnomasining yanvar yoki iyun sonlaridan olish mumkin.

18.1.3. Yo'ldosh geodezik to'ri shaklini loyihalash

To'ring shakli. Triangulyatsiya to'rlaridagi barcha uchburchaklarning burchaklari bir xil aniqlik bilan o'lchanadi. Teng tomonli uchburchaklarda, ularni yechish jarayonida, bu bir xil aniqlikdagi tomonlarni olishni ta'minlaydi. Agar har xil burchakli uchburchak uchrasa, unda katta burchak qarshisida yotuvchi tomon, qolgan tomonlarga qaraganda qo'polroq aniqlanadi. Teskarisi, o'tkir burchak qarshisida yotuvchi tomon, katta tomonga qaraganda aniqroq bo'ladi, ammo bunday to'ring o'lchamlari tez kamayadi. Uchburchaklar shakllari muammolari, triangulyatsiyada qo'llaniladigan o'lchash parametrlari (burchaklar)ni, to'r parametrlari (punktlar koordinatalari) bilan bog'lash uchun qo'llaniladigan, chiziqli bo'lmagan funksional model bilan tushuntiriladi.

*SRNS*ni qo'llab qurilgan to'rlarga, koordinatalarni uzatish, ayrim boshlang'ich nuqtadan, to'g'ri burchakli koordinatalar farqlarini ketma-ket qo'shishga qaratilgan. Triangulyatsiyadan farqli, asos chiziqli vektorlardan iborat, yo'ldoshli to'r matematik modellari, chiziqli bo'ladi. Tuzatma tenglamalari koeffitsiyentlari matritsalarini (plan matritsasi) 1, -1 va 0 larni o'z ichiga oladi. Bunday munosabatda vektor to'ri nivelir to'riga o'xshash. Matritsaning muhim ko'rinishlari natijasidagi, yer usti vektor to'ri shaklining plani, hech qanday rol o'ynamaydi. "Geometriya yechimi" yo'ldosh turkumlari geometriyasi bilan aniqlanadi, u stoxastik model va punktga vektorlar soni (ya'ni punktlar orasidagi bog'lanishlar soni)da aks etadi. Yo'ldoshli to'r, har

qanday shakllar (uchburchaklar, to'rtburchaklar va boshqa ko'pburchaklar), ularning kombinatsiyalari va traverslardan iborat bo'lishi mumkin. Yaxshi vektor to'ri, to'g'ri chiziqda joylashgan, bir nechta punktlarni hosil qilishi mumkin [124]. Halqali to'rlar loyihalari misollari [138] maqolasida taqdim etilgan.

Modomiki, to'rning shakli muhim ahamiyatga ega emas va punktlar orasidagi ko'rish bog'liqligini ta'minlash shart emas, unda punktlarni o'rnatish uchun joy tanlash kerak, qayerda qulay – oson boriladigan joylarda, yo'llarning yaqinida va boshqalar. O'zaro ko'rinishni hisobga olish, oriyentirlash punktlari uchun yoki takrorlanuvchilar va radiomodemlar bilan ishlashlarda, joy tanlashda talab etiladi. Antenna uzatgichi va priyomnikning orasidagi to'g'ri radio ko'rishni yo'qligida, RTK rejimida ishlash mumkin emas. Bunday munosabatda, telefon modemlari bilan ishlash ustunlikga ega, chunki to'g'ri ko'rish talab etilmaydi.

Uzun va qisqa asos chiziqlari. To'rdagi uzun va qisqa asos chiziqlarining borligi, lohiyani amalga oshirishda, ba'zi qiyinchiliklarni keltirib chiqarishi mumkin. Qisqa asos chiziqlarida atmosfera xatolari yuqori korrelyatsiyasi natijasidagi, butun sonli noaniqliklar, odatda uzun chiziqlardagiga qaraganda, juda yaxshi yechiladi. Hisoblangan noaniqliklar bilan yechimlar (qayd qilingan yechimlar), koordinatalar farqlarida kichik o'rta kvadratik xatolarga olib keladi. O'zgaruvchan yechimlar, ya'ni noaniqliklarga ruxsat bermaslik, uzun asos chiziqlari uchun ko'pincha yagona imkoniyat hisoblanadi, ammo ular sezilarli darajadagi katta xatolarni beradi. To'rda qisqa va uzun asos chiziqlari bo'lganida, qisqa chiziqlarning jamlanmasi to'rni tenglashtirishda yuqori vazn bilan olinadi. Bu punktlar, teng aniq bo'lmagan to'rlarga olib keladigan bo'ladi. Shuning uchun, uzun asos chiziqlarini, aniq efemeridalaridan foydalangan holda, ikki chastotali o'lchashlardan topish tavsiya etiladi. Unda, ularning statik baholashlarini, qisqa asos chiziqlari baholashlari bilan taqqoslash mumkin bo'ladi [124].

Ayrim hollarda, uzun asos chiziqlardan tuzilgan to'rlarga (ming kilometrlar), qisqa asos chiziqlari maxsus kiritiladi, bu bootstrapping usulidan foydalanib, fazalar noaniqliklarini ishonchli yechish uchun unda dastlab, qisqa chiziqlar yechiladi, keyin esa uzun chiziqlarga o'tiladi [123].

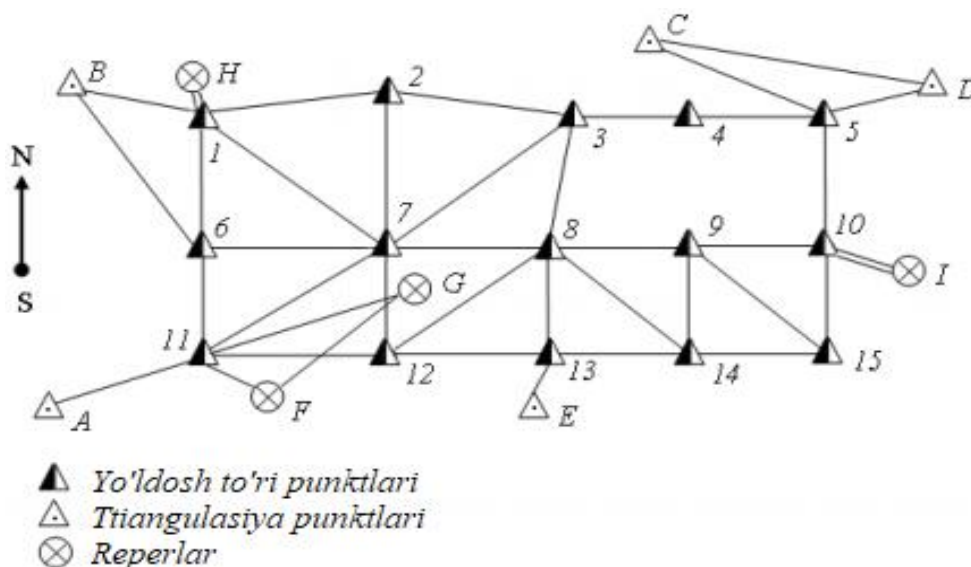
Ushbu muammo, to'g'ridan to'g'ri oriyentirlash yo'nalishini aniqlash bilan bog'langan. Oriyentirlash punktlari to'g'ri ko'rish oraliqlarida, odatda katta bo'lmagan masofalarda joylashadi. Yo'ldoshli o'lchashlardan koordinatalarni uzatish, kamida ikkita vektor bo'yicha nazorat bilan olib boriladi.

Tayanch va nazorat nuqtalari. Loyihalanayotgan to'rni mavjud to'r bilan birlashtirish uchun bir nechta umumiy nuqtalarga ega bo'lish kerak, bu to'liq tenglashtirishni va topilgan qiymatlarning nazoratini olib borish uchun keraklidir. Cheklashlar bilan (ya'ni koordinata tizimlari bog'liqlik parametrlarini aniqlash bilan), tayanch nuqtalarning soni, yangi to'r o'lchamlari va talab etilgan bog'lash aniqligi bilan aniqlanadi, ammo u, uchtdan kam bo'lmasligi kerak. Ammo, agar tanlangan nuqtalardan deyarli bittasi, noqulay tanlangan bo'lsa, unda bog'lash nazoratsiz yoki hatto mumkin bo'lmay qoladi. Shuning uchun, ortiqcha tayanch punkt soniga ega bo'lish kerak bo'ladi. Traverslar turidagi chiziqli to'rlar uchun, bunday nuqtalarni joylashtirish, 50 km oraliqlarda qaraganda, kam oraliqlarda joylashtirish tavsiya etiladi. Planli bog'lashni, agar to'rdagi nuqtani juft tayanch punktlar bilan bog'laganda nazorat qilish mumkin.

Yo'ldoshli to'rlarni balandlik bo'yicha bog'lash, juda murakkab muammo hisoblanadi, shuning uchun, yo'ldoshli o'lchashlar ellipsoidal balandliklarga orttirmalarni beradi, reperlar otmetkasi esa, normal balandliklar (yoki ortometrik) tizimlarda beriladi. Ellipsoidal balandlikni normal balandlikka o'zgartirish uchun kvazigeoidning ellipsoiddan balandligini bilish kerak bo'ladi, u ishlash obyektida doimiy hisoblanmaydi. Tekislik rayonlarida ishlash uchun, balandlik bog'lashlari nuqtalari orasidagi masofalar, 10 km oraliqlarga qaraganda kam bo'lmasligi kerak, bu IV klass nivelirlash darajasidagi aniqlikka erishishga olib keladi. Tog'li hududlarda masofalar, 5 – 8 km tartibida, yana ham kichik bo'lishi mumkin. Kvazigeoidni topish qanchalik aniq rejalashtirilgan bo'lsa, shuncha ko'p nazorat nuqtalariga ega bo'lish va ularni ko'proq joylashtirish kerak bo'ladi. Nuqtalar to'rning qaysidir bir qismiga yo'naltirilishiga yoki to'g'ri chiziqqa joylashishiga, yo'l qo'ymaslik kerak, ular obyektning barcha maydoni bo'yicha bir tekis taqsimlansin.

18.2-rasmda 15 ta punktlardan iborat yo'ldoshli geodezik to'r loyihasi keltirilgan. Uning davlat geodezik to'riga bog'lash planda -

triangulyatsiya punktlariga (A, B, C, D, E nuqtalar), balandlik bo'yicha esa – reperlarga (F, G, H, I nuqtalar) amalga oshiriladi. Bu yerda ataylab, qulay bo'lmagan variant tanlangan. 10, 14 va 15 punktlar triangulyatsiya punktlari konturidan tashqarida joylashgan, ularning koordinatalari koordinata to'rlari ekstrapolyatsiyasidan topiladi. To'ring janubi-sharqiy burchagiga yana bitta bog'lashni qo'shish foydali bo'lur edi. C va D punktlariga bog'lashlar, bu punktlar koordinatalaridagi xatolarni nazorat qilish imkonini beradi, A, B va E punktlarga esa – buni bermaydi. B punktga bog'lash, faqat asos chiziqlardagi xatolarni nazorat qiladi. F va G reperlarga balandlik bo'yicha bog'lash, ushbu samarani bermaydi, bu C va D triangulyatsiya punktlariga plandagi bog'lashdek, bu yerda faqat asos chiziqlari reperlari otmetkasini emas, nazorat qilish mumkin, shuning uchun, H va I reperlarga bog'lash to'lig'icha yetarlidir. Balandlik aniqligiga talablar oshgan hollarda, yo'ldoshli to'ring har qaysi burchaklari bo'yicha reperlarni joylashtirgan ma'qul, bog'lashni esa, I va H reperlarga ko'rsatilganidek, ikkita seanslarda bajarish kerak.



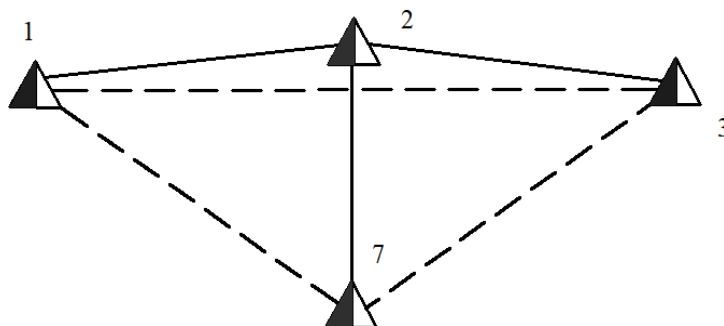
18.2-rasm. Yo'ldoshli geodezik to'ring loyihasi.

Ba'zi mualliflar loyihalana yotgan to'r rayonini, taxminan to'rtta teng bo'lakka bo'lishni va bularning har qaysisida planli va balandlik bog'lash uchun tayanch nuqtalar borligiga ishonch hosil qilishni tavsiya qiladilar [149].

Nazorat nuqtalari, olib borilgan kuzatishlar va planli koordinatalar va balandliklar otmetkasini to'g'riligiga ishonch hosil qilish uchun kerak.

Mustaqil va bog'liq asos chiziqlar. 18.2-rasmdagi to'r to'rtta priyomnik bilan kuzatiladigan bo'ladi, deb taxmin qilamiz va birinchi sessiyada priyomniklar 1, 2, 3 va 7 nuqtalarga o'rnatiladi (18.3-rasm).

Bu priyomniklar bilan bajarilgan, kuzatishlar jamlanmasi asos chiziqlarining oltita vektorlarini hisoblash imkoniyatini beradi. Ammo, bu vektorlardan har qaysisini, boshqa vektorlardan qo'shish yoki ayirish yo'li bilan topishni, ko'rish qiyin emas. Masalan, 1–7 vektorni, 1–2 va 2–7 vektorlarni qo'shib, topish mumkin. Har qaysi sessiyada, kichik hajmdagi vektorlarni aniqlash mumkin, ular yagona yechimni beradi. Rasmda uzluksiz chiziqlar bilan *mustaqil* yoki *ahamiyatli*, chiziqlar ko'rsatilgan. Uzlukli chiziq bilan ko'rsatilgan, uchta chiziq, *ahamiyatsiz* yoki *bog'liq* chiziqlar deb ataladi. Qayerda to'rtta priyomnikdan foydalanilmasin, har doim oltita chiziq paydo bo'ladi. Ammo, ulardan har qanday uchta, ushbu sessiyada boshqasiga nisbatan, stansiya joylashgan o'rnini to'lig'icha aniqlaydigan bo'ladi. Shuning uchun, foydalanuvchi oltita chiziqdan, har qaysi uchta, deb hisoblashi mumkin. Qaror qilingan zahoti, faqat bu uchta chiziq to'rga kiritiladi. Qolgan uchta chiziq ahamiyatsiz hisoblanadi va chiqarib tashlanadi. Amalda deyarli har doim, qisqa chiziqlar tanlanadi, uchta uzun chiziqlar esa, ahamiyatsiz yoki bog'liqdek, chiqarib tashlanadi. Aynan, ushbu holat rasmda keltirilgan.



18.3-rasm. To'rtta priyomnik bilan kuzatiladigan to'rning bo'lagi

Agar R – priyomniklar soni, unda har qaysi sessiya barcha chiziq kombinatsiyalaridan $R \cdot (R-1)/2$ beradi, ammo, faqat $R-1$ mustaqil

hisoblanadi. Masalan, to'rtta priyomnik, 10 ta sessiyalarda foydalanilgan, 30 ta mustaqil asos chiziqlarini berishi kerak. Qisqa asos chiziqlari har doim mustaqil chiziqlardek tanlanadi, deb aytish kerak emas. Ayrim hollarda, juda qisqa vektorlar quyidagi sabablarga ko'ra: to'liqsiz ma'lumotlar bo'lganida, sikllar hisobi yo'qolishi soni katta bo'lganida ko'pyo'llilik yoki o'lchashlardagi qandaydir boshqa kamchiliklar bo'lganida, rad etiladi. Bunday xulosaga kelishdan oldin, barcha ma'lumotlar haqiqatan ham, to'planganidan keyin, har qaysi seans tahlil qilinishi kerak. Rejalashtirish bosqichida har doim mustaqil asos chizig'i uchun qisqa chiziqlarni qabul qilish kerak.

Mustaqil va bog'liq asos chiziqlari orasidagi farq bilan bog'liq boshqa jihat, xatolar yoki yopiq shakllarni ochiq qolish konsepsiyasini o'z ichiga oladi. Yopilish protsedurasida, yo'ldoshli to'ring ichki moslashuvchanligi tekshiriladi. Asos chiziqlarida foydalanadigan, yagona umumiy sessiyadan chiqarilgan, har qanday shaklning yopilishi, garchi ular bir va ushbu bir vaqtdagi kuzatishlar bo'yicha topilgan bo'lsada, nolni beradi [149].

Keltirilgan muhokamalardan quyidagilarga amal qilish kerak bo'ladi, planlashtirishda har qaysi sessiya uchun faqat mustaqil chiziqlarni tanlash kerak, unda ayrim stansiyalarga bir nechta sessiyalarni o'tkazish talab etiladi. Bundan tashqari, ma'lumotlarni yaxshi moslashuvchanligini va to'ring aniqligini oshirish uchun, ayrim mustaqil vektorlarni turli sessiyalardan hisoblash talab etiladi.

To'ring ishonchliligi. Modomiki, yo'ldoshli geodezik to'ring shakli muhim ahamitga ega bo'lmasa, unda uni loyihalashda boshqa sifatlariga, jumladan, aniqlik va ishonchlilikdek, yo'naltirilishi mumkin. Aniqlik, tasodifiy xatolar orqali baholanadigan, to'ring sifatlariga tegishli. Oldin ko'rsatib o'tilganidek, u kuzatish usullariga, apparaturaga, dasturiy ta'minotga va boshqalarga bog'liq. Aniqlik odatda, koordinata punktlariga yoki ularning funksiyalariga (masofalarga, azimutlarga va boshqalarga) tegishli. Ishonchlilik, o'lchashlardagi katta xatolar va ularni aniqlashdagi to'r qobiliyatining munosabati bilan aniqlanadi. To'ring ichki ishonchliligi deganda, kuzatishlarda xatolarni aniqlash nazarda tutiladi, tashqi ishonchlilik aniqlanmagan xatolarni tenglashtirish natijalariga ta'sirini baholaydi. Katta xatolarni aniqlanmagan ta'sirini, masalan, monitoring to'rida, deformatsiyadek

oson interpretatsiya qilish mumkin, bu keraksiz oqibatlariga olib keladi [87, 146].

O'lchashlarni nazorati va to'rni ishonchli tenglashtirish uchun, ortiqcha o'lchashlar keraklidir. Bunday o'lchashlarning soni, r ozodlik darajasi sonidan aniqlanadi:

$$r = n - t, \quad (18.1)$$

bu yerda: n – to'rdagi barcha o'lchashlar, t esa – baholanadigan parametrlar soni.

Agar tenglashtirish jarayonida to'rda, P matritsa vazni bilan A matritsa koeffitsiyentlari hosil bo'lsa, unda (18.1) ifodani quyidagidek taqdim qilish mumkin:

$$r = n - \text{tr}(N^{-1}N) = n - \text{tr}(N^{-1}A^T P A) = \text{tr}(E) - \text{tr}(AN^{-1}A^T P) = \text{tr}(E - AN^{-1}A^T P), \quad (18.2)$$

bu yerda: E – birlik matritsa, $N = A^T P A$ esa – normal matritsa. $\text{tr}(\dots)$ simvollar bilan qavslarda matritsalar izi, ya'ni diagonal elementlar yig'indisi belgilanadi. Oxirgi qavsdagi ifodani (18.2) da quyidagidek taqdim etamiz:

$$E - AN^{-1}A^T P = (P^{-1} - AN^{-1}A^T)P = Q_v P, \quad (18.3)$$

bu yerda: – kichik kvadratlar usuli – tuzatma matritsa vaznli koeffitsiyenti. Shuning uchun, (18.2) dan o'lchash matritsalarini vaznini va kichik kvadratlar usuli – tuzatmalari matritsalarining ko'paytmalari matritsasi vaznli koeffitsiyentlarini, ozod darajalar soniga tengligini topamiz:

$$r = \text{tr}(Q_v P) = n - t. \quad (18.4)$$

Berilgan holatda t matritsaning samarali A rankidir:

$$t = \text{rank}(A) \quad (18.5)$$

yoki

$$\text{tr}(Q_v P) = n - \text{rank}(A). \quad (18.6)$$

$Q_v P$ matritsa diagonal, alohida kuzatishlar ortiqchaligini tavsiflovchi, ortiqcha o'lchashlar sonini hosil qiladi. Alohida o'lchashlar ortiqchaligi soni, to'rdagi ortiqcha o'lchashlar r sonidagi uning hissasini tavsiflaydi:

$$r = \sum r_i = n - \text{rank}(A). \quad (18.7)$$

Ortiqchalar soni ko'payishida, koordinatalarni aniqlash ishonchliligi oshadi, shuningdek, ularning nazorat qilish imkoniyatlari ham, shu bilan birga, ularni ishonchli tenglashtirish ehtimollari ham oshadi. Uch

o'lchamli yo'ldoshli to'rlar uchun asos chiziqlari ortiqchaligi soni quyidagi intervallarda topiladi:

$$0 \leq r_i \leq 3. \quad (18.8)$$

Agar $r_i \ll 3$ bo'lsa, unda bu o'lchashni nazorat qilish juda qiyin va yaxshisi undan voz kechish kerak, garchi, boshqa tomondan, u kerakli parametrlarni aniqlaydi. Yaxshi loyihalangan to'rdagi ortiqcha o'lchashlar soni, taxminan bir xil va o'rtacha ortiqchalar $\bar{r}$ soniga intiladi:

$$\bar{r} = (n - t) / n, \quad (18.9)$$

bu to'rdagi ortiqcha bog'lashlar s o'rtacha sonini aniqlaydi:

$$s = \bar{r} / 3. \quad (18.10)$$

s yoki $\bar{r}$ parametrlarning qiymatlari, to'ring klassiga bog'liq holda beriladi [149]. Alohida o'lchashlarning har qaysisi uchun ortiqchalar soni ham, tenglashtirishda beriladigan, uning vazniga bog'liq [27, 60].

To'ring aniqligiga va ishonchliligiga qo'shimcha ravishda, ayrim hollarda, uning sezuvchanligi ham ko'rib chiqiladi. Bu sifat to'ring monitoringida, to'r qamrab olgan, sohalardagi deformatsiyalar va harakatni o'lchash hamda aniqlash imkoniyatlari bilan bog'langan. Baholanadigan geologik hodisalar va ularning parametrlari to'ring sezuvchanligini tahlili jarayonida foydalaniladi. Tadqiqot qilinayotgan maydonlardagi deformatsiyaning mumkin bo'lgan modellarini, geologik va seysmik plan olishlardan hamda oldingi geodezik tadqiqotlardan olingan, ma'lumotlar bilan mos ravishda oldindan aytish mumkin. Geologik hodisalar bo'lganida, agar ular o'ringa ega bo'lsa, to'r sezuvchandek aniqlanadi, α va β (bu yerda α – qiymat darajasi, $1 - \beta$ – testning quvvati) belgilangan ehtimollik bilan aniqlangan bo'lishi mumkin. Shuning uchun, sezuvchanlikdan, geodinamik monitoring to'rlarini loyihalash jarayonida, bosh mezonlardan biri sifatida, aql bilan foydalanish mumkin. Batafsil [87] ga qarang.

18.1.4. Priyomniklar sonini tanlash

Priyomniklar soni va ish unumdorligi. Geodezik to'rlarni kuzatishda ish unumdorligi, uning klassiga, konfiguratsiyasiga, fizik-geografik va ob-havo sharoitlariga, punktlarga borib bo'lishiga hamda foydalaniladigan priyomniklar soniga va kuzatish seanslaridagi punktlar bo'yicha taqsimlanishiga bog'liq. Agar bizning ixtiyorimizda R

priyomniklar bo'lsa, P punktlardan plan olish uchun, nechta seans talab etilishi, masalasini ko'rib chiqamiz.

P punktlar koordinatalarini aniqlash uchun, $P-1$ asos chizig'i yetarli ekanligi ko'rinib turibdi. Nazorat qilish uchun, ba'zi ortiqcha chiziqlar soni talab etiladi, garchi nazoratni, poligonlarni yopilishi yordamida ham qilish mumkin. Hozircha kerakli asos chiziqlari soni bilan cheklanamiz.

Oldin ko'rsatilganidek, R priyomniklar yordamida, $R \cdot (R-1)/2$ seansdagi, ularning umumiy sonidan $R-1$ mustaqil asos chiziqlarini aniqlash mumkin. Shuning uchun, agar, masalan, bir vaqtda uchta priyomnik ishlasa, unda ular uchburchakda obyektiv nazoratni ta'minlamaydi, ularni hosil qiladi, chunki uchinchi asos chiziq, ikkita boshqa asos chiziqlar aniq kombinatsiyalari hisoblanadi. Uchburchakda barcha uchta chiziqni ishlatish mumkin va yopiq shakldagi xatolar har qaysi koordinata bo'yicha nolga tengligiga ishonch hosil qilish mumkin. Xatolarni yaxlitlash yoki turli o'lchashlarni yaroqsizligi natijasida, noldan kichik chekinishlar bo'lishi mumkin. Shunday qilib, R priyomniklardan foydalanib, P nuqtalarni aniqlash uchun kerakli, Q seanslar soni quyidagiga teng:

$$Q(P, R) = \left\lceil \frac{P-1}{R-1} + 0.5 \right\rceil,$$

bu yerda kvadrat qavslar, qavslardagi haqiqiyga yaqinlarni, butun sonlarga o'tishini bildiradi. Agar har qaysi chiziq k marta o'lchansa, unda qiymatini, ushbu Q songa ko'paytirish kerak, bitta seansning davomiyligiga ko'paytirilgandan keyin, kerakli kuzatishlar davomiyligini baholash kerak.

Ishlarning boshlanish momentida ularning borligiga bog'liq holda, agar bitta priyomnik qo'shiladigan bo'lsa, seanslar sonini va shuningdek, ishlar muddatini kamayishini ko'rish mumkin:

$$\Delta Q = \left(\frac{Q(P, R+1)}{Q(P, R)} - 1 \right) \cdot 100\% = \frac{100\%}{R-1}. \quad (18.11)$$

Ikkita priyomnikning o'rniga uchta priyomnikdan foydalanilganda ish unumdorligi 100% ga oshadi, ya'ni ikki martaga oshadi, uchta priyomnik o'rniga to'rtta priyomnikdan foydalanilganda bir yarim marta (50/33) va hokazo oshishi ko'rinib turibdi (18.1-jadval). Keyinchalik unumdorlikni o'sishi sekinlashadi va bitta bo'linmada oltitadan ko'p yoki uchtdan kam priyomniklardan foydalanish

maqsadga muvofiq emas. Ushbu vaqtda aniq, agar priyomniklar soni punktlar soni bilan mos kelganida, unda barcha o'lchashlarni bitta seansda bajarish mumkin, masalan, geodinamik poligonlarda (garchi bitta seans hech qanday ortiqchalikni bermaydi), bu muhim bo'lishi mumkin.

18.1-jadval

Keyingi ayrim funksiyalarning qiymati

R	2	3	4	5	6	8	10
$\Delta Q\%$	100	50	33	25	20	17	11

Yo'ldoshli geodezik to'rlarni (YGT) qurish uchun, bu yerda punktlar soni ko'p emas, operativlik unchalik muhim emas. Bundan tashqari, priyomniklar sonini oshishi bilan brigadalar tarkibi ham o'sadi, buning natijasida tashkiliy-texnik va transport muammolari, o'zaro hamkorlik darajasiga talablar va aloqaning ishonchliligi murakkablashadi.

Sessiyalar sonining hisoblash uchun boshqa yondashuvlar ham ma'lum. Masalan, [149] kitobida R priyomniklar bilan P stansiyalardan to'rni kuzatish uchun Q sessiyalar sonini baholash navbatdagi formulasi berilgan:

$$Q = \frac{(P \cdot \bar{q})}{R} + \frac{(P \cdot \bar{q})(p-1)}{R} + k \cdot P. \quad (18.12)$$

Bu yerda: $\bar{q}$ o'zgaruvchi to'rdagi har qaysi stansiyalarda o'rtacha seanslar sonini taqdim etadi. Agar har qaysi stansiya, loyihaga muvofiq, q_i marta qatnashishi kerak bo'lsa, unda

$$\bar{q} = \frac{\sum q_i}{P}. \quad (18.13)$$

Jamoaning tajribasi, bu formulada p o'zgaruvchi bilan taqdim etilgan. Oldingi loyihalarni bajarish uchun kerak bo'lgan, oxirgi sonni haqiqiy sessiyalarga bo'lish, boshlang'ich baholashga munosabatni beradi, undan kelgusi loyihalarni yaxshilash uchun foydalanish mumkin. Bu munosabat unumdorlik omili hisoblanadi, uning tipik qiymati 1.1 ga teng.

k dek belgilangan, havfsizlik omili, kompaniya bazasidan 100 km oraliqlarda bajariladigan, GPS loyihalari uchun tavsiya etilgan. Bu radiusdan tashqarida xavfsizlik omili 0.2 gacha ko'payadi.

O'xshash formula [68] beriladi.

Priyomniklar soni va to'ring stoxastik modeli. Ikkita punktda ikkita priyomnik bilan bir vaqtdagi kuzatishlarni ishlash natijasida, ulardan bittasi koordinatalarga ega, asos chizig'ining D uch o'lchamli vektori va uning 3×3 o'lchamdagi K korvariatsiya matritsasi topiladi. Asos chiziqlarining navbatdagi yechimlari natijasida, koordinatalar to'rdagi barcha punktlar bo'yicha tarqatiladi, korvariatsiya matritsaning jamlanmasi esa, to'ring stoxastik modelini beradi. Agar har qaysi chiziq boshqasidan bog'liq bo'lmay kuzatilsa, unda to'r uchun, to'liq aprior korvariatsiya matritsasi, blokli-diagonal bo'ladi, bu matritsaning har qaysi bloki, asos chiziqlarining mos keluvchi korvariatsiya matritsasi hisoblanadi.

Agar R priyomniklar bilan bir vaqtda kuzatilsa, unda mumkin bo'lgan $R \cdot (R-1)/2$ asos chiziqlaridan faqat $R-1$ chiziq mustaqil bo'ladi. Qolgan chiziqlar bog'liq yoki trivial bo'ladi. Ilmiy dasturlar R priyomniklar bilan bir vaqtdagi o'lchashlarni qat'iy ishlashlarini qilish imkoniyatini beradi va $3 \times (R-1) \times (R-1)$ o'lchamdagi to'liq kovariatsion matritsani oladi. Ko'pchilik tijorat dasturlari, ikkita priyomnik bilan bajarilgan, o'lchashlarni ishlashga hisoblangan, ular faqat blokli-diagonal korvariatsiya matritsani olish imkoniyatini beradi, ya'ni bosh diagonaldan tashqaridagi bloklar nolli bo'ladi. Yakunida bunday korvariatsiya matritsasi, to'ring haqiqiy aniqligini aks ettirmaydi, bu asos chiziqlari mos keluvchi komponentlar standart xatolariga, korrelyatsiya koeffitsiyentini ko'paytirish tartibidagi xatolarga olib keladi. To'rlar uchun, ularga juda yuqori aniqlik ($5 \cdot 10^{-6}$ darajada va ko'proq) talab etilmasa, bog'liq asos chiziqlaridan va egilgan stoxastik modellarda foydalanish muhim emas. Yuqori aniqlikli to'rlar uchun, bu yerda to'ring stoxastik modeli, kuzatishlar haqiqiy uslubiga mos kelishi kerak, ikkita imkoniyat mavjud:

- qimmat ilmiy dasturlardan foydalanish (hozir online ishlash xizmatlari Rossiyada ham paydo bo'lmoqda);
- barcha o'lchashlar mustaqil bo'lishi uchun, faqat ikkita priyomnikdan foydalanish.

Uchta priyomnik bilan kuzatishda, asos chiziqlari orasidagi korrelyatsiyalarni, agar ular $90^\circ (\pm 30^\circ \text{ oraliqlarda})$ ga yaqin, burchak ostida joylashgan bo'lsa, kamaytirish mumkin [145].

To'rti tenglashtirishdagi barcha mustaqil va bog'liq asos chiziqlarini qo'shilishi, chiqishda juda yuqori aniqlikni beradi, ular haqiqiysiga mos kelmaydi, odatda ular, 10 va katta martaga oshirilgan. Barcha to'rti yoki uning qismini bitta seansda ko'p priyomniklar bilan kuzatishlardan, boshqa mumkin bo'lgan oqibat hisoblanadi unda, antennalarni o'rnatishdagi xatolar yoki uning balandligini o'lchash, odatda aniqlanmaydi. Bundan kelib chiqadiki, yuqori aniqlikdagi o'lchashlar umuman boshqa nuqtaga tegishli.

Bundan tashqari, modomiki yo'ldoshli kuzatishlar sezuvchanligi, tasodifiy xatolarga (shovqinlarga) sezuvchanligiga qaraganda, sistematik xatolarga (siljishlarga) yuqori, unda hatto uzoq seans (sutka va ko'proqlarda, natijalar qiymatlariga farq qiladi, ular tasodifiy xatolardan katta. Siljishlarni shovqinlarga o'tkazish foydali bo'lar edi, agar turli sharoitlarda davom etmaydigan seanslarda ko'p martalik kuzatishlar o'tkazilganida, buni amalga oshirish mumkin. Bu uzoq seanslarga qarshi qo'shimcha argument. Masalan, ikkita seansdan o'rtachasi 2 soatdan, ular orasidagi oraliq 12 soatlar yoki 24 soat bo'lganida, 4 soatli bitta seansga qaraganda (oraliqlar GPS yo'ldoshlari aylanish davriga yaxlit tanlangan), aniqlik yuqori. Bunday turdagi tavsiyanomalar, ayrim kuzatishlar bo'yicha yo'riqnomalarga kiradi, masalan, [163].

Statik o'lchashlar yoki har qanday boshqa GPS ishlar uchun asos chiziqlar loyiha kartasida chizilgan bo'lganida, bu yerda aniqlik diqqat markazida bo'lsa, loyihalovchi shuni yodda tutishi kerakki, ularning samaradorligi qisman, yopiq geometrik shaklni shakllantirilishiga bog'liq. Loyiha bajarilayotganida, bu mustaqil vektorlar yopiq shakllarni hosil qilishi kerak, ular asos chiziqlarini ikkitadan to'rttagacha turli sessiyalarga birlashtiradi [149].

19-BOB. GLONASS/GPS O'LGHASHLAR NATIJASINI QAYTA ISHLASH

19.1. Natijalarni qayta ishlashning usuli, vositasi va tartibi

Tenglashtirishlar konsepsiyasi. GPS o'lgashlar kampaniyasi umumiy hollarda, katta miqdordagi stansiyalar koordinatalarini aniqlash uchun, kam sonli priyomniklardan foydalanishni o'z ichiga oladi. Loyihada bajarilgan kuzatishlar, alohida stansiyalar (punktlar)da kuzatishlardan iborat, sessiyalarga bo'linadi. Agar kichik to'rda, noaniqliklarni tez yechish usuli qo'llanilsa, sessiya juda qisqa, atigi bir necha minut yoki juda yirik to'rlarda, agar yuqori aniqlikka erishish kerak bo'lganida, bir necha soatlar va xatto sutkalar bo'lishi mumkin. Kirish imkoniyati mavjud yo'ldoshlarning cheklangan sonida, muhandislik to'rlaridagi oddiy kuzatishlar sessiyasi 1 soatdan 3 soatgacha davom etadi. Yo'ldoshli kuzatishlar tenglashtirishlarining quyidagi usullari ishlab chiqilgan va qo'llaniladi:

- *bitta stansiyada* bajarilgan, kuzatishlarni tenglashtirish;
- *bitta asos chizig'i bilan* qayta ishlash va to'rga asos chiziqlarini keyingi birlashtirish;
- alohida sessiyalar kuzatishlaridan barcha aniqlanganlarni birlashtirish (bitta sessiyada ko'p stansiyalar kuzatishlarini tenglashtirish);
- *ko'p sessiyalar* yechimlarini qat'iy umumiy to'r yechimiga birlashtirish.

Bitta stansiyaning tenglashtirish (nuqtani pozitsionirlash, "bir punktli" yechim), WGS-84 (yoki PZ-90) tizimlarida stansiyalar absolut koordinatalarini ta'minlaydi. Agar faqat kodli o'lgashlar qayta ishlansa, unda bu natijalarning aniqligini pastligi natijasida, odatda geodezik qo'llanishlar uchun kam qiziqish uyg'otadi, ammo ular ko'pincha, geofizika, GAT va masofadan zondlash ayrim masalalari talablariga javob beradi. Bu qo'llanilishning oddiy sohasi – navigatsiyadir.

Qat'iy geodezik tenglashtirishda, punktning joylashishi to'g'risida ham nisbiy, ham absolut ma'lumot kerak bo'ladi. Shuning uchun, ko'p

stansiyalarning birgalikdagi qayta ishlashlari uchun ko‘plab dasturiy paketlarda, bitta stansiya bo‘yicha yechim kiritilgan.

Bitta stansiya bo‘yicha yechim, shuningdek, dastlabki qayta ishlash va ma‘lumotlarni tahrirlash (masalan, sikllar hisobini yo‘qolishi, Yerning aylanishi, nisbiylik nazariyasi effektlari, ionosfera, troposfera natijasidagi va normal joyni yaratish) uchun ham qo‘llaniladi. Juda aniq absolut joylashishni, agar bir necha sutkalik kuzatishlar ma‘lumotlaridan foydalanilsa, bir necha metr darajasiga yoki yaxshiroqqa ham yetkazish mumkin. Tashuvchi fazalar bo‘yicha absolut pozitsionirlashda, santimetrli aniqlik darajasi bo‘lishi mumkin.

Birlik asos chizig‘i konsepsiyasi, yo‘ldoshli ma‘lumotlarni qayta ishlash uchun dasturiy ta‘minotlarda, juda keng qo‘llaniladi. Birgalikdagi tenglashtirishlarda, ikkilamchi farqlar ko‘rinishida ustunlik bilan, ikkita bir vaqtda ishlaydigan priyomniklardan, kuzatishlar qayta ishlanadi. Asos chiziqlari vektorlarining $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ komponentlari va mos keluvchi K_{XYZ} korvariatsiya matritsa natijalari hisoblanadi.

Alohida asos chiziqlari, to‘rni tenglashtirish dasturida kiruvchi ma‘lumotlardek qo‘llaniladi. To‘rdagi kuzatishlarni qayta ishlashlar, *birlamchi tenglashtirishga* (asos chiziqlari yechimiga) va *ikkilamchi tenglashtirishga* (asos chiziqlari vektorlarini tenglashtirishga) tushadi. Bu usul, agar bir vaqtda, faqat ikkita priyomniklar bilan kuzatilganida va agar to‘liq korvariatsiya matritsasining barcha stoxastik ma‘lumotlari qo‘llanilganida, qat‘iy hisoblanadi. Ammo, agar bir vaqtda, ishlaydigan priyomniklar ko‘proq sonidan, juft stansiyalar tanlangan bo‘lsa, unda asos chiziqlarining barcha mumkin bo‘lmagan kombinatsiyalari, bir-biriga bog‘liq bo‘lmaydi. 18-bo‘limda ko‘rsatilganidek, R priyomniklar bilan bir vaqtda kuzatishlarda, $R(R-1)/2$ mumkin bo‘lgan asos chiziqlari topiladi, ammo ulardan faqat $R-1$ chiziq mustaqil hisoblanadi. Agar mavjud dasturiy ta‘minotda, faqat bitta asos chizig‘i qayta ishlanishi mumkin bo‘lganida, unda mustaqil, “notrivial” asos chiziqlari, asos chiziqlari uzunligi yoki kuzatishlar sonidek, mos keluvchi tanlangan mezonlardan foydalanilib, aniqlanishi kerak. Shunga qaramasdan, bu usul to‘rli yechimlar uchun qat‘iy hisoblanmaydi, chunki bir vaqtda, kuzatilgan chiziqlar orasidagi stoxastik ma‘lumotlar hisobga olinmaydi. Yechimni yaxshilash uchun puxta tortish va korrelyatsiyani zaiflashtirish kerak bo‘ladi (masalan, [91, 145] larga qarang).

Oddiy hollarda, faqat asos chiziqlarining vektor uzunligi konsepsiyasidan foydalaniladi va yo‘ldoshli kuzatish stansiyalari (trilateratsiya) orasidagi masofalarni o‘lchash oddiy usulidek, foydalaniladi. Bu usul, ko‘pincha GPS dan geodezik foydalanishning dastlabki yillarida qo‘llanilgan. Usul to‘g‘ri, ammo, qimmatli ma’lumotlarning qismi, kuzatishlarda aks etgan, aynan esa, asos chiziqlarining fazoviy oriyentiri shu bilan yo‘qoladi [14, 148].

Ko‘pchilik ishlab chiqaruvchilar priyomniklar bilan birgalikda dasturlarni taklif qiladilar, ular asos chiziqlari konsepsiyasidan foydalanadi. Bu dasturlar kichik loyihalar uchun ma’lumotlarni dala tekshirishlari uchun va haqiqiy vaqtda qo‘llash uchun, qulaydir.

Bitta sessiyada ko‘p stansiyalarni tenglashtirishda barcha ma’lumotlar birgalikda qayta ishlanadi, ular bir vaqtda uchta va ko‘p priyomniklar ishtirokida kuzatilgan bo‘lishi kerak.

Bunday hollarda yechimlar natijasi $R-1$ mustaqil vektorlar va $3(R-1) \times 3(R-1)$ o‘lchamdagi korvariatsiya matritsasi hisoblanadi. Mavjud dasturiy ta’minotga bog‘liq holda, natijalarni $3R$ koordinata va $3R \times 3R$ o‘lchamli korvariatsiya matritsasi to‘plamidan berish mumkin. Korvariatsiya matritsasi, shuningdek, blok-diagonalli hisoblanadi, unda nol bo‘lmagan diagonal bloklar o‘lchami, R ning funksiyasi hisoblanadi. Shu sababli, kuzatishlarni bu qat’iy tenglashtirishlarida, barcha o‘zaro stoxastik nisbatlardan foydalanilgan. Geodezik maqsadlar uchun bunday “ko‘p punktli” tenglashtirish, asos chiziqlari usulidan, konseptual ustunlikka ega, chunki SRNS ning barcha potensial aniqligidan foydalaniladi.

Sessiyalar bo‘yicha bir nechta yechimlarni, *ko‘p sessiyalarni tenglashtirishda* yoki juda anig‘i, *ko‘p stansiyalar va ko‘p sessiyalar bo‘yicha yechimlarda* birlashtirish mumkin. Yirik to‘rlar priyomniklarning cheklangan soni natijasida bo‘laklarga bo‘linganida, bu oddiy usuldir. Bunday tenglashtirishdagi asosiy shartlar quyidagilardan iborat, har qaysi sessiya boshqa bir sessiya bilan kamida, bir yoki ko‘proq umumiy stansiyalar soni bilan bog‘lanadi, ularda kuzatishlar ikkala stansiyalarda bajarilgan bo‘lishi kerak. Umumiy stansiyalar sonini kengayishi barqarorlikni va barcha to‘rning ishonchliligini oshiradi.

Ko‘p stansiyalar bo‘yicha yechimlar, agar individual sessiyalar yechimlari uchun mos keluvchi korvariatsiya matritsalaridan foydalanilsa, qat’iy va all-in-one (barchasi bitta) birlashtirilgan tenglashtirishga ekvivalent hisoblanadi. Sessiya yechimlari bilan boshlanadigan,

bosqichma-bosqichli jarayon, kuchli kompyuterlar talab qilmaydigan ustunlikka ega. Bundan tashqari, alohida sessiyalarning natijalarini taqqoslash, umumiy stansiyalarda, yetarli hajmdagi ortiqcha kuzatishlarda, to'ring aniqqligini yaxshi nazoratini ta'minlaydi. Katta yo'ldoshli to'rlar kuzatishlarini qayta ishlash uchun dasturiy paketlar, odatda ko'p stansiyalar va ko'p sessiyalar konsepsiyasiga asoslangan [123, 143, 148].

Dasturiy ta'minot. Qayta ishlashlar uchun foydalaniladigan dasturlarni, yo'ldoshli apparaturalarni ishlab chiqaruvchilar tomonidan qo'yiladigan, *tijorat dasturiy ta'minotiga* va ilmiy tashkilotlarda ishlab chiqilgan, ko'p maqsadli *ilmiy dasturiy ta'minotlarga* bo'lish qabul qilingan. Birinchi guruhdagi dasturlar, aniq turdagi priyomniklardan ma'lumotlarni qayta ishlash uchun, birinchi navbatda mo'ljallangan. Ammo, juda takomillashgan dasturlar, *RINEX* formatining interfeysi orqali ham ma'lumotlarni qabul qiladi. Qoidaga ko'ra, bu mahsulotlarning matematik modeli ko'pchilik hollarda foydalanuvchi uchun mavjud emas. Tijorat dasturlari kundalik geodezik ishlar uchun to'g'ri keladi. Ular, odatda katta turli xil imkoniyatlarni qo'llashni taklif qiladilar va yo'ldoshli texnologiyalar sohasidagi o'rtacha darajadagi muhandis ma'lumotiga ega xodimni yetarlicha oson boshqarishi mumkin. Ayrim hollarda, asosiy dastur faqat, asos chiziqlari yechimini o'z ichiga oladi, to'zni tenglashtirish uchun esa, qo'shimcha dasturiy ta'minot kerak bo'ladi. Bunday turdagi dasturlar, odatda statik va kinematik o'lchashlar qayta ishlashlarini bajarish imkoniyatini beradi. Bunday dasturlarning tipik opsiyalar to'plami oldingi 12-bo'limda berilgan.

Rossiyada tijorat dasturlaridan, yo'ldoshli texnologiyalar bozorida eng ko'p tarqalgani quyidagilar hisoblanadi:

- Trimble Navigation kompaniyasining, GPSurvey dasturini almashtirgan, Trimble Geomatics Office (TGO);
- Leica Geosystems kompaniyasining SKI-Pro;
- Javad Navigation Systems kompaniyasining Pinnacle, Ensemble;
- Topcon Positioning Systems kompaniyasining Topcon Tools;
- Thales Navigation kompaniyasining Ashtech Solutions.

GPS post-qayta ishlashlari uchun ko'p maqsadli tizimlarni ishlab chiqish, ilmiy jamoaning ko'p yillar ishlashini talab qiluvchi va ko'p sonli individual dasturlardan tashkil topgan, murakkab masalani

ifodalaydi. Odatda, bu dasturiy paketlar, bitta turdagi priyomniklardan foydalanish bilan cheklanmaydi, turli xil geodezik apparaturalarning barchasidan ma'lumotlarni qabul qiladi. Bu paketlar ko'pchilik hollarda, quyidagi masalalar uchun xizmat qiladi:

- tez qayta ishlashlar uchun, katta bo'lmagan to'rlarda, professional standart foydalanish;
- yuqori aniqlikdagi o'lchashlarda, shuningdek, katta masofalarda professional foydalanish;
- geodinamik tadqiqotlarni va doimiy harakatdagi stansiyalar massivlarini qayta ishlashlarni qo'shganda, ilmiy tadqiqotlar ma'lumotlarini qayta ishlash uchun.

Tez qayta ishlashlar standart opsiyalaridan tashqari, bu turdagi dasturiy paketlar, ilmiy qayta ishlash uchun, asosiy rejimlarning ko'plab turlarini taklif qiladi. Ayrim paketlar, orbitalarni aniqlash uchun yoki atmosfera modellarini baholash uchun opsiyalarni o'z ichiga oladi. Umumiy maqsadli ilmiy dasturiy paketlari matematik modellari, ko'pchilik hollarda, hujjatlar bilan ta'minlanadi va ilmiy adabiyotlarda keltiriladi. Ayrim hollarda, foydalanuvchi berilgan modullarga kirish imkoniyatiga ega va modifikatsiyalar qilishi yoki yangi fragmentlarni qo'yishi mumkin bo'ladi. Ilmiy dasturlarda modellash tirish hodisasi 1 mm, ushbu vaqtda, tijorat dasturlarida – 5 mm aniqlik darajasida bajariladi, deb hisoblanadi [143, 148].

Hozirgi vaqtda ikkinchi guruhga misollar quyidagilar hisoblanadi:

- Bernese –Berna Universitetining Astronomik institutida ishlab chiqilgan, Shveysariya;
- GAMIT/GLOBK – Masschuseti texnologiya institutida ishlab chiqilgan, AQSH;
- GEONAR – Ganover Universitetida ishlab chiqilgan, Germaniya;
- GIPSY-OASIS II - Kaliforniya texnologiya institutining reaktiv harakatlar Laboratoriyasida ishlab chiqilgan, AQSH;
- BAHN dasturi Nyukastl Universiteti Logica CMG (Angliya) bilan birgalikda ishlab chiqilgan, yo'ldoshlarning orbitalari va soatlariga tuzatmalarni hisoblash uchun foydalaniladi.

www.cosis.net/abstracts/COSPAR2006/02834/COSPAR2006-A-02834.pdf).

Tijorat dasturlaridan farqli, Windows muhitida ishlovchi, ilmiy dasturlar Linux operatsion tizimi bo'yicha ishlab chiqilishini, belgilab qo'yish kerak. Dasturni tushunish uchun va har qanday sharoitda ham, undan yaxshi tarzda foydalanish sezilarli darajadagi vaqtni talab qilishi mumkin. Shuning uchun dasturlovchidan kuchli o'qitish tavsiya etiladi [64].

Bir nechta boshqa dasturlar ma'lum, ammo ular, ishlab chiqilgan joyi, institutlar va markazlar bilan cheklanish an'alariga ega. Ularga quyidagilarni kiritish mumkin: PAGES dasturi (AQSH Milliy geodezik xizmati) [160]; GRAPE dasturi (Amaliy astronomiya instituti, Rossiya) [13]. PANDA (Position And Navigation Data Analyst) dasturiy paketi, Uxan shahridagi (KXR) Universitetning tadqiqot markazida ishlab chiqilgan, GPS va kelajakda GALILEO tizimlari, lazerli kuzatishlarini qayta ishlash uchun mo'ljallangan. Stansiya koordinatalarini, troposfera zenitli kechikishlarini va suv bug'lari tarkibini, GPS orbitalari elementlarini topish uchun, GFZ (Germaniya) markazida EPOS paketi qo'llaniladi. Dastur shuningdek, GPS orbitalarini bashorat qilish uchun ham qo'llaniladi.

Ko'p maqsadli ilmiy dasturlar, bir nechta qismlardan iborat. Ularni uchta bosh guruhlariga ajratish mumkin:

- *dastlabki qayta ishlash darajasi*, unda ma'lumotlar asosiy qayta ishlashlarga tayyorlanadi;

- *asosiy qayta ishlashlar darajasi* (bosh prosessor) noma'lum parametrlarni baholash bilan ishlashga ega;

- *post-qayta ishlashlar darajasi*, unda olingan ma'lumotlar jadvallar yoki grafiklar ko'rinishida to'planadi va kerak bo'lganida, to'rga sessiyalarni birlashtirish sodir bo'ladi.

Dastur alohida sessiyalarga kiritilgan, barcha priyomniklardan *qayta ishlanmagan ma'lumotlarni* kiritishdan boshlanadi, bu ma'lumotlarni to'plash, ASC II format (*RINEX*-fayl) o'qishi uchun kirish imkoniyatiga o'tkazish va qo'pol xatolarning borligiga tekshirish kerak bo'ladi. *RINEX* formatidagi fayl qo'shimcha ma'lumotlarni talab etadi, u doimo priyomnik bilan ta'minlanmaydi, masalan, antenaning balandligi, stansiyalarning taxminiy koordinatalari, meteorologik ma'lumotlar va boshqalar. Bu ma'lumotlarni *ma'lumotlar bazasiga* kiritish mumkin.

Radio bo'yicha uzatilgan xabarni kuzatish ma'lumotlaridan ajratish, nazorat qilish va har qaysi sessiya uchun *xabarlar faylini* yaratish mumkin. Xabarlarning har qaysi qismi uchun tekislash algoritmlarini qo'llash mumkin. Bu darajaga (agar talab etilsa), Xalqaro geodezik to'rdan orbitalar to'g'risidagi tashqi ma'lumotlarni ham kiritish mumkin.

Tashuvchi fazalar bo'yicha tekislangan psevdouzoqliklar bo'yicha yoki kodli o'lchashlar bo'yicha bitta stansiyalar uchun yechimlar, odatda *bosh dastur* darajasida yaratiladi. Ushbu bosqichda ma'lumotlarga kerakli tuzatmalarni kiritish mumkin, bular ionosfera, troposfera, antennalar fazali markazlari, Yer aylanishi va relyativistik effektlar uchun tuzatmalar bo'lishi mumkin. Ma'lumotlarni sikllar hisobi yo'qolishi borligiga va normal joyga siqilishini nazorat qilish mumkin.

Bosh dasturda parametrlarni baholash, parametrlarni chiqarib tashlash konsepsiyasi bilan mos ravishda, parametrlarni aniqlash yoki ikkala konsepsiyalar bo'yicha olib boriladi. Kuzatishlar asosiy parametrlari, fazali ma'lumotlar farqlari emas (masalan, GEONAR, GIPSY-OASIS II) yoki ikkilamchi farqlar (masalan, Bernese) bo'lishi mumkin.

Baholanishga yotuvchi parametrlar quyidagilar bo'lishi mumkin:

- stansiyalarning koordinatalari;
- yo'ldosh soatlari parametrlari va priyomnikning soatlari (soatlar stoxastik modeli bilan ikkinchi darajadagi polinom);
- yo'ldoshdagi va priyomnik elektronikasidagi apparatura kechikishlari (bitta stoxastik parametr bilan ikkinchi darajadagi polinom);
- qisqa yoy modeli bilan orbita elementlariga tuzatma (oltitagacha Kepler parametrlari, quyosh bosimi modeli);
- har qaysi stansiya uchun (doimiy yoki stoxastik jarayon) troposfera zenitli kechikishlari (yoki troposfera masshtabi parametri);
- lokal ionosfera tuzatmalari (masalan, bir qatlamli ionosfera modelining vaqt mobaynida o'zgaruvchan parametrlari, Klobuchar modelidagi yaxshilangan parametrlar);
- har qaysi yechilmagan noaniqliklar parametrlari va har qaysi tiklanmagan sikllar hisobi yo'qolishi.

Baholashda ko'p parametrlar qatnashishi mumkin, masalan, Yer aylanish parametrlari, aniq ionosfera modellari, atmosferaga tushgan

suv bug‘lari tarkibi va boshqalar. Bosh dasturda tenglashtirish jarayonini takrorlash mumkin, bundan ko‘proq noaniqliklarni qayd qilish mumkin. Sessiya yechimidagi bosh natijalar, barcha qatnashayotgan stansiyalarning koordinatalari va korvariatsiya matritsasi hisoblanadi.

Post-qayta ishlashlar darajasida barcha sessiya yechimlari, agar bu hali bosh dasturda bajarilmagan bo‘lsa, to‘rni tenglashtirish dasturiga qat’iy birlashtirilishi mumkin. To‘r yechimlarining natijalarini, qolgan noaniqliklarni qayd qilish maqsadida, sessiya yechimlariga yangidan qo‘yish mumkin. Bu darajada ishonchli stansiyalar koordinatalaridek, tashqi ma’lumotlarni kiritish mumkin. Bundan tashqari, fayl efemeridalariga yangidan, yaxshilangan koordinatalar kiritilishi mumkin va so‘ngra dasturlarning ikkinchi o‘tishi boshlanishi mumkin.

To‘rni tenglashtirishdan so‘nggi natijalarni, lokal yoki global koordinata tizimlariga o‘zgartirish va yer usti ma’lumotlari mavjud to‘plamlari bilan taqqoslash mumkin. So‘nggi baholash natijalari, statistik testlar va bir qator grafik tasvirlarda ifodalanadi. Ular bir vaqtdagi kuzatishlarda foydalaniladigan statistikani va ionosfera ta’siridan ozod, kombinatsiyalardek, alohida signallarning xatti-harakatlarini va chiziqli kombinatsiyalarni o‘z ichiga olishi mumkin.

Bitta asos chizig‘i bilan qayta ishlash usullari. Tijorat yoki ilmiy dasturlarda, fazali o‘lchashlarni bitta asos chizig‘i konsepsiyasi bo‘yicha qayta ishlash, quyidagi qayta ishlash qadamlaridan iborat:

- absolut usul bilan asos chiziqlarining oxiri koordinatalarini aniqlash;

- uchlamchi farqlar bo‘yicha yechimlar, ular o‘rtacha aniqlikni ta’minlaydi, ammo sikllar hisobi yo‘qolishiga, uning sezuvchanmasligi natijasidagi yuqori darajadagi ishonchliligi, shuning uchun noma’lum stansiya koordinatalarini dastlabki aniqlash uchun u ideal to‘g‘ri keladi;

- sikllar hisobini yo‘qolishini aniqlash va hisoblarni tiklash;

- haqiqiy noma’lumlar bilan ikkilamchi farqlar bo‘yicha yechim (o‘zgaruvchan yechim, unda noaniqliklar, o‘zgaruvchan nuqta bilan haqiqiy sonlardek, aniqlanadi), uzun asos chiziqlari uchun, bu eng yaxshi yechim bo‘lishi mumkin, ammo qisqa chiziqlar uchun, bu past aniqlikdagi yechimdir;

- butun noaniqliklarni qidirish noaniqliklarga ruxsat berilish);

- qayd etilgan noaniqliklar bilan ikkilamchi farqlar bo‘yicha yechim (qayd qilingan yechimda, butun noaniqliklar oldindan ma’lum

parametrlardek, ko‘rib chiqiladi, ya’ni ular qayd qilingan), bu qisqa va uzun asos chiziqlari uchun eng yaxshi yechimdir.

Yechimlarning keltirilgan ketma-ketligi, asos chiziqlari oddiy statik yechimlari uchun qo‘llaniladi. “Tez statika”, “to‘xta-yur” va “haqiqiy kinematika”lardek, bunday o‘lchash usullari, albatta, qayd qilingan noaniqliklar bilan yechimlarni talab qiladi.

Ikki chastotali priyomniklar uchun dasturlar, qayta ishlashlarning (asos chizig‘i uzunligiga bog‘liq) bir nechta imkoniyatlariga ruxsat beradi, ulardan ayrimlari qayd qilingan yechimlarga olib keladi, boshqalari haqiqiy noaniqliklar bilan yechimlarni ta’minlaydi.

GPS va GLONASS signallari bo‘yicha ishlaydigan (yoki GNSS tizimi bilan birgalikda), ikki tizimli priyomniklarning paydo bo‘lishi, turli chastotalarga, koordinata tizimlariga va vaqtga bog‘liq, ma’lumotlardan birgalikda foydalanish nazariyasini ishlab chiqishni talab etadi.

Dasturlarning tijorat paketlari, odatda hatto, dalada bir vaqtda ikkitadan ko‘p priyomniklar kuzatganida ham, faqat bitta asos chizig‘ini qayta ishlaydi. Qat’iy matematik qayta ishlash, multi-baseline (to‘r yechimlari) ko‘p asos chiziqlari usulini qo‘llashni talab qiladi, unda stansiyalar orasidagi korrelyatsion bog‘liqlik hisobga olinadi.

Fazali o‘lchashlarni qayta ishlash natijalari, to‘rni tenglashtirish dasturlari uchun kiruvchi ma’lumotlar hisoblanadi. Ammo, shuning bilan birgalikda, korvariatsiya matritsalaridagi chiquvchi ma’lumotlar, asos chiziqlari yechimidan keyin, odatda juda oshirilgan aniqlikni ko‘rsatadi, shuning uchun, to‘rni tenglashtirishdagi bu aniqlikni, haqiqiy aniqlik bilan uni mos ravishda to‘g‘rilash kerak bo‘ladi [143].

19.2. Asos chizig‘ini yechish

19.2.1. Asos chiziqlarining bir chastotali yechimi

Nisbiy pozitsionirlashning yuqori aniqligi, SRNS yo‘ldoshlari tashuvchi fazalari signallarini juda aniq o‘lchashlariga asoslangan. Yuqori aniqlikka erishish uchun dastlabki shart-sharoitlar, bu asos chiziqlari koordinatalaridan, ikkilamchi farqlardagi fazalar noaniqligini, yetarlicha ishonchli ajratish mumkin. Butun noaniqliklar muvaffaqiyatli aniqlanishi bilanoq, tashuvchi fazalarni o‘lchashlar, psevdouzoqliklarni yuqori aniqlikdagi o‘lchashlardek, harakatlanishini boshlaydi, bu asos

chizig'i vektorini, juda yuqori aniqlik bilan hisoblash imkonini beradi. Noaniqliklarni aniqlash muammosi, ikkita turli qismlardan iborat:

- 1) noaniqliklarni *baholash*;
- 2) noaniqliklarni *tekshirish*.

Ko'pchilik tijorat qayta ishlash dasturlari, faqat ikkita priyomnik bilan to'plangan, fazali ma'lumotlarni qabul qiladi. Bu fazali ma'lumotlarni qayta ishlash uchun kerakli, modellashtirish, asos chiziqlarini aniqlovchi, faqat ikkita stansiyaning o'z ichiga oladi. Bu aniq, ikkilamchi va uchlamchi farqlar modellari uchun ammo, farqlarni hosil qilish jarayonida qatnashmagan, kamroq aniq faza modellari uchun ham mumkin bo'ladi. Bu ma'lumotlarni yoki "farqli bo'lmagan" yoki nol farqlar deb ataydilar. Ammo, farqli bo'lmagan modellarning aniq ko'rinishida paydo bo'ladigan, soat parametrlarini baholash uchun, bir qancha yo'ldoshlarga bir nechta punktlardan fazalarni o'lchash ma'lumotlari birgalikda qayta ishlanishi va to'planishi kerak. Farqli bo'lmagan, fazali ma'lumotlarni qayta ishlash va fazalarni ikkilamchi farqlar bo'yicha qayta ishlashlar ekvivalent hisoblanadi [152].

i va j yo'ldoshlar bilan uzatilgan, A va B priyomniklar bilan bir vaqtda o'lgan signallar bo'yicha olingan, fazalarning ikkilamchi farqlari uchun, chiziqli bo'lmagan funksional model quyidagicha yoziladi:

$$\Phi_{AB}^{ij} = \lambda_1 \phi_{AB}^{ij} = \rho_{AB}^{ij} + T_{AB}^{ij} - I_{AB}^{ij} + \lambda \cdot N_{AB}^{ij} + dm_{AB}^{ij} + \varepsilon_{AB}^{ij} \quad (19.1)$$

Kuzatishlar berilgan tenglamasining xususiyati shundan iboratki, barcha parametrlar ham, haqiqiy sonlar hisoblanmaydi. Fazali noaniqliklar N_{AB}^{ij} ikkilamchi farqlari, faqat *butun* qiymatlar bo'lishi mumkinligi ma'lumdur. Kichik kvadratlar usuli bo'yicha tenglashtirish an'anaviy nazariyasi kontekstida, bu juda g'ayrioddiy tafsilot hisoblanadi. Tenglashtirishning an'anaviy nazariyasi, barcha parametrlari haqiqiy sonlar hisoblanadi degan, dastlabki shartlar asosida ishlab chiqilgan edi. Bu tenglashtirish an'anaviy nazariyasining yaxshi ma'lum usullari, bu yerda haqiqatan ham, qo'llanilmaganligini taxmin qiladi. Albatta, tenglashtirishning an'anaviy usullarini qo'llashga urinib ko'rish mumkin, chunki butun sonlarning mavjud sohalari, haqiqiy sonlar sohasining bo'lagi hisoblanadi. Shu sababli, ikkilamchi farqlarning noaniqliklari butun sonli tabiatiga va ularni haqiqiy sonlardek topishga diqqatni qaratmaslik mumkin. Bunday yondashuvning oqibatida barcha ma'lumotlar, bu yerda hisobga olinmaydi, lekin bu ma'lumot, asosan,

noma'lum parametrlarini baholashda juda foydali ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shuning uchun, olingan yechim maksimal aniq bo'lmaydi va haqiqiy noaniqliklar bo'yicha, ularning mos keluvchi butun qiymatlarini topishni maqsad qilib qo'yadi va u bilan asos chiziqlari vektorining komponentlari aniqlanadi. Ko'plab mualliflar, bunday tarzda olingan yechimlar, maksimal aniqlikka ega bo'lishini isbot qiladilar [152].

Ma'lumotlar sikllar yo'qolishi hisobini o'z ichiga olmaydi, deb taxmin qilamiz. Keyingi qadam alohida asos chiziqlari rejimida qayta ishlashlar bo'ladi. Fazali ma'lumotlar bo'yicha alohida asos chiziqlarini qayta ishlashlarda bosh qadamlar quyidagilar hisoblanadi:

- uchlamchi farqlar bo'yicha yechimlar;
- haqiqiy (o'zgaruvchi) noaniqliklar bilan fazalarning ikkilamchi farqlari bo'yicha yechimlar;
- butun noaniqliklarni qidirish;
- qayd qilingan butun noaniqliklar bilan ikkilamchi farqlar bo'yicha yechimlar.

Fazalarning uchlamchi farqlari bo'yicha yechimlar. Yechimlar uchun funkional model, faqat koordinata parametrlarini (noaniqliklar va soatlar xatolari farqlarni hosil qilish bosqichida chiqarib tashlangan) o'z ichiga oladi:

$$\Phi_{AB}^{ij}(t_1, t_2) = \rho_{AB}^{ij}(t_1, t_2) - I_{AB}^{ij}(t_1, t_2) + T_{AB}^{ij}(t_1, t_2) + \varepsilon_{AB}^{ij}(t_1, t_2), \quad (19.2)$$

tuzatmalar tenglamasi esa quyidagi ko'rinishni oladi:

$$-dR_B a_{AB}^{ij}(t_1, t_2) + l_{AB}^{ij}(t_1, t_2) = v_{AB}^{ij}(t_1, t_2), \quad (19.3)$$

bu yerda

$$a_{AB}^{ij}(t_1, t_2) = u_B^i(t_2) - u_B^j(t_2) - u_B^i(t_1) - u_B^j(t_1), \quad (19.4)$$

$$l_{AB}^{ij}(t_1, t_2) = (\rho_{AB}^{ij}(t_2))^0 - (\rho_{AB}^{ij}(t_1))^0 - I_{AB}^{ij}(t_2) + I_{AB}^{ij}(t_1) + T_{AB}^{ij}(t_2) - T_{AB}^{ij}(t_1) - \Phi_{AB}^{ij}(t_1 - t_2). \quad (19.5)$$

Uchlamchi farqlar bo'yicha yechimlar ishonchli hisoblanadi, chunki tashuvchi fazalar sikllari yo'qolishiga sezuvchan emas, ular ma'lumotlarda "tashlab yuborishlar" xususiyatiga ega. Ma'lumotlarga past sezuvchanlik, ular sikllar hisobi yo'qolishidan ozod emas, ma'lumotlar farqlaridagi (P vaznli matritsa diagonal, deb taxmin qilinadi) korrelyatsiyaning hisobga olinmasligi, natijasida sodir bo'ladi. Uchlamchi farqlarni qayta ishlash uchun qo'llaniladigan, algoritm, ikkilamchi farqlar ma'lumotlaridagi sikllar hisobi yo'qolishlarini aniqlash va tiklash uchun ideal to'g'ri keladi. Shuning uchun bunday yechimlar, odatda sikllar hisobi yo'qolishini aniqlash umumiy jarayonining

bo‘lagidek bajariladi. Avtomatlashgan prosedura, uchlamchi farqlar bo‘yicha yechimlardagi xatolarni ko‘rishda ulardan qay biri birlik yoki sikllar bir nechta birliklariga yaqinligiga, asoslanishi kerak bo‘ladi.

Uchlamchi farqlar bo‘yicha yechimlar, asos chiziqlari komponentlari uchun yaxshi aprior qiymatlarni ta‘minlaydi. Favqulodda holatlarda, uchlamchi farqlar bo‘yicha yechimlar, yagona yetarlicha ishonchli bo‘lishi mumkin.

Uchlamchi farqlar bo‘yicha yechimlar tartibi:

- signallarni chiqish momentida yo‘ldoshlarning koordinatalari hisoblash, Yerning aylanish effekti uchun koordinatalarni tuzatish;
- har qaysi stansiyalar va aprior geometrik uzoqliklar bilan, yo‘ldoshlarga yo‘naltiruvchi kosinuslar yo‘nalishlarini hisoblash;
- yo‘ldoshlar orasidagi har qaysi davrdagi fazalarni ayirish, ikkilamchi farqlarni hosil qilish;
- ba‘zi bir ehtiyotkorlik bilan (masalan, har qaysi 5-kuzatishlar davri) davrlar orasidagi ikkilachi farqlarini ayirish;
- barcha uchlamchi farqlar mustaqil deb hisoblab, P vaznli matritsani hosil qilish;
- kuzatishlar tenglamalarini hosil qilish, A matritsa planini va 1-ozod a‘zolar vektorini olish;
- ikkilamchi o‘lchashlar vaznlarini hisobga olgan holda, $N = ATPA$ normal tenglamalar matritsasini to‘plash;
- normal matritsaga aylantirish va geodezik parametrlar va ikkilamchi farqlar haqiqiy noaniqliklardan iborat, $X = (ATPA) - 1ATP1$, noma‘lum vektorlarni olish.

Hisoblashlardan keyin parametrlarni yangilash va qaror qabul qilinadi: takrorlash qilishni davom ettirish yoki noaniqliklarga ruxsat berishlariga urinishlardan keyin faqat takrorlashni bajarish.

Fazalar qayd qilingan butun noaniqliklari bilan ikkilamchi farqlar bo‘yicha yechimlar. Yechimlar uchun funksional model tenglama bilan ifodalanadi, unda noma‘lum vektor, asos chizig‘i oxirgi punktlaridagi tuzatmalarni o‘z ichiga oladi, topilgan butun noaniqliklar tuzatmalar tenglamasi ozod a‘zolariga kirgan:

$$-dR_B(u_B^j - u_B^i) + (l_{AB}^{ij}) = v_{AB}^{ij}. \quad (19.6)$$

Shuni qayd qilish kerakki, tenglamaga noaniqliklarning yechilmagan ba‘zi parametrlari ham kirishi mumkin. Noaniqliklarning butun

qiymatlargacha yechilishi bilan, ular aprior ma'lum ma'lumotlar bo'lagi va bu fazalarni kuzatish *noaniqliklarini*, masofalarni kuzatishlar *aniqligiga* aylanishida ta'sirini ko'rsatadi.

Ikkilamchi farqlar bo'yicha bunday yechimlar, nisbatan kuchli hisoblanadi (bu yerda baholash uchun parametrlar kam), ammo u, agar noaniqliklarni to'g'ri butun qiymatlari topilgan hollardagina, faqat ishonchli bo'ladi.

Yechimlar usulning bunday quyidagi xususiyatlariga juda sezuvchan bo'lishi mumkin:

- *to'plam*dek barcha noaniqliklarga yoki faqat uning qismlariga ruxsat berish;

- yechim qabul qilish uchun foydalaniladigan, hal qilish mezonlari;
- butun qiymatlarni qidirish usullari.

Noaniqliklarni hal qilish jarayoni quyidagi, asos chizig'ini uzunligi va sessiyalarni kuzatish davomiyligi, "yo'ldosh – priyomnik" geometriyasi, atmosfera bir xil bo'lmaganligi natijasidagi ikkilamchi farqlardagi qoldiq siljishlar, ko'pyo'llilik, sessiyalar mobaynidagi yo'ldoshlarning chiqishi va botishi va boshqalardek, tashqi omillarga ham sezuvchandir.

Qayd qilingan yechimlarning bajarilish tartibi, haqiqiy noaniqliklarni aniqlash bilan yechishda foydalanilsa, o'xshashdir, farqi faqat ozod a'zolar vektorlarini topishdadir.

Bu jarayonni, barcha noaniqliklar (va butun qiymatlarda "qayd qilingan") hal qilinmaguncha, yaqinlashtirish bilan yoki ishonchli hal qilish uchun barcha imkoniyatlar yo'qotilganida bajarish mumkin.

Noaniqliklar hal qilingan zahoti, aniq masofalarni kuzatishlardagi noaniq fazalar o'lchashlari qayta hosil bo'ladi. Shuning uchun, *GPS/GLONASS* yo'ldoshlari bo'yicha oddiy navigatsiyada, yagona davr bo'yicha pozitsionirlash mumkin va shu sababli, "tashuvchi bo'yicha masofa" kuzatishlari, kinematik pozitsionirlashdagi qo'llashlar uchun ideal to'g'ri keladi.

19.2.2. Ikki chastotali o'lchashlar bo'yicha yechimlar

Ikki chastotali ma'lumotlarni qayta ishlash uchun bir qator usullar mavjud. Geodezik o'lchashlar uchun eng ko'p ishlatiladigan:

- 1) L_1 va L_2 ma'lumotlarni alohida qayta ishlash;

- 2) ionosfera ta'siridan ozod kombinatsiyalarni qayta ishlash;
- 3) "keng tasmali" kombinatsiyalarni qayta ishlash, boshqa turdagi kuzatishlar bilan iterativ jarayonda bo'lishi mumkin;
- 4) noaniqliklarni yechishni osonlashtiruvchi, aniq to'plamlarda $L3, L4, L5$ va $L6$ kombinatsiyalardan foydalanish.

Bu yerda biz, (4) usul to'g'risida, (1), (2) va (3) usullarning qayta ishlarida qisqacha to'xtalamiz [143] ga qarang. Bu usullarda ionosfera a'zosini chiqarib tashlashga yoki hech bo'lmaganda, uning ta'sirini aniq ikki chastotali fazalar kombinatsiyasiga berishga urinadilar. Ikki chastotali qayta ishlashlarning muqobil usullari mavjud, ularda, u yoki bu usul bilan (odatda, $L4$ kombinatsiyasi yordami bilan) ularni modellashtirish orqali ionosfera siljishlarini boshqarishga urinadilar yoki Kalman filtridagi stoxastik jarayonning qaysidir shakllaridek, ionosfera kechikishlarini baholash yo'li bilan harakat qiladilar.

$L1$ va $L2$ chastotalarda fazalarni kuzatishlardan foydalanish. Bu oddiy usul, algoritmnini ishlab chiqishda minimal kuchni talab etadi. Ikkilamchi (yoki uchlamchi) farqlar hosil qilinadi, oldin muhokama qilinganidek, ammo $L1$ da kuzatishlar $L2$ da kuzatishlardan mustaqil, farqlarni kuzatishlar so'ngra alohida qayta ishlanadi. Natijada yagona yechim topiladi, unda $L2$ da kuzatishlar, umumiy yechimni kuchaytiruvchi oddiy qo'shimcha kuzatishlar hisoblanadi yoki ikkita mustaqil yechim: ulardan biri – faqat $L1$ da yechim, boshqasi – faqat $L2$ da yechim; ulardan o'rtachasini optimal yechimdek qarash mumkin. Ikkala bu usullar, taxmin qilishda teng baholi hisoblanadi, bu stansiyalar orasidagi ayirishlarda ionosfera siljishlari chiqarib tashlanadi.

Ikkilamchi farqlar holatlarida, ikkita turdagi kuzatishlar ishtirok etadi:

$$-dR_B(u_B^j - u_B^i) + \lambda_1 \cdot dN_{AB,L1}^{ij} + l_{AB,L1}^{ij} = v_{AB,L1}^{ij} \quad (19.7)$$

va

$$-dR_B(u_B^j - u_B^i) + \lambda_2 \cdot dN_{AB,L2}^{ij} + l_{AB,L2}^{ij} = v_{AB,L2}^{ij}. \quad (19.8)$$

Unda $dN_{AB,L1}^{ij}$ va $dN_{AB,L2}^{ij}$ noaniqliklar aprior qiymatlaridagi tuzatmalarni baholash kerak bo'ladi. $l_{AB,L1}^{ij}$ va $l_{AB,L2}^{ij}$ dagi ionosfera tuzatmalarini e'tiborga olmasa ham, bo'ladigan darajada kichikligi sababli, ularni boshqa qaramaymiz. Bu usul bir qator muammolardan qiynaladi:

- I_{L2} qiymat I_{L1} qiymatga qaraganda, katta shu sababli, $L2$ chastota $L1$ chastotaga qaraganda, past;

– $L2$ ga kuzatish $L1$ ga kuzatishga qaraganda, “juda shovqinli” bo‘lish an‘anasiga ega, ayniqsa, agar priyomniklar “kodsiz” usulining (masalan, kvadratchalar) ba’zi turlaridan foydalanganida;

– Anti-Spoofing rejimning shartlarida $L2$ uchun to‘lqin uzunligi c/f_2 bo‘lmasligi mumkin, ikki marta kichik, $L2$, ya’ni ≈ 12 sm bo‘lishi mumkin;

– I_{AB}^{ij} ning qiymati, odatda asos chizig‘i uzunligi ko‘payishi bilan oshadi, shu sababli, ikkita antenna uchun ionosfera shartlari turli xil bo‘ladi.

Birinchi uchta muammo, noaniqliklarni hal qilishni, faqat $L2$ ikkilamchi farqlar bo‘yicha yechimlarda, juda qiyinlashtiradi. Oxirgi punkt juda muhim hisoblanadi. Ionosfera ta’siri natijasida noaniqliklarni hal qilish, 20 km yoki katta masofalarda, ko‘pincha juda qiyindir yoki umuman mumkin bo‘lmaydi. Ular uchun to‘g‘ri keluvchi boshqa usullar mavjud.

$L1$ va $L2$ larda kuzatishlarni sinash uchun boshqa imkoniyatlar ichida, kuzatishlarni ikkita alohida tenglamalardek, $L1$ va $L2$ larda kuzatishlarni bog‘lovchi, umumiy ionosfera parametrlarini kiritishni belgilash mumkin:

$$f_1^2 \cdot I_1 = f_2^2 \cdot I_2, \quad (19.9)$$

davrga qo‘shimcha parametrdan baholanadigan [143].

Ionosferadan ozod kombinatsiyalardan foydalanish. Ikkilamchi yoki uchlamchi ionosfera uchun to‘g‘rilangan qayta ishlashlari, $L1$ va $L2$ fazali ma’lumotlar “pseudoolchashlarga” chiziqli birlashtirilganida, algoritmda jami bir nechta o‘zgarishlarni talab qiladi. Birlashtirishdan keyin qayta ishlash, oldingidek, o‘zgaruvchan yechim holati uchun bir chastotali ma’lumotlardan foydalanilganida, davom ettiriladi. Ammo, $L3$ kombinatsiyalardan olingan natijalar, $N_{AB,1}^{ij}$ va $N_{AB,2}^{ij}$ lardan kombinatsiyalarni ifodalovchi, $N_{AB,iono-free}^{ij}$ haqiqiy parametrlar hisoblanadi.

Ionosferadan ozod kombinatsiyalar uchun to‘lqin uzunligi, taxminan, 6 mm ga teng, shu sababli, noaniqliklarni hal qilinishi, $L1$ yoki $L2$ larda kuzatishlar bo‘yicha alohida yechimlarga qaraganda, juda murakkab bo‘ladi. $N_{AB,1}^{ij}$ va $N_{AB,2}^{ij}$ butun noaniqliklardan bir nechta kombinatsiyalar mavjud, ular ham, $N_{AB,iono-free}^{ij}$ o‘xshash, bitta noaniqlikni beradi. Shuning uchun, faqat $L3$ kuzatishlardan foydalanib, $L1$ yoki $L2$ larda butun noaniqliklar orasidagi korrelyatsiyalarni ishonchli

zaiflashtirish juda qiyindir. L_3 ionosfera ozod kombinatsiyasini qo‘llash, odatda o‘zini oqlagan, chunki u, o‘zgaruvchan yechimning, bir chastotali kuzatishlar yoki L_1 va L_2 ma’lumotlarni qayta ishlashlardan olingan yechimlariga qaraganda, yaxshi sifatlarini ta’minlaydi. Ikki chastotali ma’lumotlarni qayta ishlashini olib borishga qodir, tijorat dasturlari, odatda o‘rta va uzun asos chiziqlari uchun ($>20 - 30$ km) L_3 opsiyalardan foydalanib, L_1 va L_2 bo‘yicha alohida yechimlarga qo‘shimchalar imkonini beradi.

L_5 keng tasmali kuzatishlardan foydalanish (farqlar kombinatsiyasi). L_5 kuzatishlardan foydalanish usuli, faqat ikkilamchi farqlar uchun to‘g‘ri keladi. Dastlab, haqiqiy noaniqliklar bilan L_5 bo‘yicha yechimlar olinadi. Chunki, fazalar farqlari kombinatsiyalari nisbatan, katta to‘lqin uzunligiga – 86 sm ga ega, unda qisqa va o‘rta asos chiziqlari uchun, hatto ionosferadan siljishlar (ular L_5 da chiqarib tashlanmaydi) bo‘lganida ham, L_1 yoki L_2 noaniqliklarga qaraganda, L_5 da noaniqliklarni oson hal qilish mumkin. Keyin qayd qilingan noaniqliklar bilan yechimlar topiladi, agar faqat bir chastotali ma’lumotlar qayta ishlanganida, bu imkonsiz bo‘lar edi.

L_5 bo‘yicha yechimlar qanchalik yaxshi? Haqiqiy noaniqliklar bilan yechimlar, L_1 yoki L_2 yechimlarga qaraganda, qo‘polroq. L_5 da qayd qilingan yechim, L_1 yoki L_2 larda o‘zgaruvchan yechimlarga qaraganda aniqroqdir. L_5 farqlar kombinatsiyasini ko‘p tijorat dasturlari qo‘llaydi. Ammo, asos chiziqlari uzunligi 100 km dan ko‘p bo‘lgan, yuqori aniqlikli qo‘llanilishlar uchun, noaniqliklarni yechish bilan, juda takomillashgan usullar ishlab chiqilgan. Yana shunday dasturlar mavjudki, ularda L_5 kombinatsiya, “on-the-fly” harakatda yechish bilan “tez statika” yoki kinematikadagi juda qisqa kuzatish sessiyalarida noaniqliklarni yechish uchun sikllar hisobini yo‘qolishini aniqlash va tiklashlarda ham qo‘llaniladi.

19.3. GLONASS kuzatish natijalarini qayta ishlashning xususiyatlari

Birinchi geodezik yo‘ldoshli priyomniklar, faqat GPS tizimi bo‘yicha ishlaydi. Rossiyada yaratilgan navigatsiya priyomniklari, faqat GLONASS tizimi bo‘yicha yoki ikkala tizim bo‘yicha ham ishlaydi. Ishlab chiqishga rejalashtirilgan GLONASS geodezik priyomniklari, 1980-

yillarning oxiri va 1990-yillarning boshlarida Rossiya va sobiq SSSRga yopirilgan, iqtisodiy qiyinchiliklar natijasida, ehtimol, ekspluatatsiyada paydo bo'lmadi. *GLONASS* bo'yicha Interfeys nazorat hujjati chop etilganidan keyin va 1995-yilda dunyo hamjamiyati tomonidan Rossiya navigatsiya tizimidan foydalanish imkoniyatlari to'g'risidagi xabarni paydo bo'lganligi, ikki tizimli geodezik o'lchashlarga va apparaturalarga qiziqishni uyg'otdi [12, 162].

GPS va *GLONASS* birlashtirishlari yoki boshqa kelajakdagi mikroto'liqlik tizimlar, bir qancha amaliy va ilmiy ustunliklarga ega. Birinchidan, kirish imkoniga ega yo'ldoshlarning soni oshadi, bu davrda kuzatishlar sonini oshishini nazarda tutadi. *GPS* va *GLONASS* tizimlarini to'liq yoyganimizda, birlashgan turkumlar 48 ta yo'ldoshlardan iborat bo'ladi. Bunday hollarda, har qanday ochiq joyda va har qanday vaqtda, kamida 12 ta yo'ldoshlarni ko'rish mumkin. Ko'rinadigan maksimal yo'ldoshlar soni, eng yaxshi hollarda 20 taga teng. Ko'p sonli yo'ldoshlarning kirish imkoni, kuzatishlar geometriyasini yaxshilaydi, shuningdek, troposfera zenitli kechikishlari korrelyatsiyasini va stansiya balandligini baholashni ham yaxshi hisobga oladi. Bu juda tez va juda ishonchli yechishga olib keladi, bu har qaysi tizimda alohidagiga qaraganda, tez statikani va kinematikani juda oson va yengil qiladi [159]. Fazali o'lchashlarni nisbiy usulda birgalikda qayta ishlash, ishonchlilikni va geodezik parametrlarni aniqligini oshirish imkonini beradi. Ayniqsa bu, radioko'rish cheklanishli rayonlardagi kuzatishlarda – o'rmonlarda, tog'larda, baland qurilishli shaharlarda, karyerlarda sezilarli bo'ladi. Ayrim hollarda, *GLONASS* ni *GPS* ga qo'shilish (65° qarshi 55°) yo'ldoshlari bilan taqqoslaganda, *GLONASS* yo'ldoshlari orbitalarining qiyaligi kattaligi natijasida, qutbiy regionlarni qamrab olishni yaxshilaydigan bo'ladi [63, 70, 160].

GPS va *GLONASS* ma'lumotlarini, ushbu usul bilan birlashtirilgan qayta ishlashlarida, ularda faqat *GPS* ma'lumotlarini qayta ishlash olib boriladi, asos *chiziqlari komponentlari va noaniqliklarni* o'z ichiga oluvchi, noma'lum parametrlar, odatda kichik kvadratlar usulida yoki Kalman filtrlashi bo'yicha baholanadi.

Bu usullardan har qaysisi, Gauss-Markov modeliga asoslangan, u matematik (funksional) va stoxastik modellardan iborat. Shuning uchun, baholangan natijalar ishonchliligi, matematik va stoxastik modellarni to'g'ri aniqlanishiga bog'liq.

19.4. Yo‘ldoshli vektor to‘rini tenglashtirish

19.4.1. To‘rlarni ikkilamchi tenglashtirish konsepsiyasi

19.1 – quyi bo‘limda keltirilgan izohlardan, ikkita ko‘rinishdagi tenglashtirishlar kelib chiqadi: birinchi tenglashtirish, uning bajarilishi natijasida, mos keluvchi korvariatsiya matritsasi bilan asos chiziqlari vektorlari topiladi. Ikkinchi tenglashtirish, unda birinchi tenglashtirish natijalari kuzatishidek qaraladi.

Yo‘ldoshli texnologiyalarni qo‘llab qurilgan, geodezik to‘rlarni tenglashtirish (yoki kichik kvadratlar usulida optimallashtirish), geodezik ishlar texnologiyasida kerakli bosqich hisoblanadi. Bu jarayonning vazifalari quyidagilar hisoblanadi:

- to‘rdagi barcha o‘lchashlar umumiyligini muvofiqlashtirish;
- tasodifiy o‘lchash xatolarini minimallashtirish va filtrlash;
- qo‘pol o‘lchashlarni aniqlash va voz kechish, tizimli xatolarni chiqarib tashlash;
- tenglashtirilgan koordinata to‘plamini va xatolar yoki korvariatsiya matritsasi ko‘rinishidagi aniqligini baholash bilan, ularga mos asos chiziqlarini topish;
- talab etilgan koordinata tizimiga koordinatalarni transformatlashtirish;
- geodezik balandliklarni normal balandliklarga o‘zgartirish.

Shunday qilib, tenglashtirishning bosh maqsadi – aniqlikni baholash bilan kerakli koordinata tizimidagi natijalarni ifodalash va aniqlikni oshirish. Bu maqsadlarga erishish uchun ishonchli statistik asosga ega bo‘lgan, aniq nazariy va amaliy usullar ishlatiladi.

Ayrim AB asos chiziqlarini qayta ishlash, natijada $\vec{D}_{AB} = (\Delta\tilde{X}_{AB}, \Delta\tilde{Y}_{AB}, \Delta\tilde{Z}_{AB})^T$ koordinatalar farqlari ko‘rinishidagi komponentlar bilan ikkita stansiya orasidagi vektorni beradi, ular endi o‘lchash natijalaridek, qaraladi. Unga 3×3 o‘lchamdagi $K_{XYZ_{AB}}$ korvariatsiya matritsasi to‘g‘ri keladi. To‘r uchun to‘liq korvariatsiya matritsasi, bosh diagonalda 3×3 o‘lchamli quyi matritsa bilan, blok-diagonalli hisoblanadi. Agar faqat ikkita priyomnik ishlaganida, shunday shakldagi o‘lchash natijalari olinadi. Agar R priyomniklardan sessiyalar natijalari

birgalikda ishlanganida va $R-1$ mustaqil asos chiziqlari olinganida edi, unda ularga $3 \times (R-1) \times 3 \times (R-1)$ to'liq korvariatsiya matritsasi to'g'ri keladi.

Yo'ldoshli geodezik to'rlar (YGT) ni tenglashtirish uchun, qo'shimcha berilgan ma'lumotlar quyidagilar hisoblanadi:

- kerakli aniqlik bilan $WGS-84$, $PZ-90$ yoki $ITRF$ geotsentrik tizimlaridagi tayanch punktlarning koordinatalari;

- yangi tizimdagi tayanch punktlar koordinatalarini (planli va balandlik) fazoviy koordinatalarga aylantirishda.

Tenglashtirishlar ozod, minimal cheklangan va cheklangan (ozod bo'lmagan)larga ajratiladi. *Ozod tenglashtirishlarda*, to'rdagi barcha punktlar noma'lumlar hisoblanadi va geotsentrga nisbatan, to'rlarni joylashuvi, to'arning boshlang'ich nuqtasi koordinatasi aniqligidek, ma'lum bo'ladi. Bunday holatda, tuzatma tenglamalari tizimlarining matritsa koeffitsiyentlari va shuningdek, normal matritsa, uchga teng, darajadagi nuqsonga ega bo'ladi. Ammo, ba'zi dasturlarda qo'llaniladigan, rsevdo-matritsali konvertor, tenglashtirishlarni o'tkazish imkonini beradi. Bitta punktning koordinatalarini qayd qilishda, *minimal cheklangan tenglashtirishni* hosil qilamiz, unda matritsa buzilib ketmaydigan bo'ladi. Sezilarli nazoratga erishish uchun vektor to'ri, ochiq geometrik shakllarni o'z ichiga olmasligi kerak. Uchtadan ko'p koordinatalarni qayd qilishda cheklangan tenglashtirish bo'ladi. Ozod va minimal cheklangan tenglashtirish, bo'limning boshida sanab o'tilgan, birinchi uchta masalani yechish uchun qo'llaniladi. Uning natijalari, berilgan ma'lumotlarni deformatsiyalanmagan xatolari bilan, to'arning ichki aniqligini ifodalaydi. *Cheklangan tenglashtirish*, mavjud to'rga, uning koordinata tizimiga, shu jumladan, balandlik tizimiga, yangidan qurilgan to'rni qo'shish uchun minimal cheklangan tenglashtirish muvaffaqiyatli bajarilgandan keyin o'tkaziladi. Buning uchun yangi to'r, hech bo'lmaganda, mavjud to'arning ikkita stansiyasi bilan bog'langan bo'lishi kerak.

To'rni tenglashtirishda, asos chiziqlari vektorlarini birlamchi tenglashtirishda keltirib chiqarilgan, kuzatishlar sifatini baholash, ichki va tashqi ishonchlilikni hisoblashni bajarish mumkin. Masalan, asos chiziqlarini ketma-ket (ya'ni birma-bir) qayta ishlashda, antennalar balandligiga xatoni aniqlash mumkin emas, ammo u, to'rni tenglashtirishda aniqlanishi mumkin. Ketma-ket tenglashtirish usulini, agar kerak bo'lganida, to'r komponentini tenglashtirish uchun ham ishlatish

mumkin. Ozod yoki minimal cheklanishdagi tenglashtirishlarda masofalarni, burchaklarni yoki har qanday boshqa funksiya koordinatalarini hisoblash uchun, dispensiyalarni uzatishni olib borish mumkin [123, 124].

Muhim muammo – bu yo‘ldoshli va oddiy geodezik o‘lchashlarni birgalikda tenglashtirishdir. Uning mohiyati shundaki, an’anaviy geodezik o‘lchashlar (burchaklarni o‘lchash, nivelirlash, astronomik aniqlashlar va boshqalar) yuzalardan foydalanib bajariladi, ya’ni tayanch yuza sifatida geoid qo‘llaniladi. Asos chiziqlarini o‘lchash, umumiyer ellipsoidi o‘qlari tizimida olib boriladi. Ma’lumotlarni qandaydir bitta tizimga to‘g‘ri keltirish uchun mos keluvchi aniqlikda ellipsoiddan geoidni balandligini bilish kerak bo‘ladi.

Katta bo‘lmagan to‘rlarni tenglashtirish, odatda firma tijorat ta’minoti tarkibiga kiruvchi dasturlar bo‘yicha bajariladi. Bunday dasturlarga misol qilib, GPSurvey [156] dasturi tarkibiga kiruvchi, TRIMNET Plus modulini, qanchalik o‘zgartirilgan ko‘rinishdagi Trimble Gematies Office [155] paketiga kiruvchi Trimble Navigation Amerika firmasini va boshqalarni keltirish mumkin. Shuningdek, [32] maqolasida va [19] kitobida ifodalangan, Rossiya olimlarining ishlanmalarini ham qayd etib qo‘yamiz.

19.4.2. Tenglashtirishning funksional modeli

Bog‘liqlik tenglamasi yoki yo‘ldoshli geodezik to‘rni tenglashtirish funksional tenglamasi, o‘lchangan qiymatlar (asos chiziqlari vektorlari komponentlari) va to‘r parametrlari, bu yerda ular sifatida kuzatish punktlari koordinatalari nazarda tutiladi va orasidagi nisbat aniqlanadi.

Yo‘ldoshli geodezik to‘rni tenglashtirishni, x, y, z to‘g‘ri burchakli fazoviy koordinatalarda, ellipsoidda B, L, H geodezik koordinatalarda yoki ba’zi proyeksiyalardagi tekis koordinatalarda olib borilishi mumkin.

To‘g‘ri burchakli koordinata tizimida tenglashtirish. Agar tenglashtirish *parametrik usul bilan to‘g‘ri burchakli koordinatalarda* olib borilsa, unda funksional model quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$D_{AB} = R_B - R_A, \quad (19.10)$$

bu yerda: D_{AB} – A va B stansiyalar orasidagi tenglashtirilgan asos chiziqlari vektori, R_A, R_B esa – stansiyalar tenglashtirilgan koordinatalari. Funktsional model topilishi kerak bo‘lgan, o‘lchangan elementlarni va elementlarni bog‘laydi. Model matritsa ko‘rinishida (19.10) quyidagidek yoziladi:

$$\begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix}. \quad (19.11)$$

Bunday matematik model tabiatan chiziqlidir. R_A, R_B stansiyalar koordinatalarini, ularning dastlabki (aprior) R_A^0, R_B^0 qiymatlari va ularga dR_A, dR_B tuzatmalar orqali, tenglashtirilgan D_{AB} asos chiziqlari vektorlarini esa – uning $\tilde{D}_{AB}$ o‘lchangan qiymati va ularga v_{AB} tuzatmani ifodalaymiz:

$$R_1 = R_1^0 + dR_1; R_2 = R_2^0 + dR; D_{AB} = \tilde{D}_{AB} + v_{AB}. \quad (19.12)$$

Endi bitta asos chizig‘i uchun tuzatmalar tenglamasini quyidagi ko‘rinishda yozishimiz mumkin:

$$R_B^0 - R_A^0 + dR_B - dR_A = \tilde{D}_{AB} + v_{AB}, \quad (19.13)$$

yoki

$$-dR_A + dR_B + I_{AB} = v_{AB}, \quad (19.14)$$

bu yerda: v_{AB} – tuzatma vektori (matritsa-ustuni):

$$v_{AB} = (v_{\Delta X_{AB}}, v_{\Delta Y_{AB}}, v_{\Delta Z_{AB}})^T, \quad (19.15)$$

I_{AB} esa – ifoda bilan aniqlanadigan ozod a‘zo:

$$I_{AB} = R_B^0 - R_A^0 - \tilde{D}_{AB}. \quad (19.16)$$

Barcha to‘r uchun tuzatmalar tenglamalari tizimlari quyidagidek yoziladi:

$$AX + I = v. \quad (19.17)$$

(11.67) tenglashtirish tizimlari uchun A matritsa koeffitsiyentlari 1, -1 va 0 dan iborat, AB chiziq uchun uning fragmenti quyidagi tarzda ifodalanadi:

$$A_{AB} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19.18)$$

Yo‘ldoshli to‘rlar uchun A matritsa, nivelir to‘ri uchun qanday bo‘lsa, shunga o‘xshashdir. Har qaysi asos chizig‘i matritsa koeffitsiyentlariga uchta qatorni kiritadi. Har qaysi stansiya to‘riga uchta ustun

tegishli. X parametrlardagi no'ma'lum tuzatmalar vektori, punktlar koordinatalaridagi dX tuzatma vektorlaridan tashkil topgan:

$$X = (dX_A, dX_B, \dots, dX_N)^T = (dX_A, dY_A, dZ_A, dX_B, dY_B, dZ_B, \dots, dX_N, dY_N, dZ_N)^T, \quad (19.19)$$

I ozod a'zolar vektori va v tuzatmalar vektori esa, mos ravishda, alohida ozod a'zolar vektorlari va asos chiziqlari komponentlaridagi tuzatmalar vektorlaridan iborat.

Buning natijasida, vektorlarni kuzatish, oriyentirlash va to'rt masshtabini o'z ichiga oladi, bu faqat koordinata tizimlari boshlanishini qayd qilish uchun yetarlidir. Boshlanishni qayd qilish uchun minimal cheklanishni, parametrlar to'plamidan bitta stansiya koordinatasi uchta parametrlarini oddiy chiqarib tashlash bilan yuklash mumkin. Shunday usul bilan ushbu stansiya qayd qilinadi.

Normal tenglamalarga ozod tenglashtirishlarda, ichki cheklash qo'shilishi mumkin [66, 123]:

$$EX = 0, \quad (19.20)$$

bu yerda: E – har qaysisi 3×3 o'lchamli, I birlik matritsadan tashkil topgan, $3 \times 3N$ o'lchamdagi matritsa (N - to'rdagi stansiyalar soni):

$$E = [I \dots I] \quad (19.21)$$

Bu cheklanishlarning maqsadi, koordinata siljishlarining yig'indisi va oriyentirlashdagi mumkin bo'lgan siljishlar va asos chiziqlari uzunligi, nolga teng bo'lishiga olib keladi. Koordinata punktlariga tuzatmalar uchun ozod tenglashtirishlarning yechimi quyidagidek bo'ladi:

$$\hat{X} = (N + E^T E)^{-1} A^T P I, \quad (19.22)$$

stansiyalar baholangan koordinatalari korvariatsiya matritsasi esa quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$K_{\hat{X}} = \sigma_0^2 [N + E^T E^{-1} - E^T E E^T E^{-1} E E^T E^{-1} E], \quad (19.23)$$

shu bilan birga, normal matritsa psevdokonversiya usuli bilan topiladi:

$$N^+ = (A^T P A + E^T E)^{-1} - E^T (E E^T E E^T)^{-1} E. \quad (19.24)$$

Parametrik tenglamalardagi qo'shimcha noma'lumlar sifatida cheklangan tenglashtirishda, koordinata va balandliklar orasidagi bog'liqlik parametrlari kiritiladi [19, 123].

Ellipsoid yuzasida tenglashtirish. Ellipsoidda tenglashtirish planda va balandlik bo'yicha xatolar ta'sirini bo'lish imkonini beradi va kerakli hollarda, markazlashtirish yoki antenna balandligini o'lchash bilan qo'pol xatolarni chegaradan chiqmasligini ta'minlaydi. Ellipsoidda tenglashtirish uchun to'g'ri burchakli koordinatalar geodezikga o'zgartiriladi, asos

chiziqlari vektorlari komponentlari esa, geodezik chiziqlar uzunligiga, ularning geodezik azimutlari va ellipsoidal balandliklari orttirmalari o'zgartiriladi. Buning uchun topotsentrik tizimda koordinata orttirmalari hisoblanadi [123]:

$$\begin{bmatrix} E_{AB} \\ N_{AB} \\ U_{AB} \end{bmatrix} = R_A \cdot \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix}, \quad (19.25)$$

bu yerda: R_A – matritsa asos chiziqlari vektorining boshlanishi, geodezik koordinatalari bo'yicha hisoblanadi:

$$R_A = \begin{bmatrix} -\sin L_A & \cos L_A & 0 \\ -\sin B_A \cos L_A & -\sin B_A \sin L_A & \cos B_A \\ \cos B_A \cos L_A & \cos B_A \sin L_A & \sin B_A \end{bmatrix}. \quad (19.26)$$

A punktdan B punktga geodezik azimut quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$A_{AB} = \arctg(E_{AB} / N_{AB}) + \delta_{H_B}, \quad (19.27)$$

bu yerda: δ_{H_B} – A_{AB} azimut bo'yicha hisoblanadigan, kuzatiladigan B punktning balandligi uchun tuzatma va shu azimutdagi R_{AB} ellipsoid normal kesimining egrilik radiusi:

$$\delta_{H_B} = \frac{H_B (e')^2}{2R_A} \sin 2A_{AB} \cos^2 B_m; \quad (19.28)$$

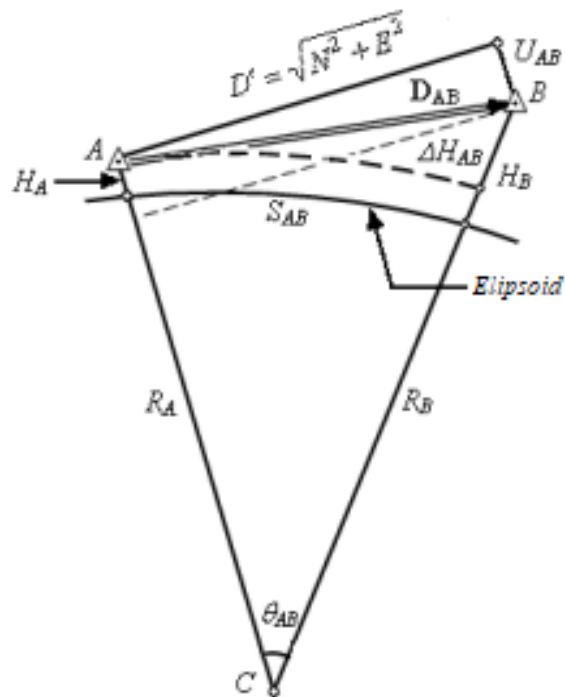
$$R_A = \frac{N_A}{1 + (e')^2 \cos^2 B_A \cos^2 A_{AB}}. \quad (19.29)$$

(19.28) va (19.29) formulalarda: N_A – A punktdagi birinchi vertikalda ellipsoidning egrilik radiusi; e' – ellipsoidning ikkinchi eksentrisiteti; B_m – punktlar orasidagi o'rtacha kenglik.

Ellipsoiddan B nuqtaning balandligi (19.1-rasm) quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB}; \quad (19.30)$$

$$\Delta H_{AB} = \sqrt{D_{AB}^2 + (R_A + H_A)^2 + 2(R_A + H_A) \cdot U_{AB}} - (R_A + H_A). \quad (19.31)$$



19.1-rasm. Asos chizig'ining geometriyasi.

Ellipsoidda s_{AB} punktlar orasidagi masofa geodezik chiziq bo'yicha quyidagidek topiladi:

$$s_{AB} = \theta_{12} \cdot R_A, \quad (19.32)$$

bu yerda, θ_{12} burchak quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Q_{12} = \arcsin \frac{\sqrt{E_{12}^2 + N_{12}^2}}{R_1 + H_1 + \Delta H_{12}}. \quad (19.33)$$

Geodezik azimut, geodezik uzunlik va ellipsoidal balandlik orttirmalari uchun tuzatma tenglamalarini [13] kitobidan topish mumkin. Yo'ldoshli o'lchashlar uchun qo'llaniladigan, tenglash-tirishning boshqa matematik modellarini tavsiflari [19, 66, 113, 123, 143, 152] ishlarida keltirilgan.

20-BOB. O‘ZBEKISTONDA KOSMIK GEODEZIYA USULLARIDAN FOYDALANISH

20.1. Zamonaviy yo‘ldoshli texnologiyalaridan geodeziya, navigatsiya, kartografiya, kadastr, axborot xizmati va boshqa masalalarni yechishda O‘zbekiston Respublikasi hududida foydalanish

Jahon amaliyotida geografik axborot tizim (GAT) larini rivojlantirishning zamonaviy an‘analaridan biri, davlat va maxsus ahamiyatdagi tarmoq-tematik GAT lar bazasida global, umumdavlat, boshqacha qilib aytganda, milliy GAT larni yaratishdan iborat.

Milliy geografik axborot tizimi (MGAT) yagona tizimga integratsiyalanadigan, vazirliklar va idoralar tomonidan ularning vakolatlari va vakolatlarning tarmoqlar bo‘yicha taqsimlanishidan kelib chiqib, yaratiladigan axborot resurslari kompleksini o‘zida ifodalaydi.

O‘zbekiston Respublikasi Mustaqillikka erishgandan so‘ng “geodeziya, navigatsiya, kartografiya, kadastr va axborot tizimi” sohasida juda katta o‘zgarishlar va rivojlanishlar amalga oshirilmoqda. Shu jumladan, O‘zbekiston Respublikasining Milliy geografik axborot (geoaxborot) tizimi (MGAT) yaratilmoqda.

O‘zbekiston Respublikasining Milliy geografik axborot tizimi O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2013-yil 25-sentabrdagi “Milliy geografik axborot tizimini yaratish investitsiya loyihasini amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-2045-sonli qarori hamda O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2013-yil 27-iyundagi “O‘zbekiston Respublikasida Milliy axborot-kommunikatsiya tizimini yanada rivojlantirish bo‘yicha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-1989-sonli qarori (2-ilova, 5-bandi) ijrosini ta‘minlash maqsadida yaratilgan.

O‘zbekiston Respublikasi bo‘yicha geodeziya, navigatsiya, kartografiya, kadastr va axborot tizimi sohasidagi barcha obyektlarni elektron kartasini yaratish va davlat kadastrlari yagona tizimini shakllantirish, Milliy geografik axborot tizimini yaratishda tabiiy resurslardan oqilona foydalanish va ularni muhofaza qilish, hududlarning iqtisodiyot tarmoqlarini va ijtimoiy sohani kompleks rivojlantirish borasida O‘zbekiston Respublikasining Milliy geografik axborot tizimini (MGAT) ishlab chiqish va yaratish nazarda tutiladi.

Davlat hokimiyati va boshqaruvi organlarini, boshqa foydalanuvchilarni turli faoliyat sohalarida qarorlar qabul qilish uchun zarur bo'lgan geodezik, kartografik va kadastr axboroti bilan ta'minlash maqsadida, O'zbekiston Respublikasi Yer resurslari, geodeziya, kartografiya va davlat kadastr davlat agentligi ("Yergeodezkadastr" davlat agentligi deb yuritiladi) manfaatdor vazirliklar va idoralar bilan hamkorlikda davlat va maxsus ahamiyatdagi GATni, shuningdek Davlat kadastrlari yagona tizimini (DKYAT) yaratish va yuritish ishlarini amalga oshirmoqda.

Hozirgi kunga kelib, Geodeziya va kartografiya milliy markazining (GKMM) DKYAT Respublika axborot-tahlil markazi (DKYAT RATM) tomonidan vakolatli vazirliklar va idoralardan olingan kadastr axborotidan foydalangan holda, yer; binolar va inshootlar; o'rmon; kartografiya-geodeziya; aloqa; shaharsozlik; konlar, foydali qazilmalar va texnogen hosilalarning yuzaga chiqish hollari; suv; avtomobil yo'llari; energetika obyektlari; yetkazib berish quvurlari; ishlab chiqarish chiqindilarini ko'mish va utilizatsiya qilish joylari; tabiiy xavf yuqori bo'lgan zonalar; texnogen xavf yuqori bo'lgan zonalar davlat kadastrlari bo'yicha GAT-qatlamlari yaratilmoqda.

O'zbekiston Respublikasining davlat geodeziya tarmog'ini modernizatsiyalash dasturi bilan an'anaviy usullardan doimiy amal qiluvchi GPS-stansiyalarga tez sur'atlarda o'tish nazarda tutilgan.

Birinchi bosqichda 50 ta stansiya barpo etilishi lozim (ulardan 17 tasi hozirda amal qilmoqda), keyinchalik vaqtning real rejimida ishlashni ta'minlash uchun aholi zich yashaydigan hududlarda bazaviy stansiyalar soni oshiriladi. Mamlakat mudofaasini va iqtisodiyotini har qanday obyektning joydagi o'rnashgan joyini tez va aniq belgilash uchun koordinatalar bilan samarali va minimal sarf-xarajatlar bilan ta'minlaydigan, prinsip jihatidan yangi davlat yo'ldosh geodeziyasi tarmog'ini yaratish respublikani geodezik texnologiyaning jahon darajasiga olib chiqadi.

Kartografiya-geodeziya davlat kadastr — bu kartografiya-geodeziya davlat kadastr obyektlari to'g'risidagi, O'zbekiston Respublikasi hududi to'g'risidagi kartografiya-geodeziya ma'lumotlari, bajariladigan geodeziya, topografiya va kartografiya ishlari to'g'risidagi, shu jumladan ularning miqdor va sifat tavsiflari to'g'risidagi yangilab boriladigan ishonchli axborotlar tizimidir.

Kartografiya-geodeziya davlat kadastri Davlat kadastrlari yagona tizimining tarkibiy qismi hisoblanadi.

Quyidagilar O'zbekiston Respublikasi hududida kartografiya-geodeziya davlat kadastrini hisobga olish obyektlari hisoblanadi:

- O'zbekiston Respublikasi hududlarining barcha masshtablardagi topografik kartalari;

- O'zbekiston Respublikasi shaharlari, shaharchalari va qishloq aholi punktlarining topografik rejalari;

- O'zbekiston Respublikasining raqamli elektron kartalari;

- O'zbekiston Respublikasining navbatchi ma'lumotnoma kartasi;

- O'zbekiston Respublikasi hududini aerofoto va kosmik suratga olish materiallari;

- O'zbekiston Respublikasi davlat geodeziya tarmoqlari punktlari va reperlari;

- yer uchastkalari chegaralarini belgilovchi chegara tarmoqlari punktlari;

- geodeziya punktlari, reperlari, chegara belgilari koordinatlari va balandliklari kataloglari;

- geodeziya, topografiya va kartografiya ishlarini bajarish vaqti, ularning bajaruvchilari to'g'risidagi ma'lumotlar, ularning qiymati.

O'zbekiston Respublikasi Yer resurslari, geodeziya, kartografiya va davlat kadastri davlat agentligi (keyingi o'rinlarda «Yergeodezkadastr» davlat agentligi) kartografiya-geodeziya davlat kadastrini yuritish bo'yicha vakolatli organ hisoblanadi.

Kartografiya-geodeziya davlat kadastri davlat hokimiyati va boshqaruvi organlarini, manfaatdor yuridik va jismoniy shaxslarni kartografiya-geodeziya axborotlari bilan ta'minlash uchun mo'ljallangan.

Quyidagilar kartografiya-geodeziya davlat kadastrini yuritishning asosiy prinsiplari hisoblanadi:

- O'zbekiston Respublikasining barcha hududini to'liq qamrab olish;

- kadastr axborotlarini shakllantirish metodologiyasining yagonaligi;

- kadastr axborotlarining ishonchliligi, ko'rgazmaliligi va hujjatlilik;

- kadastr axborotlarining qonun hujjatlarida belgilangan tartibda

foydalanishga qulayligi.

Kartografiya-geodeziya davlat kadastrini yuritish elektron va /yoki qog‘oz manbalarda/ amalga oshiriladi.

Kartografiya-geodeziya kadastrini yuritish ishlarini moliyalashtirish davlat budjeti hisobiga amalga oshiriladi.

Davlat geodeziya nazorati inspeksiyasi:

- geodeziya, topografiya va kartografiya ishlari materiallarining Davlat geodeziya nazorati inspeksiyasiga o‘z vaqtida taqdim etilishini nazorat qiladi;

- kadastr axborotlarini shakllantirish va taqdim etish formatlarini ishlab chiqadi, ularning sifatini nazorat qiladi;

- kartografiya-geodeziya davlat kadastrining avtomatlashtirilgan axborot tizimini shakllantirishni va uning faoliyatini ta’minlaydi;

- kartografiya-geodeziya davlat kadastrining avtomatlashtirilgan axborot tizimi ma’lumotlar bazasi tuzilmasini ishlab chiqadi, ma’lumotlar bazasining to‘g‘ri to‘ldirilishini nazorat qiladi;

- hisobga olish va baholash kadastr axborotlarini tizimlashtiradi, shakllantiradi va ularni Kartografiya-geodeziya davlat kadastrining avtomatlashtirilgan axborot tizimiga kiritadi;

- kadastr axborotlariga bo‘lgan talabni muntazam ravishda o‘rga-nadi, kadastrni yuritish texnologiyasini takomillashtirishni ta’minlaydi;

- O‘zbekiston Respublikasi hududining kartografiya-geodeziya jihatidan o‘rganilganligi monitoringini yuritadi;

- kadastr ma’lumotlarini davlat hokimiyati va boshqaruvi organ-lariga, jismoniy va yuridik shaxslarga taqdim etadi, ulardan foydalanish tartibi va shartlarini belgilaydi;

- kadastr axborotlarini ruxsatsiz foydalanishdan himoya qilishni ta’minlaydi;

- tizimlashtirilgan kadastr axborotlarining Davlat kadastrlari yagona tizimiga tezkorlik bilan berilishini amalga oshiradi.

- Kartografiya-geodeziya davlat kadastrini yuritish quyidagilardan iborat bo‘ladi:

- kartografiya-geodeziya davlat kadastr obyektlarining miqdor va sifat tavsiflarini hisobga olish;

- geodeziya, topografiya va kartografiya ishlari materiallarini tizimlashtirish, kadastr axborotlarini saqlash va yangilash;

- ro‘yxatga olish va iqtisodiy baholash, reyestr daftarlarini yuritish;
- kadastr axborotlarini qonun hujjatlarida belgilangan tartibda manfaatdor foydalanuvchilarga berish.

Geodeziya, topografiya va kartografiya ishlari materiallarining ro‘yxati, ularning miqdor va sifat tavsiflarini hamda iqtisodiy bahosini hisobga olish uchun asos hisoblanadi.

Kartografiya-geodeziya davlat kadastr obyektlarining barcha turlari boshlang‘ich ro‘yxatga kiritiladi, ularni yaratish uchun birinchi marta geodeziya, topografiya va kartografiya ishlari amalga oshiriladi, shuningdek, ilgari yaratilgan obyektlar to‘g‘risidagi yangilangan ma’lumotlar yoziladi. Bunda, shuningdek, ilgari yo‘qolgan va qayta tiklangan geodeziya belgilari va reperlari, ishlarning bajaruvchilari to‘g‘risidagi ma’lumotlar, ularni bajarish muddatlari va qiymati ham yoziladi. Ro‘yxat natijalari bo‘yicha har qaysi obyekt uchun pasport tuziladi.

Kartografiya-geodeziya davlat kadastr obyektlarini hisobga olish kartalar nomenklaturasi bo‘yicha, davlat geodeziya tarmoqlari klasslari va turlari bo‘yicha, shu jumladan, ma’muriy-hududiy bo‘linish bo‘yicha hamda aholi punktlari bo‘yicha alohida amalga oshiriladi.

Kartografiya-geodeziya davlat kadastr obyektlarining miqdor va sifat tavsiflarini hisobga olish uchun, Davlat geodeziya nazorati inspeksiyasi kadastr axborotlarini taqdim etishning texnik parametrlari va formatlarini ishlab chiqadi.

Hujjatli rasmiylashtirilgan va belgilangan tartibda tasdiqlangan hisobga olish axborotlari reyestr daftariga yoziladi va kartografiya-geodeziya davlat kadastrining avtomatlashtirilgan axborotlar tizimiga kiritiladi.

Kartografiya-geodeziya davlat kadastr obyektlarini iqtisodiy baholash geodeziya, topografiya va kartografiya ishlarining o‘ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda, qonun hujjatlarida belgilangan tartibda amalga oshiriladi.

Kartografiya-geodeziya davlat kadastr obyektlari to‘g‘risidagi kadastr axborotlarining ishonchliligi uchun Davlat geodeziya nazorati inspeksiyasining kartografiya-geodeziya davlat kadastrini yuritish zimmasiga yuklangan rahbari javob beradi.

Keyingi vaqtlarda karta (plan)larni elektron raqamli tarzda yaratilishi ishlarning yanada samarali bo‘lishini ta’minlamoqda. Kadastr va qishloq xo‘jaligi karta (plan)larini yaratish, juda murakkab bo‘lgan

jarayonlarni o'z ichiga oladi va zamonaviy dasturlar, kompyuter texnika va texnologiyalariga tayanishni talab etadi.

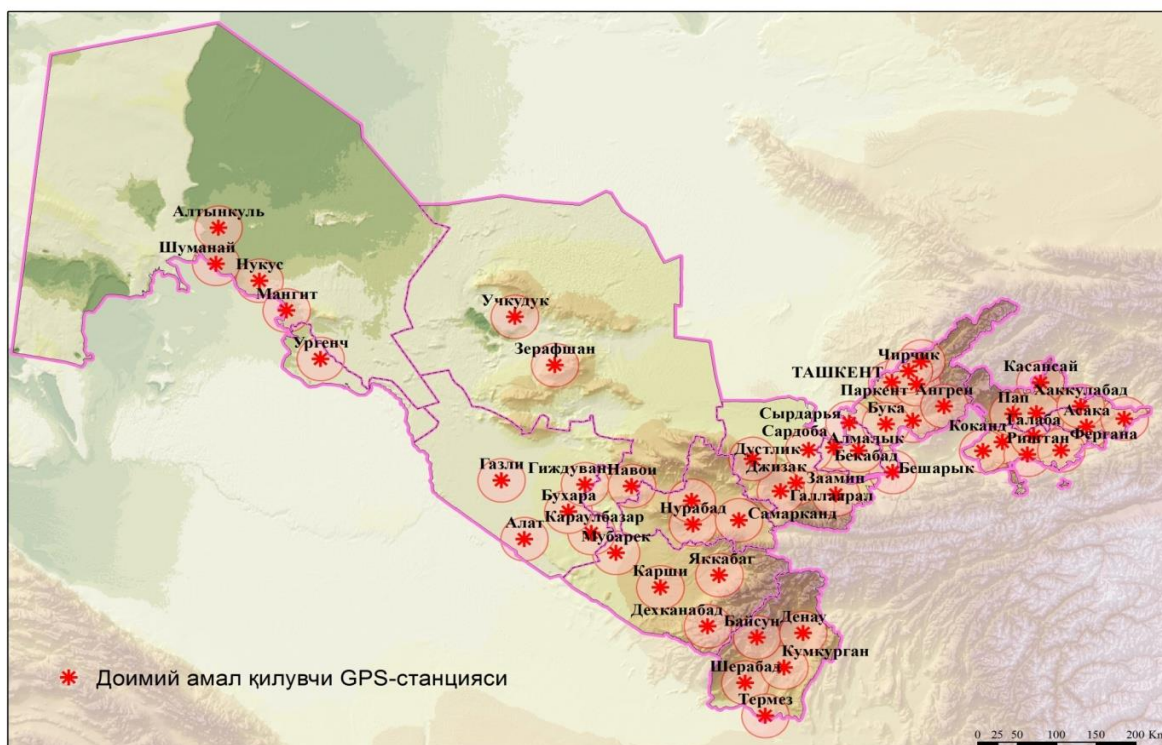
Korxonalar tomonidan hozirgi kungacha yaratilgan karta (plan) lar RANORAMA dastur tizimida bajarilgan bo'lib, Milliy geografik ma'lumotlar tizimlarini (MGMT), ArcGIS dastur tizimida yaratilishi munosabati bilan yaratilgan karta (plan) larni yagona tizimga o'tkazish ishlarini olib borilishi lozim.

Hozirgi kunda yer tuzish hamda davlat yer kadastrini hisobotini yuritishni 1:10000 va 1:25000 masshtabdagi kartalarsiz tasavvur qilish qiyin. Ushbu kartalarsiz ichki yer tuzish va yerlarni qayta taqsimlash loyihalarini tuzib bo'lmaydi.

Mazkur kartalar yer tuzish ishlarini bajarishda qulayliklar yaratish uchun yaratilgan. Ko'p yillar davomida kartalar davr talabi va ishlab chiqarish zaruriyatidan kelib chiqqan holda, takomillashtirilib borildi. Jumladan, kartaning ko'rinishi, shartli belgilarini aks ettirish, ma'lumotlar tarkibi va shartlilik darajalarining kichik bir xususiyatlarigacha O'zbekistondagi yer tuzish, yer kadastrini yuritish va yerlarni monitoringi ishlariga amalda moslashtirib borilgan.

Hozirgi kunda, qishloq xo'jaligi yerlarini fermer xo'jaliklariga to'liq taqsimlab berilishi natijasida, yerdan foydalanuvchilar sonining keskin ko'payishi, boshqa turdagi yerdan foydalanuvchi hamda yer va mulk egalarining shakllanishi munosabati bilan ushbu subyektlarni yerdan foydalanish va yerga egalik qilishi uchun me'yoriy-huquqiy hujjatlar bilan ta'minlashda 1:10000 masshtabdagi kartalar yagona manba bo'lib, muhim o'rin egallaydi.

Geodeziya sohasida MGAT ni yuritish uchun joylarda YGT davlat geodeziya punktining holati va GPS asbobini joylashtirish uchun ajratilgan joy hamda ma'lumotlarni qayta ishlash markazlarining talab darajasida shakllantirish maqsadida, Respublika hududi bo'yicha 55 ta geodezik punktlar o'rnatilishi rejalashtirilgan (20.1-rasm).



20.1-rasm. Doimiy amal qiluvchi GPS-stansiyalarning O‘zbekiston hududida joylashishi.



20.2-rasm. Doimiy amal qiluvchi GPS-stansiya.

Doimiy amal qiluvchi GPS-stansiyasi o‘z ichiga – geodezik yo‘ldosh qabul qiluvchi va antennani oladi. Real rejimida ishlashni ta’minlash uchun uzluksiz elektr ta’minoti, xavfsiz joyda joylashtirilgan (20.2-rasm).

Hozirgi kunda, Respublikamizda xalq xo‘jaligining turli sohalarida geoaxborotlar tizimini yaratishda kosmik va aerosuratlardan keng ko‘lamda foydalanilib, aniqlik darajasi yuqori bo‘lgan elektron raqamli kartalarni yaratish texnologiyasi yo‘lga qo‘yilgan. Mavjud 1:10000 va 1:25000 masshtabdagi elektron raqamli kartalar yangilanmoqda. Shu bilan birga, turli formatlarda chizilgan raqamli kartalar maxsus Panorama va Arc GIS dasturlarida elektronlashtirilib, zamonaviy elektron kartalar yaratilmoqda.

XULOSA

GPS va GLONASS turlaridagi yo‘ldoshli tizimlarni sohalarga qo‘llanilishini tezkorlik bilan kengayishi, yo‘ldoshli apparaturalarga va uni takomillashtirilishiga hamda kuzatishlar usullariga va keyingi qayta ishlashlarga bo‘lgan talablarni keskin ravishda oshirdi. So‘nggi vaqtlarda e‘lon qilingan ma‘lumotlarga ko‘ra, yo‘ldoshli apparaturalar ishlab chiqarish bilan 60 dan ko‘p firmalar shug‘ullanmoqda, ular tomonidan 400 dan ko‘p turli xildagi yo‘ldoshli priyomniklar yaratildi, shu bilan birgalikda, yo‘ldoshli tizimlar butunlay takomillashtirila boshlandi. Bu soha taraqqiyotiga ko‘p sonli tadqiqotlarni, kuzatish jarayonlarini va yo‘ldoshli o‘lchashlar qayta ishlashlarini takomillashtirilishiga oriyentirlash targ‘ib qilindi. Bunday tadqiqotlar, turli xil xatolar manbayi ta’sirlarini sezilarli darajada kamayishiga va o‘z navbatida, so‘nggi o‘lchash natijalarining aniqligi va ishonchliligini oshishiga olib keldi.

GPS va GLONASS yo‘ldoshli tizimlarini espluatatsiyasi natijasida, so‘nggi yillarda to‘plangan tajribalardan, bunday tizimlarni takomillashtirish maqsadga muvofiqligi aniqlandi va ularni kelgusida takomillashtirilishining eng istiqbolli yo‘nalishlarini aniqlash imkonini berdi. Shu bilan birgalikda, yangi yo‘ldoshli tizimni yaratish takliflari paydo bo‘ldi. Bunga misol sifatida “Galileo” tizimini keltirishimiz mumkin.

GPS ekspluatatsiyasi jarayonida paydo bo‘ladigan, eng katta xarajat, yo‘ldoshlarning xizmat muddati bilan bog‘liq bo‘lgan, davriy yangilash muammosi hisoblanadi. Bundan, yo‘ldoshlarning orbitadagi faol xizmat muddatlarini uzaytirish muammosi kelib chiqadi. Ta’kidlanganidek, ushbu ko‘rsatkichga doimo diqqat qaratiladi. U yangi turdagi yo‘ldoshlarni ekspluatatsiyaga kiritishda yaxshilanadi. Bunga misol sifatida, hozirgi vaqtda Boing (AQSH) firmasi bilan 30 ta yangi takomillashgan, xizmat muddatlari 14–15 yillarga taxmin qilinayotgan, IIF-blok turidagi yo‘ldoshlarni ishlab chiqarish uchun tuzilgan shartnomani keltirishimiz mumkin. Yo‘ldosh bortida ishlatiladigan atomli (rubidiyli va seziyli) tayanch generatorlarni, vodorod mazerlariga almashtirish rejalashtirilmoqda, ular juda yuqori chastotalar barqarorligini uzoq vaqt intervallarida ta’minlaydi.

GPS ning navbatdagi takomillashtirilishi, so‘nggi modeldagi yo‘ldoshlarga, yo‘ldoshlararo aloqalar to‘plamini joylashtirishdan iborat. Bu yo‘ldoshlar orasidagi masofani o‘lchash va o‘zaro ma’lumotlar almashinishi imkoniyatlarini beradi. Bunday to‘plamni ish faoliyatiga kiritilishi, yo‘ldoshlarda navigatsiya xabarlarining yangilinishini, ma’lumotlar sifati sezilarli darajada yomonlashmasdan 180 kungacha oshirilishi mumkin. GPS turkumidagi yo‘ldoshlar sonini 30 – 36 tagacha oshirish taxmin qilinmoqda.

GLONASS tizimlarini keyingi takomillashtirish, xizmat muddati oshirilgan yo‘ldoshlarni ishlab chiqish bilan bog‘liq. Bu GLONASS tizimiga kiruvchi, yo‘ldoshlar turkumini doimo to‘liq ushlab turish masalasini oson yechilishini ta’minlaydi. Hozirgi vaqtgacha to‘plangan tajribalardan GLONASS yo‘ldoshlarining xizmat muddati o‘rtacha 3.5 yilni tashkil etadi. GLONASS-M takomillashgan tizimida esa, yo‘ldoshlar xizmat muddatini 5 yilgacha yetkazish ko‘zda tutilgan. Shu bilan bir qatorda, GLONASS tizimidagi yo‘ldoshlarga, juda barqaror bortli standart chastotalarni o‘rnatish ustida ishlar olib borilmoqda. Modernizatsiyaning boshqa yo‘nalishiga, ST-kodning (GPS tizimlari uchun S/A-kodga o‘xshash) umum kirish mumkin bo‘lgan ikkinchi tashuvchi chastotasiga kiritish istiqbolini keltirish mumkin.

Umumiy to‘plamda, GPS va GLONASS tizimlarida ishlatiladigan turli xil global koordinata tizimlari (WGS-84 va PZ-90) bilan bog‘liq, ushbu tizimlarni takomillashtirilishi, ayniqsa, diqqatga sazovordir. Bu muammo, GLONASS tizimini global tadqiq qilishga bag‘ishlangan, IGEX-98 xalqaro tajribasini o‘tkazishda, eng muhimlaridan bo‘ldi.

GPS va GLONASS tizimlarining hozirgi vaqtda to‘plangan tajribalaridan foydalanish hamda shu tizim bilan bog‘liq, ko‘p sonli tadqiqotlar “Galileo” shartli nomlanishini olgan, juda takomillashgan yangi yo‘ldoshli tizimni ishlab chiqish uchun dastlabki shart-sharoitlarni yaratdi. Bunday taklif, Yevropa ilmiy hajamiyati va Yevropa kosmik agentligining tashabbusiga ko‘ra ilgari surilgan edi.

Qayd etilgan tizimning xususiyalaridan biri, bu taklif etilayotgan yo‘ldoshlarning guruhlashda 32 tagacha kosmik apparatlarni, shuningdek, 9 ta geostatsionar yo‘ldoshlarni o‘z ichiga oladi. Bunday global turkum yuqori kengliklarda joylashgan, mamlakatlarga optimal xizmat ko‘rsatishni nazarda tutadi. “Galileo” mustaqil tizim sifatida

qaraladi, ammo o‘zining asosiy texnik tavsiflariri bo‘yicha, mavjud GPS va GLONASS tizimlari bilan moslashtirilgan bo‘lishi kerak.

“Galileo” tizimi, eng avvalo, aviatsiya va dengiz floti hamda quruqlikdagi transport vositalariga navigatsiya xizmati ko‘rsatishga yo‘naltiriladi. Unda avariylar to‘g‘risida xabardor qilish tizimi ko‘zda tutilishi taxmin qilinmoqda. “Galileo” tizimidan navigatsiyada foydalanishdan tashqari, uni yer tuzish bo‘yicha keng doiradagi masalalarni yechishda, shelflarda va ochiq dengizlardagi ishlarni ta‘minlash uchun hamda turli xil geodezik va topografik ishlarni bajarishlarda qo‘llash ham nazarda tutilmoqda. “Galileo” tizimidan sinov tariqasida foydalanish 2005-yilning boshlarida boshlanishi, 2008-yilda to‘liq hajmda ishchi holatga keltirilishi taxmin qilingan edi.

Hozirgi vaqtda, kontinental, regional va lokal quyi tizimlar ham yetarlicha keng tarqala boshlandi. Bularga misol sifatida: Amerikaning (WAAS), Yevropaning (EGNOS) va Yaponiyaning (MSAS) quyi tizimlarini keltirishimiz mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Абалакин, В.К. Основы эфемеридной астрономии [Текст] / В.К.Абалакин. – М.: Наука, 1980. – 448с.
2. Абалакин, В.К. Геодезическая астрономия и астрометрия: Справ. пособие [Текст] / В.К. Абалакин, И.И. Краснорылов, Ю.В. Плахов. – М.: Картоцентр: Геодезиздат, 1996. – 435 с.
3. Антонович, К.М. Мониторинг объектов с применением GPS технологий [Текст] / К.М.Антонович, А.П. Карпик // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2004. - №1. – С. 53 – 67.
4. Антонович, К.М. Совместное использование метеоданных наземных и аэрологических наблюдений при обработке спутниковых измерений [Текст] / К.М. Антонович, Е.К. Фролова // Вестник СГГА, вып. 8. – Новосибирск: СГГА, 2003. – С. 8 –13.
5. Антонович, К.М. Этапы развития спутниковых технологий с применением систем GPS/ГЛОНАСС [Текст] / К.М. Антонович // Геопрофи. – 2003. –№ 2. – С. 6 –10.
6. Базлов, Ю.А. Параметры связи систем координат [Текст] / Ю.А. Базлов, А.П. Герасимов, Г.Н. Ефимов, К.К. Насретдинов // Геодезия и картография. – 1996. – № 8. – С. 6 –7.
7. Балк, М.Б. Элементы динамики космического полета [Текст] / М.Б. Балк. –М.: Наука, 1965.
8. Баранов, В.Н. Космическая геодезия [Текст] / В.Н. Баранов, Е.Г. Бойко, И.И. Краснорылов и др. – М.: Недра, 1986. – 407с.
9. Бойков, В.В. Опыт создания геоцентрической системы координат ПЗ-90 [Текст] / В.В. Бойков, В.Ф. Галазин, Б.Л. Каплан и др. // Геодезия и картография.– 1993. – № 11. – С. 17 – 21.
10. Болдин, В.А. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС [Текст] / В.А. Болдин, В.И. Зубинский, Ю.Г. Зурабов и др. / Под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова, В.А. Болдина. – 2-е изд., исправ. – М.: ИПРЖР, 1999. – 560 с.
11. Галазин, В.Ф. Параметры Земли 1990 года (ПЗ-90) [Текст]/ В.Ф. Галазин, Б.Л. Каплан, М.Г. Лебедев и др. / Под общей ред. В.В. Хвостова. – М.: Координац. научно-информ. центр, 1998. – 37с.

12. Галазин, В.Ф. Совместное использование GPS и ГЛОНАСС: оценка точности различных способов установления связи между ПЗ-90 и WGS-84[Текст] / В.Ф. Галазин, Ю.А. Базлов, Б.Л. Каплан, В.Г. Максимов // «Навигация-97». Сб. трудов второй Межд. конф. «Планирование глобальной радионавигации», 24- 26 июня 1997 г. Т. I, II. – М.: НТЦ «Интернавигация», 1997. – С. 299 –310.

13. Гаязов, И.С. Обработка GPS-наблюдений в ИПА РАН [Электронный ресурс] / И.С. Гаязов, Н.А. Панафилина, З.М. Малкин. – 2005. – 31 с. – Режим доступа: http://www.ipa/nw.ru/koi8-r/conference/kvo-2005/present/12_apr/s-s3/gaya_gps.zip

14. Генике, А.А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применения в геодезии [Текст] / А.А. Генике, Г.Г.Побединский. – М.: Картоцентр: Геоиздат, 1999. – 272 с.

15. Генике, А.А. Особенности учета влияния многопутности при спутниковых геодезических измерениях [Текст] / А.А. Генике, Ву Ван Донг // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2004а. - №2. – С. 3 – 15.

16. Генике, А.А. Экспериментальные исследования влияния многопутности на спутниковые измерения [Текст] / А.А. Генике, Ву Ван Донг // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2004б. - №3. – С. 3 – 11.

17. Герасимов, А.П. Уравнивание государственной геодезической сети. [Текст] / А.П. Герасимов. – М.: Картоцентр: Геодезиздат, 1996. – 216с.

18. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейс. контрол. док. (редакция 5.0) [Электронный ресурс] – М.: Координац. науч.-информ. центр ВКС России, 2002. – 57 с. – Режим доступа: <http://www.glonass-center.ru>

19. Глушков, В.В. Космическая геодезия: методы и перспективы развития [Текст] / В.В. Глушков, К.К. Насретдинов, А.А. Шаравин. – М.: Институт политического и военного анализа. – 2002. -448 с.

20. ГОСТ Р 51794-2001. Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной

системы позиционирования. Системы координат. Методы преобразования координат определяемых точек [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 11с.

21. Жуков, А.В. Практикум по спутниковому позиционированию / А.В. Жуков, Б.Б. Серапинас / Под ред. Ю.Ф. Книжникова [Текст] – М.: Географический факультет МГУ, 2002. – 120с.

22. Изотов, А.А. Основы спутниковой геодезии [Текст] / А.А. Изотов, В.И. Зубинский, Н.Л. Макаренко, А.М. Микиша. – М.: Недра, 1974. – 329с.

23. Капилевич, Д.И. Учет ковариационных зависимостей спутниковых геодезических измерений [Текст] / Д.И. Капилевич // Геодезия и картография. – 2003. – № 12. – С. 6 –11.

24. Карпик, А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: Монография [Текст]/ А.П. Карпик. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260с.

25. Кауфман, М.Б. Характеристики работы Государственной службы ПВЗ России по результатам анализа данных за 1993 г. [Текст] / М.Б. Кауфман // Тр. Рос. симпоз. «Метрология времени и пространства» 11-13 окт. 1994 г. – Менделеево (Моск. обл.,Россия): ИМВПП «ВНИИФТРИ», 1994.–С.64–69.

26. Кораблев, М.Е. Геодезический приемник ГЛОНАСС/GPS ГЕО-161 [Текст] / М.Е. Кораблев, Б.Б. Тикко // Геопрофи. – 2004. – № 5. – С. 8 – 11.

27. Коршик, О.А. Моделирование геодезических построений с использованием чисел избыточности и необходимости [Текст] / О.А. Коршик, В.А. Падве // 3-й Сибирс. Конгр. По прик. И индустр. Мат. (ИНПРИМ-98), посвящ. Памяти С.Л. Соболева (1908 – 1989), 1998. – С. 111 – 112.

28. Крюков, С.В. Особенности совместной обработки фазовых измерений в системах ГЛОНАСС и GPS [Текст] / С.В. Крюков, С.Н. Свердлик // Геодезия и картография. – 2001. - №12. – С. 10 – 13.

29. Лукашова, М.В. Небесное эфемеридное начало (СЕО) [Текст] / М.В. Лукашова, М.Л.Свешникова // Труды ИПА РАН, вып. 10.

Расширенное объяснение к «Астрономическому ежегоднику»—СПб.:ИПРАН,2004.—С.186–206.

30. Лукашова, М.В. Теория астрономических редукций [Текст] / М.В. Лукашова, Л.И. Румянцева, М.Л. Свешникова // Труды ИПА РАН, вып. 10. Расширенное объяснение к «Астрономическому ежегоднику» — СПб.: ИПА РАН, 2004. — С. 135 –185.

31. Макаренко, Н.Л. Единая государственная система геодезических координат 1995 года (СК-95) [Текст] / Н.Л. Макаренко, Г.В. Демьянов, Е.В. Новиков и др. / Под ред. А.А. Дразнюка. — М.: Федерал. служба геодезии и картографии России, 2000. — 34с.

32. Маркузе, Ю.И. Алгоритм объединения наземных и спутниковых геодезических сетей [Текст] / Ю.И. Маркузе // Геодезия и картография. — 1997. - №9. С. 23 – 28.

33. Машимов, М.М. Планетарные теории геодезии [Текст] / М.М. Машимов. — М.: Недра, 1982. — 261с.

34. Мориц, Г. Вращение Земли: теория и наблюдения [Текст] / Г. Мориц, А. Мюллер / Пер. с англ. — Киев: Наукова думка, 1992. — 512с.

35. Национальный отчет Федеральной службы геодезии картографии — 1994 [Текст] — М.: ЦНИИГАиК, 1995. — 62 с.

36. Одуан, К. Измерение времени. Основы GPS [Текст] / К. Одуан, Б. Гино. —М.: Техносфера, 2002. — 400 с.

37. Основные положения о Государственной геодезической сети России. (Проект) [Текст] — М., 1997. — 18с.

38. Пеллинен, Л.П. Высшая геодезия (Теоретическая геодезия) [Текст] /Л.П. Пеллинен. — М.: Недра, 1978. — 264 с.

39. Постнов, А.В. Основы геодезического обеспечения археологических исследований с применением спутниковых навигационных приемников [Текст] / А.В. Постнов, Е.Г. Вергунов. — Новосибирск: Свет, 2003. — 160с.

40. Прихода, А.Г. Спутниковые обеспечение сейсморазведочных работ [Текст] / А.Г. Прихода, А.П. Лапко, Г.И. Мальцев, И.А. Бунцев. — Методические рекомендации / Науч. Ред. А.Г. Прихода. —Новосибирск:СНИИГГиМС, 2002. —144 с.

41. РТМ 68-14-01. Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения [Текст] – М.: ЦНИИГАиК, 2001. – 29с.
42. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS [Текст] – М.: ЦНИИГАиК. – 2003. – 182 с.
43. Саастамойнен, Ю. Тропосферная и стратосферная поправки радиослежения ИСЗ [Текст] / Ю. Саастамойнен // Использование искусственных спутников в геодезии / Под ред. С. Хенриксена, А. Манчини, Б. Човица. – М.: Мир, 1975. – С. 349 –356.
44. Серапинас Б.Б. Введение в ГЛОНАСС и GPS измерения: Учеб.пособие [Текст] / Серапинас Б.Б. – Ижевск: Удм. гос. ун-т, 1999. – 93 с.
45. Соловьев, Ю.А. Системы спутниковой навигации [Текст] / Ю.А. Соловьев. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 267с.
46. Татевян, С.К. Использование спутниковых позиционных систем для геодинамических исследований [Текст] / С.К. Татевян, С.П. Кузин, С.П. Ораевская // Геодезия и картография. – 2004. – № 6. – С. 33 –44.
47. Тихонравов, М.К. Основы теории полета и элементы проектирования искусственных спутников Земли [Текст] / М.К. Тихонравов, И.М. Яцунский, Г.Ю. Максимов и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 296с.
48. Урмаев, М.С. Орбитальные методы космической геодезии [Текст]/ М.С. Урмаев. – М.: Недра, 1981. – 256 с.
49. Чмых, М.К. Расширение функциональных возможностей глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС на основе фазовых методов [Текст] / М.К. Чмых // Тр. междунар. науч.-техн. конф. «Спутниковые системы связи и навигации», Красноярск, 30 сент. – 3 окт. 1997 г. Т. 1. – Красноярск: КГТУ, 1997. – С. 92 –99.
50. Чолий, В.Я. Сравнение различных реализаций земной системы координат, построенных по данным лазерной локации искусственных спутников Земли [Текст] / В.Я. Чолий // Кинематика и физика небес. тел, 1987. – Т. 3, № 4. – С. 75 –79.

51. Шануров, Г.А. Геотроника. Наземные спутниковые радиоэлектронные средства и методы выполнения геодезических работ: Учеб. пособие [Текст] / Г.А. Шануров, С.Р. Мельников. – М.: УПП «Репрография» МИИГАиК, 2001. – 136 с.
52. Шебшаевич, В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы [Текст] / В.С. Шебшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцевич и др. / М.: Радио и связь, 1993. – 408с.
53. Юркина, М.И. Действующие системы координат в России [Текст] / М.И. Юркина, Л.И. Серебрякова // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2001. – № 3. – С. 40 –53.
54. Юркина, М.И. Общеземная система высот и морская поверхность[Текст]/ М.И. Юркина // Науч.-техн. сб. по геодезии, аэрокосмич. съемкам и картографии. – М.: ЦНИИГАиК, 1996б. – С. 46 – 65.
55. Яковлев, Н. В. Высшая геодезия: Учеб.для вузов [Текст] /Н.В. Яковлев.–М.: Недра, 1989. – 445 с.
56. Alber, C. GPS surveying with 1 mm precision using corrections for atmospheric slant path delay [Text] / C. Alber, R. Ware, C. Rocken, F. Solheim // Geophysical Research Letters, Vol. 24, No. 15. – August 1997. – P. 1859-1862. – Англ.
57. Al-Kadi, I. Selection of GPS receiver for GPS applications [Text] /I. Al-Kadi // J.of Surveying Engineering, Vol. 115, №1. – 1989. – P. 111 – 120. – Англ.
58. Askne, J. Estimation of tropospheric delay for microwaves from surface weather data [Text] / J. Askne, and H. Nordius // Radio Science. – V. 22. – 1987. – P. 379-386. –Англ.
59. Bar-Sever, Y.E. Estimating horizontal gradiyents of tropospheric path delay with a single GPS receiver [Text] / Y.E. Bar-Sever, P. Kroger, J.A. Börjesson // J. of Geoph. Research, Vol. 103. – 1998. – P. 5019-5035. –Англ.
60. Beutler, G. Accuracy and biases in the geodetic application of the Global Positioning System [Text] / G. Beutler, I. Bauersima, S. Botton et al. // Manuscripta geodaetica. – 1989. – Vol. 14. – P. 28-35. – Англ.

61. Bevis, M. GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System [Text] / M. Bevis, S. Businger, T.A. Herring // Journal of Geophysical Research, Vol. 97, No. D14, October 20, 1992. – P.15787-15801.- АНГЛ.

62. Black, H.D. An Easily Implemented Algorithm for the Tropospheric Range Correction [Text] / H.D. Black // J. of Geophysical Research. – 1978. – Vol. 83, N. B4.– P. 1825-1828. –АНГЛ.

63. Black, H.D. Correcting Satellite Doppler Data for Tropospheric Effects 1[Text] / H.D. Black, A. Eisener // Journal of Geophysical Research / H.D. Black, A. Eisener.– 1984. – Vol. 89, N. D2. – P. 2616-2626. –АНГЛ.

64. Blewitt, G. Basics of the GPS Technique: Observation Equations [Electronicresource] /Blewitt, G. – 1997. – 46p .– Режим доступа: <http://www.nbmng.unr.edu/staff/pdfs/gps%20for%20geodesy.pdf>

65. Blewitt G. The Global Positioning System Geodesy Odyssey / G. Blewitt, E.R. Swift, T.P. Yunck et al. // Navigation, Journ. of the Inst. of Navigation, Vol. 49, No. 1. – Spring 2002. – P. 7-34. –АНГЛ.

66. Bock, Y. Establishment of three-dimensional geodetic control by interferometry with the Global Positioning System [Text] / Y. Bock,R.I. Abbot, C.C. Counselman III et al. // J. of Geophys. Res., 1985, V. 90 (B9). – P. 7689-7703. – АНГЛ.

67. Bock, O. Atmospheric processing methods for high accuracy positioningwith the Global Positioning System [Electronic resource] / O. Bock, E. Doerflinger /2000. – 11 p. – АНГЛ. – Режим доступа: http://www.gdiv.statkart.no/igsworkshop/book/bock_doerf.pdf

68. Botton, S. GPS localization et navigation Text] / S. Botton, F. Duquenne, Y. Egels et al. – Paris: Hermès, 1997. – 160 p. – Франц.

69. Borkowski, K.M. Accurate algorithms to transform geocentric to geodetic coordinates [Text] / K.M.Borkowski // Bull. Géod. – Vol. 63. – 1989. – P. 50-56. – АНГЛ.

70. Börjesson J. GLONASS Contribution to Space Geodesy [Text] /J. Börjesson. – 2000. – 62 p. – АНГЛ. [Electronic resource]. –Режим доступа: <http://www.oso.chalmers.se/~geo/introduction.pdf>

71. Boucher, C. The ITRF and its relationship to GPS [Text] / C.Boucher, Z. Altamimi. // GPS World. – Vol. 7, N 9. – 1996. – P. 71-74. – Англ.

72. Brown A. Extended differential GPS [Text] / A. Brown // Navigation Vol. 36, No. 3. – 1989. – P. 265 – 285. – Англ.

73. Brunner, F. K. Effect of troposphere on GPS measurements. [Text] / F.K. Brunner, W.M. Welsch // GPS World. – 1993. – Vol. 4, N 1. – P. 42 – 51. – Англ.

74. Burša, M. Space geodesy and space geodynamics [Text] / M. Burša, J. Kostelecký – Prague: Military Geographic Institute, 1999. – 460 p. – Англ.

75. Capitaine, N. Definition of the Celestial Ephemeris Origin and of UT1 in the International Celestial Reference Frame [Electronic resource] / N. Capitaine, B. Guinot, D.D. McCarthy. – 1999. – Англ. – Режим доступа:

<http://aa.springer.de/papers/0355001/2300398/small.htm>

76. Chen, G. A. Effects of atmospheric azimuthal asymmetry of the analysis of space geodetic data [Text] / G. Chen, T. Herring // Journal of Geophysical Research, Vol. 102, No. B9, PP 20489-20502, Sept. 10, 1997. – Англ.

77. Collins P. Tropospheric Delay: Prediction for the WAAS User [Text] / P. Collins, R.B. Langley // GPS World. – 1999. – Vol. 10, No. 7. – P. 52–58. – Англ.

78. Dale, S.A. Position - Fixing Using the USSR's GLONASS C/A Code [Text] / S.A. Dale, I.D. Kitching, P. Daly // IEEE Aerosp. and Electron. Syst. Mag. – 1989. – Vol. 4, № 2. – P. 3-10. – Англ.

79. Davis, J.L. Geodesy by radio interferometry: effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length [Text] / J.L. Davis, T.A. Herring, I.I. Shapiro, A.E. Rogers and G. Elgered // Radio Science, 1985. V. 20, No. 6. – P. 1593- 1607. – Англ.

80. Delikaraoglou, D. On the stochastic modelling of GPS ionospheric delay [Text] / D. Delikaraoglou // Manuscripta geodetica. – 1989. – Vol. 14. – P. 100 – 109. – Англ.

81. Diep, Dao. Location-based services: technical and business issues [Text] / Diep Dao, C. Rizos, J. Wang // GPS Solutions, Vol. 6, No. 3. – 2002. – P.169-178. – АНГЛ.
82. van Dierendonck, A.J. Theory and Performance of Narrow Correlator Spacing in a GPS Receiver [Text] / A.J. van Dierendonck, P. Fenton, T. Ford // Navigation, 39(3). 1992. – P. 265-283. – АНГЛ.
83. DMA Technical Report 8350.2 Departament of Defence World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationship with local geodetic Systems; DMA TR 8350.2; 2nd edition. [Text] – Washington, DC: Headquarters, Defence Mapping Agency; 1 September 1991. – 170 p. – АНГЛ.
84. El-Rabbany, A. Introduction to GPS: The Global Positioning System [Text] / A. El-Rabbany Boston, London: Artech House.– 2002. – 176 p. – АНГЛ.
85. Emardson, T.R. Atmospheric modelling in GPS analysis and its effect on the estimated geodetic parameters [Text] / T.R. Emardson, P.O.J. Jarlemark // J. of Geodesy, Vol. 73. – 1999. – P. 322-331. – АНГЛ.
86. Engelis, T. Measuring orthometric height differences with GPS and gravity data [Text] / T. Engelis, R. Rapp, Y. Bock // Manuscripta Geodaetica, Vol. 10, No. 3, 1985. – P. 187 – 194. – АНГЛ.
87. Even-Tzur, G. GPS vector configuration design for monitoring deformation Networks [Text] /G. Even-Tzur // J. of Geodesy.–2002.– Vol. 76, No. 12. – P. 455 – 461. – АНГЛ.
88. Fukushima, T. Fast transform from geocentric to geodetic coordinates [Text]/T. Fukushima // J. of Geodesy, Vol. 73. – 1999. – P. 603-610. – АНГЛ.
89. Geiger, A. Modeling of Phase Center Variation and its Influence on GPS – Positioning [Text] / A. Geiger // GPS -Techn. Appl. Geod. And Surveying. Proc. Int. GPS – workshop Darmstadt, Apr. 10–13, 1988. – Berlinetc., 1988. – P.210 –222. – АНГЛ.
90. Ge, L. Adaptive filtering of continuous GPS results [Text] / L. Ge, H.-Y.Chen, Sh. Han, C. Rizos // J. of Geodesy. – 2000. Vol. 74, No. 7/8. – P. 572 – 580. – АНГЛ.

91. Goad, C.C. An automated procedure for generating of optimum set of independent double difference observables using GPS carrier phase measurement [Text] / C.C. Goad, A. Müller // *Manuscripta Geodaetica*. – 1988. – Vol. 13. – P. 365 – 369. – Англ.
92. Gourevitch, S.A. Y2K and Other Stories / S.A. Gourevitch and K. Dale [Text] // *GPS Solutions*, Vol. 3, No. 1. – 1999. – P. 2-4. – Англ.
93. GPS World Receiver Survey [Text] // *GPS World*, V. 14, No. 1. – 2003a. – P. 34 – 51. – Англ.
94. GPS World Receiver Survey [Text] // *GPS World*, V. 15, No. 1. – 2004. – P. 32 – 51. – Англ.
95. Gurtner, W. RINEX - The receiver-independent exchange format [Text] / W. Gurtner. // *GPS World*, V.5, No.7. – 1994. – P. 48-52. – Англ.
96. Gurtner, W. The use of the Global Positioning System in mountainous areas [Text] / W. Gurtner, G. Beutler, S. Botton et al. // *Manuscripta geodaetica*. – 1989. – Vol.14. – P.53 – 60. – Англ.
97. Harvey B.R. Transformation of 3D coordinates [Text] / B.R. Harvey // *The Australian Surveyor*. – June 1986. – Vol. 33, N 2. – P. 105-125. – Англ.
98. Hein, G. W. From GPS and GLONASS via EGNOS to Galileo-positioning and navigation in the third millennium [Text] / G.W. Hein // *GPS Solutions*. – 2000. – Vol.3, No.4. – P.39 – 47. – Англ.
99. Herring, T. A. Modeling atmospheric delays in the analysis of space geodetic data [Text] / Herring, T. A. // *Proceedings of Symposium on Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy*, Eds. J. C. de Munck, T. A. Th. Spoelstra, The Hague, The Netherlands, 19-22 May 1992, Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, Delft, The Netherlands, No. 36, New Series. – P. 157-164. – Англ.
100. Hofmann-Wellenhof, B. Global Positioning System. Theory and practice. – Fifth, revised edition [Text] / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger and J. Collins – Wienn, New-York: Springer. – 2001. – 384 p. – Англ.
101. Hopfield H.S. Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data [Text] / H.S. Hopfield // *J. of Geophysical Research*, Vol. 74, No 18, August 20, 1969. – P. 4487-4499. – Англ.

102. IERS Technical Note 21. IERS Conventions (1996) [Text] / D.D. McCarthy (ed.) – Paris: Central Bureau of IERS. – Observatoire de Paris, July 1996. – 95 p. – АНГЛ.

103. IERS Technical Note 23. Definition and realization of the International Celestial Reference System by VLBI astrometry of extragalactic objects [Text] / C. Ma and M. Feissel (eds.) – Paris: Central Bureau of IERS. – Observatoire de Paris, July 1997. – 278 p. – АНГЛ.

104. IERS Technical Note 25. IERS Analysis Campaign to Investigate Motions of the Geocenter [Text] / J. Ray (Ed.). – Paris: Central Bureau of IERS. – Observatoire de Paris, June 1999. – 121 p. – АНГЛ.

105. IERS Technical Note 27. The International Terrestrial Reference Frame (ITRF97) [Text] / C. Boucher, Z. Altamimi, P. Sillard – Paris: Central Bureau of IERS. – Observatoire de Paris, May 1999. – 192 p. – АНГЛ.

106. IERS Technical Note No. 32. IERS Conventions (2003) [Electronic resource] / D.D. McCarthy and G. Petit (eds.) – АНГЛ. – Режим доступа: <ftp://maia.usno.navy.mil/conv2000/>

107. Interface Control Document ICD-GPS-200C. 10 Oct. 1993 – 14 Jan. 2003 – 198 p. – АНГЛ. – [Electronic resource]. – Режим доступа: <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/icd200/default.htm>

108. Ifadis, I. The atmospheric delay of radio waves: Modeling the elevation dependence on a global scale. [Text] / I. Ifadis // School of Electrical and Computer Engineering, Chalmers University of Technology, Geteborg, Sweden, November, Technical Report No. 38L. – 1986. – P. 115. – АНГЛ.

109. James, F. The International GPS Service for Geodynamics – Benefits to Users. [Text] / F. James, J.F. Zumberge, R.E. Neilan, V. Gurtner // Inst. of Navigation, ION GPS-94, 7th Int. Tech. Meeting, Salt Lake City, Utah, September 20-23, 1994. – АНГЛ.

110. Janes, H.W. Analysis of tropospheric delay prediction models: comparisons with ray - tracing and implications for GPS relative positioning [Text] /

H.W. Janes, R.B. Langley and S.P. Newby // Bulletin Geodesique, Vol. 65, 1991. – P. 151-161. – АНГЛ.

111. Jensen A. B. O. Integrating Numerical Weather Predictions in GPS positioning [Electronic resource] / A.B.O. Jensen, C.C. Tscherning, F. Madsen. – 2002. – 8p. – АНГЛ. – Режим доступа: <http://research.kms.dk/~aoj/paper54.pdf>

112. de Jong, C.D. The benefits of a third carrier frequency to GNSS users [Electronic resource] / C.D. de Jong, N.F. Jonkman, P. Joosten. – 1999. – АНГЛ. – Режим доступа: http://enterprise.lr.tudelft.nl/mgp/modules/Papers/files/ninworkshop_99.pdf

113. King, R.W. Surveying with Global Positioning System (GPS) [Text] / R.W. King, E.G. Masters, C. Rizos, A. Stolz, J. Collins // Bonn: Ferd. Dummler Verlag. – 1987. – 128p. – АНГЛ.

114. Kleijer F. Troposphere Modeling and Filtering for Precise GPS Leveling [Electronic resource] / F. Kleijer. – 2004. – 282 p. – АНГЛ
Режим доступа: <http://enterprise.lr.tudelft.nl/mgp/modules/Papers/files/kleijer.pdf>.

115. Klobuchar, J.A. Comparative range delay and variability of the earth's troposphere and ionosphere [Text] / J.A.Klobuchar, J.M.Kunches // GPS Solutions. – 2003. – Vol.7, No.1. – P.55–58. – АНГЛ.

116. Kouba, J. Measuring seismic waves induced by large earthquakes with GPS [Text] / J. Kouba // Studia Geophysica et Geodaetica, V.47, No. 4. – 2003. – P. 741-755. – АНГЛ.

117. Ladetto, Q. In step with INS: navigation for the blind, tracking emergency crews [Text] / Q. Ladetto, B. Merminod // GPS World, Vol. 13, No. 10, 2002. – P. 30-38. – АНГЛ.

118. Ladd, J.W. Establishment of a 3-dimensional geodetic network using the Makrometer II [Text] / J.W.Ladd // Bull.Géod., 60. – 1986. – P.255-264. – АНГЛ.

119. Ladetto, Q. On Foot Navigation: When GPS alone is not enough [Electronic resource] / Q. Ladetto, B. Merminod, Ph. Terrier, Y. Schutz. – 1999. – АНГЛ. – Режим доступа: http://topo.epfl.ch/publications/gnss99_ql.pdf

120. Langley, R.B. A Primer on GPS Antennas [Text] / R.B. Langley //GPSWorld, Vol. 9, No. 7. – 1998a. – P. 50-54. – АНГЛ.

121. Langley, R.B. Smaller and smaller. The evolution of the GPS receiver. [Text] / R.B. Langley // GPS World, Vol. 11, No. 4. – 2000. – P. 54-58. –АНГЛ.

122. Lanyi, G. Tropospheric delay effects in radio interferometry [Text] / G. Lanyi. – Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, Calif., April-June, TDA Progress Report No. 42-78, 1984. – P. 152-159. –АНГЛ.

123. Leick, A. GPS Satellite Surveying [Text] / A. Leick. – New York: A Willey-Interscience Publication. – 1995. – 560 p. –АНГЛ.

124. Leick, A. GPS Vector Networks [Text] / A. Leick // ACSM Bulletin, January/February, 1994a. – АНГЛ.

125. Lichten, S.M. Strategies for high precision GPS orbit determination [Text] / S.M. Lichten, J.S. Border // J. of Geophysycal Research, 92(B12), 1987. – P. 12751-12762. –АНГЛ.

126. Logsdon, T. Understanding the Navstar: GPS, GIS, and IVHS. Second Ed. [Text] / T.Logsdon - NewYork: Van Nostrand Reinhold, 1995.– 330p.–АНГЛ.

127. Mader, G.L. Calibrating Antenna Phase Centers [Text] / G.L.Mader, F.Czopek // GPS World, Vol. 13, No. 5. – 2002. – P. 40. – АНГЛ.

128. Mader, G.L. Dynamic positioning using GPS carrier phase measurements [Text] / G.L. Mader // Manuscripta geodaetica. – 1986. – Vol. 11. – P. 272-277. –АНГЛ.

129. Mader, G.L. A Comparison of Absolute and Relative GPS Antenna Calibrations [Text] // GPS Solutions, Vol. 4, No. 4. – 2001. – P. 37-40. –АНГЛ.

130. Mader, G.L. GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey [Electronic resource] / G.L. Mader. – 2004. – АНГЛ. – Режим доступа: <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>

131. Mader, G.L. The On-line Positioning User Service (OPUS) [Text] / G.L. Mader, N.D. Weston, M.L. Morrison, and D.G. Milbert // Professional Surveyor Magazine, Vol. 23, No. 5. – 2003. –АНГЛ.

132. Marini, J.W. Correction of satellite tracking data for an arbitrary tropospheric profile [Text] / J.W. Marini // Radio Science, Vol. 7, No. 2. – 1972. – P. 223-231. –АНГЛ.

133. Marshall, M. The Effect of the MAPS Weather Model on GPS-Determined Ellipsoidal Heights [Text] / M. Marshall, M. Scheneverk, R. Snay, S. Gutman // GPS Solutions, Vol. 5, No 1. – 2001. – P. 1-14. –АНГЛ.

134. Martin, D.J. A Civil Gathering [Text] / D.J. Martin // Professional Surveyor Magazine, Vol. 23, No. 10. – 2003a. –АНГЛ.

135. Mendes, V.B. A comprehensive analysis of mapping functions used in modeling tropospheric propagation delay in space geodetic data [Text] / V.B. Mendes, and R.B. Langley KIS94, Proc. of the Intern. Sym. on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, Banff, Alberta, 30 August – 2 September 1994, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada. – P. 87-98. – АНГЛ.

136. Merrigan, M.J. A Refinement to the World Geodetic System 1984 Reference Frame [Electronic resource] / M.J. Merrigan, E.R. Swift, R.F. Wong, J.T. Saffel. – 2002. – АНГЛ. – Режим доступа:<http://164.214.2.59/GandG/sathtml/IONReport8-20-02.pdf>

137. Misra, P.N. Global Positioning System. Signals, Measurements and Performance [Text] / P.N. Misra, P. Enge – USA: Ganga-Jamuna Press. – 2001. – 390p. АНГЛ.

138. Morgan, P. Models for GPS network design [Text] / P. Morgan. // Aust. J. Geod. Photogram. Surv. – December, 1987. – Nos 46, 47. – P. 41 – 55. –АНГЛ.

139. Moritz, H. Geodetic reference system 1980 [Text] / H. Moritz // Bull. Géod. – 1988. – Vol. 62. – P. 348-358. –АНГЛ.

140. Moritz, H. Geodetic Reference System 1980 [Text] / H. Moritz //J. of Geodesy, Vol. 74, No. 1. – 2000. – P. 128-162. – АНГЛ.

141. Niell, A.E. Global mapping functions for atmosphere delay at radio wavelengths [Text] / A.E. Niell // J. of Geophysical Research, vol. 101, No. B2. – February 10, 1996. – P. 3227-3246. –АНГЛ.

142. NIMA Technical Report 8350.2 Departament of Defence World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationship with local

geodetic Systems; DMA TR 8350.2; 3rd edition. – [Electronic resource]. – 3 January 2000. – Англ. – Режим доступа: http://164.214.2.59/GandG/tr8350_2.html –Англ.

143. Rizos, C. Principles and Practice of GPS Surveying [Electronic resource] / C. Rizos – Version 1.1, September 1999. – Режим доступа: http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/ –Англ.

144. Ruland, R. Application of GPS to a high precision engineering survey network [Text] / R. Ruland, A. Leick // Proc. Pos. with GPS, 1. – 1985 – P. 483-493. – Англ.

145. Schaffrin, B. Designing a covariance matrix for GPS baseline measurements [Text] / B. Schaffrin and J.B. Zieliński // Manuscripta Geodaetica. –1989.–Vol.14.–P.19–27.–Англ.

146. Schmitt, G. Spectral analysis and optimization of geodetic networks [Text] / G.Schmidt // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 1, Геодезия, картография, маркшейдерия: Сб. материалов научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25 – 29апреля 2005г. Новосибирск.–Новосибирск: СГГА, 2005.–С.11–16.–Англ.

147. Schmitz, M. Tests of phase center variations of various GPS antennas, and some results [Text] / M. Schmitz, G. Wübbena, G. Boettcher // GPS Solutions, Vol. 6, No. 1-2. – 2002. – P. 18-27. –Англ.

148. Seeber, G. Satellite Geodesy [Text] / G. Seeber. – 2-nd edition – Berlin,NewYork: Walterde Gruyter,2003.–589p.– Англ.

149. Sickel, J.V. GPS for Land Surveyors [Text] / J.V.Sickel / Second Edition.–New York, London:Taylor & Francis.–2001.–284p.– Англ.

150. Snay, R.A.Modern terrestrial reference systems [Text] / R.A. Snay, T. Soler // Professional Surveyor. – 1999. – Vol. 19, No. 10. 2000. – Vol. 20, No. 2, 3,4. Англ.

151. Soler, T. A note on frame transformations with applications to geodetic datums [Text] / T. Soler, J. Marshall // GPS Solutions, Vol. 7 No. 1. – 2003. – P.23-32. - Англ.

152. Teunissen, P.J.G. GPS for geodesy. Teunissen P.J.G., Kleusberg A. (Eds.). [Text] / P.J.G. Teunissen, Y. Bock, G. Beutler et al. – Berlin: Springer, 1998. – 650 p. –Англ.

153. Tiberius, C. The Stochastics of GPS Observables [Text] / C. Tiberius, N. Jonkman, F. Kenselaar // GPS World. – 1999. – Vol. 10, No. 2. – P. 49 – 54. –Англ.
154. Tralli, D. M. Stochastic estimation of tropospheric path delays in global positioning system geodetic measurements [Text] / D.M. Tralli, S.M. Lichten // Bull. Géod., Vol. 64. – 1990. – P. 127-159. –Англ.
155. Trimble Geomatics office. Network Adjustment UserGuide [Text] /Trimble Navigation Ltd.– 2001.–113 p.–Англ.
156. TRIMNET Plus. Survey networks of twouser's manual [Text] / Trimble Navigation Ltd. – 1991.–Англ.
157. Vermeille, H. Direct transformation from geocentric coordinates to geodetic coordinates [Text] / H. Vermeille // J. of Geodesy, Vol. 76. – 2002. P. 451-454. – Англ.
158. Vollath, U. Troposphere: Signal or Noise? [Electronic resource] / U. Vollath, E. Brockmann, X. Chen. – 2003. – 9 p. – Англ. – Режим доступа: <http://www.trimble.com/vrs.shtml>
159. Wang, J. An approach to GLONASS ambiguity resolution [Text] / J. Wang. // J. of Geodesy, Vol. 74, No. 5, 2000. – P. 421-430. – Англ.
160. Weber, R. The international GLONASS experiment: products, progress and prospects [Text] / R. Weber, T.A. Springer // J. of Geodesy, Vol. 75, No. 11. – 2001. – P. 559-568. –Англ.
161. Xu, Guochang. GPS. Theory, algorithms and applications [Text] / Guochang Xu. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. – 2003. –Англ.
162. Zarraoa, N. Preliminary evaluation of the Russian GLONASS system as a potential geodetic tool [Text] / N. Zarraoa, W. Mai, E. Sardón, A. Jungstand // J. of Geodesy. – 1998. – Vol. 72, No. 6. – P. 356–363. –Англ.
163. Zilkoski, D.B. Guidelines for establishing GPS-derived ellipsoid heights [Electronic resource] / D.B. Zilkoski, J.D. D'Onofrio, S.J. Frakes. – 1997. – Режим доступа: http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/NGS-58.html/ – Англ.

MUNDARIJA

KIRISH.....	4
 1-BOB KOSMIK GEODEZIYA VA GLOBAL NAVIGATSIYA SUN'IY YO'LDOSHLARI TIZIMI FANI TO'G'RISIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR	
1.1. Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun'iy yo'ldoshlar tizimi fanining mazmuni, predmeti va uslublari.....	7
1.2. Kosmik geodeziya va global navigatsiya sun'iy yo'ldoshlar tizimi fanining ilmiy-amaliy ahamiyati.....	12
 2-BOB KOSMIK GEODEZIYA VA GLOBAL NAVIGATSIYA SUN'IY YO'LDOSHLAR TIZIMIDA KOORDINATA TIZIMLARI	
2.1. Koordinata tizimlarini aniqlash.....	19
2.2. Geotsentrik koordinatalar tizimi.....	21
2.2.1. Osmon koordinatalar tizimlari.....	21
2.2.2. Pretsessiya va nutatsiya.....	23
2.2.3. Xalqaro osmon tizimining ICRF sanog'i.....	30
2.2.4. Umumiy va haqiqiy osmon tizimi koordinatalari orasidagi bog'liqlik.....	31
2.2.5. GPS80 umumiy ellipsoidi.....	33
2.2.6. Sferik trigonometriyaning asosiy formulalari.....	35
2.2.7. Kosmik geodeziyada qo'llaniladigan koordinata tizimlari.....	37
2.2.8. Vaqtni o'lchash tizimlarining tahlili.....	43
2.2.9. Osmon sferasining asosiy nuqtalari, chiziqlari va tekisliklari to'g'risidagi ma'lumotlarning tahlili.....	52
 3-BOB LOKAL REFERENS KOORDINATALAR TIZIMI	
3.1. Tizimning aniqlanishi.....	59
3.1.1. SK-42 va SK-95 tizimlari.....	61
3.2. Balandlik tizimlari.....	63
3.2.1. Balandlik tizimini aniqlash.....	63
3.2.2. Boltiq balandlik tizimi.....	65
3.2.3. Topotsentrik koordinatalar tizimi.....	66
 4-BOB VAQT TIZIMI	
4.1. Yo'ldosh texnologiyasida vaqtning funksiyasi.....	68
4.1.1. Astronomik vaqt tizimi.....	69
4.1.2. Atom vaqt tizimi.....	71
4.1.3. Dinamik vaqt tizimi.....	72
4.1.4. Radionavigatsiya tizimidagi vaqtlar.....	73

5-BOB	YERNING SUN'IY YO'LDOSHI (YeSY) NI KUZATISH USULLARI	
5.1.	YeSYni kuzatishning yer usti usullari.....	77
5.1.1.	Kuzatish uchun asbob va anjomlar.....	80
5.1.2.	Kuzatishni loyihalash.....	82
5.1.3.	Kuzatish punktidagi YeSYining ko'rinish shartlari.....	85
5.1.4.	Yo'ldosh kuzatishlari natijalarini qayta ishlash.....	89
6-BOB	GEODEZIK YERNING SUN'IY YO'LDOSH (YeSY)LARI VA YO'LDOSH DASTURLARI	
6.1.	Yo'ldosh orbitalari va bort apparaturalari tarkibi va konfiguratsiyasiga qo'yilgan talablar.....	93
6.1.1.	Geodezik YeSYi va yo'ldosh dasturlari.....	95
6.1.2.	Kosmik navigatsiya geodezik tizimi va uning yordamida yechiladigan geodezik masalalar.....	100
7-BOB	KOSMIK GEODEZIYANING GEOMETRIK USULLARI	
7.1.	Kosmik triangulyatsiyaning asosiy elementlari va elementlar orasidagi asosiy munosabatlar.....	103
7.1.1.	Kosmik triangulyatsiyani parametrik va korrelat usullarda tenglashtirish.....	109
7.1.2.	Kosmik triangulyatsiya usuli bilan geodezik to'rlarni barpo qilish.....	111
7.1.3.	Geopotensialning zamonaviy usullari.....	113
8-BOB	KOSMIK GEODEZIYANING MAXSUS (DIFFERENSIAL) USULLARI	
8.1.	Bortli yo'ldosh o'lchashlarini bajarish asboblari.....	119
8.1.1.	Yo'ldosh altimetriyasi.....	127
9-BOB	YERNING GEODEZIK PARAMETRLARI TIZIMI VA ULARNI ANIQLASHNING KOSMIK USULLARI	
9.1.	Yerning geodezik parametrlari tizimi.....	129
9.2.	Umumyer koordinata tizimlarini joriy qilish.....	135
9.2.1.	WGS-84 geodezik tizimi.....	135
9.2.2.	PZ-90 koordinata tizimi.....	139
9.2.3.	Koordinatalar tizimini o'zgartirish.....	140
9.2.4.	WGS-84 va PZ-90 tizimlari parametrlarining uzviy aloqasi...	147
9.2.5.	Bosh geodezik berilganlarni aniqlash muammolari.....	153

9.2.6.	Yerning geodezik parametrlari tizimidan geodeziyada, navigatsiyada, kartografiyada va kadastr xizmatida foydalanish.....	154
10-BOB	KOSMIK GEODEZIYANING DINAMIK USULLARI	
10.1.	Dinamik usullar uchun fundamental tenglamalar.....	159
10.1.1.	YeSYining ta'sirlar bo'lgandagi harakati.....	160
10.1.2.	Yer tortish kuchi bir xil bo'lmaganligi sababli YeSYining harakati.....	160
10.1.3.	Nyuton va Lagranj tenglamalari.....	165
11-BOB	YER SUN'IY YO'LDOSHI HARAKATLANISH NAZARIYASINING ASOSI	
11.1.	Yer sun'iy yo'ldoshi orbitalarining elementlari.....	168
11.1.1	Yer sun'iy yo'ldoshlarining harakatlanishida Kepler nazariyasi.....	172
11.1.2.	Sun'iy yo'ldoshlarning orbital harakatini tahlil qilish.....	173
12-BOB	KOSMIK GEODEZIYANING STRUKTURASI	
12.1.	Kosmik geodeziyaning umumiy strukturasi.....	175
12.1.1.	GNSS strukturasi.....	176
12.2.	GPS NAVSTAR tizimi.....	178
12.2.1.	GPS kosmik segmenti.....	178
12.2.2.	GPS nazorat segmenti.....	184
12.3.	Rossiya GLONASS tizimi.....	187
12.3.1.	GLONASS kosmik segmenti.....	187
12.4.	SRNS foydalanuvchilar segmenti.....	191
12.4.1.	Foydalanuvchilar segmenti.....	191
12.4.2.	Foydalanuvchilar kategoriyasi.....	193
13-BOB	YO'LDOSH APPARATURASI	
13.1.	Yo'ldosh priyomniklari va antennalari.....	196
13.1.1.	Radiochastotali blok.....	202
13.1.2.	Yo'ldoshli texnologiyalarda vaqtni saqlash.....	203
13.1.3.	Geodezik o'lchashlar uchun yo'ldosh asboblari.....	208
13.1.4.	Priyomnik va antenna xatosi.....	225
13.1.5.	GPS va GLONASS o'lchashlarini ta'minlash dasturlari.....	231
14-BOB	RADIOTO'LQINLARNING TARQALISH MUHITI	
14.1.	Radioto'lqinlar tarqalishiga muhitning ta'siri.....	240
14.1.1.	Ionosferaning kuzatish parametrlariga ta'siri.....	246
14.1.2.	Troposferaning kuzatish parametrlariga ta'siri.....	257

14.1.3.	Gradiyent modellar.....	278
14.1.4.	Meteoparametrlarni aniqlash usullari.....	280
15-BOB	YO‘LDOSHLI KUZATISHLAR PARAMETRLARINING MODEL	
15.1.	Yo‘ldoshli kuzatishning turlari.....	288
15.1.1.	Psevdouzoqlik.....	289
15.1.2.	Vaqt, chastota va faza orasidagi munosabat.....	292
15.1.3.	Tashuvchi faza tebranishlari.....	294
15.1.4.	Tashuvchi fazalar va psevdouzoqliklar modellarining komponentlari.....	297
16-BOB	KOORDINATALARNI ANIQLASHNING YO‘LDOSHLI TEXNOLOGIYASINI USULLARI	
16.1.	Yo‘ldoshli aniqlashning absolut va differensial usullari.....	304
16.2.	GLONASS/GPS usulini boshqa pozitsiyalash usullari bilan Birlashtirish.....	310
16.2.1.	GPS va GAT ni birlashtirish.....	311
16.2.2.	GLONASS/GPS usulini mobil aloqa qurilmalari bilan birlashtirish.....	312
17-BOB	YO‘LDOSH KUZATISHLARINING XATOLIGI	
17.1.	Xatolik manbalari.....	316
17.2.	Apparatura xatoliklari.....	317
17.2.1.	Priyomnikning shovqinlari.....	317
17.2.2.	Ko‘pyo‘llilikning ta’siri va fazali markazning o‘rni.....	318
17.2.3.	Vaqt xatolarining ta’siri.....	320
17.3.	Atmosfera ta’siri xatoliklari.....	320
17.4.	GPS o‘lchashlaridagi korrelyatsiya.....	327
18-BOB	DALA O‘LCHASH ISHLARINI BAJARISH TEXNOLOGIYASI	
18.1.	Ishlar bajarilishining umumiy tartibi.....	332
18.1.1.	Pozitsiyalash usulini tanlash.....	333
18.1.2.	Apparaturani tanlash.....	336
18.1.3.	Yo‘ldosh geodezik to‘ri shaklini loyihalash.....	344
18.1.4.	Priyomniklar sonini tanlash.....	351
19-BOB	GLONASS/GPS O‘LCHASHLAR NATIJASINI QAYTA ISHLASH	
19.1.	Natijalarni qayta ishlashning usuli, vositasi va tartibi.....	356
19.2.	Asos chizig‘ini yechish.....	364

19.2.1.	Asos chiziqlarining bir chastotali yechimi.....	364
19.2.2.	Ikki chastotali o'lchashlar bo'yicha yechimlar.....	368
19.3.	GLONASS kuzatish natijalarini qayta ishlashning xususiyatlari.....	371
19.4.	Yo'ldoshli vektor to'rini tenglashtirish.....	373
19.4.1.	To'rlarni ikkilamchi tenglashtirish konsepsiyasi.....	373
19.4.2.	Tenglashtirishning funksional modeli.....	375
20-BOB	O'ZBEKISTONDA KOSMIK GEODEZIYA USULLARIDAN FOYDALANISH	
20.1.	Zamonaviy yo'ldoshli texnologiyalaridan geodeziya, navigatsiya, kartografiya, kadastr, axborot xizmati va boshqa masalalarni yechishda O'zbekiston Respublikasi hududida foydalanish.....	380
	XULOSA.....	388
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	391

G. A. ARTIKOV

KOSMIK GEODEZIYA VA GLOBAL NAVIGATSIYA SUN'IY YO'LDOSHLAR TIZIMI

Toshkent – «Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи» – 2021

Muharrir:	S.Alimbayeva
Tex. muharrir:	A.Moydinov
Musavvir:	A.Shushunov
Musahhih:	L.Ibragimov
Kompyuterda sahifalovchi:	M.Zoyirova

**E-mail: nashr2019@inbox.ru Tel: +99899920-90-35
Nashr.lits. № 3226-275f-3128-7d30-5c28-4094-7907, 10.08.2020.**

Bosishga ruxsat etildi 06.09.2021.

Bichimi 60x84 ¹/₁₆. «Timez Uz» garniturası.

Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog'i 26,0. Nashriyot bosma tabog'i 25,75.

Tiraji 100. Buyurtma №141 .

**«Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи»
bosmaxonasida chop etildi.**

**100174, Toshkent sh., Olmazor tumani
Universitet ko'chasi, 7-uy.**

