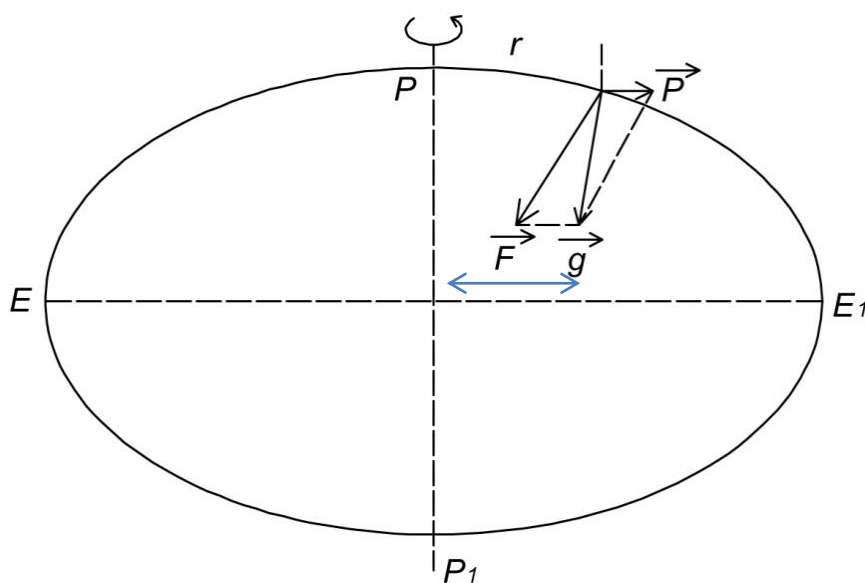


Мубораков Хамид Муборакович
Ташпўлатов Сарвар Анварович
Назаров Бекжон Рустамович

ОЛИЙ ГЕОДЕЗИЯ



Тошкент 2014

УДК 528.23

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2009 йил 26 февраль 51-сонли буйруғига асосан чоп этишга лецензия берилган.

Муаллифлар

Мубораков Хамид Муборакович – т.ф.н., доцент

Ташпўлатов Сарвар Анварович – т.ф.н., доцент

Назаров Бекжон Рустамович – катта ўқитувчи

Тақризчилар

З. Охунов – т.ф.н., доцент

Д. Жураев – т.ф.н., доцент

Олий геодезия: олий ўқув юртлари учун дарслик.

Мазкур дарсликда Ернинг шакли ва гравитация майдони, давлат геодезик тармоқлари ва уларни қуришни назарий масалалари баён этилган. Юқори аниқликдаги теодолитлар, уларнинг тадқиқлари, бурчак ўлчашда хатолар манбалари, ўлчаш назарияси ва усуллари берилган. Китобда давлат нивелирлаш тармоқлари, уларни қуришда зарур юқори аниқликдаги нивелирлар ва нивелир рейкалари, улар тадқиқлари ҳамда юқори аниқликдаги нивелирлашнинг назарияси кўриб чиқилган. Геодезик тармоқларни текисликда тенглашнинг усуллари ҳамда геодезик тармоқларни космик усулларда ривожлантириш ҳақидаги маълумотлар келтирилган.

Олий ўқув юртларининг геодезия, картография ва кадастр бақлавриат йўналиши талабалари учун мўлжалланган.

Сўз боши

Мазкур дарслик республика амалиётида илк бор давлат тилида ёзилиши. У геодезия, картография бакалавриат йўналиши талабалари учун мўлжалланган. Дарслик Тошкент архитектура ва қурилиш институти “Геодезия ва кадастр” кафедрасида илгаридан фойдаланиб келинган олий геодезия фанининг дастури, уни ўқитишни кўп йиллик тажрибаси, ҳамда Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети “Геодезия, картография ва кадастр” кафедрасини бу борадаги тажрибаси асосида ёзилди.

Дарслик илк бор ёзилаётганлиги сабабли, айрим камчиликлардан ҳоли эмаслиги табиийдир, улар ҳақида, умуман китоб тўғрисида билдирилган фикр ва мулоҳозаларни муаллифлар мамнуният билан қабул қиладилар.

Муаллифлар дарсликни тайёрлашда проф. Н.В.Яковлевни олий ўқув юр்தларининг геодезия мутахассислиги учун чиқарилган “Высшая геодезия” дарслигини асос қилиб олишди. Бундан ташқари проф. А.М. Вировец “Высшая геодезия” ўқув қўлланмаси, проф. П.С.Закатов “Курс высшей геодезии” дарслигидан ҳам фойдаланилди. Китобда асосан юқори аниқликдаги геодезик таянч тармоқларни қуриш билан боғлиқ, назарий масалалар ҳамда юқори аниқликдаги геодезик асбобларни тузилиши ва уларни тадқиқ қилишга боғлиқ бўлган назарий ва амалий маълумотлар берилган.

Ушбу дарслик олти бўлимдан иборат.

Биринчи бўлимда Ернинг шакли ва унинг гравитация майдони, геодезик ва астрономик координаталар, Лаплас азимутлари, ҳамда редукция масалалари ёритилган. Бу масалаларни ўрганиш геодезик таянч тармоқларни қуришни назарий асослаш учун зарур бўлади.

Иккинчи бўлимда давлат геодезик тармоқларини қуриш принциплари ва уларни қуриш усуллари, тармоқларни лойиҳалаш, уларни жойда маҳкамлаш ва тармоқ аниқлигини олд баҳолаш масалалари берилган.

Учинчи бўлимда юқори аниқликдаги бурчак ўлчаш асбоблари, уларнинг тадқиқ қилиш, бурчак ўлчашда хатолар манбаалари ва

уларни ўлчашлар натижасига таъсирини камайтириш ҳамда геодезик тармоқларда бурчакларни ўлчаш усуллари кўриб чиқилган.

Тўртинчи бўлимда давлат нивелир тармоқларини қуришни назарий масалалари, уларни лойиҳалаш ва аниқлигини баҳолаш, юқори аниқликдаги нивелирлар, уларнинг тадқиқи, нивелирлашни бажариш усуллари ҳамда тригонометрик нивелирлаш назарияси берилган.

Бешинчи бўлим геодезик тармоқларда дастлабки ҳисоблашларга ва Гаусс-Крюгерни текисликдаги проекциясида геодезик тармоқларни параметрик ва кореллата усулларида тенглашни назарий масалаларига бағишланган.

Олтинчи бўлим сунъий йўлдош геодезик тармоқларини ривожлантириш усуллари ва технологияларига бағишланган бўлиб, унда GPS координаталари системаси, GPS приёмниклари ва жой нуқталари координаталарини аниқлаш масалалари кўрилган.

Дарсликнинг 6÷10; 13÷17 ва 20 боблари т.ф.н., доц.Х.Мубораков, 1÷5;11÷12 ва 18÷20 боблари т.ф.н., доц.С.А.Ташпулатов ва катта ўқитувчи Б.Р.Назаров томонидан ёзилган. Олий геодезия фанида учрайдиган мураккаб техник атамаларни ўзбек тилида қўллаш масалалари китоб қўлёзмасини тайёрлашда маълум қийинчиқларни туғдирди.

Кириш

Олий геодезия фани Ернинг шаклини, ўлчамларини ва ер гравитацион майдонини аниқлаш, давлат геодезик таянч тўрларини (тармок) барпо этиш, геодинamik ҳодисаларни ўрганиш, ҳамда Ер эллипсоид юзасида ва фазода геодезик масаларни ечиш билан шуғулланади.

Олий геодезиянинг вазифаси иккига бўлинади:

- илмий вазифага;
- илмий-техник вазифага;

Олий геодезия ва унга турдош фанлар (гравитация, космик геодезия ва астрономия) асосий илмий вазифаси Ер фигурасининг (шаклининг) параметрларини (унинг ўлчамларини), ташқи гравитация майдонини ва уларнинг даврий ўзгаришини аниқлашдан иборат.

Ҳозирги вақтда олий геодезияда Ер фигураси деганда, Ернинг физик юзаси билан чегараланган фигура тушунилади, яъни унинг қуруқликдаги қаттиқ қобиғининг юзаси ва ўзаро туташ денгиз ва океанлар сув сатҳини тинч ҳолатдаги юзаси билан чегараланган фигураси тушунилади.

Ернинг гравитацион майдони деганда, Ернинг суткали айланиши туфайли ҳосил бўлган марказдан қочма ва тортишиш кучларига тенг таъсир этувчи оғирлик кучларининг майдони тушунилади.

Ернинг гравитацион майдонини ва бошқа физик майдонларини ўрганиш аслида геофизиканинг муаммоси ҳисобланади. Лекин Ер фигурасининг параметрлари ва Ер гравитация майдони, Ер сунъий йўлдоши орқали астрономо-геодезик, гравиметрик ва бошқа ўлчашларни комплекс қайта ишлаш натижасида аниқланади ва биргаликда олий геодезиянинг кўплаб масалаларини ечишда фойдаланилади. Ер гравитация майдонини ўрганиш геодезиянинг асосий илмий вазифаларидан бири ҳисобланади.

Ер остида ва унинг юзасида содир бўладиган физик жараёнлар таъсирида, литосфера плиталари секин силжийди, ер қобиғида

эластик кучланиш содир бўлади, ер силкиниши юзага келади, ер юзаси секин-аста деформацияланади, шуниси эътиборлики, бу жараёнлар турли ҳудудларда турлича бўлади, Ер қутбларининг ҳолати, унинг гравитация майдони, айланишининг бурчак тезлиги ва ҳ.к.лари ўзгаради. Буларнинг барчаси геодезик тармоқлар пунктларининг координатасини ва баландлигини аниқлашга ва уларнинг вақт ўтиши давомида ўзгаришга таъсир кўрсатади. Шунинг учун энг юқори аниқликда геодезик ўлчашларни таъминлашни талаб этувчи турли туман масалаларини ечишда ерни планета каби ўрганиш зарурати туғилади. Шу муносабат билан олий геодезиянинг энг муҳим илмий вазифасига ер юзасининг деформациясининг сонли характеристикасини геодезик усулда аниқлаш, ер қобиғи улкан блокларининг асрий кўтарилишини ва тушишини ўрганиш ҳамда литосфера плиталарини силжиш қонуниятларини, Ер қутблари ҳаракатини аниқлаш ва ҳисобга олиш ва унинг айланиш бурчак тезлигини ўзгаришини аниқлаш, сейсмоактив ҳудудларда ер силкинишини олдиндан башорат қилиш мақсадида ер юзаси ва денгиз, океанлар сатҳий юзалари фарқларини ва ҳ.к.ларни аниқлаш ва ўрганишдан иборат.

Олий геодезия ва унга турдош бўлган фанларнинг асосий илмий техник вазифаси глобал (умум ер) ва миллий (давлат миқёсида) юқори аниқликдаги таянч геодезик тармоқларни барпо этишдан иборат. Миллий таянч тармоқлари Давлат геодезик асосий, (кўпчилик ҳолда планли тармоғи деб аталувчи), давлат нивелирлаш тармоғи (баландлик) ва давлат гравиметрик тармоқларидан ташкил топади.

Бу тармоқлар бир-бири билан ўзаро жуда яқин боғлиқликга эга, улар бири-бирини тўлдиради ва улардан биргаликда фойдаланиб бажариладиган комплекс астрономо-геодезик ва гравиметрик ўлчаш ишлари пунктларнинг аниқ координаталарини ва баландликларини аниқлаш, ҳамда мамлакат ҳудудида гравитация майдони ва Ернинг шаклини характерловчи параметрларини аниқлаш имконини беради. Бу тармоқ такрорий ўлчашларни бажариб, пунктлар координаталарини ва баландликларини аниқлаш, ҳамда булардан фойдаланиб геодинamik ҳодисаларни ўрганиш мумкин.

Амалиёт шуни кўрсатади-ки, вақт ўтган сари геодезик таянч тармоқларини барпо этиш аниқлигига бўлган талаб ошмоқда. Улар ҳозир етарли даражада юқори, яқин келажакда яна ҳам юқори бўлиши керак. Шунинг учун ҳозирги вақтда ноёб таянч геодезик (глобал ва маҳаллий) тармоқларни барпо этиш назарияси ва усулларини яратиш зарурияти туғилади, бунга барча комплекс астрономо-геодезик, гравиметрик, гравиинерциал ва бошқа турдаги ўлчашлардан фойдаланиш, ҳамда Ернинг сунъий йўлдошларини космик учиш аппаратларини, галлактикадан ташқари радионурланиш манбааларини квазаврларни кузатиш орқали, эришилади.

Фан ва техника ривожланиши, ўлчаш аниқлигига талабларни ортиб бориши олий геодезия фани олдида қуйидаги вазифаларни қўяди:

- геодезик тармоқни барпо этиш ва уни тизимли такомиллаштириб бориш;

- геодезия фани ва техникасининг янги ютуқларидан фойдаланиб юқори аниқликдаги таянч геодезик тармоқни барпо этишнинг илмий жиҳатдан асосланган дастурини ва услубиятини яратиш;

- турли физик-географик ва иқлимий ҳудудларда барпо этиладиган геодезик тармоқ пунктларини жойларда маҳкамлашнинг узоқ муддатга сақланадиган энг ишончли восита ва усулларини яратиш;

- юқори аниқликдаги таянч геодезик тармоқ астрономо-геодезик, гравиметрик, сунъий йўлдош, гравиинерциал радиоинтерферометрик ва бошқа турдаги ўлчашларни бажариш учун энг мукаммал усулларини, юқори аниқликдаги асбобларни, автоматлаштирилган комплексини яратиш;

- геодезик пунктлар координатасини ва баландлиги, ҳамда Ер гравитация майдони ва шакли параметрларини юқори аниқликда аниқлаш мақсадида, барча комплекс ўлчашлар натижаларини биргаликда қайта ишлашнинг математик жиҳатдан мукаммал назариясини ва усулини яратиш;

-астрономо-геодезик, сунъий йўлдошли ва бошқа турдаги ўлчаш натижаларига ташқи мухит таъсирини ҳисобга олувчи ишончли воситалари ва усулларини яратиш;

-Ерни геометрик ёки физик модели деб қабул қилинувчи ер эллипсоиди юзасида ва уч ўлчамли фазода геодезик масалаларни янги замонавий ҳисоблаш техникасидан фойдаланиб ечишнинг энг содда ва энг аниқ усулларини яратиш;

-таянч геодезик тармоқларни баро этиш ва кейинчалик ривожлантиришнинг барча босқичларида меҳнат муҳофазасини, техник хавфсизлигини ва ишларни илмий жиҳатдан асослаб ташкил этиш усулларини яратиш зарур.

Олий геодезиянинг илмий ва илмий-техник масалалари бир-бири билан чамбарчас боғланган. Ер гравитацион майдони ва шакли параметрларини билмасдан, таянч геодезик тармоқларни барпо этишда бажариладиган барча комплекс ўлчашларни математик жиҳатдан мукаммал қайта ишлаш, ҳамда пунктлар координаталарини ва баландликларини ягона система юқори аниқликда топиш имкони бўлмайди ва аксинча Ер гравитация майдонини ва шаклини ўрганиш учун ягона системада аниқланган таянч геодезик тармоқларининг координаталари ва баландликлари зарурдир.

Бундан келиб чиқади-ки, олий геодезиянинг илмий ва илмий-техник масалаларини биргаликда кетма-кет яқинлашиш усули билан ечилиши лозим.

Олий геодезия. Ер шакли назарияси, гравиметрия, геодезия, астрономия, космик геодезия каби илмий фанлар билан биргаликда узвий боғлиқ ҳолда ривожланмоқда.

Олий геодезия курси учта асосий бир-бирини тўлдирувчи фанлардан ташкил топган: “Асосий геодезик ишлар”, “Сфероидик геодезия” ва “Назарий геодезия”:

“Асосий геодезик ишлар” бўлимида таянч геодезик тармоқларни барпо этиш усулларини ишлаб чиқиш, тармоқларни лойиҳалаш ва пунктларни жойда маҳкамлаш, юқори аниқликдаги геодезик ўлчаш усулларини ва асбобларини яратиш, ўлчаш хатолари, манбаларини ва уларни натижаларга таъсир этишини ҳисобга олиш усулларини, Ер

гравитация майдоннинг бир хил эмаслигини ва Ер юзасининг эгрилигини ҳисобга олган ҳолда ўлчаш натижаларини математик қайта ишлаш усуллари яратиш масалалари кўрилади.

“Сфероидик геодезия” Ер эллипсоидининг геометрияси, унинг юзасида ва уч ўлчамли фазода геодезик масаларни ечиш усуллари ҳамда эллипсоид юзасини шарда ва текисликда тасвирлаш назариясини ўрганади. “Назарий геодезия” олий геодезиянинг асосий илмий муаммо ва масалаларини ечиш назариясини ва усуллари ишлаб чиқиш билан шуғулланади.

Олий геодезиянинг илмий ва илмий-техник вазифаларини мувоффақиятли ечиш учун 1 класс давлат геодезик тармоқларидаги барча ўлчашларни, замонавий ўлчаш асбобларидан фойдаланилган ҳолда, юқори аниқлик билан бажарилиши лозим. Ҳозирги вақтда 1 класс геодезик тармоқларида горизонтал бурчаклар $0,5''$ - $0,7''$ ўрта квадратик хатолик билан ўлчанилади (учбурчакларнинг ҳисобланилган боғланмасликлари бўйича), томонлар узунлиги – $2 \cdot 10^5$ нисбий хатолик билан, нивелирлашда нисбий баландликлар- $0,5\text{мм/км}$ тасодифий хатолик билан, астрономик кенглик, узоқлик ва азимутлар тегишлича $0,3''$, $0,03''$ ва $0,5''$ тасодифий хатолик билан (приёмлардаги ўлчаш натижаларининг ўзгариши бўйича ҳисобланилган), оғирлик кучининг тезланиши – $3 \cdot 10^{-8}$ нисбий хатолик билан ўлчанилади.

Олий геодезия ўзининг тадқиқотларида фундаментал фанларнинг (физика, математика, астрономия ва бошқа), юқори аниқликдаги ўлчаш асбобларини ишлаб чиқишда – амалий оптика, аниқ асбобсозлик, радиоэлектроника, лазерли техника ва бошқаларнинг янги ютуқларидан фойдаланади. Ўлчаш натижаларини қайта ишлаш эҳтимоллар назарияси, математика, статистика, энг кичик квадратлар усулларида замонавий компьютер ва улар дастурларидан фойдаланиб бажарилади.

Ерни Планетадек ўрганиш билан боғлиқ илмий масалани ечиш учун, олий геодезия Ер тўғрисидаги фанлар геология, геофизика, тектоника ва бошқалар билан ўзаро мустаҳкам боғлангандир.

Олий геодезия тадқиқотларининг натижалари илм фанда ва халқ ҳўжалигида муҳим аҳамиятга эга. Масалан, давлат геодезик тармоқлари космик фазони ўрганишда, мамлакат ҳудудини турли масштабларда карталарини тузишда, қўлланади.

I БЎЛИМ

ЕР ШАКЛИ ВА КЎЧИРИШ СИРТЛАРИ

1-БОБ ЕРНИНГ ШАКЛИ ВА ГРАВИТАЦИЯ МАЙДОНИ ҲАҚИДА АСОСИЙ МАЪЛУМОТЛАР

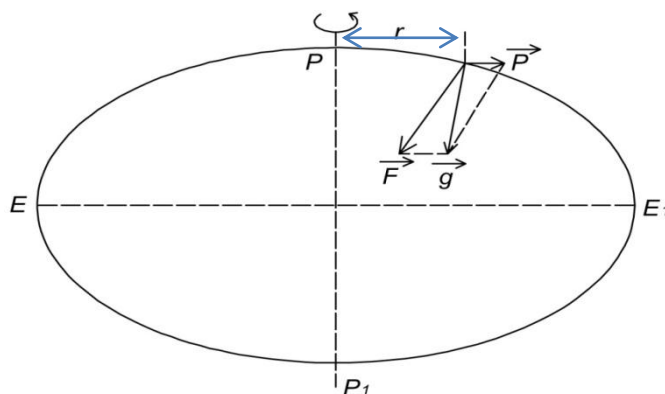
§ 1.1 Оғирлик кучи ва Ернинг сатҳий юзаси

Давлат геодезик тармоқларини барпо этишда юқори аниқликда бурчаклар ва масофалар ўлчанади, астрономик кенгликлар, узокликлар ва азимутлар аниқланади, оғирлик кучи ва пунктлар орасидаги нисбий баландлик ўлчанади, Ернинг сунъий йўлдошлари кузатилади ва ҳ.к.

Юқори аниқликда астрономо – геодезик ўлчашлар бажаришда ҳар доим асбобнинг вертикал ўқи, асбоб ўрнатилган нуқтада шовун чизиғи йўналиши билан туташтирилади. Фазодаги ҳар бир нуқтада шовун чизиғи йўналиши оғирлик кучи таъсир йўналиши билан туташади. Оғирлик кучи иккита асосий ҳаракатланувчи кучлардан иборат: ернинг тортишиш кучи F ва Ернинг айланиш ўқи атрофида моддий нуқтанинг суткалик айланиши туфайли содир бўлувчи марказдан қочма куч P .

Ҳар бир нуқтада $\vec{g}$ оғирлик кучи вектори (1.1-шакл) $\vec{F}$ ва $\vec{P}$ векторларнинг йиғиндисига тенг, яъни

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



1.1 – шакл. Оғирлик кучи ва уни ташкил

Ер тортишиш кучи Ер шакли, ўлчамлари, массаси, аномал қатламларини тақсимланишига боғлиқ. Агар биринчи яқинлашишида шаклини зичлиги бир хил бўлган концентрик қатламлардан ташкил топган, бу қатламларни биридан иккинчисига ўтишда зичлиги сакраш тариқасида ўзгариб борадиган шар деб қабул қилсак, у ҳолда тортишиш кучи F Ер массаси марказига йўналган бўлади ва бутун олам тортишиш қонунига мувофиқ қуйидаги формула билан аниқланади

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

бу ерда f – универсал гравитацион доимий;

M – Ернинг массаси; m – моддий нукта массаси;

R – Ер шарининг радиуси.

Реал Ер учун (1.2) формула билан ҳисобланган тортишиш кучи F га тенг бўлмайди ва у Ер массаси марказига йўналмаган бўлади.

P марказдан қочма куч параллел радиуси бўйлаб йўналган бўлиб, унда моддий нукта жойлашади ва у қуйидаги формула билан аниқланади

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

бу ерда m – моддий нукта массаси; r – параллел радиуси; ω – Ер айланишининг бурчак тезлиги.

Марказдан қочма кучнинг энг катта миқдори экваторда; $P = ma\omega^2$, бу ерда a – Ернинг катта ярим ўқи, энг кичик миқдори – Ернинг қутбларида: $P = 0$ чунки $r = 0$ бўлади. Экваторда P куч F кучга қараганда 288 маротаба кичик, лекин у g оғирлик кучнинг қийматига ҳам сезиларли даражада таъсир этади.

F ва P кучлар қарама-қарши ишораларга эга. P куч экватордан қутбга ўтиб боришда камаяди. Шунинг учун g оғирлик кучи кенглик бўйича ўзгаради ва қутбларда энг катта, экваторда эса энг кичик қийматга эга бўлади.

СИ халқаро бирликлар системасида оғирлик кучининг тезланиш бирлиги сифатида $1\text{м}^2\text{с}^{-2}$ катталиги қабул қилинган. Гравитацияда бирлик сифатида Гал ($1\text{ Гал} = 1\text{см} \times \text{с}^{-2} = 0,01\text{м}^2\text{с}^{-2}$) қабул қилинган. Одатда “оғирлик кучи тезланиши” ўрнига “оғирлик кучи” сўзи ишлатилади.

Гравиметрияда Ернинг гравитация майдонини тавсифловчи миқдорни ўлчаш пайтида, оғирлик кучи майдонини ифодалаш учун – скаляр функция потенциали қўлланилади. Вектор потенциали – бу шундай координата функциясики, унинг тўғри бурчакли координаталар бўйича хусусий ҳосиласи векторни тегишли координаталар ўқиға проекцияларига тенгдир. Оғирлик кучи потенциали W тортишиш кучи F потенциали V ва марказдан қочма P куч потенциали Q йиғиндисига тенг

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

Нуқтада хоҳлаган S йўналаши бўйича W оғирлик кучининг потенциалидан олинган ҳосила ушбу йўналишда бу кучларнинг пропорциясига тенг, яъни

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

бу ерда g – нуқтада оғирлик кучининг қиймати; (g, s) – оғирлик кучи таъсири йўналиши ва масса бирлиги ҳаракатланадиган S йўналиш орасидаги бурчак.

(1.5) формулани иккита ҳолатни кўриб чиқамиз. Олдин A моддий нуқта g оғирлик кучининг векторига тўғри бурчак остида ҳаракатланади деб фараз қиламиз. Бу ҳолда бурчак $(g, s) 90^\circ$ га тенг (1.2, а-шакл), $\cos(g, s)=0$ ва шунинг учун

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

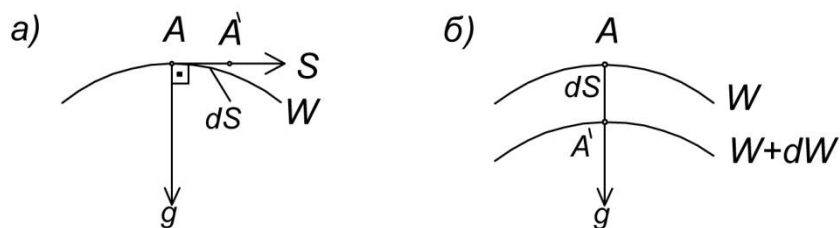
(1.6) ифодани интеграллаб, юзалар туркумининг тенгламасини оламиз

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

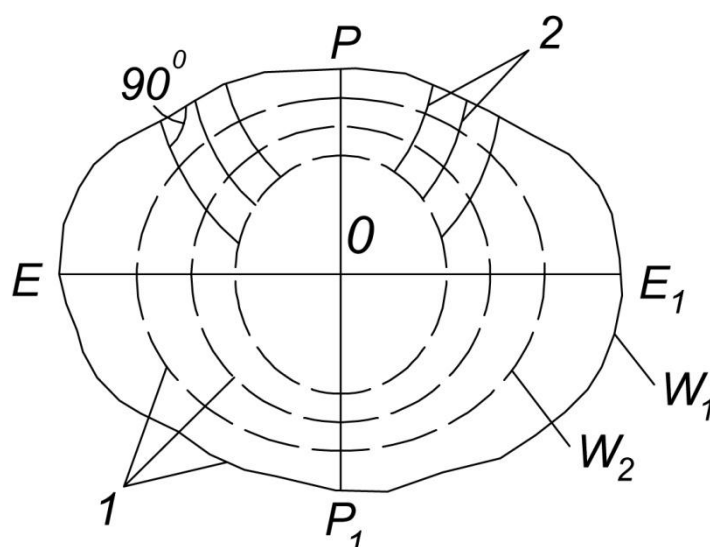
Барча нуқталарда тортишиш кучининг потенцияли бир хил қийматга эга бўлган юзага Ернинг сатҳий юзаси дейилади.

(1.7) ифодада C доимийнинг турли қийматларини қабул қилиб, тегишли сатҳий юзаларни оламиз (1.3-шакл). Фазонинг ҳар бир нуқтаси орқали фақат битта сатҳий юза ўтади. Сатҳий юзанинг ҳар бир нуқтасида оғирлик кучининг вектори ушбу нуқтада унга нормал бўйича йўналган бўлади.

Сатҳий юзалар мувозанат юзалар ҳисобланади, чунки унинг ҳохлаган нуқтасида сатҳий юзага уринма бўйича оғирлик кучларини ташкил этувчиси нолга тенг. Шунини таъкидлаш керак-ки тинч ҳолатда сув юзаси, фақат оғирлик кучлари таъсири остидаги, битта сатҳий юза билан устма-уст тушади. Тўғри бурчак остида $W_1, W_2, \dots$ сатҳий юзаларни кесиб ўтувчи эгри чизиқлар Ер гравитация майдонининг куч чизиги дейилади. Куч чизигининг барча нуқталаридаги уринмалар оғирлик кучлари йўналиши билан устма-уст тушади ва сатҳий юзага перпендикуляр бўлади.



1.2-шакл. Оғирлик кучи векторига моддий нуқтани перпендикуляр (а) ва бўйламасига (б) ҳаракат схемаси



1.3- шакл. Ернинг сатҳий юзаси (1) ва гравитация майдонининг куч чизиқлари (2)

(1.5) формулани иккинчи хусусий ҳолатни кўриб чиқамиз. Айтайлик, A моддий нуқта битта сатҳий юза W дан g оғирлик кучи йўналишида бўлган бошқа чексиз кичик $ds=dh$ масофада $W_1=W+dW$ юзага ўтсин (1.2, б-шаклга қаранг), Бу ҳолда бурчак бўйича (g, s) нольга тенг бўлади; $\cos(g, s)=1$ бўлади ва шу сабабли формула (1.5) қуйидаги кўринишга келади.

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

(1.8) ифодадан кўринаяпти-ки, иккита чексиз яқин W ва $W_1=W+dW$ сатҳий юзалар орасидаги масофа дифференциали dh қуйидагига тенг

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

(1.9) формулани таҳлил қилиб ва 1.3-шаклга мувофиқ қуйидаги умумий хулосаларни қилиш мумкин:

1. Ернинг сатҳий юзаси ҳеч қаерда ўзаро бир-бирига қўшилмайди ва кесишмайди.

2. Ернинг сатҳий юзаси ўзаро параллел эмас: улар қутбда яқинлашади, экваторда аксинча, бир-биридан узоқлашади.

3. Ернинг ичкарасида зичлик бўйича аномал массалар борлиги туфайли Ерининг сатҳий юзаси тўлқинсимон кўринишга эга.

1.2. Геоид ва квазигеоид

Ер шакли тушунчаси ягона эмас ва у ёки бу масалаларни ечиш аниқлигига қўйилган талабга қараб Ернинг шакли ва ўлчамларини турлича талқин қилиш мумкин. Бир ҳолатда Ерни шар деб қабул қилиш мумкин бўлса, бошқа ҳолатда, масалан, геодезия ва картографиянинг кўплаб масалаларини ечишда кичик қутбий сиқиклиги бўлган икки ўқли айланма эллипсоид деб қабул қилинади ва ҳ.к.

Юқорида таъкидланганидек ҳозирги вақтда Олий геодезиянинг масалаларини ечишда Ер шаклига Ернинг физик юзаси билан чегараланган, яъни қуруқликдаги унинг қаттиқ қобиғи ва тинч ҳолатдаги денгиз ва океанлар сатҳи билан чегараланган шакл тушунилади.

Қуруқлик Ер юзасининг $\frac{1}{3}$ га яқин қисмини ташкил этади. Унинг юзаси денгиз юзасидан ўртача 900 м баланд кўтарилиб туради, бу Ернинг ўртача радиуси $R=6371$ км га қараганда жуда кичик миқдорни ташкил этади. Ер юзасининг 70% дан кўпи денгиз ва океанлар билан қопланган. Шу сабабли Ер шакли деб биринчи яқинлашишда, денгиз ва океанларнинг тинч ҳолатдаги юзаси билан чегараланган ва сув юзасини материклар остидан барча нуқталарида шовун чизиғи йўналишига перпендикуляр давом эттириш билан ҳосил қилинган шакл қабул қилинган. Ернинг бундай шакли немис физиги Листингнинг таклифига кўра геоид деб аталади. Геоидни ўрганиш билан геодезистлар юз йилдан ортиқроқ шуғулланишмоқда. Ҳозирги вақтда дунё океани экваториясида сунъий йўлдошдан алтиметрия усулида сунъий йўлдошдан уни остидаги денгиз ва океан юзасидаги нуқталаргача бўлган масофани ўлчаб, геоид юқори аниқликда (баландлик бўйича 0,1-0,3 м гача) ўрганилмоқда. Бу

ўлчашлар шуни кўрсатди-ки тинч ҳолатдаги денгиз юзаси оғирлик кучи потенциали сатҳий юзаси билан устма-уст тушмайди: айрим жойларда четлашувлар $\pm(1,5-2)$ метрга етади. Шунинг учун назарий қатъий ёндашувда геоид деб дунё океанларини ўртача сатҳи билан устма-уст тушувчи, санок боши деб қабул қилинган баландлик орқали ўтувчи, оғирлик кучи потенциали билан чегараланган сатҳий юза Ер шакли деб тушунилади.

Қуруқликда геоид шаклини ўрганишда сунъий йўлдош алтиметрия усули ишламайди, космик геодезиянинг бошқа усуллари эса унинг юзасини аниқлашда етарли аниқликни бермайди. Ер усти ўлчашлар орқали геоид шаклини юқори аниқликда ўрганиш учун, унинг юзасида бевосита оғирлик кучини ўлчаш зарур, аммо буни амалга оширишнинг иложи йўқ. Таниқли олим М. С. Молоденский, юқори аниқликда ердаги ўлчашлар орқали геоид юзасини ўрганишнинг имкони йўқлигини исботлади. Ер усти астрономо-геодезик ва гравиметрик комплекс ўлчашлар натажалари бўйича назарий жиҳатдан бошқа ёрдамчи юза, квазигеоид юзаси деб ном олган юзани аниқлаш мумкин, у геоид юзасидан унча катта бўлмаган баландликка оғади: текис жойларда 2-4 см, тоғли жойларда 2 метргача фарқ қилади. Денгиз ва океанлар юзасида геоид ва квазигеоид бир-бири билан тўлиқ устма-уст тушади.

Квазигеоид юзаси бирдан чегараланган Ер шаклига квазигеоид деб аталади. Ер усти ўлчашларни қайта ишлашдан квазигеоид параметрларини аниқлаб ва унга нисбатан ер юзасидаги нуқталарнинг баландлигини ўлчаб, ернинг қуруқликда қаттиқ қобиғи ва денгиз ва океанларнинг тинч ҳолатдаги юзаси билан чегараланган, Ернинг реал шаклини назарий жиҳатдан қатъий ўрганиш мумкин. Ер шакли ва гравитация майдонини ўрганишнинг М. С. Молоденский назарияси дунёнинг барча геодезистлари орасида тан олинди ва бу назария геодезик - гравиметрия ва Ер шакли назарияси курсларида кенгроқ кўрилади.

1.3. Умумий ер эллипсоиди

Ернинг шаклини ўрганишда кўп вақтлардан бери қуйидаги тарзда ёндошилади. Дастлаб сирти нисбатан оддий бўлиб, геометрик жиҳатдан яхши ўрганилган, унда геодезия ва картографиянинг турли масалаларини ечиш учун қулай ва биринчи яқинлашишда Ерни ҳақиқий шакли ва ўлчамларини тўлиқ характерлайдиган ер моделининг шакли ва ўлчамлари аниқланади. Сўнгра бу Ер моделининг юзаси бошланғич деб қабул қилиниб, унга нисбатан ўрганилувчи шакл – геоид (квазигеоид) ёки реал Ернинг юзасидаги нуқталарнинг баландликлари аниқланади шу тариқа конкрет шакли ва ўлчамларини тавсифловчи маълумотлар олинади.

Олий геодезиянинг масалаларини ечишда бундай шакл сифатида умумий ер эллипсоиди деб аталувчи кичик кутбий сиқилишли айланма эллипсоид қабул қилинади (1.4- шакл). Унинг юзаси уни кичик PP_1 ўқини атрофида PEP_1 ярим эллипсни айлантириш орқали ҳосил қилинади.

Ер эллипсоиди шакли ва ўлчамлари катта a ва кичик b ярим ўқлари, ёки кўпинча катта ярим ўқ a ва кутбий сиқилиши α билан

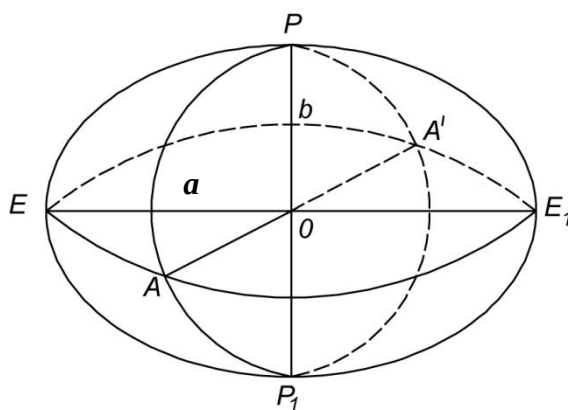
$$\alpha = \frac{a-b}{a}, \quad (1.10)$$

ёки катта ярим ўқ a ва меридиан эллипснинг биринчи эксцентриситети e билан тавсифланади.

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

Умумий ер эллипсоиди Ернинг тўлиқ шакли ва ўлчамларини имкони борича аниқ тавсифлаши учун, унинг a , α параметрлари қуйидаги шартларни ҳисобга олган ҳолда аниқланади:

-умумий ер эллипсоидининг маркази Ер массаси маркази билан устма-уст тушиши лозим, унинг кичик ўқи эса – Ер айланиш ўқи билан устма-уст тушиши лозим;



1.4- шакл Ер эллипсоиди

- эллипсоид ҳажми геоид (квазигеоид) ҳажмига тенг бўлиши лозим;

- эллипсоид юзасининг геоид (квазигеоид) юзасидан баландликлар бўйича четлашишлари квадратларининг йиғиндиси энг кичик (минимал) бўлиши лозим.

Яқин вақтларгача, космик фазони инсон томонидан ўзлаштиргунга қадар, ер эллипсоидининг параметрлари градусли ўлчаш деб аталувчи ўлчашларни бажариш орқали олинган. Бу мақсадда турли кенгликлардаги меридиан ва параллеллар бўйлаб триангуляция қаторлари ўтказилган, уларнинг охириги пунктларида астрономик кенгликлар, узоқликлар ва томонларнинг азимутлари аниқланилган. Умумий ер эллипсоиди параметрларининг ишончли қийматларини чиқариш учун бутун ер юзасида, дунё океанлари билан биргаликда градус ўлчашларни бажариш лозим бўлган. Бундан ташқари, астрономик кенгликлар, узоқликлар ва азимутларга одатда номаълум бўлган шовун чизигининг оғишини таъсири учун тузатмалар киритиш керак бўлган.

Олдинлари градус ўлчови фақат материкларда, яъни ер юзасининг унча катта бўлмаган қисмида олиб борилган. Турли мамлакатларнинг градус ўлчовлари умумий боғлиқликка эга бўлмаган, турли дастур бўйича турли аниқлик билан бажарилган, турли координаталар системасида қайта ишланган. Буларнинг барчаси уларни биргаликда қўллашда қийинчиликлар туғдирган ва ер

эллипсоидининг ўлчамлари тўғрисида аниқ хулосалар чиқаришига салбий таъсир кўрсатган.

Кўплаб мамлакатларнинг олимлари бир ярим аср давомида, турли ҳажмга, аниқликка ва мазмунга эга бўлган градус ўлчовларидан фойдаланиб, ер эллипсоиди ўлчамларини аниқлаш билан шуғулланганлар. Бундай аниқлашларнинг айрим натижаларини келтирамиз (1-жадвал).

Деламбр эллипсоиди, метр ўлчов системасини ўрнатилишида асос сифатида олинган ва фақат тарихий аҳамиятга эга. Деламбр эллипсоиди юзасида қутбдан экваторгача бўлган масофа 10000 км ни ташкил этади, чунки у вақтда 1 метр, ушбу эллипсоид меридиан ёйи чорагининг ўн миллиондан бир қисмига тенг деб қабул қилинган.

1-жадвал

Олимлар	Давлат	йил	$a, м$	α
Деламбр	Франция	1800	6 375 653	1:334,0
Бессель	Олмония	1841	6 377 397	1:299,2
Кларк	Англия	1866	6 378 206	1:294,98
Хейфорд	АҚШ	1910	6 378 388	1:297
Красовский	СССР	1940	6 378 245	1:298,3
Суъний йўлдошларни кузатиш орқали олинган			6 378137	1:298,257

Қолган барча эллипсоидлар ҳозиргача турли мамлакатларнинг топоргафо-геодезик ва картографик ишларида фойдаланилади. Масалан, Бессел эллипсоиди Германияда ва бошқа қатор мамлакатлардан ташқари 1942 йилгача Собик Иттифокда, Красовский эллипсоидига ўтишдан олдин қўлланилган. Кларк эллипсоиди (1866) АҚШ да, Лотин ва Марказий Америка мамлакатларида, Кубада, ҳамда бошқа қатор мамлакатларда қўлланилади.

Хейфорд эллипсоиди қатор Европа мамлакатларида фойданилади. У 1942 йил Мадридда ўтказилган геодезия Халқаро Бош Ассамблеясида халқаро эллипсоид сифатида тавсия этилган. Бу эллипсоиднинг параметрлари фақат АҚШ ҳудудида бажарилган

градус ўлчашларидан фойдаланиб чиқарилган ва анча хатоликларга эга, бунга Хейфорд эллипсоиди параметрларини сунъий йўлдошларни кузатиш натижаларини қайта ишлашдан олинган ер эллипсоид параметрлари $a = 6\,378\,137\text{ м}$, $\alpha = 1:298,257$ билан таққослаганимизда ишонч ҳосил қилишимиз мумкин.

Ер усти ўлчашларни қайта ишлашдан олинган барча эллипсоидлар ичида Красовский эллипсоиди энг аниқ ҳисобланади. Унинг ўлчамлари сунъий йўлдошларни кузатишдан олинган маълумотлар бўйича умумий ер эллипсоидининг ўлчамларига яқин, сиқилиши амалий жиҳатдан бир хил, катта ярим ўқларигина бири-биридан 108 метрга фарқ қилади. Красовский эллипсоиди МДХ ва қатор бошқа мамлакатларда қўлланилади.

1.4. Нормал ер ва ернинг реал шакли

Ер шакли ва гравитация майдони ўзаро чамбарчас боғлиқ бўлиб, уларни ўрганиш моҳияти жиҳатидан битта масалани ечишдан иборат. Гравитация майдонининг тузилиши мураккаб, Ер шаклининг нотўғрилигидан ва массанинг зичлигини тақсимланиши жиҳатидан, W оғирлик кучи потенциалини аниқлашда анча қийинчиликни келтириб чиқаради. Ернинг гравитация майдонини иккита майдон кўринишида фараз қилсак: асосий ёки нормал қолдиқли, ёки аномал ва уларнинг ҳар бирини алоҳида ўргансак W потенциални аниқлаш масаласи анча енгиллашиши мумкин.

Бунда ернинг физик модели сифатида сатҳий эллипсоид айланиши қабул қилинади, унинг ташқий юзаси сатҳий ҳисобланади ва унинг ҳар бир нуқтасидаги оғирлик кучи нормал бўйича унга йўналган бўлади.

Сатҳий эллипсоид маркази Ер массаси маркази билан, унинг айланиш ўқи эса – Ернинг айланиш ўқи билан устма-уст тушади. Сатҳий эллипсоид юзаси билан ва унинг ташқи фазосида ҳосил бўладиган гравитацион майдон нормал гравитацион майдон дейилади, оғирлик кучи эса нормал оғирлик кучи дейилади ва γ ҳарфи билан белгиланади.

Сатҳий эллипсоид параметрларини аниқлаб, U нормал потенциални ва унинг юзасида ҳамда ташқи фазода оғирлик кучи нормал майдоннинг бошқа элементларини ҳисоблаш мумкин. Сатҳий эллипсоид юзасини бошланғич деб қабул қилиб, Ер шаклини ўрганиш масаласини, уни физик юзасини эллипсоид юзасидан четлашишини аниқлашга, реал оғирлик кучи W потенциалини аниқлаш масаласини эса, T – ер юзасидаги нуқталарда Ернинг тойдирувчи потенциали деб аталувчи катта бўлмаган $T=W-U$ фарқларни, аниқлашга келтириш мумкин. Ернинг физик модели сифатида қабул қилинувчи сатҳий эллипсоидни, уни шакли ва гравитация майдонини аниқлашда Нормал Ер деб аташ қабул қилинган. Геодезия, геофизика, ва осмон механикасининг қатор масалаларини ечишда ер тортишиш V потенциалини (уни атмосферасини ҳисобга олган ҳолда) r , Φ ва L геоцентрик координаталарини, яъни геоцентрик радиус, кенглик ва узокликларни шаравий функция қаторига ёйилган кўринишида тасаввур қилиш кенг тарқалган. Нормал Ер (сатҳий эллипсоид) V_0 тортишиш потенциали қуйидаги кўринишга эга [13] :

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

бу ерда «0» индекси билан Нормал Ер параметрлари белгиланган; f – универсал гравитацион доимий; M_0 – сатҳий эллипсоид массаси; r – унинг юзасидаги нуқталарнинг геоцентрик радиус вектори; a – эллипсоид катта ярим ўқи; J_{2n}^0 , $P_{2n}(\sin\Phi)$ Лежандр полиномларида иккинчи даражали зонал гармоник коэффициентлар.

Нормал Ер параметрлари, уларни қийматлари ва муҳимлигига қараб қуйидаги тарзда классикацияланади.

Нолинчи тартибдаги параметрлар: геоцентрик гравитацион доимий fM ; Нормал Ер юзасидаги оғирлик кучининг нормал потенциали U_0 ; Ернинг экваториал радиуси a ; экватордаги нормал оғирлик кучи γ_e .

Сиқилиш тартибдаги параметрлар: иккинчи даражали геопотенциалнинг нормал гармоик коэффиценти J_2 ; Ернинг геометрик сиқилиши $\alpha = (a-b)/a$; Ернинг гравиметрик сиқилиши, $\beta = \gamma_p - \gamma_e/\gamma_e$ бу ерда γ_p – кутбдаги нормал оғирлик кучи; Ер айланишининг бурчакли тезланиши ω функцияси ҳисобланувчи кичик параметрлар ва нолинчи тартибдаги параметралар, яъни

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

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

Юқори тартибдаги параметрлар:

- нормал оғирлик кучи формуласидаги β_1 коэффицент; нормал тортишиш

- потенциалининг гармоник коэффицентлари $J_4^0, J_6^0 \dots$ ва ҳ.к.

Фундаментал геодезик доимийлар

Ўта муҳимлиги туфайли Нормал ернинг айрим параметрлари фундаментал геодезик доимийлар деб ном олди. Ҳозирги вақтда уларга қуйидагилар киради: fM , a , J_2 , ω , бу ерда ω – ер айланиш бурчак тезлиги. Нормал Ернинг бошқа параметрлари ҳосилавий доимийлар ҳисобланади. Уларни, турли параметрлар орасидаги маълум нисбатлардан фойдаланиб олиш мумкин.

Фундаментал доимийларга яна қуйидагилар киради: вакуумда ёруғлик тезлиги c , атмосфера учун геоцентрик гравитацион доимий fM ва универсал гравитацион доимий f . Фундаментал геодезик доимийлар Ернинг сунъий йўлдошларини, узоқдаги космик учиш аппаратларини кузатиш, астрономик ва гравиметрик ўлчаш натижаларидан фойдаланиб аниқланади.

Нормал Ер параметрлари қуйидаги шартларга риоя қилиб аниқланади:

- айланма сатҳий эллипсоид айланиш маркази Ер массаси маркази билан, унинг айланиш ўқи ҳисобланувчи – инерция бош ўқи Ернинг айланиш ўқи билан устма-уст тушиши лозим;

- сатҳий эллипсоид ва ҳақиқий Ернинг айланиш бурчак тезлиги ω бир хил бўлиши лозим;

- сатҳий эллипсоид массаси M_0 реал Ер массасига M тенг бўлиши керак ($fM_0 = fM$);

- сатҳий эллипсоид ва реал Ер учун иккинчи даражали геопотенциал зонал гармоник коэффициентлар, J_2^0 ва J_2 устма-уст тушиши керак $J_2^0 = J_2$;

- сатҳий эллипсоид юзасида оғирлик кучининг нормал потенциали U_0

геоид юзасидаги оғирлик кучининг реал потенциалига W_0 тенг бўлиши керак.

Геодезиянинг қатор масалаларини ечишда U_0 ўрнига фундаментал геодезик доимийлар ичига сатҳий эллипсоиднинг катта ярим ўқи a киритилади. Унда бешинчи шарт қуйидагича бўлади: сатҳий эллипсоиднинг катта ярим ўқи a шундай танланган бўлиши керак-ки унинг ҳажми геоид ҳажмига тенг бўлсин.

Вақт ўтиши билан ўлчаш туғрисидаги маълумотлар йиғилиб фундаментал геодезик доимийларга аниқлик киритиб борилади. Канберрада 1972 йилда ўтказилган XVII халқаро геодезик ва геофизика иттифоқнинг Бош Ассамблеяси ва унинг таркибига кирувчи Халқаро геодезия ассоциацияси тавсиясига мувофиқ, фундаментал геодезик доимийларнинг қиймати деб қуйидаги қийматлар қабул қилинди:

$$fM = (3896005 \pm 0,5) \cdot 10^8 \text{ м}^3 \text{ с}^{-2};$$

$$J_2 = (108263 \pm 0.5) \cdot 10^{-8};$$

$$a = 6378137 \pm 2 \text{ м}$$

$$\omega = 7292115 \cdot 10^{-11} \text{ рад} \cdot \text{с}$$

Бу доимийлар 1980 йилда қабул қилинган геодезик референц-системалар учун бошланғич ҳисобланади. Фундаментал доимийларни билиб, аниқ формулалар [3] бўйича Нормал Ернинг бошқа параметрларини ҳисоблаш мумкин. Иккинчи тартибли кичик миқдорларгача аниқлик билан Нормал Ернинг турли параметрлари

орасидаги боғлиқликни ўрнатувчи айрим формулаларни келтирамиз, бу замонавий босқичда олий геодезиянинг кўплаб масалаларини ечиш учун етарлидир.

J_2 ва $\bar{q}$ параметрлар ёрдамида Ернинг сиқилиши α қуйидаги формула билан ифодаланади

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

бу ерда $\bar{q}$ (1.14) формула бўйича аниқланади.

Сатҳий эллипсоид юзасида нормал потенциали U_0 қуйидагига тенг

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

Эллипсоид массаси M_0 ва экватордаги нормал оғирлик кучи γ_e қуйидагича боғланган

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

Сатҳий эллипсоид юзасини нормал тортишиш γ_0 кучини, B кенгликда қуйидаги формула бўйича ҳисоблаш мумкин

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

бу ерда

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

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

Ташқи фазода нормал оғирлик кучи γ ($mGal$) қуйидаги формула бўйича топилади

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

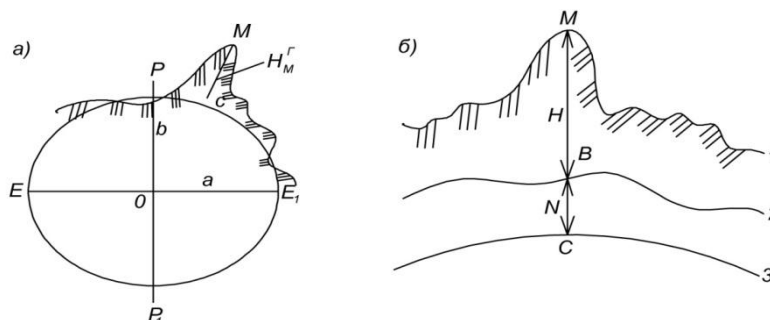
бу ерда H – эллипсоид юзасига нисбатан баландлик, м.

Юқорида келтирилган фундаментал геодезик доимийлар, сатҳий эллипсоид экваторида Ернинг қутбий сиқиклиги α ва нормал оғирлик кучи γ_e – қийматлари қуйидагига тўғри келади;

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

Реал Ер шакли

Ер танасида параметрлари маълум бўлган ер эллипсоидини ориентирлагандан сўнг, унинг шаклини ўрганиш масаласи ер юзасидан нормал бўйича эллипсоид юзасигача геодезик баландликларни топишга, яъни эллипсоиддаги нуқталарнинг маълум координаталари билан $H_M^\Gamma = MC$ (1.5а-шакл) кесмаларини аниқлашга олиб келади. Аммо ҳар қандай нуқталарнинг геодезик баландлигини бевосита ўлчаш имкони йўқ. Шунинг учун уни иккита ташкил этувчига ажратилади ва уларнинг ҳар бири, турли ўлчаш маълумотлардан фойдаланиб алоҳида аниқланади.



1.5-шакл. Нуқтанинг геодезик баландлиги (а) ва уни ташкил этувчиси (б); 1- Ернинг физик юзаси; 2-квазигеоид (геоид); 3-эллипсоид.

М. С. Молоденскийнинг назариясига мувофиқ Ер юзасидаги ҳар қандай M нуқтанинг геодезик баландлиги H_M^Γ қуйидаги формула орқали ҳисобланади

$$H_M^\Gamma = \xi_M + H_M^\gamma \quad (1.19)$$

бу ерда ξ_M – баландлик аномалияси;

H_M^γ - берилган нуқтанинг нормал баландлиги.

Баландликлар аномалияси ξ нисбатан кичик бўлиб 100 метрдан ошмайди, тоғларда нуқталарнинг нормал баландликлари бир неча км га етиши мумкин.

Ҳоҳлаган M нуқтанинг баландлик аномалияси ξ қуйидаги кўринишда берилади:

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

бу ерда $T_M = W_M - U_M$ M нуқтада Ернинг тойдирувчи потенциали;

W_m ва W_0 – M нуқтада ва геоид юзасида реал оғирлик кучи потенциалнинг қийматлари; U_M ва U_0 – шу нуқталардаги нормал оғирлик кучи потенциалнинг қийматлари; γ_m – (1.18) формула билан ҳисобланадиган, эллипсоид сиртидан $H = \frac{1}{2} H_m^\gamma$ баландликдаги нормал оғирлик кучининг қиймати. Ҳар қандай M нуқтанинг нормал баландлиги H_m^γ қуйидаги формула орқали аниқланади.

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

У геометрик нивелирлаш билан бир вақтни ўзида оғирлик кучини ўлчаб аниқланади. (1.21) формулада γ_m – эллипсоиддан $H = \frac{1}{2} H_m^\gamma$ баландликдаги нормал оғирлик кучининг қиймати; g – нивелирлаш йўли нуқталаридаги реал оғирлик кучининг қиймати; dh – элементар нисбий баландликлар.

Ер юзасидаги M нуқта орқали (1.5,б-шакл) ер эллипсоиди юзасига MC нормал ўтказамиз ва белгилаймиз: $N=BC$ – эллипсоиддан квазигеоид баландлиги; $H=MB$ – ушбу нуқтанинг квазигеоиддан баландлиги. Ер юзасидаги ҳар бир конкрет M нуқта учун квазигеоиднинг N баландлиги ξ_M баландлик аномалиясига миқдоран тенг, яъни $N = \xi_M$, бу нуқтанинг квазигеоиддан баландлиги H нормал H_m^γ баландликка миқдоран тенг, яъни $H = H_m^\gamma$. Шунинг учун (1.19) ифода ўрнига шундай талабчанлик ва аниқлик билан ёзиш мумкин

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

Одатда амалиётда (1.22) формула қўлланилади, аммо $N = \xi_M$ ва $H = H_m^\gamma$ қийматлар (1.20) ва (1.21) формулалар бўйича ҳисобланади, гарчи ξ ва N ҳамда H_M^Γ ва H катталиклар физик маъноси турличадир.

(1.19) формула билан H_M^Γ нормал баландликлар эллипсоидидан ҳисобланади, (1.22) формула бўйича эса H баландликлар квазигеоид юзасидан ҳисобланади. Бу иккита формула ҳам назарий жиҳатдан қатъий ҳисобланиб, H^Γ геодезик баландлик бир хил қийматини беради.

Квазигеоид N баландлигини (ξ аномал баландлик) аниқлаш учун ер шарининг континентал қисмида геодезик, астронимик, гравиметрик, ҳозир эса сунъий йўлдош ва гравинерциал комплекс ўлчашлар бажарилади.

Градусли ўлчашларни, сунъий йўдош ўлчашларини қўшиб, қайта ишлашдан, ер гравитация майдони бир жинсли эмаслиги сабабли, геоид (квазигеоид) юзаси мураккаб эканлиги аниқланди. У Ер эллипсоиди сиртига нисбатан кенглик ва узоқликлар бўйича тегишлича йирик (1000 км ва ундан ортиқ) ва унча катта бўлмаган (100 км ва ундан кам) тўлқинсимон чўзиқларга эга. Бунда геоидни энг катта манфий баландлиги Ҳинд океани районида (-105 м атрофида) ва Антарктида яқинида (Россия денгизида – 61 м гача), энг катта мусбат баландлик эса тинч океанида (Янги Гвинея яқинида +77 м гача) ва Шимолий Атлантикада (+66 м гача) кузатилган. Ернинг шакли нок шаклида эканлиги аниқланилган бўлиб, унинг шимолий яримшари қутбга томон тортилган, жанубий яримшари эса аксинча ичкарига кирган. Ер экватори – катта ярим ўқи ғарбга 15° га яқин узоқлик билан эллиптикликка эга.

2-БОБ КЎЧИРИШ СИРТИ. РЕДУКЦИОН МАСАЛА

2.1. КЎЧИРИШ СИРТИ. КРАСОВСКИЙ РЕФЕРЕНЦ-ЭЛЛИпсоИДИ

Ернинг физик юзаси жуда мураккаб, айниқса тоғли ҳудудларда. Унинг тенграмаси номаълум, шу сабабли геодезик ўлчаш натижаларини математик қайта ишлаш учун геометрик жиҳатдан содда бўлган ва Ер танасида ориентирлаш имконияти яхши бўлган ёрдамчи сирт танлаб олинади. Ер юзасида бажарилган барча ўлчашлар: горизонтал бурчаклар ва йўналишлар, пунктлар орасидаги масофалар, ер предметлари азимутлари ва б.қ., шу танлаб олинган сиртга ўтказилади, яъни редукцияланади, бу сиртни кўчириш сирти деб номлаш қабул қилинган. У ёки бу кўчириш сиртни танлашда қуйидагиларни инобатга олиш зарур.

Кўчириш сирти шакли жиҳатидан содда бўлиши ва геометрик нуқтаи назардан яхши ўрганилган бўлиши керак. Бу ўз навбатида нуқталар орасидаги ҳар қандай масофалар геодезик масалаларни осон ва керакли бўлган аниқликда ушбу сиртда ечиш имконини беради.

Кўчириш сирти у танлаб олинган мамлакат ёки бир неча мамлакатлар ҳудудлари квазигеоид сиртидан унча катта фарқ қилмаслиги керак; баландлик бўйича фарқ минимал бўлиши керак. Бу ҳолда бевосита ўлчанган қийматлар (масофалар, йўналишлар ва б.қ.) ва уларни кўчириш сиртидаги проекциялари орасидаги фарқлар кичик бўлади.

Кўчириш сирти Ер танасида шундай ориентирланиши зарурки бунда ўлчанган элементлардан уларни кўчириш сиртидаги проекцияларига ва аксинча элементлар проекциясидан уларни ўлчанган қийматларига ўтиш бир хил бажарилсин.

Бутун Ер масштабида геодезик масалаларни ечиш учун кўчириш сирти сифатида умумий ер эллипсоиди сиртини (Нормал Ер) олиш мақсадга мувофиқ. Бир ёки бир неча мамлакатлар миқёсида топографик-геодезик ва картографик масалаларни ечишда кўчириш сирти сифатида одатда маълум ўлчамларга эга бўлган ва Ер танасида

ориентирланган, референц - эллипсоид деб номланган ер эллипсоиди қабул қилинади.

Референц эллипсоидни шакли, ўлчамлари ва ориентирлашни танлашда қуйидаги талаблар бажарилиши керак:

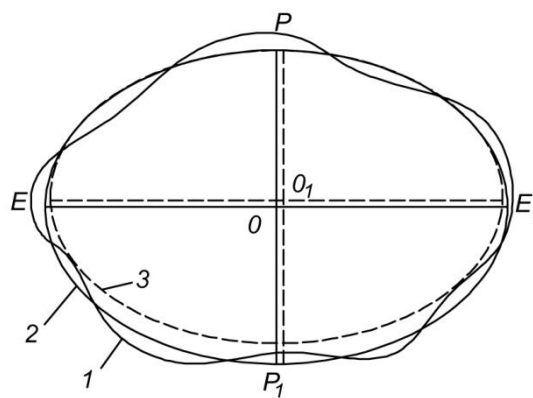
1) Референц эллипсоид параметрлари имкон қадар умумий ер эллипсоиди параметрларидан фарқ қилмаслиги керак;

2) Референц эллипсоиднинг айланиш ўқи Ер айланиш ўқига, экватор текислиги Ер экватор текислигига параллел бўлиши керак;

3) Мамлакат ёки бир неча мамлакатлар учун танланган референц эллипсоид сиртини квазигеоид (геоид) сиртидан оғиши квадратларининг йиғиндиси энг кичик (минимал) бўлиши керак.

Худуди кичик бўлган мамлакатларда биринчи талабни бажарилиши зарурий эмас.

Референц эллипсоид ўлчамлари умумий ер эллипсоиди ўлчамларидан фарқ қилади, уни маркази O_1 умумий ер эллипсоиди маркази O билан устма-уст тушмайди (2.1- шакл).



2.1- шакл. Кўчириш сиртлари
1- геоид; 2-умумий ер эллипсоиди; 3-референц

МДХ, давлатлари ҳудудида 1942 йилга қадар топографо-геодезик ва картографик ишлар учун Бессель референц эллипсоидидан фойдаланилган.

1940 йил профессор Ф.Н.Красовский, профессор А.А.Изотов иштирокида, СССР ва АҚШ, Ғарбий Европа мамлакатларида бажарилган градус ўлчовлари ва гравиметрик съемкалардан

фойдаланиб, ўша вақт учун аниқ бўлган ер эллипсоиди параметрларини ҳисоблаб топишди:

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

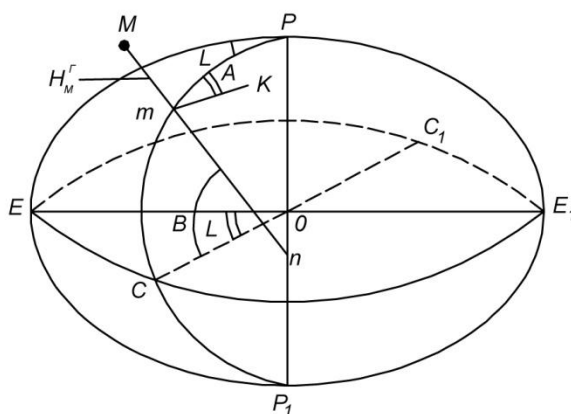
1946 йил ушбу ўлчамларга эга бўлган ер эллипсоиди Совет давлати учун референц эллипсоид сифатида қабул қилинди ва унга Красовский номи берилди. Красовский эллипсоиди ҳозирда барча МДХ, мамлакатларида қўлланиб келинмоқда.

Кўпчилик амалий геодезия ва картографик масалаларни ва айрим илмий масалаларни ечишда референц эллипсоиддан фойдаланиш қийинчиликлар туғдиради, бундай ҳолларда ер эллипсоиди зоналарга бўйилнади ва ҳар бир зона текисликка ёйилади. Бу текисликда турли геодезик (инженерлик) масалалар ечилади.

Геодезик тармоқларда ўлчанган катталиклар эллипсоиддан текисликка редукцияланади ва аксинча. Бундай масалаларни ечиш учун 1932 йилдан бери Гаусс-Крюгер проекциясидан фойдаланилади.

2.2. Геодезик ва астрономик координаталар ва азимутлар

Олий геодезия масалаларини ечишда, ер сатҳидаги ҳар қандай M нуқтанинг ҳолати қабул қилинган референц эллипсоидни геодезик координаталар системасида B , L , H^F (2.2- шакл) билан аниқланади, бу ерда B -геодезик кенглик; L -геодезик узоқлик; H^F -нуқтанинг геодезик баландлиги.



2.2- шакл. Геодезик координаталар ва азимутлар

$M (m)$ нуктанинг геодезик кенглиги деб (2.2- шаклга қаранг) шу нуктадан эллипсоид сатҳига туширилган M_n нормал чизик билан ESE_1 экватор текислиги орасида ҳосил бўлган B бурчакка айтилади. Геодезик кенглик экватор текислигидан шимолга мусбат ишора билан, жанубга қараб манфий ишора билан 0° дан 90° гача ҳисобланади.

Бошланғич Гринвич меридиани текислиги билан $M (m)$ нуктадан ўтган PmP_1 геодезик меридиан текислиги орасида ҳосил бўлган икки ёқли L бурчакка $M (m)$ нуктасининг геодезик узоқлиги дейилади. МДХ давлатларида геодезик узоқлик бошланғич меридиан текислигидан ғарбдан шарқга 0° дан 360° гача ўлчанади, айрим мамлакатларда тескари йўналишда ҳам ўлчаниши мумкин.

M нуктадан ўтган геодезик меридиан текислиги PmP_1 билан mk йўналиш ва m нуктадан ўтган mn нормал чизикдан ўтган текисликлар орасида ҳосил бўлган икки ёқли бурчакка mk йўналишни геодезик азимути A дейилади. Азимутлар меридиан текислигидан соат стрелкаси йўналишида 0° дан 360° гача ориентирланаётган йўналишларгача ўлчанади.

M нуктасининг геодезик баландлиги $H^r = mM$ деб эллипсоид сиртидаги m нуктадан ундан ўтувчи нормал чизиги бўйича M нуктагача айтилади. Эллипсоид сиртидан юқорида бўлган баландлик мусбат ва аксинчаси манфий ҳисобланади. Эллипсоид сиртида геодезик баландлик нольга тенг бўлади ($H^r = 0$).

Геодезик координаталар бевосита ўлчанмайди. Улар давлат геодезик тармоғини бошланғич деб қабул қилинган пункти координаталарига B_0, L_0, H_0 нисбатан орттирмаларни ҳисоблаб қўшиш орқали топилади.

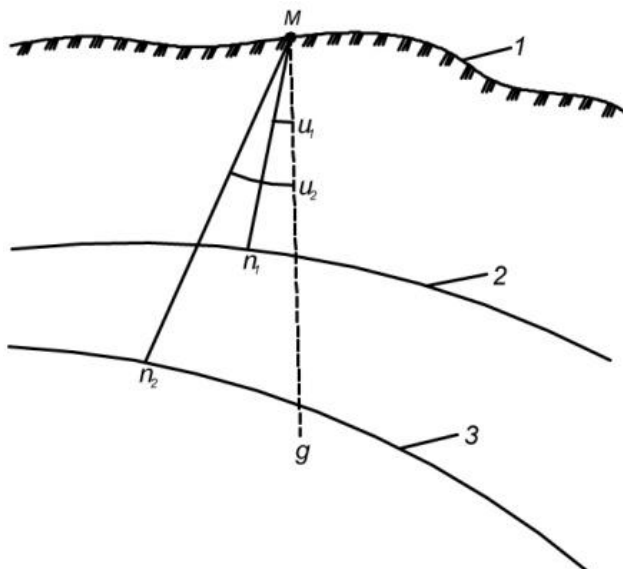
Ер юзасида юлдузларни кузатиш орқали астрономик кенгликлар φ , узоқликлар λ , азимутлар α) аниқланади. M нуктадан ўтган шовун чизиги йўналиши билан Ер экватори текисли орасида ҳосил бўлган бурчакка нуктанинг астрономик кенглиги φ дейилади.

Нуктанинг астрономик меридиани текислиги деб ушбу нуктадаги шовун чизигидан ўтган ва ер айланиш ўқиға параллел текисликка айтилади.

Бошланғич меридиан текислиги билан нуктадан ўтган астрономик меридиан текислиги орасидаги икки ёқли бурчакка нуктани λ -астрономик узоклиги дейилади.

2.3. Шовун чизиғини оғиши

Бир нуктадан ўтган нормал чизик билан шовун чизиғини устма-уст тушмаслиги сабабли нуктани геодезик координаталари B, L , ва астрономик координаталари φ, λ ўзаро тенг бўлмайди. Берилган нуктадан ўтган Нормал чизик билан шу нуктадан ўтган шовун чизиғи орасидаги бурчакка шу нуктадаги шовун чизиғини астрономо-геодезик оғиши дейилади. Шовун чизиғини оғиши мутлоқ ва нисбий бўлиши мумкин.

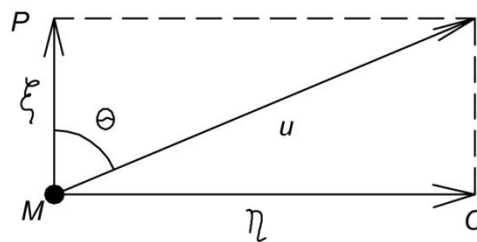


2.3- шакл. Шовун чизиғини абсолют ва нисбий оғиши:

1-Ер физик юзаси; 2- умумий ер эллипсоиди; 3-референц эллипсоид.

Ер сиртидаги M нукта учун умумий ер эллипсоидига нормал бўлган Mn_1 (2.3-шакл) билан шу нуктадан ўтган Mg шовун чизиғи орасида ҳосил бўлган U_1 бурчак шу нуктада шовун чизиғини мутлоқ оғиши дейилади. Шовун чизиғини мутлоқ оғиши Ер қарида массани тақсимланишига боғлиқ шу сабабли шовун чизиғини оғиши Ер ички тузилишини ўрганишда, Ер қаридаги анамал массаларни аниқлашда муҳим аҳамиятга эга.

M нуктадан референц эллипсоид сатхига туширилган Нормал Mn_2 билан Mg шовун чизиғи орасидаги U_2 бурчакка M нуктадаги шовун чизиғини нисбий оғиши дейилади. Шовун чизиғини нисбий оғиши Ер қарида массани тақсимотиға, қабул қилинган референц эллипсоид ўлчамлари ва уни Ер танасида ориентирлаш хатоликларига боғлиқ. Умуман олганда шовун чизиғини нисбий оғиши мутлоқ оғишдан катта.



2.4-шакл. Меридиан ва биринчи вертикал текисликларида шовун чизиғини тўлиқ оғишини ташкил этувчилари

Геодезик масалаларни ечишда шовун чизиғини тўлиқ оғишини U ҳар бир нуктада иккита ташкил этувчига ажратилади: ξ - берилган нуктадан ўтган меридиан MP текислигида ва η - берилган нуктадан ўтган меридиан текислигига перпендикуляр биринчи вертикал MC текислигида (2.4- шакл). Меридиан ва биринчи вертикал текисликларида ташкил этувчилари, ξ ва η ларнинг қийматлари маълум бўлганда шовун чизиғини тўлиқ оғишини қуйидаги формуладан топилади

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

Тўлиқ оғиш ётган текислик Θ азимути қуйидагича топилади

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

Агарда нуктани геодезик B, L ва астронмик φ, λ координаталари маълум бўлса у ҳолда шу нуктада шовун чизиғи оғишини ташкил этувчиларини топиш мумкин, яъни

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

Агарда шовун чизиғини оғишини ташкил этувчилари гравиметрик ўлчашларни қайта ишлаш орқали топилса, унда уларга шовунини гравиметрик оғиш дейилади ва $\zeta_{гр}, \eta_{гр}$ кўринишида белгиланади. Шовунни астрономо-геодезик оғиши $\zeta_{аг}, \eta_{аг}$ билан гравиметрик оғиши орасидаги боғланиш қуйидаги формула билан топилади

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

бунда H – нуқтани эллипсоиддан баландлиги, км да.

Шуни таъкидлаш зарурки, шовун чизиғини астрономо-геодезик оғиши қабул қилинган референц эллипсоид системасида, гравиметрик оғиш эса сатҳий эллипсоид системасида ҳисобланади, шунинг учун ер сатҳидаги бир нуқта учун шовун чизиғини у ва бу оғишлари ўзаро тенг бўлмайди.

Давлат геодезик тармоғи пунктларида шовун чизиғи оғишини билиш олий геодезияни кўпгина масалаларини ечиш учун зарур бўлади:

триангуляция усулида бажарилган бурчак ўлчаш натижаларидан фойдаланиб ер эллипсоиди шакли ва ўлчамларини аниқлашда;

қабул қилинган референц-эллипсоид сатҳига нисбатан ер сатҳи ва квазигеоид баландликларини аниқлашда;

турли координата системалари орасида боғлиқликларни ўрнатишда;

Ерни физик сатҳидан референц эллипсоид сатҳигача ўлчанган томанлар (базислар), азимутлар, горизонтал йўналишларни қатъий математик редукциялашда;

Айниқса тоғли жойларда тригонометрик нивелирлаш аниқлигини оширишда ва ҳ.к.

2.4. Лаплас азимути

Агарда бизга нуқтани геодезик B , L астрономик φ, λ координаталари ердаги предметга бўлган йўналишни астрономик азимути α маълум бўлса у ҳолда (2.4) формуладан фойдаланиб пунктда шовун чизиғи оғишини ташкил этувчиларини ζ ва η топиш мумкин. Ушбу йўналишни геодезик азимути A қуйидаги формуладан аниқланади.

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

бу ерда Z -кузатилаётган нуқтанинг зенит масофаси.

Текис жойларда $Z = 89^{\circ}30' - 90^{\circ}30'$, бу кўпинча триангуляция томонлари узунлиги 10-30 км бўлганда учрайди $\operatorname{ctg} Z \leq 0,01$ бўлади, шунда (2.5) даги учинчи ҳад қиймати $0,02 - 0,03''$ ошмайди ва уни ҳисобга олмай формулани қуйидагича ёзишимиз мумкин

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

(2.6) формула билан ҳисобланган геодезик азимутни Лаплас азимути деб аталади. Бу формулани иккинчи ҳади пунктда геодезик ва астрономик меридианлар текисликларини устма-уст тушмаслик натижасидир.

Лаплас азимутини аниқлаш ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

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

бу ерда m_α - астрономик азимутани аниқлаш хатолиги

m_λ -астрономик узоқликни аниқлаш хатолиги;

Агар $m_\alpha = 0,5''$, $m_\lambda = 0,45''$, $\varphi = 45^{\circ}$ бўлса $m_A = 0,6''$ бўлади. Лаплас азимутларини аниқлашни реал ўрта квадратик хатолиги $\approx 1''$ ташкил қилади.

2.5. Редукцион масала тўғрисида тушунча

Ўлчанган катталикларни ер физик сиртидан қабул қилинган референц эллипсоид сиртига ўтказишни комплекс муаммолари билан

боғлиқ қатъий математик усуллари ва бунинг учун зарур, шовун чизиклари оғиши ҳамда эллипсоид сиртидан пунктлар баландлигини аниқлаш усуллари ишлаб чиқариш олий геодезияни редукция масаласи деб қаралади.

Ҳар бир мамлакат томонидан танланган референц эллипсоид Ер айланиш ўқиға нисбатан ориентирланиши ва Ер танасида бошланғич геодезик саналар билан “Маҳкамланиши” зарур бунинг учун астрономо-геодезик тўрнинг бошланғич пунктининг B_0 , L_0 , H_0 геодезик координаталаридан фойдаланилади.

Бошланғич геодезик саналарни аниқлаш учун бутун астрономо-геодезик тармоқда бажарилган ўлчашларнинг барча маълумотларидан фойдаланилади. Буларни аниқлаш усуллари назарий геодезия курсида [13] кўрилади. 1934 йил Ф.Н.Красовскийни назарий жиҳатдан мукамал бўлган проекциялаш усулидан фойдаланиб, геодезик тармоқ барча ўлчашлар: горизонтал йўналишлар, томонлар узунликлари ва азимутлари ва ҳ.к., референц эллипсоид сатҳиға редукцияланади. Ўлчанган катталикларни эллипсоид сатҳиға проекциялаш нормаллар бўйича амалға оширилади. Ўлчанган катталиклар (йўналишлар, азимутлар ва ҳ.к.) шовун чизиғи билан боғлиқ бўлгани учун уларни эллипсоид сатҳиға редукциялаш учун геодезик тармоқ пунктларида шовун чизиғини оғишини ва пунктларни эллипсоид сатҳиға нисбатан баландликларини билиш зарур бўлади.

Редукцион масалани ечишда қуйидаги талабларни бажариш зарур:

- редукция тузатмаларини аниқлаш хатоси редукцияланаётган катталик ўлчаш хатосидан ҳисобға олмаса ҳам бўладиган даражада кичик бўлиши керак (ўлчаш хатолиғидан редукция тузатмаларини хатолиғи беш-ўн марта кичик бўлиши керак);

- редукция тузатмаларини ҳисоблаш учун қўлланиладиган формулалар шундай аниқликда олинган бўлиши керакки уларни хатолиғи редукцияни ҳисоблаш натижаларига таъсир этмасин;

- тегишли редукцияларни ҳисоблаш учун аргументлар:

шовун чизигини астрономо-геодезик оғиши ζ_{ag} , η_{ag} , пунктларни эллипсоиддан геодезик баландлиги H^F , оғирлик кучининг тезланиш анамалияси g - γ яъни реал ва нормал оғирлик кучи тезланиши фарқлари етарли даражадаги аниқликда, конкрет ўлчаш натижаларидан фойдаланиб, олинган бўлиши керак.

Тоғли худудларида иш бажаришда шовун чизигини оғиши 1-3 класс триангуляция барча пунктлари учун маълум бўлиши керак. Астрономо-геодезик тармоқларни алоҳида пунктларида ҳар 70 - 100 километрда астрономик кенгликлари φ , узокликлари λ аниқланади. Бу пунктларни геодезик кенгликлари B , узокликлари L ҳисоблаб топилгандан сўнг (2.4) формуладан фойдаланиб, қидирилаётган шовун чизигини оғиши аниқланади.

Оралик пунктлар учун шовун чизигини оғиши олинган натижаларни, уларни ночизикли ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда бавосита интерполяциялаш орқали топилади. Бунинг учун аниқ дастур бўйича жойни гравиметрик съёмкаси бажарилади ва барча пунктлар учун аввал шовун чизигини гравиметрик оғишлари ζ_{gp} , η_{gp} сўнгра буларни инобатга олиб изланган оғишлар ζ_{ag} , η_{ag} топилади. Шовун чизикларини астрономо геодезик оғишлари ζ_{ag} , η_{ag} ва пунктлар орасидаги масофаларни билган ҳолда, квазигеоид нисбий баландлиги ва уни эллипсоиддан баландлиги аниқланади (баландлик анамалияси ζ). Нивелирлаш натижасидан пунктларни нормал баландлиги H_γ аниқланади ва (1.19) формуладан фойдаланиб уларни геодезик баландликлари ҳисобланади.

Астрономо-гравиметрик усул билан шовун чизиги оғишини ва квазигеоид нисбий баландлигини аниқлаш катта ҳажмдаги геодезик, астрономик ва гравиметрик ўлчашларни бажаришни тақоза этади. Бу эса ўз навбатида кўп меҳнат ва харажатлар қилишга олиб келади.

Фан ва техникани ривожланиши билан ишлаб чиқаришга юқори аниқликдаги геодезик гравиинерциал системалар жорий этиб борилаяпти улар ёрдамида қисқа вақтда юқори 0,1" аниқликда бир пунктдан иккинчи пунктга ўтишда шовун чизигини астрономо-геодезик оғиши орттирмаларини ўлчаш имконини беради. Шовун чизиги астрономо-геодезик оғиши орттирмасини ўлчаб, пунктлар орасидаги масофани билган ҳолда, етарли даражадаги аниқликда

квазигеоид нисбий баландлигини ҳисоблаш мумкин. Ушбу усулда квазигеоид (геоид) сатҳини ўрганишга гравиинерциал нивелирлаш дейилади. Бу усул суъний йўлдош альтиметрия усулини қўллаш имконияти бўлмаган ер шарини континентал қисмда квазигеоид (геоид) сатҳини ўрганишда жуда ҳам самарали ва аниқ натижалар бериши мумкин.

Геодезик тармоқ пунктларида шовун чизиги оғиши ва геодезик баландликларини аниқлаб ўлчанган масофаларга, горизонтал йўналишларга, азимутларга [13] дарсликда келтирилган формулалардан фойдаланиб уларни референц эллипсоид сатҳига редукциялаш учун тузатмалар ҳисобланади. Сўнгра сфероидик геодезия формулаларидан фойдаланиб ўлчанган катталикларни эллипсоиддан Гаусс-Крюгер проекциясида текисликка редукцияланади.

2 бўлим

Таянч геодезик тармоқлар

3-боб ДАВЛАТ ГЕОДЕЗИК ТАРМОҚЛАРИ

3.1. Геодезик тармоқлар. Уларнинг аҳамияти

Ер юзасида махсус маҳкамланган, ҳолати умумий координата ва баландликлар системаларида аниқланган нуқталар тизимига геодезик тармоқлар дейилади.

Геодезик тармоқлар ер юзасининг кичик ва катта майдонларида барпо этилиши мумкин. Улар ҳудудий аломати ва вазифаси бўйича глобал (барча ер шарини қопловчи); миллий давлат қабул қилинган ягона координаталар ва баландликлар системаларида ҳар бир давлат томонидан территориясида барпо этилувчи; зичлаштириш (топографик съемкани бажаришда съемка асосини барпо этишга мўлжалланган), съемка асоси тармоқларига бўлинади.

Геометрик моҳияти жиҳатидан планли баландлик ва фазовий геодезик тармоқларга ажратилади. Планли тармоқларда ўлчашларни қайта ишлаш натижасида қабул қилинган кўчириш сатҳида пунктларнинг координаталари аниқланади (эллипсоид сатҳида ёки текисликда); баландлик (нивелирлаш) тармоқларида бошланғич юзага нисбатан пунктларнинг баландлиги олинади масалан, квазигеоид юзасига нисбатан; фазовий тармоқларда ўлчашларни қайта ишлашдан пунктларнинг уч ўлчамли ўзаро ҳолати аниқланади. Глобал геодезик тармоқлар ҳозирги вақтда ернинг сунъий йўлдошини кузатишдан фойдаланиб, космик геодезия усуллари ёрдамида барпо этилади, шунинг учун уни сунъий йўлдош ёки космик геодезия тармоғи дейилади. Бу тармоқда пунктларнинг ҳолати геоцентрик тўғри бурчакли координаталар X, Y, Z системасида ҳисобланади, координаталар боши Ер массаси маркази билан, Z ўқи эса унинг айланиш ўқи билан, ZY текислик эса бошланғич меридиан текислиги билан устма-уст тушади.

Глобал геодезик тармоқлар илмий ва илмий-техник муаммоларни ҳамда олий геодезия, геодинамика, астрономия ва бошқа

фанларнинг масалаларини ечишда фойдаланилади. Бундай муаммо ва масалалар жумласига қуйидагилар киради:

- фундаментал геодезик доимийларни аниқлаштириш;
- Ер шакли ва гравитация майдонини ўрганиш;
- Ер кутблари ҳаракатини аниқлаш;
- бутун ер учун ягона, тўғри бурчакли фазовий геоцентрик ёки геодезик координаталар системасини ҳосил қилиш;
- Ер қобиғидаги литосфера плиталар силжиши ва деформациясини ўрганиш;
- Ер оғирлик марказига нисбатан турли мамлакатлар референц эллипсоиди ҳолатини аниқлаш;
- Ер юзаси динамикаси туфайли ер умумий геодезик пунктлари координаталарини вақт ўтиши билан ўзгариш қонуниятларини ўрганиш ва уларни аниқ лаҳзали қийматларини аниқ белгиланган даврга келтириш [1].

Глобал геодезик тармоқлар пунктларини геоцентрик координаталар системасида “лаҳзали” ҳолатини юқори аниқликда олишга эришиш учун улар узлуксиз равишда такомиллаштириб борилиши лозим. Глобал геодезик тармоқларнинг аниқлиги ошган сари, геодезия, амалий космонавтика, геодинамика, астрономия ва кўплаб бошқа фанларнинг янги илмий муаммоларни ва масалаларини ечиш имкониятлари секин-аста ортиб боради.

Миллий геодезик тармоқлар, юқорида таъкидлаганимиздек учта турга бўлинади: давлат геодезик тармоғи (планли), давлат нивелирлаш тармоғи (баландлик), давлат гравиметрик тармоғи.

Давлат геодезик тармоғида танланган кўчириш сатҳида (референц-эллипсоидда ёки текисликда) геодезик пунктларнинг ўзаро планли ўрнини юқори аниқликда аниқлаш кўзда тутилади; тармоқ пунктларнинг баландлиги нисбатан паст аниқлик билан, айниқса тоғли районларда аниқлик янада паст аниқликда аниқланади.

Давлат нивелирлаш тармоғи квазигеоид юзасига нисбатан ҳар бир пункт баландлигини юқори аниқлик билан аниқлаш учун хизмат қилади; бу тармоқ пунктларнинг планли ҳолати кўчириш юзасида тақрибан аниқланади.

Давлат гравиметрик тармоғи унинг пунктларида оғирлик кучи тезланишини юқори аниқликда аниқлашга мўлжалланган; бу пунктларни планли ва баландлик ҳолати талаб қилинган аниқликда аниқланиши лозим.

Геодезияни ривожланиш тарихига назар солсак, вақт ўтган сари давлат геодезик тармоқлари аниқлигига бўлган талаб ошиб бормоқда. Шу билан бирга давлат геодезик тармоғи систематик равишда янгилаб ва такомиллаштириб борилмаса, аста-секин эскиради, пунктларнинг бир қисми йўқолади, ер қобиғининг замонавий ҳаракати туфайли уни алоҳида қисмларининг аниқлиги пасаяди.

Ҳар бир алоҳида мамлакат ҳудудида барпо этиладиган давлат геодезик тармоқлар қуйидаги мақсадлар учун мўлжалланган:

- Ер шакли ва гравитация майдони ва уларни вақт ўтиши билан ўзгаришини муфассал ўрганиш (мамлакат ҳудуди чегарасида);

- мамлакат ҳудудида ягона координаталар ва баландликлар системаларини яратиш;

- ягона координата ва баландликлар системасида турли масштабларда мамлакат карталарини яратиш;

- халқ хўжалиги аҳамиятидаги турли илмий ва инженерлик-техник масалаларни геодезик усуллар билан ечиш.

Барча турдаги давлат геодезик тармоқлари алоҳида барпо этилади, аммо улар бир-бири билан ўзаро мустаҳкам боғланган бўлди ва бир-бирини тўлдиради. Барча кўринишдаги тармоқлар учун алоҳида пунктлар умумий бўлиши мумкин, бу эса геодезия, геодинамика ва бошқа кўплаб масалаларини юқори самарада ечиш имконини беради.

Давлат геодезик тармоғи замон ва яқин келажак талаби даражасида бўлиши учун қуйидагилар зарур:

- тармоқ барча пунктларини систематик равишда жойларда бевосита кўздан кечириш, йўқолган пунктларни қайтадан аниқлаш ва ўрнатиш;

- даврий равишда, масалан, 25-30 йил оралиғида такрорий ёки ер юзасининг замонавий ҳаракати ёки бошқа сабабларга кўра

тармоқнинг энг катта ўзгарган қисмида қўшимча ўлчашларни бажариш;

- давлат геодезик тармоқлари аниқлигини ошириш ва кейинчалик такомиллаштириш учун олиб бориладиган такрорий ёки қўшимча ўлчашларни юқори аниқликдаги ўлчаш техникаси ва усулларида амалга ошириш;

- такрорий ва ёки қўшимча ўлчашлардан олинган маълумотларини йиғилишига қараб ҳудуднинг катта қисмида тахминан 25-30 йил оралиғида, ушбу даврга тегишли, координаталар ва баландликларнинг янги аниқ қийматларини олиш мақсадида, планли ва баландлик тармоқларни қайтадан тенглаштиришни бажариш.

Замонавий геодезик тармоқларини барпо этишда комплекс геодезик ишларни бажариш лозим ва улар қуйидагилардан иборат: геодезик тармоқларни лойиҳалаш; рекогносцировка қилиш; ер ости марказлар ва реперларни ўрганиш-маҳкамлаш; геодезик белгиларни қуриш; бурчак ва масофа ўлчашларни бажариш; астрономик кенглик, узоқлик ва азимутларни аниқлаш; нивелирлаш ишларини бажариш; оғирлик кучи тезланишини аниқлаш; ернинг сунъий йўлдошларини кузатиш ва ҳ.к. ва ўлчаш натижаларини математик қайта ишлаш.

Охирги йилларда ернинг сунъий йўлдошларини кузатиш натижалари асосида пунктлар координаталарини топиш аниқлигини оширишга эришилди. Шу туфайли ер сунъий йўлдошларини кузатиш билан давлат геодезик тармоқларини юқори аниқлик билан барпо этишда кенг қўлланилмоқда.

Маҳаллий геодезик тармоқлар. Қатор ҳолатларда жойнинг локал участкаларида, исталган вақтда нуқталарни ўзаро планли ҳолати ва баландлигини юқори аниқликда топишни талаб қиладиган мураккаб илмий ва илмий-техник масалаларни ечишга тўғри келади. Бундай ҳолларда ўта юқори аниқликда маҳсус тармоқлар барпо этилади ва уларда аниқ вақт оралиғида такрорий прецизон ўлчашлар бажарилади. Бундай тармоқлардаги ўлчашларнинг математик қайта ишланиши маҳаллий координаталар системасида бажарилади, у шундай танланади-ки, ўлчанган миқдорлардан уларни маҳаллий

кўчириш сатҳидаги проекциясига ўтиш учун редукцион тузатма имкони борича кичик бўлсин. Бундай тармоқлардан, масалан кучли ер силкинишларнинг сабабларини билиш ва башорат қилишда, кучли радиотелескопларни қуришда ва эксплуатация қилишда, элементар заррачалар тезлатгичларини ва гидростанциялар қурилишида фойдаланилади.

3.2 Давлат геодезик тармоқларини барпо этишнинг асосий принциплари

Давлат геодезик тармоқларини барпо этишда принципал аҳамиятга эга бўлган учта асосий савол туғилиши мумкин: мамлакатнинг бутун ҳудудида давлат геодезик тармоғини барпо этиш чизмасини танлаш; геодезик пунктлар зичлигини ўрнатиш, ҳамда тармоқ ёнма-ён жойлашган пунктларнинг ўзаро ҳолатини топиш аниқлиги. Бу саволлардан ҳар бирини биргаликда икки нуқтаи назардан кўриб чиқиш лозим: геодезиянинг асосий масаласини ечиш, ҳамда мамлакат ҳудуди картасини тузиш. Бу масалаларни ечишда таянч геодезик тармоқларига турлича талаб қўйилади. Шунинг учун, икки гуруҳ масалаларни Талаб этилган илмий даражада ва аниқликда ечиш учун тармоқларни барпо этишнинг оптимал вариантини топиш лозим.

Космик геодезия усулларида фойдаланиб, бутун Ерни етарли даражадаги умумлашган шакли ва гравитация майдони тавсифи олинади. Бир ёки бир гуруҳ мамлакатлар территориясида Ернинг шакли астрономо-геодезик тармоқларни барпо этиш йўли билан батафсил ўрганилади. Яқин вақтгача катта ҳудудли мамлакатларда астрономо- геодезик тармоқлар, меридиан ва параллеллар бўйлаб ўтказиладиган ва ёпиқ полигонларни ташкил этадиган триангуляция қаторлари кўринишида барпо этилган.

Астрономо-геодезик тармоқларда бажарилувчи барча турдаги ўлчашларни биргаликда математик қайта ишлаш натижасида квазигеоиднинг баландлиги ва унинг профили 1 класс триангуляция қатори бўйлаб олинади. Бунда ҳар бир полигоннинг ичида квазигеоид

юзасининг шакли ўрганилмай қолади. Бу камчиликни ечиш учун давлат ҳудудида тармоқ полигон шаклида эмас, балким пунктлари мумкин қадар тенг тақсимланган яхлит астраномо-геодезик тармоқни барпо этиш лозим.

Мамлакатнинг бутун ҳудуди картасини тузиш мақсадида бажариладиган топографик съёмкани геодезик таъминлаш учун унинг ҳудудида яхлит таянч геодезик тармоқни барпо этиш лозим. Бунда қўшни пунктлар орасидаги масофа айниқса йирик масштабдаги карталарни тузиш учун астраномо-геодезик тармоқларидагига қараганда анча кичик бўлиши лозим.

Давлат геодезик тармоқлари умумийдан ҳусусийга ўтиш принципига риоя қилинган ҳолда босқичма-босқич барпо этилади. Олдин ёпиқ полигонлар ёки катта учбурчаклардан ташкил топган бош яъни астраномо-геодезик тармоқ барпо этилади.

Астраномо-геодезик тармоқларда ўлчашлар имкони борица юқори аниқликда бажарилади. Ушбу тармоқни бошланғич сифатида қабул қилинади. Унинг асосида геометрик қурилиши анча муфассал ва нисбатан пастроқ аниқликда ўлчанган иккинчи тартибдаги геодезик тармоқ барпо этилади, лекин ёнма-ён жойлашган пунктларнинг ўзаро ҳолатини аниқлашда мутлоқ хатонинг миқдори биринчи тартибдаги тармоқдаги каби сақланиб қолади. Сўнгра иккинчи тартибдаги тармоқ асос қилиб олиниб унинг асосида геометрик қурилиши муфассал ва ўлчашлари пастроқ аниқликда бажариладиган учинчи тартибдаги тармоқ барпо этилади, ёнма-ён жойлашган пунктларнинг ўзаро ҳолатини аниқлаш мутлоқ хатолиги олдингидаги каби бўлади. Талаб қилинган пунктларнинг зичлигига эга бўлган геодезик тармоқ барпо этилгунга қадар худди шундай давом этдирилади.

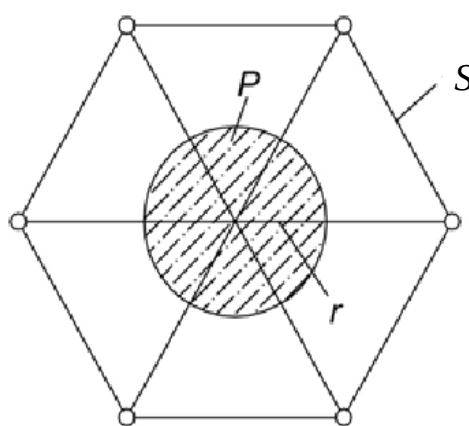
Шундай қилиб, умумийдан ҳусусийга ўтиш принципига риоя қилган ҳолда давлат геодезик тармоқлари 1,2,3,4 классларга ажратилиши муқаррар бўлади. Паст класс тармоқларини тенглаштирилган элементларига бошланғич маълумотлар хатолиги таъсирини камайтириш мақсадида класслар сонини минимумга келтириш тавсия этилади.

3.3. Давлат геодезик тармоғи пунктларининг зичлиги

Давлат геодезик тармоғида пунктларнинг зарурий зичлиги тўғрисидаги масала кўрилганда Ер шаклини айнан, давлат бутун ҳудудида квазигеоид юзасини муфассал ўрганиш билан боғлиқ бўлган геодезиянинг илмий муаммоларидан бири бўлган масала назарда тутилади. Юқорида таъкидлагандек триангуляция қатори полигонал астраномо-геодезик тармоқ кўринишда барпо этилганда ҳар бир алоҳида полигон ичида жойлашган квазигеоид юзаси ўрганилмай қолади.

2-жадвал

Топографи к съемканинг масштаби	Съемка трапецияси майдони, $км^2$	Битта пунктга тўғри келадиган майдон P , $км^2$	Пунктлар орасидаги масофа S , $км$
1:25 000	75	50-60	7-8
1:10 000	18	50-60	7-8
1:5 000	4.5	20-30	4-5
1:2 000	1.1	5-15	2-4



3.1-шакл. Битта геодезик пункт билан таъминланалиган майдон

Бутун давлат худудида яхлит астрономи-геодезик тармоқни барпо этиб бу «оқ» доғни йўқатиш мумкин. Квазигеоид юзасини қанча муфассал ўрганиш керак бўлса, астраномо-геодезик пунктлар шунчалик зич бўлиши керак. Тоғли худудларда пунктлар зичлиги текис худудларга қараганда юқори бўлиши керак, чунки тоғли худудларда квазигеоид юзаси текис жойларга қараганда анча мураккаб бўлади. Квазигеоид юзасини ўрганиш мақсадида астраномо-геодезик тармоқларнинг кўплаб пунктларида астрономик кенглик ва узокликлар ўлчанилади, ҳамда аниқ дастур бўйича худудда гравиметрик съёмка бажарилади. Текис ва қисман тепалик жойларда астрономик пунктлар ўртача ҳар 70-100 км дан жойлаштирилади. Бу пунктлар орасида квазигеоид юзаси астраномо-гравиметрик нивелирлашни қўллаш билан ўрганилади.

Тоғли худудларда Ер гравитация майдонининг тузилиши мураккаб бўлганлиги туфайли, астраномо-геодезик тармоқнинг ҳар бир пунктида 1" хоталик билан шовун чизигининг астраномо-геодезик оғишини аниқлаш мақсадга мувофиқ.

Мамлакат худудини карталаштиришда геодезик пунктларнинг талаб этилган зичлиги топографик съёмка масштабига, уни бажариш усулларига ҳамда съёмка асосини барпо этиш усулларига боғлиқ бўлади.

Геодезик тармоқ пунктлари орасидаги масофалар S ни битта пункт таъминлай оладиган топографик съёмкалар майдони P га боғлиқлигини кўриш мумкин [8]

Айтайлик, геодезик тармоқ тенг томонли S учбурчаклардан ташкил топган бўлсин (3.1-шакл). Ҳар бир пункт атрофига $r=S/2$ радиусли айлана чизамиз ва доиранинг P юзасини қуйидаги формула орқали ҳисоблаймиз

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

бундан

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

Турли масштабдаги топографик съёмкалар учун триангуляциядаги учбурчакларини томон узунликлари (3.2) формула билан ҳисобланиб 2-жадвалда келтирилган.

Умумийдан хусусийга ўтиш принципига мувофиқ давлат геодезик тармоқни барпо этишда, триангуляцияни бир классидан, бошқасига ўтишда учбурчак томонларининг узунлигини ўртача қийматлари орасидаги нисбатга риоя қилиш лозим, бунинг учун зарур бўлган ҳисобларни бажарамиз.

Айтайлик, 1 класс геодезик тармоғи томонлар узунлиги s бўлган тенг томонли учбурчаклардан ташкил топган бўлсин. 2 класс тармоғ 1 классга тегишли ҳар бир учбурчакнинг марказига пункт ўрнатиш билан барпо этамиз. 2 класс ёнма-ён пунктларини, ҳамда 2 ва 1 класс пунктларини тўғри чизиқлар билан бирлаштириб, томонлар узунлиги s_2 га тенг бўлган 2 класс триангуляция учбурчаклари тармоғини ҳосил қиламиз. Сўнгра 2 класснинг ҳар бир учбурчакига худди шу тарзда биттадан пункт қўйиб томонлар узунлиги s_3 бўлган тенг томонли учбурчаклардан ташкил топган 3 класс триангуляция тармоғини оламиз. Худди шу тарзда учбурчаклар томонлари узунлиги s_4 бўлган 4 класс триангуляция тармоғини ҳосил қиламиз.

Бундай геодезик тармоқларни босқма-босқич барпо этишда турли классли учбурчаклар томонлари узунликлари орасида қуйидаги тахминий нисбатга риоя қилиш лозим

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

Агар 1 класс триангуляцияси томонлари узунлиги ўртача $s_1=23$ км га тенг бўлганда уни бошланғич деб қабул қилсак, унда (3.3) формулага мувофиқ 2-4 класс триангуляция тармоқларидаги учбурчакларнинг қуйидаги томонлар узунликларини оламиз (3-жадвал).

3-жадвал

Триангуляция класси	Учбурчак томонларининг узунлиги s , км	Бир пунктга тўғри келадиган съёмка майдони P , км ²	200×200 км майдонда пунктлар сони, n
2	13.3	138.9	290
3	7.6	45.4	590
4	4.4	15.2	1750
		Жами	2630

Жойда барпо этилган триангуляция тармоқларида учбурчаклар тенг томонли шаклдан бирмунча фарқ қилади. Лекин, ўлчами катта майдондаги геодезик тармоқлар учун учбурчаклар томонлари узунлиги (3.3) нисбатга тенг ёки унга яқин бўлишига риоя этилиши лозим, акс ҳолда тармоқнининг умумий пунктлари сони асоссиз ошиб кетиши мумкин.

(3.3) нисбатга риоя этилганда, картаси тузилаётган ҳудуднинг ҳар қандай P майдонида турли класс пунктларининг ўртача сонини қуйидаги формула билан ҳисоблаш мумкин

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

бу ерда $P_{0(i)} = s_i^2 \pi / 4$ i -классдаги ($i=1,2,3,4$) битта пункт билан съёмкаси таъминланадиган майдон. Мисол сифатида бу формулалар билан $n_1 = 0$, $P=200 \times 200$ км бўлганда 2-4 класс пунктлар сонини аниқланиб 3-жадвалда берилган.

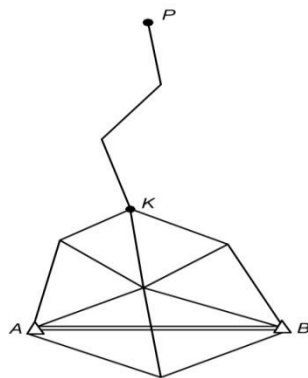
3.4. Давлат геодезик тармоғини барпо этишнинг зарурий аниқлиги

Мамлакат ҳудудини давлат аҳамиятидаги карталашда барча классдаги давлат геодезик тармоқларини барпо этиш аниқлигига бўлган талаб юқори бўлади, айниқса йирик масштабли топографик съемкаларни бажаришда. Мамлакатимиз ҳудудини босқичма босқич карталаш қуйидаги масштабларда амалга оширилади: 1: 100 000; 1: 50 000; 1: 25 000; 1: 10 000; 1: 5000; 1: 2000.

1950-1980 йиллар оралиғида ҳозирги МДХ давлатлари барча ҳудудларини 1:100 000÷ 1:250000 масштабларда карталаш тўла ниҳоясига етказилган. Ҳозирги вақтда ҳудудни 1:10 000 масштабда карталаш билан биргаликда зарур бўлган жойларда ҳудудларни 1:5000 ва 1:2000 масштабдаги топографик планлар билан қоплаш ишлари бажарилмоқда.

Учта босқичга тўғри келувчи барча масштабларда мамлакат ҳудудини бир вақтда карталашни таъминлаш учун давлат геодезик тармоғининг аниқлиги йирик 1:2000 масштабдаги топографик съемка бажаришга мўлжалланган бўлиши лозим.

Топографик карталарни барпо этишда фотопланларни тузиш учун бевосита геодезик асос бўлиб, хизмат қиладиган белгилар (опознаклар) ни координаталари яқин пунктларга нисбатан аниқланади. Масалан, давлат геодезик тармоғининг яқин пунктлари A , B дан жойларда зичлаштириш тармоғи ABK қуриш ва KP съемка йўллари ўтказиш орқали амалга оширилади (3.2-шакл).



3.2-шакл. Таянч геодезик тармоғи A, B пунктлари ва P белги (опознак) жойлашиши чизмаси

Давлат геодезик тармоғи қўшни A ва B пунктларнинг томонлари узунлиги s ни топиш зарурий аниқлигини ҳисоблашда P белги координаталарини аниқлаш хатоси m_p ва уни фотопланга тушириш, хатоси m_T ни биргаликдаги таъсири фотопланни график аниқлиги чегарасидан $m \leq 0.2$ мм чиқмаслиги лозим. Тенг таъсир этиш принципига риоя қилган ҳолда ёзамиз

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

KP съёмка асоси йўлини ўтказишда K нуқтанинг координаталари бошланғич бўлганлиги учун $m_p/2$ дан катта бўлмаган хатолик m_K билан аниқланиши лозим, таянч тармоқ A пунктининг координаталари бошланғич бўлиб, ундан K нуқтанинг координаталари $m_K/2$ дан катта бўлмаган хатолик m_A билан аниқланиши керак. Бошқачасига айтганда P белги координаталарини аниқлаш хатоси m_p (3.5) дан ошмаслиги учун қуйидаги шартга риоя қилиш зарур

$$m_A \leq \frac{m_K}{2} \text{ ва } m_K \leq \frac{m_p}{2} \quad (3.6)$$

(3.5) ва (3.6) ифодаларни ҳисобга олиб, $m_A = m_B$ деб қабул қилиб, давлат геодезик тармоғининг қўшни жойлашган пунктлари орасидаги томон узунлиги $S=AB$ аниқлаш чекли ўрта квадратик хатоси m_s миқдорини топамиз:

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

бу ерда m - фотоплан ёки картанинг график аниқлиги;

M - топографик карта масштабининг махражи; (3.7) формула тақрибий бўлса ҳам амалиётда тасдиқланувчи етарли аниқ натижаларни беради. Картада $m=0.2$ мм деб қабул қилиб, (3.7) формула орқали, турли масштабда топографик съёмкаларни бажаришда давлат геодезик тармоғининг ўзаро қўшни жойлашган пунктлари орасидаги томонлар узунликлари S ни аниқлаш m_s хатоларни ҳисоблаш мумкин (4-жадвал).

Кўрсаткич	1:25000	1:10000	1:5000	1:2000	1:1000
Картанинг график аниқлиги, м	5.0	2.0	1.0	0.4	0.2
Қўшни пунктлар орасидаги томонлар узунлигининг чекли хотаси $m_s, м$	1.25	0.50	0.25	0.10	0.05

3.5. Давлат геодезик тармоғини барпо этишнинг асосий усуллари

Давлат геодезик тармоқларини барпо этишнинг асосий усуллари триангуляция, полигонометрия ва трилатерация ҳисобланади. Ҳар бир конкрет ҳолатда у ёки бу усулни танлаш тармоқни барпо этиш зарурий аниқлиги ва иқтисодий самарадорлиги билан аниқланади.

Триангуляция усули. Триангуляция усули биринчи марта Голландиялик олим Снеллиус томонидан таклиф этилган деб ҳисобланади. Бу усул барча мамлакатларда кенг қўлланилади. Усулнинг моҳияти қўйидагидан иборат. Жойнинг энг баланд нуқталарида учбурчаклар системасини ташкил этадиган геодезик пунктлар маҳкамланади (3.3-шакл). Бу тармоқда A бошланғич пунктининг координаталари аниқланади, ҳар бир учбурчакда барча горизонтал бурчаклар, ҳамда тармоққа масштаб берувчи ва базис томон узунлиги “ b ” ва уни азимути “ α ” ўлчанади.

Триангуляция тармоғи алоҳида учбурчаклар қатори, учбурчаклар қатори системаси ҳамда, яхлит учбурчаклар тармоғи шаклида барпо этилиши мумкин. Триангуляция тармоқининг элементлари сифатида нафақат учбурчаклар, ундан мураккаброқ шакллар: геодезик тўртбурчаклар ва марказий системалар ҳам хизмат қилиши мумкин.



Полигонометрия усули. Бу усул илгаридан маълум бўлса ҳам, инвар симлар ёрдамида чизиқларни ўлчаш мураккаблиги туфайли яқингача ундан давлат геодезик тармоқларини барпо этишда фойдаланмай келинган. Тахминан 20 асрнинг 60-йилларидан бошлаб, геодезик ишлаб чиқаришга аниқ свето-радиодальномерларнинг жорий қилиниши полигонометрия усулини ривожлантирди ва

геодезик тармоқларни барпо этишда кенг қўлланила бошланди. Бу усулнинг моҳияти қуйидагидан иборат. Жойда чўзиқ якка йўл (3.4-шакл) ёки кесишувчи йўллар системаси шаклидаги яхлит тармоқни ташкил этувчи геодезик пунктлар маҳкамланади. Йўлнинг қўшни пунктлари орасидаги томонлар узунлиги S_i ва пунктларда бурилиш бурчаклари ўлчанади. Полигонометрик йўлларни аниқланадиган ёки берилган азимутлар ёрдамида азимутал ориентирлаш уларнинг охирги пунктларида ёндош бурчаклар γ ни ўлчаб амалга оширилади. Баъзан юқори класс аниқликдаги геодезик тармоқларнинг координаталари маълум пунктлари орасида полигонометрик йўллар ўтказилади.

Аҳоли яшайдиган жойларда, йирик шаҳарлар худудида, ўрмонзорларда ва бошқа қатор ҳолларда полигонометрия усули триангуляция усулига қараганда қулай ва иқтисодий жиҳатдан мақбул ҳисобланади, сабаб триангуляция пунктларида баланд геодезик белгилар ўрнатиб, кўп сонли пунктлар орасида тўғридан-тўғри кўринишни таъминлаш лозим бўлади. Геодезик белгиларни қуриш геодезик тармоқларни барпо этишда энг харажатли иш тури ҳисобланади ва у умумий сарфларни ўртача 50-60% ни ташкил қилади.

Полигонометрия усулида ҳам ўзига яраша камчиликлар мавжуд улар қуйидагилардан иборат:

- полигонометрия тармоғи, айниқса якка йўллари, триангуляция қатори ёки тармоғига қараганда геометрик мустаҳкамлиги кам қурилма ҳисобланади, чунки полигонометрияда пунктлар орасида геометрик боғланишлар сони триангуляцияга қараганда анча кам (иккала ҳолатда пунктлар сони бир хил бўлишига қарамасдан);

- ортиқча ўлчашлар сони (шартли тенгламалар сони) триангуляцияга қараганда анча кам, шу сабабли тенг шароитларда триангуляцияга қараганда полигонометрия тармоғи аниқлиги анча паст бўлишига олиб келади;

- даладаги ўлчашларни назорати триангуляцияга қараганда ёмон, чунки полигонометрияда пунктлар сони триангуляцияга тенг бўлишига қарамасдан шартли тенгламалар сони кам.

Юқоридаги камчиликлардан айтиш мумкинки, геодезик тармоқларни юқори аниқликда барпо этишда полигонометрия усулининг имконияти триангуляцияга қараганда чегараланган.

Трилатерация усули. Ушбу усул, триангуляция усулидек, жойларда геодезик тармоқларни учбурчаклар занжири, геодезик тўртбурчак ва марказий система кўринишида ёки яхлит учбурчаклар тармоғи кўринишида барпо этишни кўзда тутди, унда барча томонлар узунлиги ўлчанади (бурчаклар ўлчанмайди). Трилатерацияда триангуляция каби, тармоқни ориентирлаш учун қатор томонларидан айримларини азимути жойда аниқланган бўлиши лозим.

Масофа ўлчаш свето дальномер ва электрон дальномер техникасини ишлаб чиқарилиши ва аниқлигини ошириши сабабли трилатерация усули катта аҳамиятга эга бўлмоқда, айниқса инженерлик-геодезик ишлар амалиётида.

Қуйидаги сабабларга кўра 1-2 класс давлат геодезик тармоқларини барпо этишда трилатерация усули қўлланилмайди:

1. Масофаларни ўлчаш назорати йўқлиги сабабли юқори аниқликдаги геодезик тармоқларни барпо этишга тўғри келмайди. Учбурчакларда томонлар узунлигини ўлчаш назорати умуман йўқлиги сабабли битта ҳам шартли тенглама келиб чиқмайди; томонлари ўлчанган геодезик тўртбурчак ва марказий системаларда эса атиги биттадан шартли тенглама ҳосил бўлади; ҳудди шундай шакллардаги триангуляцияда бурчаклар ўлчалган бўлса бир қанча мустақил шартли тенгламалар пайдо бўлади: геодезик тўртбурчакда тўртта, марказий системада эса ундан ҳам кўп.

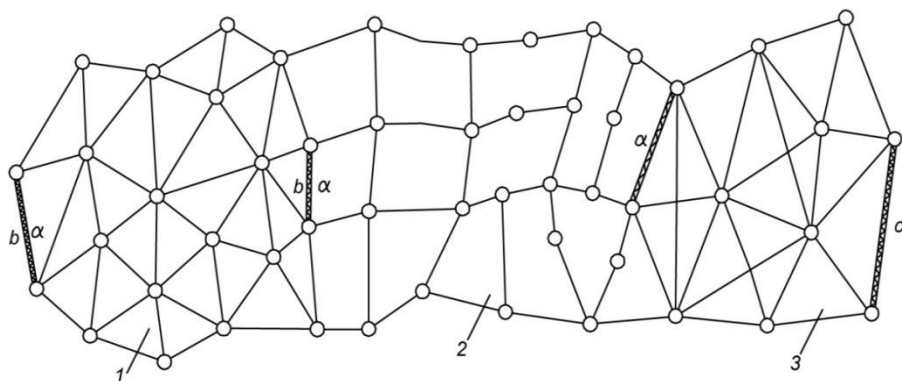
2. Техник-иқтисодий томондан трилатерация усули триангуляция усулига ёндоша олмайди. Тенг шароитларда чизик ўлчашда қатнашувчилар сони транспорт ҳаражатлари, бурчак ўлчашга қараганда бир неча марта кўп.

3. Мас аниқликда бурчак ва чизик ўлчашда тармоқларида азимутларни узатиш аниқлиги трилатерация қатори ва тармоқларида триангуляцияга қараганда анча паст бўлади.

Чизикли-бурчакли геодезик тармоқлар. Чизикли-бурчакли тармоқ деганда бир вақтда учбурчакларнинг бурчаклари ва томонлари ўлчанадиган триангуляция ёки трилатерациянинг кўриниши тушунилади. Уларда маълум учбурчаклар сонидан кейин, тармоқни ориентирлаш учун зарур бўлган Лаплас азимутлари ўлчанади. Чизикли-бурчакли тармоқлар, геодезик тармоқларни максимал юқори аниқликда барпо этиш талаб этилган ҳолларда қурилади. Чизикли-бурчакли тармоқни барпо этишда бурчак ва чизик ўлчашни биргаликда бажариб энг юқори самара олиш учун, радиан ўлчов бирлигида ифодаланган йўналишни ўлчаш ўрта квадратик хатоси m_N/ρ томон узунлигини ўлчаш нисбий ўрта квадратик хатосига m_s/s тенг бўлиши лозим, яъни ўлчашда қуйидаги тенгликка риоя этиши зарур

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

Комбинацияланган геодезик тармоқлар. Геодезик ишлар бажарилаётган ҳудуд турли шаклдаги рельефга эга (масалан, битта участка- текис, қўшни участка тоғли), ёки турли ўсимликлар билан (масалан бир участка ботқоқлик, яна бирида майда ўсимликлар ўсган, қўшни участкада эса баланд ўрмон) қопланган бўлса бундай ҳолларда техник-иқтисодий томондан келиб чиққан ҳолда участкаларнинг бирида (иқтисодий жиҳатдан қулайлиги инобатга олиниб) триангуляция (3.5-шакл), бошқасида полигонометрия, учинчисида эса трилатерация усулида геодезик тармоқлар барпо этилади.



3.5-шакл. Комбинацияланган геодезик тармоқ.

1-триангуляция; 2-полигонометрия; 3-

Бошқача сўз билан айтганда турли шароитли ҳудудларда комбинацияланган деб айтилувчи геодезик тармоқлар барпо этилади.

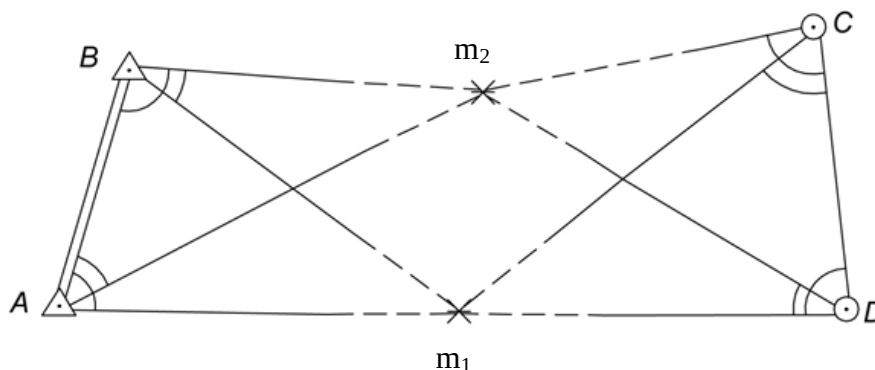
Комбинацияланган геодезик тармоқларни барпо этишни схемаси ва усули турлича бўлиши мумкин ва улар ҳудудни конкрет шароитларидан келиб чиққан ҳолда танланиши лозим.

3.6. Таянч геодезик тармоқларини барпо этишнинг бошқа усуллари

Астрономик пунктлардан ташкил топган таянч тармоқлар.

Ҳудуди 1:100 000 ва ундан майда масштабда топографик съёмка қилишда таянч тармоқни, бир-биридан камида 80-100 км да жойлашган астрономик пунктлардан барпо этиш мумкин. Бу ҳолатда астрономик кенглик ва узокликларга шовун чизигини оғиши учун тузатма киритилиши лозим. Бу тузатмаларни биринчи яқинлашишда гравиметрик съёмка маълуматлари бўйича ҳисоблаш мумкин. Таянч геодезик тармоқни бундай усулда барпо этиш 1945-50 йилларда Ўрта Осиёнинг тоғли ҳудудларини 1:100000 масштабда карталаштириш учун қўлланилган.

Динамик триангуляция ёки ҳаракатланувчи визир нишонли триангуляция. Бу усулнинг моҳияти қуйидагидан иборат. Айтайлик, бошланғич A ва B пунктларнинг координаталари маълум ва ундан анча узақда жойлашган ва бу пунктлардан кўринмайдиган C ва D пунктларнинг координаталарини аниқлаш талаб этилган бўлсин. (3.6-шакл).



3.6-шакл. Динамик триангуляция чизмаси.

Масала куйидаги тарзда ечилади, A ва D пунктларининг тахминан ўртасидан AD чизикга перпендикуляр йўналишда учаётган самалёт ёки вертолётдан ёнаётган m нишон танланади ва тўрттала пунктлардан бир вақта синхрон равишда кузатилади (бошланғич ва аниқланувчи) нишоннинг ҳар бир $m_1, m_2 \dots$ ҳолатида (3.6-шаклда) кўрсатилган горизонтал бурчаклар ўлчанади.

AB маълум томондан ва унда ўлчанган бурчаклардан фойдаланиб, $AB_{m_1}, AB_{m_2}, \dots$ учбурчаклар ечилади ва сўнгра $m_1, m_2, \dots, m_n$ нуқталарнинг координаталари ҳисобланади. Нуқталарнинг координаталари $m_i (i = 1, 2, \dots, n)$, C ва D пунктларда ўлчанган горизонтал бурчаклар бўйича бу пунктларнинг координаталари аниқланади.

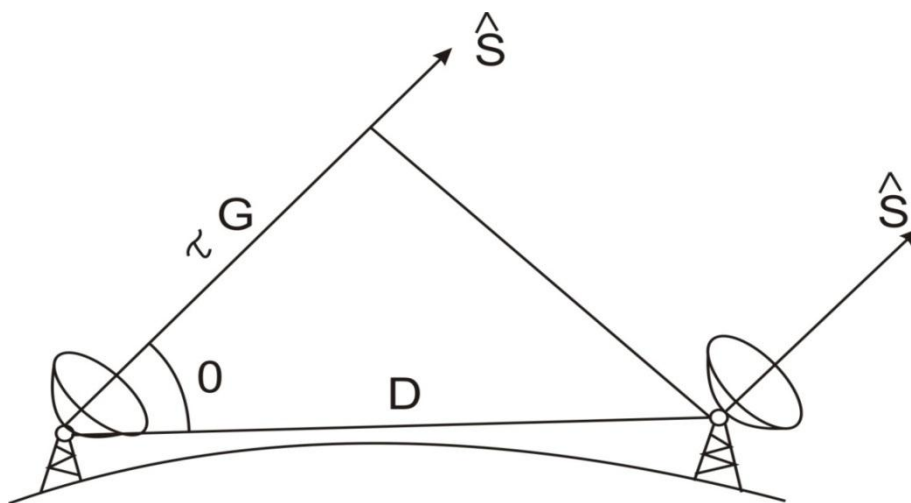
Геодезик тармоқларни барпо этишнинг Суъний йўлдошли (ЕСЙ) усули. Космик геодезия курсида [1] ЕСЙ кузатишни қайта ишлаш билан нуқталар координаталарини аниқлашнинг геометрик ва динамик усуллари муфассал кўрилади. Биринчи ҳолатда координаталарни аниқлашда ЕСЙ пассив визир нишонлардек фойдаланилади, масалан, бошланғич ва аниқланувчи пунктдан ЕСЙ бўлган масофани синхрон ўлчашда фойдаланилади. Иккинчи ҳолатда ЕСЙ координаталарни олиб юрувчи ҳисобланади. Америка навигацион системаси “Transit” ер юзасидаги нуқталарнинг тўғри бурчакли геоцентрик X, Y, Z координаталарини, ЕСЙ ҳафта ичида 40-50 маротаба учиб ўтишида автоном равишда 3-5 м хатолик билан аниқлаш имконини беради.

Бошланғич ва аниқланувчи пунктлар орасидаги координата орттирмаларни юқориқ аниқликда топиш учун (бошланғич пункт координаталари системасида) бу пунктлардан ЕСЙ синхрон кузатишни кўзда тутувчи “транслокация усули” қўлланилади. Бунда 100-500 км масофалар координаталар орттирмалар 0,3-1,3 м аниқлик билан топилади.

Ҳозарги вақтда такомиллашган ва ўта аниқ навигацион системалар: ГЛОНАС (Россия) ва “Navstar” GPS (АҚШ) яратилди. Уларнинг ҳар бири 24÷36 тадан Ер суъний йўлдошларидан ташкил топган ва хоҳлаган вақтда Ер шарининг хоҳлаган қисмида

нуқталарнинг геоцентрик координаталарини юқори аниқлик билан топиш имконини беради.

Ўта узун базали радиоинтерферометрлаш (ЎУБР). Бу усул радиоинтерферометр ёрдамида бир-биридан бир неча минг километрда жойлашган пунктлар орасидаги ватар узунлигини ва йўналишини юқори аниқлик билан топиш имкониятига эга, ҳамда ушбу пунктларда частоталар стандартини синхронланишини таъминлайди, Ер айланиш параметрларини бир вақтда аниқлайди, ҳамда кузатилаётган галактикадан ташқари радионурланиш манбааининг (квазарлар) координаталарини аниқлайди. Бу усулни биринчи марта Россия олимлари Н.С. Кардашиев, Л. И. Матвеев ва Г. Б. Шоломницкийлар 1965 йили таклиф этди ва радиоастрономияда кенг тарқалди. Охирги йилларда у глобал тармоқларни юқори аниқликда барпо этишда, ҳамда геодинamik ҳодисаларни ўрганиш мақсадида ва бошқаларда қўллана бошланди.



3.7-шакл. Узун базисли радиоинтерферометр усули билан ўлчаш

Радиоинтерферометр бир-биридан анча узоқ D масофада (3.7-шакл) ўрнатиловчи иккита радиотелескоплардан ташкил топган бўлиб, уни интерферометр базаси дейилади. Радиотелескоплар синхрон равишда битта галактикадан тарқалувчи нуқтали радиоманбааининг (квазарнинг) нурланишини сантиметрли диапазонда қабул қилиб боради. Радиосигналлар рақамли шаклда кенг йўлли видеомагнитофонларга ёзилади. 3-20 минут давом

этувчи бир жуфт ёзув бўйича коореляцион қайта ишлаш натижасида, бир радиотелескопга нисбатан иккинчисига радиотўлқинлар фронтини етиб келиш τ лаҳзаларини вақт бўйича кечикишини ҳамда τ ни кечикиши билан боғлиқ бўлган интерференциясини частотаси f аниқланади

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

бу ерда ν -радионурланиш частотаси; t -вақт. τ ва t қийматлар радиосигналлар ёзувининг ўрта лаҳзасида аниқланади. τ қийматни радиотўлқинни тарқалиш тезлиги C га кўпайтириб, кузатиш лаҳзасида радиотелескопларни кузатилаётган квазарагача бўлган масофалар фарқини аниқлаш мумкин. τ ва f нинг кўп сонли ўлчанган қийматларини ҳамда ЎУБР асосий тенглаштириш усулидан фойдаланиб, ўлчамларни биргаликда қайта ишлаш натижасида қуйидагилар топилади:

Радиоинтерферометр базаси учлари геоцентрик координаталарнинг фарқлари ΔX , ΔY , ΔZ , ўз навбатида унинг узунлиги D ва координата ўқларига нисбатан йўналиши ёки θ бурчаги; радиоманбаанинг аниқлаштирилган координаталари; Ер қутбининг координаталари; прецессия ва нутация элементлари; Ер айланшининг бир лаҳзали тезлиги; кузатиш лаҳзасида τ ва f қийматларини аниқлашни ҳақиқий гринвич вақти, ҳамда аниқланувчи катталиклар сифатида бошқа параметрлар.

ЎУБР усули бир неча минг километрга тенг база узунлигини юқори аниқликда ўлчашни таъминлайди. Хусусан, база узунлиги 1-3 см, геоцентрик координаталар системасида база йўналиши-0.001", Ер қутблари координаталари – 3-5 см, кузатилувчи квазаралар координаталари – 0.001" хатолик билан аниқланади. Ҳудди шундай хатолик билан прецессия, нутация параметрлари ва Ерни суткалик айланишнинг вариация тезликлари аниқланади. РСДБ усули шундай ўлчаш аниқлигини таъминлайдики, ҳозирча бундай аниқликка бошқа усулларни қўллаш билан эришиб бўлмайди.

ЎУБР усулини жорий қилиш учун қуйидагилар талаб қилинади: диаметрлари 20-60 м бўлган сантиметрли диапазонда ишловчи тўла айланувчи антеннали радиотелескоплар, $10^{-13} - 10^{-14}$ частотаси

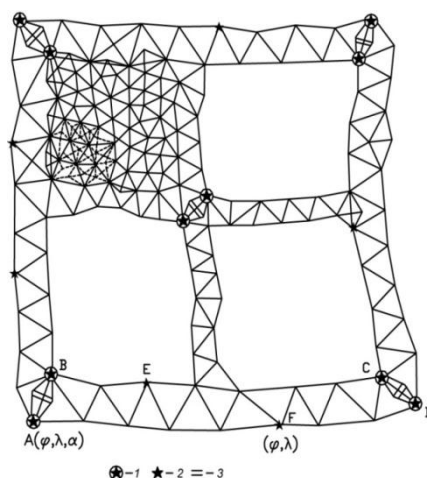
барқарорлиги атом генераторлари, кузатиш натижаларини ёзиш учун қувватли кенг йўлли видеомагнитофонлар (маълумотлар ҳажми 10^9 бирликка етади), тегишли ЭХМ ва математик таъминот; бурчак ўлчамлари $0.001''$ дан катта бўлмаган галактикадан ташқари радионурланиш манбааларнинг катологи.

ЎУБР усулида стационардан ташқари катта 60 метрли радиотелескоплар билан биргаликда ишловчи, 3,5-5,0 м антеннали кўчма радиотелескоплардан фойдаланишга рухсат этилади. Бу ҳолда интерферометр базаларининг узунлиги бир неча юз километрларгача камаяди.

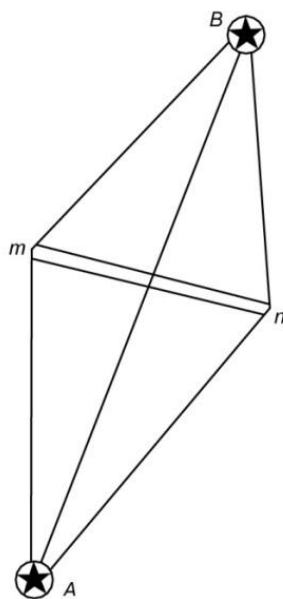
3.7. Давлат триангуляциясини барпо этишнинг

Ф.Н.Красовский схемаси ва дастури

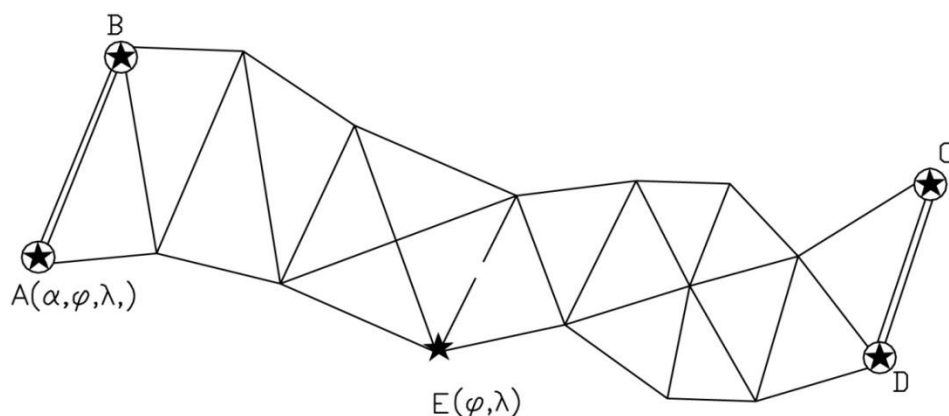
Ф.Н. Красовскийнинг дастурига мувофиқ астрономо-геодезик тармоқ, тахминан меридиан ва параллеллар йўналишида бири-бирдан 200-250 километр оралик ўтказилувчи ва периметри 800-1000 км ёпиқ полигонни ташкил этувчи 1 класс триангуляцияси учбурчаклари қаторларидан барпо этилади (3.8-шакл). Қаторлар 40° дан кичик бўлмаган бурчаклари, шакли бўйича тенг томонли бўлган учбурчаклардан ташкил топади. Учбурчак томонлари узунлиги ўртача 25-30 км га тенг. Горизонтал бурчаклари $0,7 - 0,9''$ ўрта кавадратик хатолик билан (учбурчакларни боғланмаслиги бўйича) ўлчанди.



3.8-шакл. Давлат триангуляциясини барпо этишни Ф.Н. Красовский схемаси. 1 – Лаплас пункти; 2 – оралик



3.9- шакл. Базисли тармоқ



3.10 – шакл. 1 класс триангуляция звеноси

Меридиан ва параллеллар бўйича 1 класс қаторларининг кесишувида триангуляция чиқиш томонларининг узунлиги ва азимутлари аниқланади, масалан, AB ва CD томонлар. AB чиқиш томонининг узунлиги илгари базисли тармоқларни барпо этиш йўли орқали топилган (3.9 - шакл), бунда 6-8 км узунликдаги mn базис инвар симлар билан ўлчангани ҳамда бу тармоқнинг пунктларида барча бурчаклари ўлчанган, базис қаршисидаги бурчак 36° дан кам бўлмаслиги керак. Базислар $1/500000$ дан катта бўлмаган нисбий ўрта квадратик хатолик билан ўлчанган, чиқиш томонларининг узунлиги эса $1/300000$ дан катта бўлмаган хатолик билан аниқланган.

Ҳозирги вақтда триангуляция қаторининг бошланғич томонлари бевосита юқори аниқликдаги светодальномерлар ёки электрон дальномерлар билан ўлчанади ва шунинг учун базис тармоқларини барпо этиш керак эмас. Узунлиги бевосита ўлчаш натижасида олинган бошланғич томонларга базис томонлар деб аташ қабул қилинган.

Ҳар бир чиқиш томонининг иккала учларида астрономик кенглик, узоқлик ва азимутлар (тўғри ва тескари) аниқланади. Астрономик кузатишдан кенглиги, узоқлиги ва азимути аниқланган геодезик пунктга Лаплас пункти дейилади. Чиқиш томонлари билан чегараланган, охирида Лаплас пункти аниқланилган триангуляция қаторининг қисмига 1 класс триангуляция звеноси дейилади (3.10-шакл). Триангуляция звеноларининг узунлиги 200-250 км га тенг звенонинг ўзи эса учбурчаклардан, геодезик тўртбурчаклардан ва марказий системалардан ташкил топади.

Ҳар бир 1 класс триангуляция звеносида Лаплас пунктларидан ташқари ҳар 70-100 км ораликда астрономик пунктлар деб аталувчи оралиқ E , F пунктларни (3.8-шакл) астрономик кенглиги ва узоқлиги аниқланади.

Кенглик, узоқлик ва Лаплас пунктларида азимутларни астрономик аниқлаш ўрта квадратик хатолари $m_{\varphi} = 0,4''$, $m_{\lambda} = 0,45''$, $m_{\alpha} = 0,5''$ дан ошмаслиги керак. Бу хатоликлар приёмлардаги ўлчаш натижаларини ўртачасидан оғиши бўйича, яъни ўлчашдаги систематик хатоларни ҳисобга олмаган ҳолда ҳисобланади.

Ҳозирги МДХ давлатлари ҳудудини умумий гравиметрик съёмка қилиш 1932 йили бошланди. Ф.Н.Красовскийнинг таклифига мувофиқ махсус дастур бўйича бажариладиган гравиметрик ўлчашлар астрономо-геодезик тармоқларни барпо этишда кенг қўллана бошланди ва ҳозиргача асосий геодезик ишларнинг ажралмас қисми ҳисобланади. Геодезик, астрономик, гравиметрик ўлчашларни биргаликда қўлланиши Ер шаклини мукаммал ўрганиш имкониятини беради ва геодезик ўлчаш натижаларини Ернинг ҳақиқий юзасидан референц-эллипсоид юзасига редукциялаш имконини беради. Бу масалаларни мувофақиятли ечиш учун Ф.Н.Красовский ўлчанган

миқдорларни эллипсоид юзасига нормаллар бўйича ўзига лойиҳалашни назарий усулини ишлаб чиқди ва 1934 йили геоид баландлигини аниқлаш учун астрономо-гравиметрик нивелирлаш усулини таклиф этди, кейинчалик бу назария М.С.Молоденский томонидан ривожлантирилди ва ҳозирда квазигеоид юзасини ўрганишда кенг қўлланилади.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, астрономо-геодезик тармоқларда астрономик ва гравиметрик ўлчашлар жуда муҳим аҳамиятга эга. Бу ўлчашлардан фойдаланиб тармоқни ҳар бир пунктида шовун чизигининг астрономо-геодезик оғишини ҳисоблаш мумкин. Астрономо-геодезик оғиши иккита ўта муҳим масалани ечиш учун жуда зарур: ўлчанган катталикларни эллипсоид юзасига редукциялаш ва квазигеоид баландлигини аниқлаш, ўз навбатида астрономо-геодезик тармоқ чегарасида Ер шаклини ўрганиш учун ҳам муҳим аҳамиятга эга.

Ф.Н.Красовский астрономо-геодезик тармоқ полигонлари ичида 2-4 класс геодезик тармоқларини барпо этишни қуйидаги чизмаси ва дастурини таклиф этди.

1-класс триангуляцияни ҳар бир полигони ичида 2-класс асосий қаторларини ўтказиш йўли билан у 4 та қисмга бўлинади (3.8-шакл). 2-класс триангуляцияси асосий қаторларини кесишувида базис тармоқлари барпо этилади, улардан чиқиш томонларининг икки учларида Лаплас пунктлари $(\varphi, \lambda, \alpha)$ аниқланади. 2-класснинг асосий қаторларида учбурчаклар томонларини ўртача узунлиги 18 км га яқин бўлади; учбурчакларда бурчаклар 30° кам бўлмаслиги керак; бурчак ўлчаш ўрта квадратик хатоси 1,2-1,5" дан (учбурчакларда боғланмаслиги бўйича) ошмаслиги керак (5-жадвал).

Базис ўлчаш ва астрономик ўлчашлар аниқлиги астрономо-геодезик тўрларга қараганда бир неча мартта паст бўлади.

5-жадвал

Триангуляция класслари	Томонлари -нинг ўртача узулиги $S, км$	Бурчак ўлчаш ўрта квадратик хатоси m , бурчак секундда	Тўр бўш томонини нг хатоси m/s	Қўшни пунктларни ўзаро ҳолатини аниқлаш хатоси, m
1-класс қаторлари	25-30	0,7-0,9	1/100000	~0,3
2-класс қаторлари	18	1,2-1,5	1/60000	~0,3
2-класс тармоқлари	11-13	2-2,5	1/35000	~0,3
3-класс тармоқлари	5-8	5	1/15000	~0,3
4 класс пунктлари кесиштириш орқали 1 метр хатолик билан аниқланган.				

2-класс триангуляцияси қаторлари билан бўлинган 1-класс триангуляциясини ҳар бир чорак полигони ичига учбурчак томонларини узунлиги ўртача 12-13 км 2-класс триангуляция тўлдирувчи тармоғи барпо этилган. Учбурчаклар бурчакларнинг энг кичиги 20° дан кичик бўлмаслиги, бурчак ўлчашни ўрта квадратик хатоси 2-2,5" (учбурчакларнинг боғланмаслиги бўйича) ошмаслиги керак.

3-класс триангуляция тармоғи 2-класс томонларига ва пунктларига таянувчи учбурчаклар тизими ёки алоҳида пунктлар кўринишида қўйиш орқали барпо этилади. Учбурчак томонлари узунлиги 5-8 км; энг кичик бурчаги 15° ; бурчак ўлчашни ўрта квадратик хатоси (учбурчакларнинг боғланмаслиги бўйича) 5" га тенг.

4-класс пунктлари юқори класс триангуляция пунктидан геодезик кесиштириш орқали ўрта квадратик хатоси 1 метргача хатолик билан аниқланади.

Ф.Н.Красовский дастури бўйича давлат триангуляциясини барпо этиш асосий геодезик ишларни ривожлантиришда улкан қадам ҳисобланади. Бу дастурни амалга ошириш натижасида қуйидаги энг муҳим масалалар ечилган:

-1-класс триангуляциясини қуриш орқали қисқа муддатда мамлакатнинг катта ҳудудида ягона координаталар системаси тарқатилди;

- ер эллипсоиди ўлчамларини аниқлаш ва Ер шаклини ўрганиш бўйича олий геодезиянинг асосий илмий муаммоларини ечиш учун юқори аниқликдаги тажрибавий маълуматлар олинди;

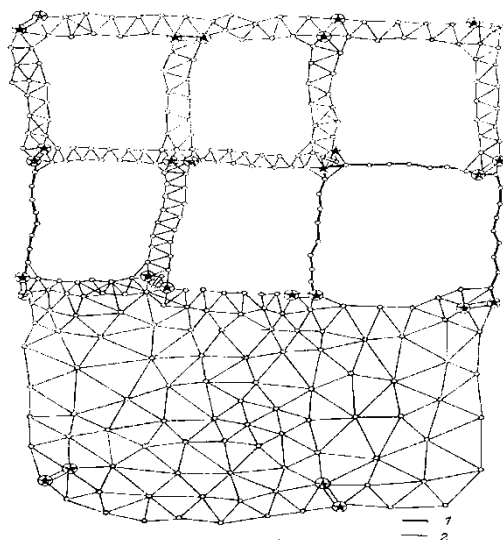
- техник таъминоти чегараланган даврда 2 ва 3-класс триангуляция тармоқларини ривожлантириш учун шароит яратилди ҳамда барча классдаги триангуляция тўрларини блок бўйича тенглаштириш имконияти пайдо бўлди;

- 1:10000 масштабгача топографик съемкалар учун етарли бўлган триангуляция қўшни пунктларининг ўзаро ҳолатини топиш юқори аниқликда таъминланди.

3.8. Давлат геодезик тармоғини асосий қоидаларга биноан қуриш

Давлат геодезик тармоғини қуриш асосий қоидаларига мувофиқ 1-класс астрономо-геодезик тармоқни барпо этиш асосида, Ф.Н.Красовскийнинг бирмунча аниқлик ва ўзгартиш киритилган дастури ётади. Меридианлар ва параллеллар йўналиши бўйлаб жойлашган, ҳар бирининг узунлиги 200 километрдан катта бўлмаган триангуляция ёки полигонометрия звеноларидан ташкил топган, периметри 800 километрга яқин полигонлар кўринишида астрономо-геодезик тармоқ барпо этилади (3.11-шакл). 1-класс триангуляция звеноси тенг томонликка яқин бўлган, ўз навбатида бурчаклари 40° дан кичик бўлмаган учбурчаклардан ташкил топади. Жойнинг рельефи мураккаблиги туфайли бурчаклари 40° дан катта

учбурчакларни барпо этишнинг имкони бўлмайди, бундай жойларда бурчаклари 30° дан кичик бўлмаган геодезик тўртбурчаклар ва марказий системаларни барпо этишга рухсат этилади. Учбурчаклар томонларининг узунлиги ўртача 20-25 км га тенг. Ҳар звенонинг боши ва охирида юқори аниқликдаги свето-радиодальномерлар ёрдамида базис томонлари ўлчанади. Ҳар базис томонининг икки учида (полигон учларида) астрономик кенглик, узоклик ва азимутлар, яъни Лаплас пунктлари аниқланади.



3.11-шакл. Асосой қоидаларга биноан астрономо-геодезик тармоқни барпо этиш схемаси.

1-1 класс полигонометрия томони; 2-1 класс триангуляция томони.

1-класс полигонометрия звеноси чўзиқ йўллар кўринишида ўтказилади; йўл томонлари 10 дан кўп бўлмаслиги узунлиги эса 20 километр атрофида бўлиши керак. Ҳар бир 1 класс триангуляция ва полигонометрия звенисида, Лаплас пунктларидан ташқари оралик астрономик пунктлар ўрнатилади ва астрономик кенглик ва узокликлар аниқланади. Оралик астрономик пунктлари Лаплас пунктлари оралиғида ҳар 65-120 километрда жойлаштирилади. Астропунктлар орасидаги масафалар 1 класс қаторлари бўйлаб бажариладиган гравиметрик съемкани зичлигига боғлиқ: бу съемкани зичлиги қанча юқори бўлса, оралик астропунктлар шунчалик кам аниқланади. Барча астропунктлар (Лаплас ва оралик) атрофида махсус дастур бўйича зичлаштирувчи гравиметрик съемка олиб борилади.

Мамлакатнинг айрим районларида 1-класс триангуляция ёки полигонометрия звеноларидан ташкил топган полигонлар ўрнига,

учбурчак бурчаклари 30° ва томонлар узунлиги 20 километрдан кичик бўлмаган яхлит 1 класс триангуляция тармоқлари қурилади. Масафалар физик-географик шароитларга ва пунктларни ўрнатилган зичлигига боғлиқ ҳолда белгиланади. 1-класс яхлит тармоқларда базис томонлар ва Лаплас пунктлари ҳар 10 та томондан кейин жойлаштирилади.

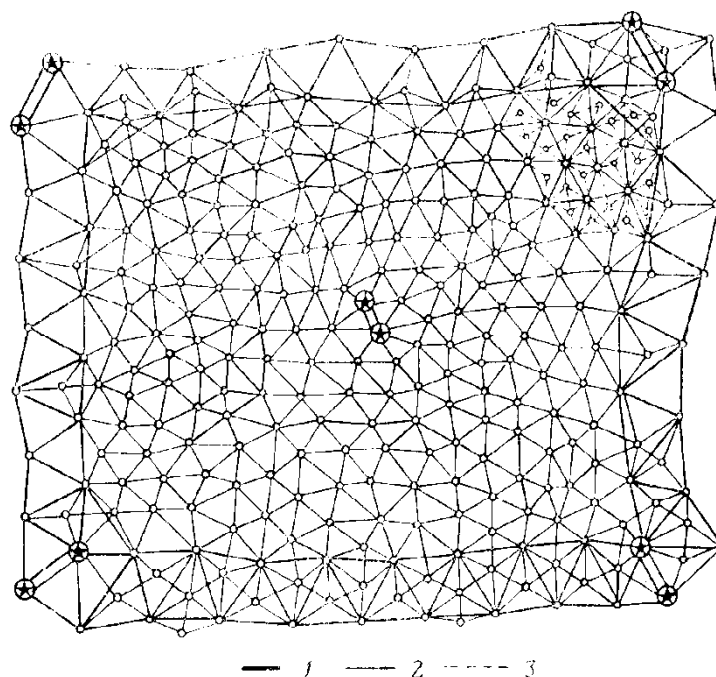
Астрономо-геодезик тармоқларни барпо этишда геодезик, астрономик ва гравиметрик комплекс ўлчашлар баржарилади, шу билан бирга кўп ўлчашлар юқори аниқликда янги замонавий ўлчаш техникаларини қўллаш орқали амалга оширилади.

Триангуляция ва полигонметрия пунктларида горизонталь бурчаклар (учбурчаклар ёки ёпиқ полигонлар боғланмасликлари бўйича) $0.7''$ дан катта бўлмаган хатоликда ўлчанади. Базис томонлар ўрта квадратик нисбий хатолиги $1/400\,000$ дан, полигонметрия томон узунликлари $1/300\,000$ дан катта бўлмаган хатолик билан ўлчанади. Систематик хато таъсири приёмлардаги ўлчаш натижалари бўйича ҳисобланадиган, астрономик аниқлашлар ўрта квадратик хатолари кенгликларда $0.3''$ гача, узокликда $0.45''$ гача ва азимутларда $0.5''$ гача рухсат этилади.

2-класс геодезик тармоқлар. 2-класс тармоқлари кўпинча триангуляция усули билан узлуксиз (туташ) учбурчаклар тармоқи кўринишида, 1-класс астрономо-геодезик тармоқлар полигонларини тўла тўлдирадиган шаклда барпо этилади (3.12 шакл).

Учбурчаклардаги энг кичик бурчаклар 30° гача рухсат этилади. Томон узунлиги бир қатор факторларга ва биринчи навбатда жойнинг рельефига боғлиқ ҳолда 7 км дан 20 км гача бўлиши мумкин; улар ўртача 12-13 км га тенг бўлади. Рельеф шакллари яхши ифодаланган жойларда 2 класс триангуляциясини йирик учбурчаклар билан уларга 3 класс пунктларини ўрнатиш орқали ривожлантириш мақсадга мувофиқ бўлади. Бундай геодезик белгиларнинг минимал баландлиги таъминланади, бу эса иқтисодий нуқтаи назардан муҳим аҳамиятга эга. 2 класс триангуляциясида базис томонлари бир ораликда ва ҳар 25 та учбурчакларни оралаб жойлаштирилади. Базис томонларидан бири 1 класс полигонини ўрта қисмида олиниб, унинг

учларида 1 класс триангуляциясидаги аниқликда Лаплас пунктлари аниқланади. Базис томонларнинг узунлиги 1:400000 дан катта бўлмаган нисбий ўрта квадратик хатолиги бурчаклар эса 1" дан ошмайдиган хатолик билан ўлчанади.



3.12-шакл. 1-класс триангуляция полигони ичида 2-4 класс триангуляцияларини барпо этиш чизмаси
 1-1 класс триангуляция томони; 2-2 класс триангуляция томони;
 3-3 класс триангуляция томони.

3 ва 4 класс геодезик тармоқлари. 2-класс тармоқларининг пунктларини талаб қилинган зичликда зичлаштиришда улар 3 ва 4 класс тармоқларини ривожлантириш йўли билан амалга оширилади. 3 ва 4 класс тармоқлари триангуляция, полигонометрия ва трилатерация усуллари билан барпо этилиши мумкин. Ҳар бир район учун бу тармоқларни ривожлантиришни шундай усул ва чизмалари танланадики, унда бошқа тенг шароитларда талаб қилинган аниқликни таъминлаб, маблағ ва вақтни тежаш имкони бўлсин. 3 ва 4 класс триангуляция тармоқлари 2-класс геодезик тармоқларига қўйиладиган яхлит учбурчакларни мустаҳкам системаси кўринишда барпо этилади. 3 ва 4 класс учбурчакларида бир хил класс томонлари

орасидаги бурчаклар 20° дан кам бўлмаслиги керак. 3-класс томонлар узунликлари 5-8 км, 4-класс эса 2-5 км га тенг бўлади. Турли учбурчаклар системасига тегишли ва ўлчанган йўналишлар ўзаро боғланмаган пунктлар орасидаги масофалар 3-класс тармоқларида 4 км гача 4-класс тармоқларида эса 3 км гача рухсат этилади, акс ҳолда бу системалар тегишли йўналишларини ўлчаш йўли билан бирлаштирилади. 3 ва 4 класс тармоқларида горизонтал бурчаклар 1.5" ва 2.0" дан катта бўлмаган (учбурчакларнинг боғланмасликлари бўйича) ўрта квадратик хатолик билан ўлчанади.

3 ва 4 класс тармоқларини полигонометрия усулида барпо этилганда шу класслар пунктларини аниқлаш юқори класс пунктларига таянувчи йўл ёки йўллар системасини ўтказиш орқали амалга оширилади. Тугун пунктлар ҳамда тугун ва бошланғич пунктлар орасида иккитадан кўп бўлмаган бурилиш нуқталарига рухсат этилади. 3 класс йўлини энг кичик томони 3 км, 4 класс да 2 км йўл қўйилади. 3 ва 4 класс полигонометрия пунктларида горизонтал бурчаклар 1,5" ва 2,0 " (ёпиқ полигонларнинг боғланмасликлари бўйича) ўрта квадратик хатолик билан, томонлари узунлиги тегишлича $1/200\ 000$ ва $1/150\ 000$ нисбий ўрта квадратик хатолик билан ўлчанади.

Барча класслардаги давлат геодезик тармоқлари ҳар бир пунктида ундан 0,5-1 км масофада (ўрмонда энг камида 250 м) иккитадан ориентир пунктлари ўрнатилади, улар ер ости марказлари билан маҳкамланади. Ориентир пунктлари съёмка йўлларини азимутал боғлаш мақсадлари учун ҳам фойдаланиниши мумкин. Давлат геодезик тармоқларининг барча пунктлари баландлигини асосан тригонометрик нивелирлаш орқали аниқланади; фақатгина текис ва сал нотекис жойларда 4 класс геометрик нивелирлаш қўлланади.

Асосий низомга мувофиқ барпо этиладиган давлат геодезик тармоғи қуйидаги умумлаштирилган техник кўрсаткичлар билан тавсифланади (6- жадвал).

6-жадвал

Тармоқ класси	Томонлар узунлиги, <i>км</i>	Бурчак ўлчашни ўрта квадратик хатоси, <i>т</i> секунд	Тармоқни заиф қисмидаги томонлари хатоси m_s/s	Ёнма-ён жойлашган пунктлар ўзаро ҳолатини аниқлаш хатоси, <i>м</i>
1	20-25	0,7	1/150000	0,15
2	7-20	1,0	1/200000	0,06
3	5-8	1,5	1/120000	0,06
4	2-5	2,0	1/70000	0,06

Бурчак ўлчашни амалдаги аниқлиги асосий низомда белгиланганига кўра бир неча марта юқори. Асосий низомда хатолар ўртача қийматлари қуйидагиларга тенг:

1 класс тармоғида - 0,65";

2 класс тармоғида - 0,75";

3 класс тармоғида - 1,1 " ва 4 классда тармоғи тўрида – 1,5".

Лаплас азимутларини аниқлаш ҳақиқий аниқлиги астрономо-геодезик тармоқларнинг катта блокларини тенглаштириш натижасидан олинган 1,1" ўрта квадратик хатолик билан характерланади.

Давлат геодезик тармоғи унинг элементларини юқори аниқликда аниқлаш билан характерланади, лекин у геодезик ўлчашларни юқори аниқликда бажариш учун ноқулай мураккаб физик-географик шароитларда барпо этилади. 2-4 класс тармоқларида ёнма-ён жойлашган пунктларнинг ўзаро ҳолатини 5-7 см хатолик билан аниқланади. Асосий низомга мувофиқ барпо этиладиган давлат геодезик тармоғи ўзининг аниқлиги бўйича, нафақат мамлакатнинг катта ҳудудини йирик 1:2000 масштабда карталашни таъминлайди, илмий ва амалий инженер-техник масалаларни ечишга имкон беради.

3.9. Асосий геодезик ишларни бажариш кетма-кетлиги

Давлат геодезик тармоғи фан ва техниканинг янги ютуқларидан фойдаланган ҳолда мамлакатнинг бутун худудида барпо этиладиган, ер юзасидаги ўзига хос инженерлик–техник иншоотдир. У узоқ муддатга хизмат қилишга мўлжалланади ва шунинг учун вақт ўтиши билан унга бўлган талабаларнинг ўсишини ҳисобга олиб барпо этилиши лозим. Жойларда тармоқ пунктларини жойда сақланишини ҳамда планли ва баландлик ҳолатларини узоқ вақт давомида ўзгармаслигини таъминлаш учун махсус ер ости марказлар билан маҳкамланиши зарур.

Замонавий давлат геодезик тармоқларини барпро этишда технологик чизмани аниқлаш бўйича катта ҳажмдаги турли ишлар бажарилади.

Давлат геодезик тармоғини барпо этиш, ҳар қандай саноат объекти каби, уни илмий-техник томондан исботланган лойиҳасини ишлаб чиқишдан бошланади. Сўнгра камерал шароитда тузилган геодезик тармоқ лойиҳаси (жойда) аниқлаштирилади. Шу мақсадда лойиҳаланган геодезик тармоқ пунктлари дала шароитида рекогносцировка қилинади, бунинг натижасида жойда ҳар бир пунктнинг конкрет ўрни танланади, зарурат бўлганда тармоқ барпо этиш чизмасига тузатишлар киритилади; пунктлар орасида ўзаро кўринишни таъминлаш учун геодезик белгилар баландлиги ҳисоблаб чиқилади; берилган жой шароитига мос геодезик белгилар ва ер ости марказлар типлари аниқланади; грунтга ерости марказларини ўрнатишнинг зарур чуқурлиги аниқланади ва ҳ.к.; якунида геодезик тармоқларни барпо этиш учун молиявий харажатлари аниқланади.

Пунктларни рекогносцировка қилишдан сўнг геодезик белгиларни қуришга ва ерости марказларини ўрнатишга киришилади. Бу ишлар натижасида геодезик тармоқ жойда ишончли маҳкамланиши лозим.

Сўнгра базис ва бошқа томонлар ўлчанади, тармоқни лойиҳасида кўзда тутилган астерономик аниқлашлар (кенглик, узоқлик ва азимутлар) бажарилади, тармоқ пунктларида горизантал бурчаклар ўлчанади, ҳамда геометрик ва тригонометрик нивелерлашлар

ёрдамида денгиз сатҳидан (квазигеоддан) пунктлар баландлиги аниқланади; аниқ дастур асосида астрономик пунктларнинг атрофида муфассал гравиметрик съёмка олиб борилади. Бу ишларни бажаришни ташкил этиш, геодезик ишларни олиб борувчи давлат идораси томонидан координацияланади.

Дала ишлари якунлагандан сўнг ўлчаш натижаларини математик қайта ишлашга киришилади, у эса 3 та босқичга бўлинади: 1. Квазигеоид баландликларини, асторономо-геодезик пунктларнинг геодезик ва нормал баландликларини ҳамда уларда шовун чизиғини оғишини аниқлаш;

2. Дастлабки ҳисоблашларни бажаришади, бунинг натижасида пунктлар марказга келтирилган ва референц эллипсоидга ҳамда қабул қилинган проекцияда текисликка редукцияланган ўлчанган миқдорларнинг жадвали олинади; 3. Геодезик тармоқларни тенглаштириш, тармоқни тенглаштирилган элементлари аниқлигини баҳолаш, пунктларнинг координаталари ва баландликлари хатолигини тузиш.

3.10. Давлат геодезик тармоғини такомиллаштиришнинг истиқболли йўллари

Асосий низомга биноан барпо этиладиган давлат геодезик тармоқлари ёнма - ён жойлашган пунктлари ўзаро ҳолатини юқори аниқликда аниқлаш билан тавсифланади. Аммо шунга қарамасдан 1-класс асторономо-геодезик тармоқни аниқлиги, унга таянувчи 2-класс тармоғига қараганда пастроқ бўлади (6-жадвалга қаранг), қоидага кўра аксинча бўлиш керак. Шу сабабли 1-класс тармоғи пунктларини бошланғич деб қабул қилиб, уни полигони ичида тенглаштирилган 2 класс тармоғи қисман дифермацияланади. Бунда полигон учларида жойлашган 2 класс пунктларида бурчакларни ўзгариши сезиларли даражада бўлади, бундай ўзгариш 1 класс учбурчакларининг томонлари яқинда жойлашган пунктларда ҳам бўлади. Тенглаштиришдан олинган бурчаклар тузатмалари бу пунктларда 5-7" гача етади, буни бурчакларни ўлчаш хатолари деб айтиб бўлмайди. 2-класс тармоқларида бурчаклар хатолари ва тармоқ деформацияси

полигон марказига қараб 1-класс пунктларидан узоқлашган сари тез камайиб боради .

1 ва 2 класс тармоқларида ушбу камчиликни тузатиш учун уларни классларга ажратмасдан, ҳамда улардаги барча ўлчанган горизантал йўналишлар, Лаплас пунктларидаги азимутлари ва базис ёки чиқиш томонлари билан бирга уларнинг вазнларини ҳисобга олиб энг кичик квадратлар усулида биргаликда тенглаштириш лозим. Биргаликда тенглаштириш натижасида мамлакат барча территориясини ёпувчи яхлит 1 класс астрономо-геодезик тармоқ олинади. Шу билан давлат геодезик тармоғини такомиллаштиришнинг энг муҳим этапларидан бири таъминланади.

Астрономо-геодезик тармоқларни такомиллаштиришни масалаларидан бири сунъий йўлдош ёрдамида ундаги пунктларнинг ҳолатини, зарурий юқори аниқлик билан аниқлашдан иборат.

Вақт ўтиши билан Ер айланиш ўқининг ҳолати ҳам ўзгаради, демак пунктларнинг лаҳзали координаталари ҳам ўзгаради. Пунктларни ҳолати ва баландлиги Ер қобиғини кўтарилиш диформацияси туфайли ўзгариб туради. Демак, янги тўрт ўлчамли фазовий $XYZt$ бу ерда t - вақт прецизион давлат геодезик тармоғига ўтиш керак бўлади, бу эса ундаги ўлчашларни математик қайта ишлашни юқори аниқлик даражасида бажаришни талаб этади.

Геодезиянинг кўплаб амалий масалаларини ечишда вақт ўтиши билан ўзгарувчан лаҳзали координаталарга таяниш ноқулайдир. Шунинг учун, лаҳзали координаталарни аниқ даврга редукциялаш лозим, бошқа давр координаталарига ўтиш зарурати туғилгунга қадар улардан фойдаланиш керак.

4 – боб. Геодезик тармоқларни лойиҳалаш ва рекогносцировка қилиш. Геодезик белгилар ва марказлар

4.1. Геодезик тармоқларни лойиҳалаш тўғрисида маълумотлар

Лойиҳалашнинг асосий вазифаси геодезик тармоқнинг ишлаб чиқилган лойиҳа варианты ўз аниқлиги ва пунктларнинг зичлиги бўйича қўйилган меъёрий талабларга жавоб бериши ва уни жорий қилиш учун кам маблағ, меҳнат ва вақт сарфланишини таъминлашдан иборат. Лойиҳалашда асосий етакчи хужжатлар бўлиб давлат геодезик тармоқларини барпо этиш тўғрисидаги асосий низом ва йўриқномалар ҳисобланади. Лойиҳалаш учун раҳбар корхона томонидан берилган кўрсатма ва бу кўрсатмада келтирилган ишлар бажариладиган ҳудуд, тармоқнинг вазифаси, уни барпо этиш бўйича муҳим кўрсатмалар, ишларни бажариш муддатлари асос бўлиб хизмат қилади.

Геодезик тармоқларни барпо этиш 3 та кетма-кет босқични ўз ичига олади: 1) лойиҳани тузиш учун зарурий маълумотлар ва материалларни йиғиш; 2) карта ва чизмаларда геодезик тармоқ лойиҳасининг график чизмасини ишлаб чиқиш; 3) тармоқни барпо этиш учун умумий молиявий харажатларни ҳисоблаш билан бирга лойиҳани техникавий ва иқтисодий асослаш.

Лойиҳалаш учун иш бажариладиган ҳудуд тўғрисида қуйидаги материаллар ва маълумотлар зарур:

1:100000 ва ундан йирик масштаблардаги топографик карталар; ушбу районда олдин барпо этилган планли ва баландлик геодезик тармоқлари тўғрисидаги материаллар (тармоқнинг чизмаси, катологлар, ҳисоботлар); физик-географик ва геоморфологик шароитнинг таърифи; гидрологик тадқиқотлар ҳақида маълумотлар; алоқа воситалари тўғрисида маълумотлар ва ҳ.к. Агар йиғилган маълумотлар ишлар бажариладиган ҳудуд тўғрисида тўла тавсиф бермаса, унда ишлаб чиқилган дастур бўйича далада геодезик изланишлар ўтказилади. Лойиҳалаш учун йиғилган бошланғич материаллар синчиклаб ўрганилиши ва бир тизимга келтирилиши керак. Бу босқичда, ҳамда кейинги лойиҳалаш пайтида шуни

этиборга олиш керакки, геодезик тармоқнинг сифати, уни барпо этиш аниқлиги ва нархи техник лойиҳанинг сифатига бевосита боғлиқ бўлади.

Қониқарсиз ишлаб чиқилган лойиҳа дала ишларини бажаришда ортиқча меҳнат харажатини келтириб чиқаради, топшириқга риоя қилмасликка ва топшириқ муддатини узайтиришга олиб келади. Лойиҳалаш тармоқни барпо этиш билан боғлиқ бўлган барча ташкилий, техник ва иқтисодий масалаларни тўғри ечишни талаб этувчи масъулиятли масала ҳисобланади. Шунинг учун техник лойиҳани тузиш, асосий геодезик ишларни бажариш етарли тажрибага эга бўлган мутахассисларга берилади. 1-2 класс геодезик тармоқларни лойиҳалаш аслида 1:100000 масштабдаги топографик картада бажарилади. 3-4 класс геодезик тўрларни лойиҳалашда эса йирик масштабдаги (1: 50000 - 1:10000) топографик карталардан фойдаланилади. Лойиҳалашни бошлашдан аввал картани тайёрлаш лозим, масалан, кўк рангда гидрография тўри, сувайргич чизиклари бошқа (пушти ранг) рангда кўрсатилади ва унда энг баланд тепаликлар белгиланади, геодезик қидирув маълумотлари бўйича ёки ўрмон хўжалигининг материалларидан фойдаланиб ўрмон дархатларининг ҳақиқий баландлиги тўғрисидаги аниқлашлар киритилади. Картани бундай тайёрлаш пунктлар ўрнини тўғри танлашни сезиларли енгиллаштиради.

Геодезик тармоқ лойиҳасини ишлаб чиқишда авваламбор уни барпо этилиш мақсади ва аниқлигидан келиб чиқилади. Бу масала ечилгандан кейин иш бажариладиган ҳудудни иқлими ва физик-географик хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда геодезик тармоқни барпо этиш учун триангуляция, трилатерация, полигонометрия, сунъий йўлдошли усулларида бирини танлаш ва асослашга киришилади.

Тармоқни бир хил шароитда барпо этишда энг кам меҳнат, материал, маблағ ва вақт сарфлаш билан бирга энг юқори аниқлигини таъминлайдиган усул мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Ушбу ҳудуд учун геодезик тармоқни барпо этиш усулининг оптимал вариантини танлаш учун уни турли усуллар билан барпо этишнинг бир неча

вариантлари ишлаб чиқилади, якуний ечими техник-иқтисодий ҳисоблар асосида қабул қилинади.

Тармоқни барпо этишда талаб қилинган аниқликни таъминлаш учун геометрик нуқтаи назардан тармоқ чизмасида қуйидагиларга эътибор бериш лозим: триангуляция ва трилатерия учбурчаклари шакли бўйича тенг томонлига яқин бўлишига; бурчаклари 40° дан кам бўлмаслигига; (марказий система ва геодезик тўртбурчакларда 20° гача рухсат этилади); полигонометрияда йўллар имкони борида чўзиқ бўлишига.

Давлат геодезик тармоқларида базис томонлар ва ҳар бир базис томоннинг иккала учларида аниқланувчи Лаплас пунктлари тармоқ бўйича тенг ораликда жойлашган бўлиши лозим; ҳар 100-150 км дан квазигеоид баландлигини аниқлаш учун астрономо-геодезик ўлчашларга қўшимча аниқ дастур бўйича бажарилувчи ҳудудни қўшимча гравиметрик съёмкаси кўзда тутилади.

Турли классдаги таянч геодезик тармоқлар аниқланган кетма-кетликда лойиҳаланади: олдин энг юқори классдаги тармоқлар лойиҳаланади, масалан, 1 сўнгра 2, 3 ва ҳ.к. Тармоқни график лойиҳасини ишлаб чиқишда ҳар бир пунктни жойлашиш ўрнини танлашга муҳим аҳамият беришлиши лозим.

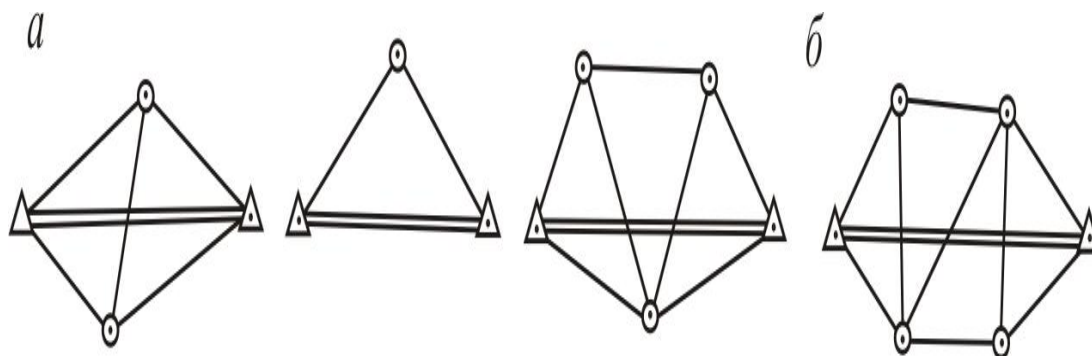
Давлат геодезик тармоқларининг барча пунктлари тепалик жойларда ўрнатилиши лозим. Бунда биринчидан ёнма-ён жойлашган пунктлар орасида геодезик белгиларнинг минимал баландлигида ўзаро кўринишни таъминлашга, иккинчидан кейинчалик тармоқни ҳоҳлаган йўналишда ривожлантириш имкониятига эришилади. Барча ҳолларда геодезик пунктлар шундай жойларда жойлашган бўлиши керакки, уларнинг планли ва баландлик ҳолати узоқ вақт давомида қўзғолмас сақлансин. 1-класс триангуляция ва полигонометрияда юқори аниқликда бурчак ўлчаш ва азимутал аниқлаш натижаларига ташқи муҳит таъсирини ҳисобга олиш талаб этилади, яъни жанубий ва чўл районларида визир нури тўсиқ устидан 4 метр ва қолганларида камида 2 метр баланддан ўтиши лозим. Лаплас азимутларини аниқлашда йирик сув омборлари, дарёлар, тоғ этаклари бўйлаб уларга параллел ўтувчи

йўналишлардан воз кечиш лозим, чунки бу ҳолда рефракция туфайли хатолик пайдо бўлиши мумкин .

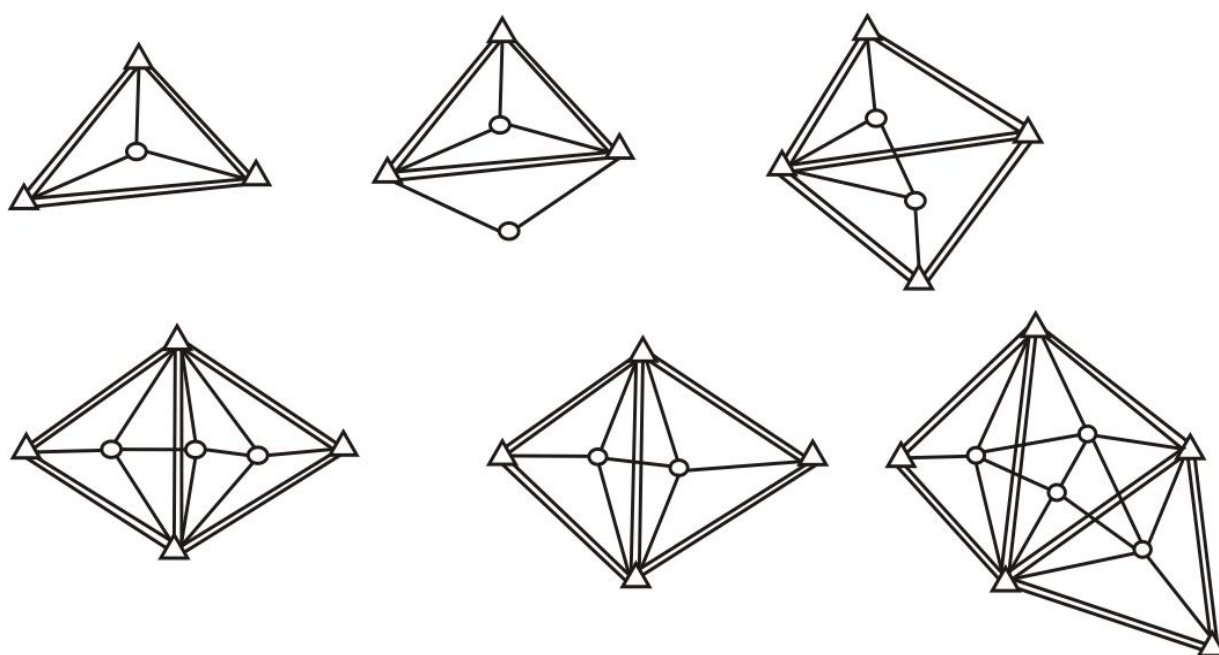
Таянч геодезик тармоқларини барпо этишда энг қиммат геодезик ишлардан бири, геодезик белгиларни куриш ҳисобланади. 2 ва 3 класс триангуляция тармоқларида асосий турдаги ишларнинг ўртача нархини аниқлашда турли физик-географик шароитлар инобатга олинади.

Триангуляция ёки трилатерация тармоқларини лойиҳаласини тузишда паст класс тармоқларини юқорироқ класс тармоқларга ишончли боғлаш муҳим аҳамиятга эга. Боғлаш тармоқнинг алоҳида пунктларига эмас, балки тармоқ томонларига бажарилади (4.1-шакл).

3-4 класс триангуляция тармоқларини куришни 4.2-шаклда берилган чизмалари тавсия этилади. Тармоқни график чизмаси картада ёки қабул қилинган ихтиёрий масштабда тузилади. Бу чизмада базис томонлари, Лаплас пунктлари (φ, λ, α), оралик астрономик пунктлари (φ, λ) ҳамда гравиметрик съёмкалар билан қопланадиган майдонлар кўрсатилади. Ушбу чизма иловасида тармоқда ўлчанадиган микдорлар (бурчаклар, базис томонлари, астрономик кенгликлар, узоқликлар, азимутлар ва б.қ.) ҳамда амалда меъерий ҳужжатларга асосланиб ўлчашларни ўрта квадратик хатолари кўрсатилади. Лойиҳани ишлаб чиқиш ва техник-иқтисодий асослаш, босқичи лойиҳаланган тармоқни куриш аниқлигини априор баҳолаш ҳисобланади. Аниқликни баҳолаш параметрик усулда тармоқни тенглаш компьютер дастурида бажарилади. Натижада аниқланадиган пунктлар координаталарини, қўшни пунктлар орасидаги томонлар узунлиги ва дирекцион бурчакларини аниқлашни ўрта квадратик хатолари топилади. Улар қийматлари лойиҳалаш учун берилган топшириқларда кўрсатилган аниқликлар билан солиштирилади. Натижа қониқарли бўлмаса лойиҳа қисман ўзгартирилади ва яна қайта аниқлик баҳоланади.



4.1-шакл. Юқори класс триагуляция томонларига (а) ва пунктларига (б) геодезик тармоқларни боғлаш чизмаси



4.2-шакл. 3,4 класс триангуляция тармоқларини барпо этишнинг намунавий чизмаси

4.2. Геодезик пунктларни рекогносцировка қилиш

Камерал шаройтида лойхалаштирилган геодезия тармоқини жойида текшириб аниқлаштиришлар мақсадида пунктларини рекогносцировка ишлари бажаришда. Бунда асосларда қуйидагилар амалга оширлади; геодезик тармоқни барпо этиш схемаси бўйича геодезик пунктларни ўрнатиш жараёнлари танланади; геодезик белгиларни баландликлари узил-кесил ҳисобланади; геодезик белгиларни бирор тури ва ер остига ўрнатиладиган марказлари танланади; марказларини жойлаштириш чуқурлиги аниқланади. Рекогносцировка жараёнида лойихага киритилган ўзгартиришлар ва

шунини ташкиллаштириш масалаларни инобатга олиниб харажатлар сметасига аниқликлар киритилади.

Агарда геодезик белгиларнинг баландликларини пасайтириш ва уларни қулай жойга жойлаштириш имкониятлари туғилса рекогносцировка жараёнида геодезик тармоқ лойхасига қисман ўзгартиришлар киритиш мумкин бўлади. Тармоқ лойхасига катта ўзгартиришлар киритишга рухсат этилмайди, чунки бу тармоқ геометирик схемасини бузишга ва тармоқни қуриш аниқлигини пасайтириш мумкин. Рекогносцировка натижасида аниқлаштирилган (ўзгартириш киртилган) тармоқ лойхаси техник, иқтисодий ва ишни ташкиллаштириш нуқтайи назардан энг маъқул вариант бўлиши керак. Геодезик тармоқ пунктлари жойдаги энг баланд ерларда қурилиши зарур. Геодезик пунктлар инженерлик иншоотларига ва турар жой биноларга, темир йўл ва автомобил йўлларига, телеграф ва телефон тармоқларига, юқори кучланишли линияларга, қувур ўтказгичлари яқинига, қишлоқ хўжалик жойлари экинлари ерларига, ботқоқлик жойларга, кўчиши мумкин бўлган ён бағирларга, сув тошиш хавфи бўлган дарёларнинг поймаларига яқин жойларга, геодезик белги ва марказларни узоқ сақланишига ишонч бўлмаган ерларга геодезик белги ва пунктлар ўрнатишмаслиги керак. Геодезик пункт ўрнатилган жойни танлаш билан бир вақтда ориентирлаш пунктларини ва Лаплас пунктлари учун астрономик устунлари ўрнатиладиган жойлар танланади.

Геодезик пунктлар (ориентирлаш пунктлари, астрономик устунлар) учун танланган ерлар шу жойдаги тошларни уюб, веха ёки ёғоч устун қўйиб белгилаб қўйилади.

Муаян шароитга қараб рекогносцировкадан сўнг ёки рекогносцировка пайтида геодезик белги қурилиши мумкин.

Очиқ ва текис жойларда, тоғлиқ, баланд пастликларда қўшни пунктларни ердан ёки нарвон ёрдамида кўринадиган жойларда пунктлар (геодезик белги ва марказлар) рекогносцировкадан сўнг қўрилиши мумкин. Қолган шароитларда рекогносцировка билан бир вақтда геодезик белги ва марказларни қуриш мақсадга мувофиқ. Сабаби қурилган белгидан фойдаланиб, теодалит ёрдамида кузатиладиган йўналишлардаги тўсиқлар ва уларнинг баландликларини аниқлаш мақсадида ўлчашлар бажариш имконияти туғилади. Амалиёт кўрсатишича, белгиларни қўриш билан рекогносцировка юритиш яхши натижалар беради: белгилар баландлиги етарли аниқликда аниқланади, пунктлар орасидаги

кўриниш бўлмаслик холлар учрамайди. Бир вақтни ўзида рекогносцировка олиб бориш ва белгиларни куриш йирик масштабни топографик карталарда муфассал ишлаб чиқилган техник лойихалар мавжуд бўлган ҳолда мақсадга мувофиқ натижа беради.

Рекогносцировка олиб борувчи далага чиқишдан олдин геодезик тармоқ лойихасини, бошланғич берилган материалларни, жойнинг топографик картасини батафсил ўрганиши керак. Рекогносцировка хажмига ва жойнинг физик-географик хусусиятларига қараб рекогносцировка учун асбоблар ва жихозлар танланади.

Рекогносцировка қилишни визуал ва инструментал (асбоб билан) усуллари мавжуд. Етарли даражада ориентирлари бўлган очик жойларда (текис, тепалик, тоғлик) геодезик пункт ўрнатиладиган жойни белгилаш (танлаш) қийин бўлмаганда геодезик белги баландлиги Визуал аниқланади. Бундай рекогносцировкага визуал рекогносцировка дейилади.

Текис ўрмонли, баланд – паст, ориентирлари кам бўлган очик текис, чўл ва дашт жойларда геодезик белгиларнинг баландликларини визуал усулда аниқлашни иложи бўлмайди. Бундай холларда рекогносцировкани инструментал яъни асбоб ёрдамида бажарилади. Картада ва жойда ўрни аниқ бўлган пунктдан иш бошланади. Бошланғич пункт билан аниқланаётган пунктлар орасидаги масофа ва томон азимути картадан аниқланади. Бу маълумотлардан фойдаланиб теодолит йўли, мензула йўли ёки бошқа геодезик яшашлар ёрдамида аниқланаётган пункт ўрнатилган жой топилади. Ушбу жой ва унинг атрофи муфассал ўрганилиб, геодезик пункт ўрнатиш учун энг баланд жой олинади.

Геодезик пунктлар орасида тўғридан-тўғри кўриниши бўлмаганда белгилар баландлигини ҳисоблаш учун тўсиқлар орасидаги масофа ва нисбий баландликни билиш зарур бўлади.

Бу масалани $1:25000 \div 1:10000$ топографик карталарда жой профилини чизиш йўли билан осон ечиш мумкин. Топографик карталар бўлмаганда бу масала инструментал усулда ечилади: очик жойларда мензула ва кипрегель ёрдамида оддий геометрик тўр барпо этилади; баландлик теодолит йўли ўтказилади; тригонометрик ёки барометрик нивелирлаш бажарилади. У ёки бу усулни танлаш, иш бажариладиган ҳудуднинг хусусиятларидан келиб чиқади. Барча холларда ўлчаш аниқлиги геодезик белгилар баландлигини 2-3 метрдан катта бўлмаган хатолик билан аниқлашни таъминлаши зарур.

Пункт ўрнатиладиган жой билан тўсиқ орасидаги нисбий баландликни тригонометрик нивелирлаш усули билан аниқлашда зенит масофаларини ўлчаш кечки ёки эрталабки вақтларда амалга ошириш мақсадга мувофиқ.

Астраномик азимутлари аниқланадиган базис томонлардаги пунктлар ўрнатиладиган жойлар бурчак ўлчаш натижаларига ва азимутларни аниқлашга ён томонлама рефракция таъсиридан холи ёки таъсири кам бўлиши керак. Шу мақсадда пунктларни боғловчи йўналиш тоғ ён бағридан, катта дарёларнинг қирғоғидан, кўл ва сув омборларининг ёнидан ўтмаслиги керак.

Тармоқ пунктларига ўрнатилган белгилар ва марказлар узоқ муддат сақланадиган, плпнли ва баландлик жиҳатидан ўзгармайдиган жойда бўлиши зарур. Ер қатламини музлаши, ер ости сувини чуқурлиги, грунт типига қараб, техник лойиҳа асосда рекогносцировка ҳар бир пунктнинг марказ типини ва ўрнатилиш чуқурлигини белгилайди.

Геодезик белги қуриладиган жой танлангандан сўнг ерда туриб марказдан кўринадиган 500÷1000 метр масофада иккита ориентирлаш пункти учун жой белгиланади. Бунда ориентирлаш пунктларини узоқ вақт сақланиши таъминланишини инобатга олиш керак. Ўрмон жойларда ориентирлаш пунктларигача бўлган масофа 250 метргача олишга рухсат этилади. Очик жойларда 3 км масофада жойлашган геодезик тармоқ пункти ориентир пункти қилиб олиниши мумкин.

Геодезик тармоқни қуришдаги барча тайёргарлик ишларини олиб бориш рекогносцировкани вазифасига киради.

Пунктлар рекогносцировкасида бахтсиз ходисаларни олдини олиш учун техника хавфсизлигига тўлиқ риоя қилиш зарур, ҳаммадан ҳам мачталар ўрнатишда, дарахтларга чиқишда, тоғларда ишлашда, бир пунктдан иккинчи пунктга ўтишда ва х.к.

4.3. Геодезик белгилар баландлигини ҳисоблаш

Геодезик тармоқларнинг пунктларида геодезик белгилар шундай баландликда қурилиши керакки, улардан ҳар бир йўналишда бурчак ва масофа ўлчашда визир нури жойдаги тўсиқлар устидан, белгиланган минимал баландликда ўтиши лозим. Белгилар баландлигини ҳисоблаш В.Н.Шишкиннинг энг оддий формуласи бўйича бажарилади. Масала иккита яқинлашишида ечилади. Олдин ҳар бир жуфт ёнма-ён жойлашган пунктлар учун белгиларнинг

тақрибий баландликлари l_1^1 ва l_2^1 аниқланади. Сўнгра улар корректирланади баландликларини яқуний қиймати l_1 ва l_2 топилади.

Белгиларнинг тақрибий баландлиги l_1^1 ва l_2^1 (4.3-шакл) қуйидаги формула билан ҳисобланади:

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

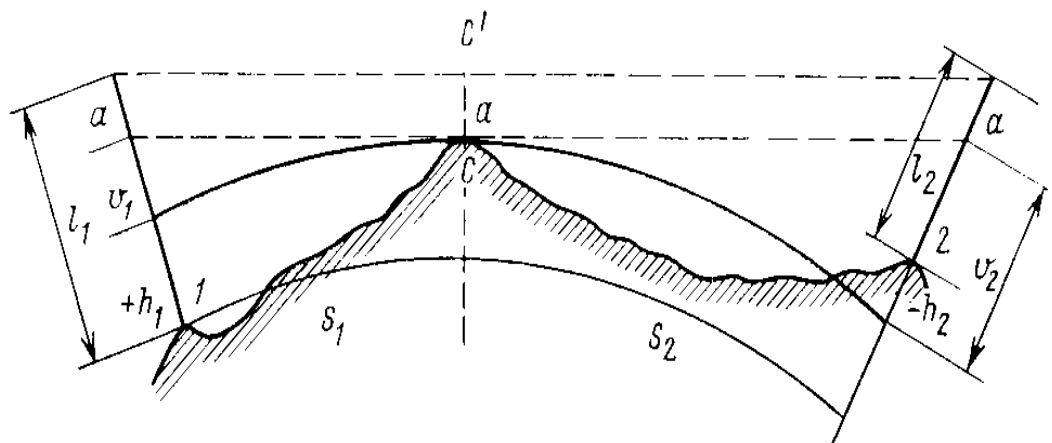
бу ерда h_1 ва h_2 - биринчи ва иккинчи белгилар асосларидан (ўрмон дарахтлари баландлигини ҳисобга олган ҳолда) C нуқтадаги тўсиқ учининг нисбий баландлиги; a - визир нурини тўсиқ устидан ўтиш баландлигини; амалдаги йўриқномада белгиланган чекли қиймати v_1 ва v_2 -ер эгрилиги ва рефракция учун тузатма.

h_1 ва h_2 ишоралари қуйидаги айирмалар бўйича аниқланади:

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

бу ерда H_c – C нуқтадаги тўсиқ учи баландлиги;

H_1 ва H_2 -биринчи ва иккинчи белгиларни ўрнатиш жойидаги ер юзасининг баландлиги, h_i - йирик масштабли карта бўйича ёки пунктларни рекогносцировка қилиш жараёнида бажарилган ўлчашлар билан аниқланган нисбий баландликлар



4.3-шакл. Белгилар баландлигини аниқлаш чизмаси

Ер эгрилиги ва рефракция учун тузатма қўйидаги формуладан ҳисобланади

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

бу ерда k -Ер рефракцияси коэффиценти; R - Ер радиуси; s - тўсиқдан тегишли пунктгача бўлган масофа.

$k=0,13$ ва $R= 6371$ км бўлганда (4.3) формула қуйидаги кўринишни олинади:

$$\nu = 0,068 s^2$$

бу ерда ν метрда, s эса километрда ифодаланади.

Агарда, h_1 ва h_2 бир хил ишорага эса бўлса, s_1 ва s_2 масофалар турли бўлса, (4.1) формула бўйича ҳисобланган белгилар баландлиги l'_1 ва l'_2 бир-биридан анчага фарқ қилади: бир белги паст, бошқаси ўта баланд бўлади. Баланд белгиларни қуриш иқтисодий жиҳатдан мақул эмас. Шунинг учун (4.1) формуладан ҳисобланган белгилар баландлигини шундай ўзгартириш керакки, бунда белгиларнинг якуний баландликлари l_1 ва l_2 квадратларнинг йиғиндиси энг кичик бўлсин, $\sum l^2 = \min$. Ушбу талабга риоя қилинганда олинган жуфт белгиларни қуриш харажатлари энг кичик бўлади, чунки тенг шароитда ҳар бир белгини қуриш нархи уни баландлигига пропорционалдир.

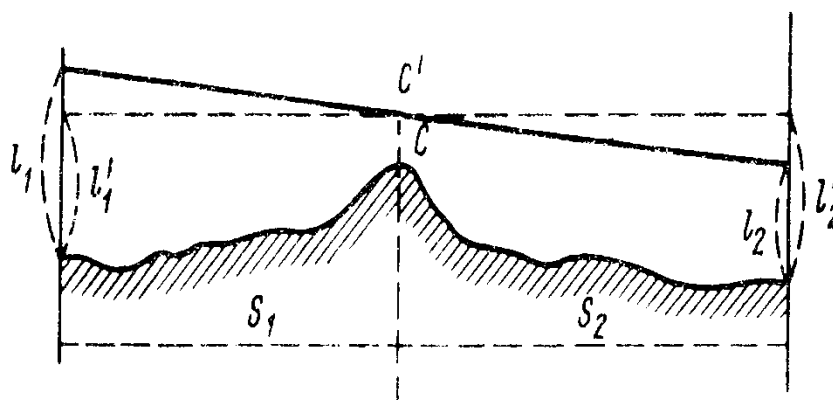
Томон учларида жойлашган ҳар бир жуфт белгилар баландлигини тузатиш, $\sum l^2 = \min$ шартга риоя қилган ҳолда ва тўсиқ устидан визир нурини берилган a баландликдан ўтиши талабини таъминлаш қуйидаги формулалар ёрдамида бажарилади:

$$l_1 = s_2 D; \quad l_2 = s_1 D; \quad D = \frac{s_2 l'_1 + s_1 l'_2}{s_1^2 + s_2^2} \quad (4.5)$$

Ушбу формулалар бўйича бажарилган ҳисоблашлар натижалари
7-жадвалда келтирилган.

7- жадвал.

Нуқта лар	Масоф алар $s_1(s_2)$, км	Нуқта баландли ги H , м	Нисбий баландл ик h_i , м	a , м	v , м	Такриби й баландл ик $l'_1 (l'_2)$, м	Тузатилг ан баландл ик $l_1 (l_2)$, м
1		309				14.3	16.3
C	8	315	+6	+4	+4.3		
3	15	322	-7	+4	+15.2	12.2	8.6
					$\sum l^2$	353.3	336.4



4.4-шакл. Геодезик белгилар баландлигини тузатиш чизмаси.

Агар биринчи ва иккинчи пунктларга қурилиш материалларини етказиш нархи анчага фарқ қилса, (4.5) формула бўйича олинган баландликлар ушбу факторни ҳисобга олган ҳолда яна бир марта тўғириланиши лозим.

Йўналишлар сони n га тенг пунктда белгилар баландлигининг n та қийматлари олинади, чунки ҳар бир алоҳида томон бўйича

ҳисоблаш ушбу пунктдаги белги баландлигининг турли қийматларини беради.

Якуний баландлик сифатида тўсиқ устидан визир нурини минимал чекли баландликда ўтиши учун барча йўналишлар бўйича кўринишни таъминловчи баландлик қабул қилинади.

Рекогносцировка ишлари амалиётида шундай ҳолат бўлиши мумкинки, унда пунктлардан биттасида белгининг баландлиги, масалан, иккинчи пунктни баландлиги l_2 (қурилган белги) берилган бўлсин. Биринчи пунктдаги белгининг l_1 баландлигини ҳисоблаш талаб қилинсин. Бунинг учун (4.1) формулалар бўйича белгиларнинг тақрибий l_1' ва l_2' баландлақларини ҳисоблаймиз. Ўхшаш учбурчаклардан (4.4-шакл) ёзамиз:

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

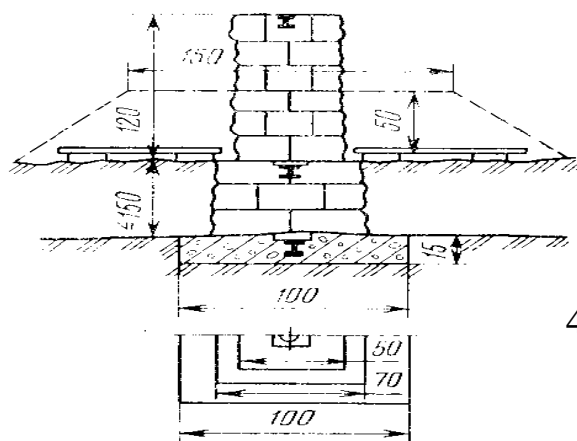
Бундан белгининг изланаётган баландлигини топамиз:

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

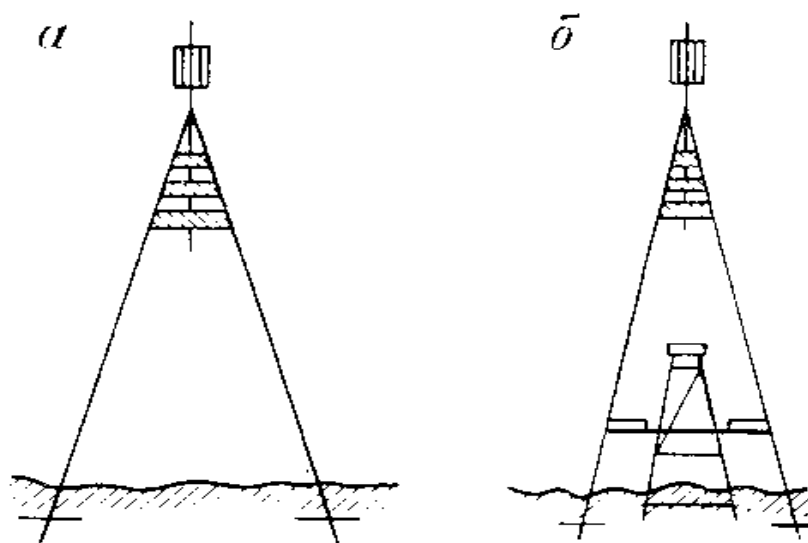
4.4. Геодезик белгилар

Геодезик тармоқларни ҳар бир пункти жойда грунтга ўрнатилган марказ билан маҳкамланади, унда пунктнинг координаталарига тегишли бўлган нуқтанинг ўрни кўрсатилган металл марка бўлади. Пункт маркази устига талаб этилган баландликда визирлаш цилиндри ва ўлчаш асбобини ўрнатиш учун маҳсус стол ўрнатилади, унда кузатувчи учун ҳам туриш жойи қурилган бўлади

Геодезик тармоқларда қуйидаги турдаги белгилар қўлланилади: тур, пирамида (оддий ва штативли), оддий сигнал ва мураккаб сигнал.



4.5- шакл. Геодезик пунктдаги тур
(ўлчамлар см да)



4.6-шакл. Оддий пирамида (а) ва штативли пирамида (б)

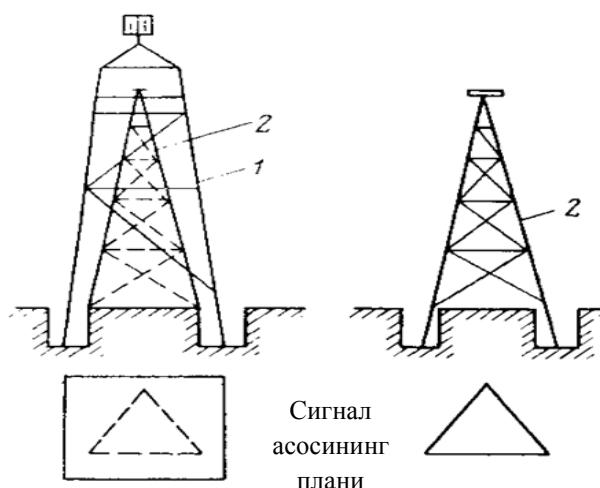
Турлар 4.5-шакл тоғларнинг ўткир чўққиларида, агар барча йўналишлар ердан туриб кўринса ва 1,5 метрдан кам чуқурликда жойлашган қоя грунтда қўлланилади.

Тур устига визир цилиндрли оддий пирамида қурилади. Агар пирамидани қуриш имкони бўлмаса, унда визир цилиндр бевосита турга ўрнатилади.

Оддий пирамидалар (4.6,а-шакл) барча йўналишлар бўйича тур ёки штативдан кузатишнинг имкон бўлганда қурилади. Агар қўшни пунктларда кузатишни таъминлаш учун асбобни ердан 2-3 метрга кўтариш талаб этилса, асбобни ўрнатиш учун штативли пирамида қурилади (4.6.,б-шакл). Бунда штатив пирамидадан ажратиб

ўрнатилади, кузатувчи учун майдонча эса пирамида устунларига, штативни ундан ажратган ҳолда, ўрнатилади. Пирамидалар баландлиги 5-8 метр бўлиб ёғоч ёки металлдан қурилади.

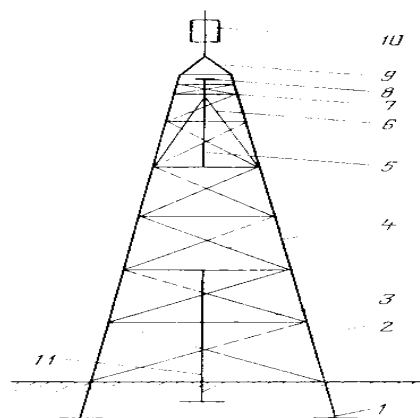
Оддий сигнал (4.7-шакл) бир-биридан ажратилган иккита пирамидалардан: визир цилиндрига эга ташқи 1 ва кузатувчи учун майдонча ва асбоб ўрнатиш столига эга ички 2 пирамидалардан ташкил топади. Ички пирамида учқиррали, ташқи пирамида эса учқиррали ёки тўртқиррали шаклга эга бўлади.



4.7-шакл. Оддий сигнал

Мураккаб сигнал (4.8-шакл) конструкцияси бўйича оддийдан шуниси билан фарқ қиладики, асбоб ўрнатиш учун махсус столга эга, ички пирамида оёқлари билан ерга таянмасдан балким сигнал устуннинг асосига таянади (кузатувчи майдончасидан 6 метр пастда).

Белгининг оралиқ устунлари сигнални қуриш сифатини оширади. Мураккаб сигналлар 11 дан 40 метргача баландликда қурилади. Улар тўртқиррали констукцияга эга бўлиб, ерда йиғилади (горизонтал ҳолатда), сўнгра тугаллаган шаклда вертикал ўрнатилади.



4.8 -шакл. Мураккаб сигнал:

1-сигнал устунларининг асоси; 2-сигналнинг асосий устунлари; 3-чор чўп; 4-крестовина; 5-ғўла; 6-ички пирамида устуни; 7-кузатувчи учун майдон; 8-стол; 9-том; 10-визир нишон; 11-оралиқ устун.

Геодезик сигналларга бўлган асосий талаблар. Геодезик сигналлар (оддий ва мураккаб) юқори аниқликда ўлчашни ва ҳавфсиз иш юритишни таъминлаши лозим. Геодезик сигналлар чидамли, мустаҳкам ва қаттиқ бўлиши лозим.

Сигналнинг чидамлилиги деганда унга таъсир этувчи доимий (сигнал деталларининг массаси) ва вақтинчалик (шамол, сигналда турган асбоблар ва кузатувчининг массаси ва ҳ.қ.) юкка қаршилик қилиш қобиляти тушунилади, уларнинг таъсири остида сигналларнинг айрим деталлари ва тугунлари (узеллари) деформацияга учрашиши мумкин. Агар сигнал бузилмаса ва унда деформациянинг қолдиғи пайдо бўлмаса у чидамли ҳисобланади.

Сигналнинг мустаҳкамлиги деб, уни шамолнинг таъсирида ўзининг ҳолатини сақлаб қолишига айтилади. Сигналнинг конструкцияси ёмон бўлса, асоси тупроққа яхши маҳкамланган бўлмаса шамол уни ағдариб ташлашиши мумкин. Сигналнинг мустаҳкамлиги асосининг зарурий кенглиги ва асосий устунлар якорларининг қўйилиш чуқурлиги билан таъминланади. Тупроқни мавсумий музлаш ҳудудларида сигналнинг асосий устунларини ўрнатиш чуқурлиги қуйдагича (метрда):

Оддий пирамидалар	.	.	.	.	.	.	1
Оддий сигналлар	.	.	.	.	.	.	1,5

Баландлиги 25 м гача мураккаб сигналлар:

асосий устунлар	.	.	.	.	.	.	.	2
оралиқ устунлар	.	.	.	.	.	.	.	1,5
Баландлиги 25 м дан ортиқ мураккаб сигналлар:								
асосий устунлар	.	.	.	.	.	.	.	2,5
оралиқ устунлар	.	.	.	.	.	.	.	2

Асосий устунларнинг пастки қисми якорлар билан таъминланади ва чуқурнинг тагига ўрнатиловчи, мустаҳкам щитларга ўрнатилади; грунт билан кўмилади ва яхшилаб шиббаланади.

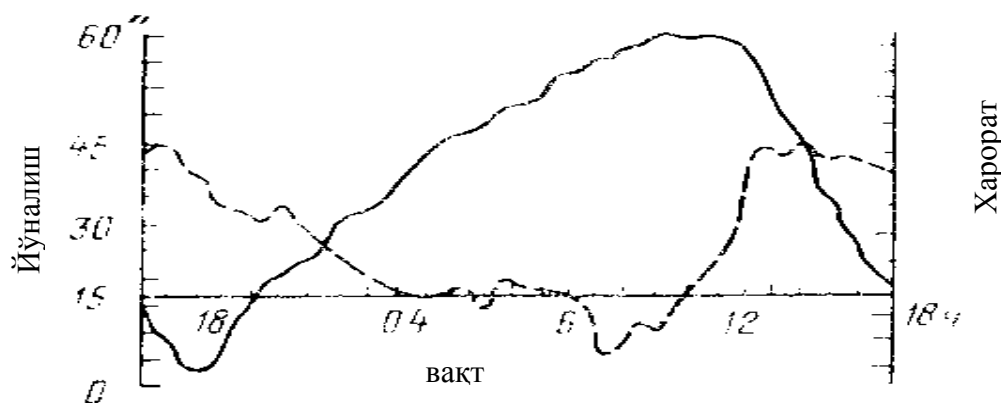
Сигналнинг қаттиқлиги деганда, уни ташқи факторларнинг таъсир қилиши туфайли юзага келувчи деформацияларга қаршилиқ қилиши ва бу кучлар таъсири тугагандан сўнг ўзининг дастлабки ҳолатини тиклаш қобилияти тушунилади. Шамол кучи сигнални нафақат эгилишига ва тебранишига балким йиқитишига ҳам сабаб бўлиши мумкин.

Сигналнинг қаттиқлиги уни бурилиш миқдори ва тебраниш частотаси билан характерланади; бурилиш чизикли силжишга ва сигналнинг юқори қисмини озроқ айланишига олиб келади; вибрация теодолитни кўриш майдонида визир нишонини тебраниш амплитудасини кучайтиради. Горизонт текислигида столнинг силжиши 1 см дан ошмаса, ҳамда шамолнинг тезлиги 5 м/с гача бўлганда бурчак ўлчаш имкони бўлса сигнал қаттиқ ҳисобланади, геодезик сигнал конструкциясининг чидамлилиги, мустаҳкамлиги ва қаттиқлигини ҳисоблаш курилиш механикаси ва материаллар қаршилиги назариялари асосида бажарилди.

Сигналнинг бурилиши. Ташқи факторлар таъсири остида (ҳарорат, ҳавонинг намлиги, шамол ва х.қ.) сигналнинг юқори қисми бир мунча деформацияланади.

Бунинг натижасида сигналнинг столи, унга ўрнатилган теодолит билан биргаликда азимут бўйича аста-секин буралади. Бу ҳодисага сигналнинг бурилиши дейилади. Сигнални бурилиши ишораси ва миқдори ҳар бир сутка ичида ўзгаради (4.9-шакл), шу билан-бирга бу ҳодиса аниқ қонуният билан ифодаланмайди. Бажарилган тадқиқотларни, кўрсатишича ноқулай шароитларда баланд сигнал столининг азимутал бурилиши кун давомида бир неча бурчак

минутига етиши мумкин. Масалан, 10 минут вақт ичида - 10" га бурилиш. Сигналнинг бурилиши бурчак ўлчаш аниқлигига салбий таъсир кўрсатади, шунинг учун геодезик сигналларни шундай қириш керакки, уларни бурилиши имкони борича кичик бўлсин.



4.9-шакл. Геодезик сигналнинг бурилиш графиги

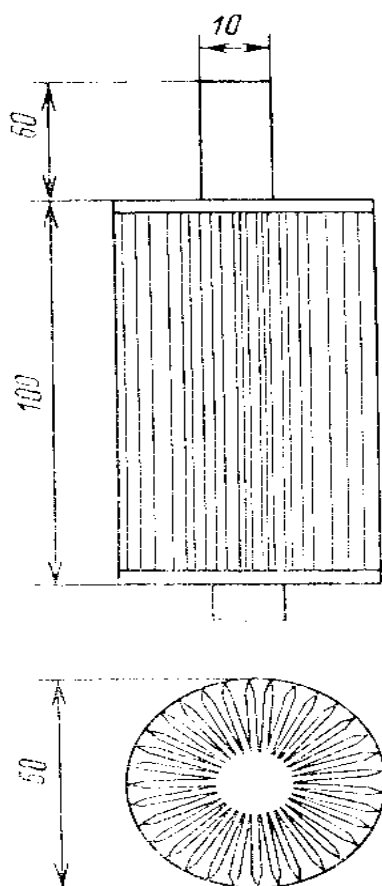
Визир нишонлар. Бурчак ўлчашни бажариш учун геодезик белгининг юқори қисмида визир нишон ўрнатилади, у қуйидаги талабларни қаноатлантириши лозим:

1. Визир нишоннинг шакли, ўлчами ва ранги шундай бўлиши керакки, уни ишонч билан топиш ва геодезик тармоқларнинг тегишли классларидаги масофаларда теодолитнинг қараш трубасини ўнга аниқ қаратиш мумкин бўлиши керак.

2. Визир нишон вертикал ўрнатилиши керакки, унинг геометрик ўқи пунктни ерости маркази орқали ўтиши керак.

3. Визир нишони конструкцияси бўйича кичик фазали бўлиши, уни юзаси қуёш нурлари билан ёритилганда бурчак ўлчашда юзага келувчи систематик хатолар нолга яқин бўлиши керак.

Маълумки, визир нишон узлуксиз доиравий цилиндрдан иборат бўлса, унинг ёруғ ва соя томонларида тасвир тиниқликнинг фарқи йўналишларда 1" ва ундан ортиқ хатоликка олиб келади. Шу сабабли кичик фазали радиал ўрнатилган пластинали цилиндрик ишлатилади бу цилиндрнинг тўла юзасида соя қоронғулигини тенг тақсимланишни таъминлайди (4.10-шакл).



4.10-шакл. Шишкиннинг кичик фазали визир цилиндри

Бундай цилиндрларнинг ўлчами тармоқ томонлари узунликларига боғлиқ бўлади. 4.10-шаклда 1-класс триангуляцияси пунктлари учун цилиндрнинг ўлчамлари келтирилган. Бундай визир цилиндрлар визир нишонлар фазаси учун хатоликни 0,2-0,4" гача камайтириш имконини беради.

4.5. Геодезик пунктларнинг марказлари

Геодезик тармоқ ҳар бир пунктнинг ўрни жойда камида 1,5-2 м, айрим ҳудудларда 6 метрдан кам бўлмаган чуқурликда грунтга ўрнатиладиган махсус марказлар ёрдамида маҳкамланади.

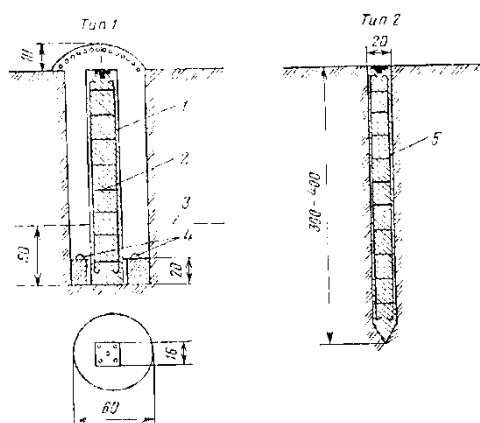
Марказнинг юқори қисмига чугун марка цемент қоршимасида ўрнатилади ёки металл трубага қовшарланади. Маркани сферик юзасида диаметри 2 мм ли тешикча белгиси қўйилган бўлиб, уни марказига пунктнинг координаталари ва унда бажарилган ўлчаш натижалари тегишли бўлади, шунинг учун жойда мустаҳкам ўрнатилиши лозим. Давлат геодезик тармоқларини классидан қатъий

назар марказнинг сақланиши ва уни узоқ вақт давомида грунтда планли ва баландлик ўрнини ўзгармас бўлиши геодезик пунктларнинг марказларига қўйиладиган муҳим талаб ҳисобланади.

Марказни узоқ вақт сақланишини таъминлаш учун улар коррозияга қарши воситалар билан қопланган юқори сифатли қурилиш материалларидан: темир бетон пилон ва свайлардан, асбоцемент ва коррозияга қарши воситалар билан қопланган металл қувурлардан тайёрланади. Марказнинг асоси яроқли қурилмалар билан маҳкамланади ва грунтни музлаш чегарасидан пастда ўрнатилади.

Грунтда ўрнатилган марказнинг мустаҳкамлиги кўпгина омилларга боғлиқ, жумладан грунтнинг таркиби ва хусуиятига, музлаш ва эриш чуқурлигига, намлигининг ўзгаришига, ер ости сувлари сатҳининг ўзгаришига ва бошқаларга. Буларни ичида энг муҳими грунтни музлаши ва эриши ҳисобланади. Шунинг учун геодезик пунктлар марказларини маҳкамлаш ва сақлаш масаласига жуда катта эътибор берилади. Марказлар конструкцияси ва уларни мамлакатнинг турли минтақаларида ўрнатиш технологиясининг тавсифи “Давлат геодезик тармоқларининг марказлари ва реперлари” йўриқномасида келтирилган.

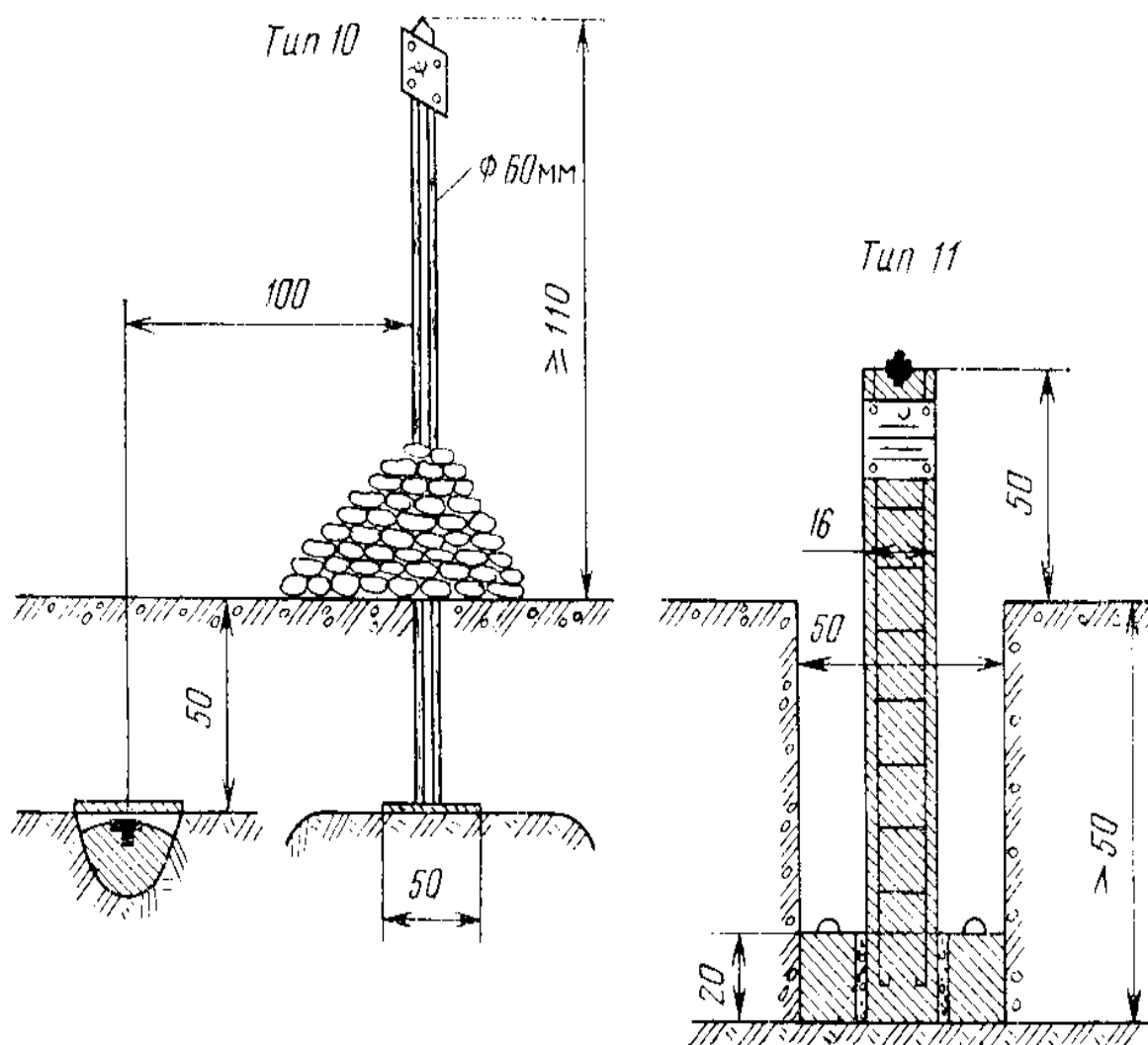
1 типдаги марказлар (4.11-шакл.) грунтлар мавсумий музлайдиган жойларда қўлланилади.



4.11-шакл. Грунтлари мавсумий музлайдиган ҳудудлар учун геодезик пунктларнинг марказлари:

1-арматура $D 10-12$ мм; 2-арматурили ҳалқа $D 5-6$ мм; 3-грунтни музлаш чегараси; 4-темир даста; 5-темир бетон қозик (свай).

Марказ 16x16 см диаметрдаги темир бетон (ёки бетон билан тўлдирилган 14-16 см диаметрли асбоцементли труба), бурғилаб ўрнатилганда диаметри 50 см ва баландлиги 20 см ли ёки котлованга ўрнатилганда 50x50x20 см ўлчамдаги бетон якордан ташкил топади. Марказнинг асоси грунтни музлаш чегарасидан камида 0,5 м пастда ва барча ҳолатларда ер юзасидан камида 1,5 м пастда жойлашиши лозим.



4.12-шакл. Қояларда ўрнатиладиган марказлар

2 типдаги марказлар грунтларни мавсумий музлайдиган барча ҳудудлар учун мўлжалланган, марказлар 20x20 см кесимли ҳамда узунлиги 3-4 м бўлган темир бетон қозикдан (свайдан) иборат (4.11-шакл).

10 типдаги қоя марказлар (4.12- шакл) қоя жинслари 0,5 метргача чуқурликда ётган тоғли худудларда қўлланилади. Марказ қоя грунtiga цементланган маркадан иборат бўлади. Чуқурлиги 0,5 метрдан ортиқ бўлган қоя жинсларда 11 тип марказлари қўлланилади (4.12-шакл).

Марказнинг юқори қисми ер юзаси сатҳида ёки ундан пастда жойлашса ва марказ устида доимий металл белги бўлмаганда марказдан 1-1,5 метр масофада чўян ёки силуминли сақлаш плитаси марказ томонга қаратилган темир бетон топиш устунига ўрнатилади. Плитада қуйидаги ёзув бўлиши лозим: “Геодезик пункт. Давлат томонидан қўриқланади”. Агар марказнинг юқори қисми ер юзасидан 0,5-0,8 м чиқиб турса сақлаш плитаси бевосита марказга маҳкамланади.

5-боб. Геодезик тармоқлар аниқлигини априор (такрибий) баҳолаш

5.1 Умумий маълумот

Геодезик тармоқлар аниқлигини баҳолаш назарий ва амалий жиҳатдан катта аҳамиятга эга. Бу жараён геодезик тармоқларни лойиҳалаштиришда яъни лойиҳани оптимал вариантыни танлашда, ҳамда барпо этиб тенглаштириш пайтида амалга оширилади.

Якуний босқичда бажариладиган тенглаштириш ҳисоблари, жойда барпо этилган тармоқ ва унинг элементларини аниқлиги тўғрисида энг ишончли маълумотлар беради. Бу маълумотлар геодезик тармоқлардан тўғри фойдаланиб илмий ва халқ хўжалиги масалаларини геодезик усуллар билан ечишда пунктлар координаталари баландликлари, томонлар азимутлари ва масофаларини талаб этилган аниқликда жуда зарурдир.

Геодезик тармоқлар аниқлигини, уларнинг лойиҳалаштириш босқичида баҳолаш жуда муҳим аҳамиятга эга эканлигини айтиб ўтиш лозимдир. Аниқликни баҳолаш туфайли қуйидаги техник ва иктисодий аҳамиятга эга бўлган масалаларни ечиш имконияти туғилади:

- турли кўринишдаги геодезик тармоқларда пунктлар координаталарини, томонлар азимутларини ва масофаларни узатишда таъсир этувчи ўлчаш хатоликларининг қонуниятларини ўрганиш;

- пунктлар координаталари, азимути ва томонлар узунликларини узатишда юқори аниқликни таъминловчи триангуляция ва трилатерация учбурчакларнинг энг қулай шаклини аниқлашда;

- тармоқда Лаплас азимути ва базис томонларини жойлаштиришнинг зарурий сонини ҳисоблаш;

- лойиҳалаштирилаётган тармоқда Лаплас азимути, томонлар узунликлари ва горизонтал бурчакларни ўлчашни талаб этилган аниқлигини ҳисоблаш ва ушбу маълумотлар асосида ўлчаш усулини ва асбобларини танлаш;

- Компьютерда моделлаштириш орқали аниқликни баҳолаш асосида, Ернинг сунъий йўлдошларини кузатиш орқали аниқланувчи

пунктлар, азимутлар ва унда жойлашган базис томонларини турли ўлчашлар билан тармоқни барпо этишнинг энг рационал вариантыни аниқлаш;

-тармоқни барпо этишда танланган чизма ва ўлчаш усуллари орқали, энг яқин жойлашган тармоқ элементининг талаб қилинган аниқликда аниқлашга эришилганлигини текшириш.

Компьютер пайдо бўлишигача геодезик тармоқлар аниқлигини априор баҳолаш тақрибий ифодалар орқали бажарилган, у ўз навбатида барча геометрик ва тармоқдаги ўлчанган миқдорлар орасида коррелацион боғланишларни ҳисобга олмаган, ҳамда тармоқ тўғри шаклдаги геометрик шакллардан (тенг томонли учбурчаклардан, чўзик полигонометрик йўллардан ва ҳ.к.) ташкил топган деб, фараз қилинган. Шундай камчиликларга эга бўлишига қарамай, давлат геодезик тармоқлари аниқлигини априор баҳолаш учун олдин қўлланилган тақрибий формулалар геодезик тармоқларни лойиҳалаш билан боғлиқ бўлган назарий масалаларни ечишда жуда муҳим рол ўйнаган.

Триангуляция қаторини барпо этиш, унинг аниқлигини априор баҳолаш усуллари ишлаб чиқишда олимлардан Ф.Н.Красовский, А.А.Жуков ва бошқалар жуда катта ҳисса қўшганлар. Полигонометрия тармоқлари аниқлигини баҳолашда В.В.Данилов, А.С.Литвинов, А.Ш.Татевян каби олимлар кенг кўламда изланишлар олиб боришган.

Узлуксиз триангуляция тармоқлари аниқлигини баҳолашда К.Л.Проворов, А.И.Дурнев, трилатерация тармоқ аниқлигини баҳолашда С.А.Бутлер, К.Л.Проворов, С.Г.Судаков ва бошқа олимлар жуда катта ишлар қилишган.

Ҳозирги вақтда, геодезик тармоқлар аниқлигини априор баҳолашда, тармоқнинг барча тенглаштирилган элементлари орасидаги геометрик ва коррелацион боғланишларни ҳисобга олган ҳолда энг кичик квадратлар усулида компьютерларда бажарилади.

Ҳоҳлаган тенглаштирилган элементнинг ўрта квадратик хатосини m умумий ҳолда иккита қўшилувчилар кўринишида ёзиш мумкин

$$m^2 = m_{\text{бош}}^2 + m_F^2,$$

бу ерда $m_{\text{бош}}$ - бошлангич маълумотлар хатоларининг таъсирни ифодаловчи ўрта квадратик хатолик;

m_F - тенглаштирилган миқдор F функциясининг ўрта квадратик хатоси,

у ушбу ифода ёрдамида топилади

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

бу ерда μ - вазн бирлигининг ўрта квадратик хатоси; $1/P_F$ - F функциясининг тескари вазни.

(5.1) формула геодезик тармоқларни лойиҳалашда ва якуний тенглаштиришда пайдо бўладиган барча геометрик шартлар бўйича ҳисоблашларда қўлланилади. Фарқ фақат вазн бирлигининг хатосини аниқлаш усулларида бўлади. Ҳар иккала ҳолатларда ҳам тескари вазн $\frac{1}{P_F}$ бир хил ҳисобланади ва бир хил қийматга эга бўла олади. Тармоқни тенглаштиришда вазн бирлигининг хатоси қуйидаги формула билан топилади

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

бу ерда v -тармоқни тенглаштиришдан P вазнлари билан бевосита ўлчанган миқдорларга (йўналиш, масофа, азимутлар ва х.к.) топилган тузатма; r -тармоқдаги ортикча ўлчашлар сони. Геодезик тармоқларни лойиҳалаш босқичида вазн бирлигининг хатоси μ олдиндан берилади унинг миқдори худди шундай тармоқларни барпо этиш тажрибасидан маълум деб фараз қилинади.

Вазн бирлигининг хатоси μ берилганда лойиҳаланаётган геодезик тармоқни ҳар қандай элементларининг аниқлигини баҳолаш масаласи бу элементларнинг тескари вазнларини $\frac{1}{P_F}$ ҳисоблашга олиб келади. Тармоқ ҳар қандай элементининг тескари вазнини тенглаштирилган миқдорлар функцияси F каби ҳисоблаш учун қуйидагилар зарур: ўлчаниши керак бўлган барча миқдорлар (йўналиш, азимутлар, томонлар узунлиги, базис томонларни ва х.к.) учун тузатмалар тенгламасини тузиш; картадан бўйича аниқланадиган пунктлар

тақрибий координаталари бўйича тузатмалар тенгламаларининг коэффициентларини ҳисоблаш; ўлчанадиган ҳар бир миқдор вазнини ўрнатиш; ўлчанадиган миқдорлар вазнларини ҳисобга олиб, тузатмалар тенгламалари коэффициентларининг A матрицасини тузиш, сўнгра маълум қоидага мувофиқ нормал тенгламалар коэффициентларининг N матрицасига ўтиш; тесқари матрицани $Q=N^{-1}$ топиш, яъни вазнли коэффициентлар матрицасини ва ундан фойдаланиб (5.20) ёки (5.21) формула орқали тармоқни ҳар бир баҳоланувчи элементи тесқари вазни $\frac{1}{P_F}$ ни ҳисоблаш, сўнгра баҳоланувчи элементнинг ўрта квадратик хатосини (5.1) бўйича ҳисоблаш.

5.2. Ўлчанувчи миқдорлар вазнини аниқлаш

Геодезик тармоқни тенглаштирилган элементларининг ишончилиги ва аниқлиги ҳар бир ўлчанадиган миқдорнинг ҳақиқий вазнини ўрнатилишига кўп жиҳатдан боғлиқ бўлади. Умумий ҳолда ҳар бир бевосита ўлчанган миқдорнинг вазнини қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

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

бу ерда c - айрим даражагача ихтиёрий равишда тармоқ учун ўрнатиладиган доимий ўлчамсиз миқдор ($c=const$);

σ^2 - ўлчанадиган миқдорнинг дисперсияси.

Амалда дисперсия σ^2 номаълум бўлади масалан, ўлчаш натижаларида систематик хатоларнинг мавжудлиги туфайли. Шунинг учун σ^2 ўрнига ўлчаш натижаларининг эмперик дисперсияси m^2 дан фойдаланилади.

Лойиҳалаш босқичида ўлчанадиган миқдорларининг ўрта квадратик хатолар m олдин барпо этилган геодезик тармоқлардаги ўлчашлар тажрибасидан фойдаланиб қабул қилинади. Бундай ҳолда лойиҳаланаётган тармоқда ўлчашга мўлжалланган горизонтал

йўналишлар N , азимутлар α , масофалар S вазнлари қуйидаги формулалар бўйича топилади

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

Ҳар бир бериланган геодезик тармоқ классидида пунктларида горизонтал йўналишлар тенг аниқликда ўлчанади. Шунинг учун $c = m_n^2$ деб қабул қилиш мақсадга мувофиқ бўлади. Бу ҳолда (5.4) формула қуйидаги кўринишга келади ва улар асосан амалиётда қўлланилади

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

Ўлчанган йўналишлар, азимутлар, томонлар узунлигининг ўрта квадратик хатосилари турли усуллар билан топиш мумкин ва бир хил миқдор учун хатоликнинг турли қиймати келиб чиқиши мумкин. Масалан, трангуляцияда ўлчанган бурчак хатосини (m_1) станцияда ўлчанган бурчакларни тенглаштиришдан ва уни учбурчак бурчаклари боғланмаслигини ҳисоблаш орқали топиш мумкин (m_2).

2-класс триангуляцияда m_1 ва m_2 ларни ўртача қиймат мос равишда $\pm 0,3''$ ва $\pm 0,8''$ га тенг; бу ердан вазннинг бир-биридан фарқи етти мартадан кўп иккита $p_1 = c/0,09$ ва $p_2 = c/0,64$ қийматларини топамиз. Ҳудди шундай ҳолат ўлчанган азимутлар, томонлар узунлиги ва бошқалар ўрта квадратик хатоларини аниқлашда юзага келади. (5.4) ва (5.5) формулаларда бурчаклар, азимутлар, масофалар ўлчашнинг ҳақиқий аниқлигини тавсифловчи ўрта квадратик хатолар қийматларидан фойдаланиш лозим. Бу хатолар ўлчашнинг тасодифий ва асосан систематик хатоларини биргаликдаги таъсирини инобатга олган ҳолда ҳисобланиши лозим. Аммо ўлчаш натижаларига систематик хато таъсири тўғрисидаги зарурий маълумот йўқлиги сабабли ҳамма вақт ҳам бунинг иложи бўлавермайди. Шундай бўлса ҳам ўлчанган миқдорларнинг вазнлари имкони борича юқори аниқлик билан аниқланиши лозим, чунки геодезик тармоқни тенглаштирилган элементларини ишончлилиги бунга боғлиқ бўлади.

Маълумки, ўхшаш қийматларни ўлчаш натижаларига тасодифий ва систематик хатоларнинг биргаликдаги таъсири шартли тенгламалар озод ҳадларининг қийматларида тўла намоён бўлади.

Шунинг учун ўлчашни ҳақиқий аниқлигини тавсифловчи ўрта квадратик хатони олиш учун шартли тенгламаларнинг боғланмасликларидан (озод ҳадларидан) фойдаланиш лозим.

Триангуляцияда ўлчанган бурчаклар ўрта квадратик хатоларини учбурчакларни боғланмасликлари бўйича Ферреро формуласидан ҳисобланади

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

бу ерда n - учбурчаклардаги ω боғланмасликлар сони;

Ўлчанган йўналиш ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

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

10% хатолик билан m_N ни аниқлаш учун камида 25-30 та учбурчакларнинг боғланмаслигидан фойдаланиш лозим, хатоликни хатоси m_m ни аниқлаш учун қуйидаги тақрибий формуладан фойдаланилади

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

бу ерда n -ўлчашлар яъни ушбу ҳолда учбурчаклар боғланмасликлари сони.

Свето ва электрон дальномерларда ўлчанган масофа S ўрта квадратик хатоси m_s одатда қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

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

бу ерда a_0 ва a_1 - эмперик коэффициентлар. Улар асбобнинг паспортида кўрсатилади, эталон полигонида турли узунликдаги ўлчанган масофаларни қайта ишлашдан аниқланади. Аммо масофа ўлчашнинг амалдаги аниқлиги (5.9) формула бўйича олинadиган миқдордан каттарoқдир.

Трилатерация ва чизикли-бурчакли геодезик тармоқда масофа ўлчашни ўрта квадратик хатосининг энг ишончли қийматини марказий система ва геодезик тўртбурчакда ўлчанган томонлар узунлиги шартли тенгламалари озод ҳадлари ω бўйича ҳисоблаш мумкин:

$$m_{\bar{s}} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{\omega_i^2}{\Sigma \lambda_i^2}} \quad (5.10)$$

бу ерда m_s -ўлчанган томонлар ўртача узунлиги $\bar{S} = (\sum S_i)/n$ ни ўрта квадратик хатоси; k озод ҳадлар ω_i сони; $(\sum \lambda^2)_i$ - i геодезик тўртбурчак ёки марказий системадаги шартли тенглама коэффициентлари квадратларининг йиғиндиси. m_s ни 10% ли хатолик билан олиш учун камида 25-30 та ω_i боғланмаслик керак бўлади.

Агар томонни ўрта узунлиги учун m_s -маълум бўлса, унда бошқа S_i узунликдаги томонлар учун $m_{s(i)}$ хатоликни қуйидаги формула бўйича топиш мумкин

$$m_{s(i)} = \frac{S_i}{\bar{S}} m_{\bar{S}} \quad (5.11)$$

(5.10) ва (5.11) формулалар (5.9) га қараганда аниқ натижаларни беради, шунинг учун уларни ўлчанган томонлар вазнини (5.4) ёки (5.5) формулалар бўйича ҳисоблашда қўллаш лозим.

Лаплас пунктларида астрономик азимутларни аниқлаш ўрта квадратик хатоси, приёмлардаги азимутлар қийматини ўрта қийматдан фарқлари орқали ҳисобланади. Шу тарзда олинган қийматлар хатоси $m \leq 0.5''$ унинг амалдаги қийматидан анчагина фарқ қилади.

Лаплас пунктларида азимутал аниқлашлар ўрта квадратик хатоси аниқроқ қийматини ўзаро тескари азимутлар фарқлари d бўйича, яъни Лаплас шартининг озод ҳадлари бўйича ҳисоблаб олиш мумкин [8]

$$m_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}} \quad (5.12)$$

бу ерда $n-d$ фарқлар сони; ўртача $m_{\alpha} = 1,0''$, бу етарли даражада бошқа баҳолашлар билан, масалан, астрономо-геодезик тармоқнинг катта блокларини тенглаштиришдан олинган ($m_{\alpha} = 1,2''$) баҳолашлар билан яхши мувофиқлашади.

5.3. Геодезик тармоқнинг тескари вазни ва тенглаштирилган элементлари ўрта квадратик хатоларини ҳисоблаш

Тенглаштирилган элементларнинг тескари вазнини ҳисоблаш

Геодезик тармоқни лойиҳалаш босқичида, яъни ўлчашлар ҳали бажарилмаган, лекин ўлчанадиган миқдорларни вазни ўрнатилган ҳолда баҳоланадиган элементларнинг тескари вазини аниқлаш масаласи қуйидаги тарзда ечилади. Геодезик тармоқнинг лойиҳаси график усулда йирик масштабдаги топографик картага туширилади, унда бошланғич ва аниқланадиган пунктлар, ҳамда барча ўлчанадиган миқдорлар: горизонтал йўналишлар N , томон азимутлари α ва томонлар узунликлари (базис ва оддий) S кўрсатилади. Картадан тармоқни барча (бошланғич ва аниқланадиган) пунктларининг тақрибий координаталари X, Y аниқланади ва тақрибий координаталари каталоги тузилади.

Тармоқни тенглаштирилган элементларининг тескари вазни текисликда геодезик тармоқларни параметрик усулда тенглаштириш алгоритмидан фойдаланиб ҳисобланади. Бунинг учун олдин барча ўлчанадиган миқдорлар учун тегишли тузатмалар тенгламалари тузилади, улар қуйидаги кўринишга эга бўлади:

ўлчанадиган йўналишлар учун

$$\mathbf{v}_{ik(N)} = -\delta \mathbf{z}_i - \mathbf{a}_{ik} \xi_i - \mathbf{b}_{ik} \eta_i + \mathbf{a}_{ik} \xi_k + \mathbf{b}_{ik} \eta_k + \mathbf{l}_{ik(N)}; \quad (5.13)$$

ўлчанадиган азимутлар учун

$$\mathbf{v}_{ik(\alpha)} = -\mathbf{a}_{ik} \xi_i - \mathbf{b}_{ik} \eta_i + \mathbf{a}_{ik} \xi_k + \mathbf{b}_{ik} \eta_k + \mathbf{l}_{ik(\alpha)}; \quad (5.14)$$

ўлчанадиган масофалар учун

$$\mathbf{v}_{ik(s)} = -\mathbf{c}_{ik} \xi_i - \mathbf{d}_{ik} \eta_i + \mathbf{c}_{ik} \xi_k + \mathbf{d}_{ik} \eta_k + \mathbf{l}_{ik(s)}, \quad (5.15)$$

бу ерда i, k -пунктлар рақами; $\delta \mathbf{z}_i$ - i пунктдаги ориентирлаш бурчагига тузатма; ξ, η -аниқланадиган пунктлар абцисса ва ординаталарига тақрибий тузатма, дм; $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, \mathbf{d}$ - пунктларнинг тақрибий координаталари бўйича ҳисобланадиган коэффициентлар; $\mathbf{l}_{ik}$ - тузатмалар тенгламаларининг озод ҳадлари.

Тенглаштирилган элементларнинг тескари вазини аниқлаш учун тузатма тенгламасининг озод ҳадлари талаб этилмайди.

$\delta \mathbf{z}_i$ тузатмалар олдидаги коэффициентлар (-1) га тенг; $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}, \mathbf{d}$ коэффициентлар формулалар бўйича ҳисобланади, улар компьютерда ҳисоблаш учун қуйидаги кўринишга эга

$$a_{ik} = -\frac{\rho \sin \alpha_{ik}}{10s_{ik}} = -20626,5 \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2};$$

$$b_{ik} = +\frac{\rho \cos \alpha_{ik}}{10s_{ik}} = +20626,5 \frac{\Delta x_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \quad (5.16)$$

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

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

бу ерда $\Delta x_{ik} = x_k - x_i$ ва $\Delta y_{ik} = y_k - y_i$ координата орттирмалари ва

томон узунликлари S_{ik} метрда ифодаланади; $\rho=206265''$

Ҳисоблаш ишларини камайитириш мақсадида редуцирланган деб аталувчи нормал тенгламалар тузилади, уларда станциядаги ориентирлаш бурчакларига δz_i тузатма чиқариб ташланган. Бу мақсадда ҳар бир пунктда (5.13) тенглама δz_i тузатмасиз $p=1$ деб қабул қилиб ёзилади, сўнгра пунктда $p=-1/n$ вазн билан бундай тенгламалар йиғиндисига тенг бўлган йиғинди тенгламаси тузилади, бу ерда n -пунктдаги йўналишлар сони.

Бурчаклар ўлчанадиган барча пунктларда тузилган йўналишлар тузатмалари тенгламаларига, йиғинди тенгламаси билан бирга, азимутларни ўлчаш учун тузатмалар тенгламалар (5.14) ва масофаларни ўлчаш учун тузатмалар тенгламалар (5.15) ҳам бирлаштирилади. Барча бу тенгламалардан фойдаланиб тармоқ учун умумий тузатма тенгламасини коэффицентлари матрицаси A тузилади. Сўнгра бу тенгламаларга мувофиқ тузатмалар тенгламаларининг вазнлар P диагонал матрицаси тузилади ва энг кичик квадратлар усулининг маълум қоида-сига биноан нормал тенгламалар коэффицентларининг N матрицасига ўтилади

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

бу ерда A^T -транспонирланган матрица. ЭХМ да вазн коэффициентларининг тескари матрицаси $N^{-1}=Q$ топилади

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

бу ерда m - аниқланадиган пунктларнинг иккиланган сонига тенг бўлган ξ , η координаталар тузатмаларининг сони.

Агар вазн коэффициентларининг матрицаси Q аниқланган бўлса, геодезик тармоқни тенглаштирилган ҳоҳлаган элементларининг тескари вазнини ҳисоблаш қийин эмас.

i рақамли аниқланадиган пунктларнинг абциссаси X_i ва Y_i ординаталарининг тескари вазнлари координаталар ξ_i ва η_i тегишли тузатмалари Q матрицанинг диагональ элементларига тенг бўлади, яъни

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

Геодезик тармоқнинг ёнма-ён ҳамда бир-биридан бир нечта учбурчакларга узоқда жойлашган i ва k пунктларини бирлаштирувчи дирекцион бурчак α ва томон узунлиги S тескари матрицаси қуйидаги формула билан ҳисобланади

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

бу ерда f - вазн функцияси F коэффициентининг вектор-устуни;
 f^T - транспортирланган вектор қатор; Q_{i-k} - берилган i ва k пунктлар координаталари тузатмаларига тегишли вазн матрицаси Q элементлари i ва k пунктларини бирлаштирувчи томон дирекцион бурчаги ва узунлигининг вазнли функциялари F_α ва F_s тузатмалар тенгламалар (15.14) ва (15.15) кўринишида озод ҳадларсиз ёзилади

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

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

бу ерда a, b, c, d коэффициентлар пунктларнинг тақрибий координаталаридан фойдаланган ҳолда (5.16) ва (5.17) формулалар бўйича ҳисобланади.

Вазнли функциялар F_α ва F_s учун $f = f_\alpha$ ва $f = f_s$ векторлар қуйидаги кўринишига эга бўлади

$$f_{\alpha(ik)} = \begin{pmatrix} -a_{ik} \\ -b_{ik} \\ a_{ik} \\ b_{ik} \end{pmatrix} ; f_{s(ik)} = \begin{pmatrix} -c_{ik} \\ -d_{ik} \\ c_{ik} \\ d_{ik} \end{pmatrix} . \quad (5.24)$$

Матрица Q_{i-k} тармоқ учун умумий Q вазнли коэффициентлар элементларидан шаклланади ва танланган i ва k пунктлар учун қуйидаги кўринишда ёзилиши мумкин [23]:

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

бу ерда x_i, y_i, x_k, y_k i ва k пунктлар координаталари, тармоқни тенглаштиришдан уларга $\xi_i, \eta_i, \xi_k, \eta_k$ тузатмалар аниқланади.

Агар (5.22) ёки (5.23) ифодаларда пунктлардан биринчи координаталари, масалан, i пункти бошланғич ҳисобланса, унда ξ_i, η_i тузатмалар топилмайди ва улар нольга тенг деб қабул қилинади ($\xi_i = \eta_i = 0$). Бу ҳолда (5.22)-(5.25) ифодалар анча қисқаради.

Тенглаштирилган элементларнинг ўрта квадратик хатосини ҳисоблаш

Вазн бирлиги хатоси μ берилган қийматидан фойдаланиб ҳамда тенглаштирилган элементларнинг тескари вазнини P_F ҳисоблаб, (5.1) формула бўйича баҳоланаётган геодезик тармоқ элементларини ўрта квадратик хатолари қийматларини топамиз:

пунктлар абсциссалари ва ординаталари

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

томонлар дирекцион бурчаклари ва диагоналлари

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

томонлар узунлиги ва диагоналлар учун

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

Триангуляция, трилатерация ва чизикли-бурчакли тармоқлар учун вазн коэффицентлари матрицаси Q компьютерда ҳисоблаш билан тенглаштирилган элементларни аниқлигини баҳолашга доир мисоллар [19] да берилган.

5.4. Ўлчаш натижаларини компьютерда моделлаштириш билан геодезик тармоқ аниқлигини априор (такрибий) баҳолаш

Геодезик тармоқ аниқлигини дастлабки (априор) баҳолашни компьютерда ечиш тармоқни якуний босқичда параметрик усулда тенглаштиришда бажарилади, бунда фақат ўлчанган миқдорлар ўрнига уларни компьютерда моделлаштириш йўли билан ҳисобланган ва тасодифий хатолар таъсирида ўзгарган қийматларидан фойдаланилади. Масала қуйидаги тарзда ечилади. График усул билан ишлаб чиқилган геодезик тармоқ лойиҳаси йирик масштабдаги топографик картага туширилади ва унда бошланғич ва аниқланадиган пунктлар ўлчаниши лозим бўлган, базис ва бошқа томонлар, Лаплас азимутлари кўрсатилади. Сўнгра барча ўлчанадиган миқдорлар, шу жумладан горизонтал йўналишлар ёки бурчаклар, Лаплас пунктларидаги азимутлар, ҳамда базис ёки тармоқнинг бошқа томонлари қийматларини ёзиш учун жадвал ишлаб чиқилади. Бу миқдорларнинг сонли қийматлари қуйидаги тарзда олинади. Йирик масштабли карта бўйича лойиҳаланган тармоқни барча пунктларининг координаталари аниқланади ва улардан фойдаланиб, тармоқ томонлари бўйича тескари геодезик масала ечилиб, берилган пунктларнинг координаталарига аниқ тўғри келувчи, томонлар узунлиги S' ва дирекцион бурчаклари α' топилади. Сўнгра, датчик ёки тасодифий сонлар жадвалидан фойдаланиб, компьютерда ўлчанадиган йўналишларнинг лойиҳада берилган вазн бирлигининг хатолиги μ га олиб келувчи хатоликлари v ҳисобланади.

Сўнгра v хатоликлар дирекцион бурчакларнинг ҳисобланган қийматларига киритилади ва шундай тарзда «ўлчанган» йўналишларнинг $N=N'+v_n$ маълумоти (сводкаси) олинади. Ҳудди шундай «ўлчанган» азимутлар $\alpha = \alpha^1 + v_2$ (дирекцион бурчаклар) ҳамда «ўлчанган» томонларнинг узунлиги $S=S'+v_s$ қийматлари топилади. Барча «ўлчанган» миқдорларга (5.5) формула бўйича ҳисобланувчи P вазнлар берилади. Энди бошланғич пунктлар координаталаридан фойдаланиб (улар картадан аниқланган) ва юқорида кўрсатилган усуллар билан олинган «ўлчанган» йўналишлар N , азимутлар α ва томонлар S узунликлардан фойдаланиб (5.13)-(5.15) тузатмалар тенгламалари тузилади, лекин l_{ik} озод ҳадларни албатта ҳисоблаш орқали, сўнгра эса тармоқ параметрик усул билан тенглаштирилади. Ҳисоблашлар натижасида вазн бирлигининг хатоси μ топилади (у ўлчаш натижаларини моделлаштиришда қабул қилинган қийматига тенг ёки унга яқин бўлиши лозим), вазн коэффициентларининг матрицаси Q олинади, тенглаштирилган элементларнинг тескари вазни $\frac{1}{P_F}$ ҳамда уларнинг ўрта квадратик хатолари m_F ҳисобланади.

Шуни таъкидлаш лозимки, ўлчаш хатоларини моделлаштириш ва тармоқни тенглаштириш кўп маротаба такрорланади (камида 15-20 марта) ва тенглаштирилган элементлар хатоларининг олинган қийматларидан ўртачаси топилади.

5.5. Тақрибий формулалар билан триангуляциянинг аниқлигини баҳолаш

Турли усуллар билан барпо этиладиган геодезик тармоқларнинг элементларини аниқлигини тақрибий (априор) баҳолаш учун шакли ва аниқлиги бўйича турли формулалар чиқарилган. Бу формулаларнинг кўпчилиги турли усулларда куриладиган схематик геодезик тармоқларга тегишли ҳисобланади, масалан, тенг томонли учбурчакларга, томонлар узунлиги бир хил бўлган чўзиқ йўлларга ва х.о.

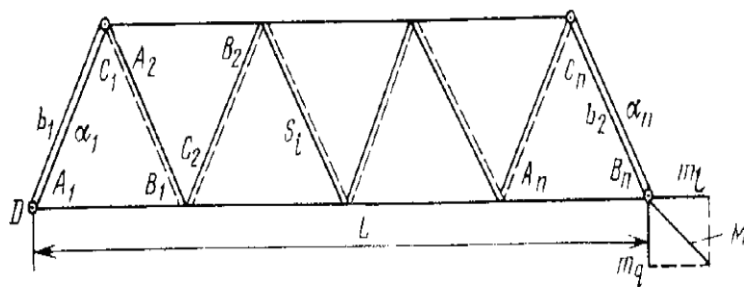
1-класс триангуляция қаторлари. Бундай қаторлар ҳар бири 200 километрга бўлган звенолардан ташкил топади. Ҳар бир звенонинг иккала томонида базис томонлар b_1, b_2 ва бу томонларнинг азимутлари α_1 ва α_2 аниқланади (5.1-шакл). Қуйидаги белгилашларни киритамиз ва улардан кейинчалик фойдаланамиз: s_i – боғловчи томонлар (ёнма-ён учбурчаклар учун умумий); c_i – учбурчакларнинг оралик томонлари; A_i, B_i – боғловчи томонлар қаршисида ётувчи, боғловчи бурчаклар; C – оралик бурчаклар; L – звено диагоналининг узунлиги.

Айтайлик M – тенглаштирилган звено охирги пунктини уни бошланғич пунктга нисбатан планли ҳолатини аниқлаш ўрта квадратик хатоси. M хатоликни иккита ташкил этувчининг йиғиндиси кўринишида фараз қиламиз: m_L – звено йўналишида ва m_q – звенога перпендикуляр. Бу ҳолда

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

m_L хатоликни звенонинг бўйлама силжиши, m_q хатони эса звенонинг кўндаланг силжиши деб номлаймиз.

Айтайлик базис ва азимутларга эга бўлган триангуляция звеноси тенг томонли учбурчаклардан ташкил топган ва йўналишлар бўйича шакл, базис ва азимут шартлари учун тенглаштирилган. Бундай звенода боғловчи томонлар логарифмининг ўрта квадратик хатоси (логарифм белгисининг олтинчи ҳади бирлигида) қуйидагича бўлади



5.1-шакл. Триангуляция звеносининг бўйлама ва кўндаланг силжиши

Нисбий хатоликни қуйидаги формула орқали топамиз

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

Йўл чизиғи бўйича узатиловчи (5.1-шаклда пунктир чизиқлар билан кўрсатилган) боғловчи томон азимутининг ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

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

Бундай звенонинг бўлама ва кўндаланг силжиши қуйидаги формулалар бўйича ҳисобланади:

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

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

(5.30)-(5.34) формулаларда: N – звенодаги учбурчаклар сони; k – баҳоланувчи томонга тегишли бўлган учбурчакнинг номери; n – звено диагоналидаги оралиқ томонлар сони $L = nS$; $m, m_A, m_b/b$ – бурчаклар, Лаплас азимути ва базис томонларни ўлчаш ўрта квадратик хатоси. Базис томон логарифмининг хатоси m_{lgb} ва боғловчи томон хатоси m_{lgs} логарифм белгисининг олтинчи ҳадида ифодаланади.

Бу формулалар бўйича тенг томонли учбурчаклардан ташкил топган (5.1-шакл) звено элементларининг ўрта квадратик хатоларини ҳисоблаймиз: бунда $L = 176$ км, $s = 22$ км, $N = 16$, $n = 8$, $m = 0,7''$, $m_b/b = 1/400000$ ёки $m_{lgb} = 1,1$ lg белгисининг 6 ҳади; $m_A = 1,1''$.

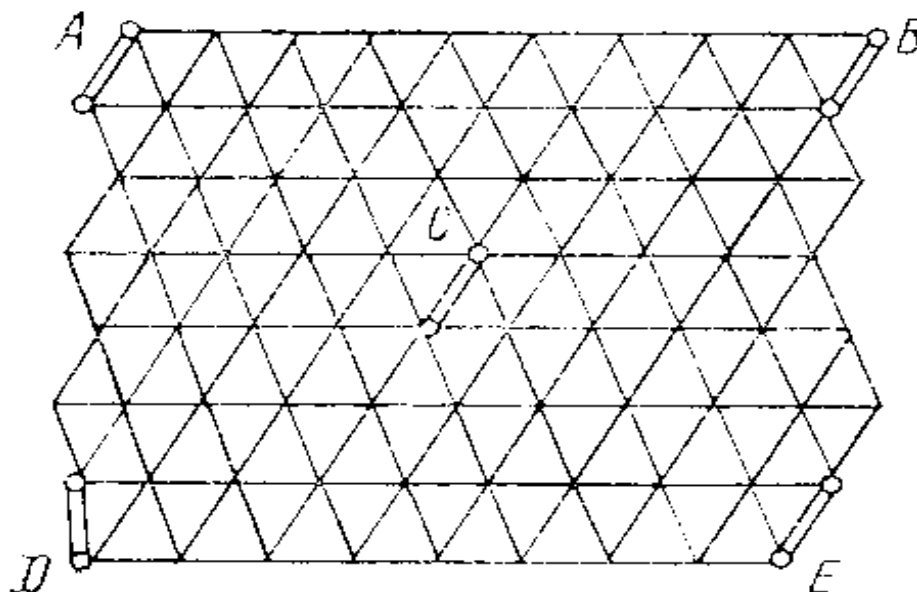
Звено ўртасидаги боғловчи томон ўрта квадратик хатоси m_s , м.....0,13

Нисбий хатолик m_s / s 1/167000

Звено ўртасидаги томон азимутининг ўрта квадратик хатоси $m_{A(k)}$.11"

Звенонинг бўйлама силжиши m_L , м.....0,62

Звенонинг кўндаланг силжиши m_q , м.....0,76
 Звенонинг умумий силжиши M , м.....0,98



5.2-шакл. Базис томонлари ва азимутлари ўлчанилган тенг томонли учбурчаклардан ташкил топган яхлит 2 синф триангуляция схемаси.

Яхлит триангуляция тармоғи. 200x200 км ўлчамдаги 1-класс триангуляция полигонларини тўлдирувчи яхлит 2-класс триангуляция тармоқларининг аниқлигини баҳолаш масалалари профессор А.И.Дурнев, профессор К.Л.Проворов, геодезик ишлаб чиқаришнинг йирик мутахасислар С.Г.Судаков, Д.А.Ларинлар ва бошқаларнинг тадқиқотларида ёритилган.

Булардан энг кўп тарқалгани К.Л.Проворов формулаларидир, кейинчалик биз ушбу формулалардан фойдаланамиз.

Қуйида келтирилган (5.35)-(5.39) формулалар, бурчаклар бўйича, шакл, горизонт, кутб, дирекцион бурчак ва базис шартлари учун, бошланғич азимут ва базислар хатоларини ҳисобга олмаган ҳолда, озоддек тенглаштирилган, ҳар бири 100-300 пунктлардан ташкил топган (5.2-шакл), яхлит 2-класс триангуляция тармоқлари учун олинган.

К.Л.Проворов тадқиқотлари шуни кўрсатишига тенг томонли учбурчаклардан ташкил топган яхлит 2-класс триангуляция

тармоғининг тенглаштирилган элементлари орасида қуйидаги оддий муносабатлар мавжуд

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

буларга мувофиқ, учбурчак томонларининг нисбий хатоси m_s/s шу томонлар дирекцион бурчаклари радиан ўлчовида ифодаланган m_α/ρ хатолигига тенг.

Бу ёнма-ён жойлашмаган пунктларни бирлаштирувчи L диагональ хатолигига ҳам тегишлидир.

Хоҳлаган диагональ L охирининг бошига нисбатан бўйлама силжиши m_L кўндаланг силжишига тенг ва қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

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

бу ерда m_T – L диагональ йўналишининг хатоси, у қуйидагига тенг

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

Бу ерда m – бурчак ўлчаш ўрта квадратик хатоси, n – занжирдаги диагональ L бош ва охири нуқталари орасидаги учбурчаклар сони; N – тўрдаги базис томонлар орасидаги учбурчакларнинг ўртача сони; $n = N = 24$ ва $m = 1,0$ бўлганда $m_L = m_q = 0,44$ м бўлади. $n \leq N$ бўлганда (5.37) формула адолатлидир.

Ихтиёрий шаклдаги учбурчаклардан иборат бўлган (бурчаклари 30° дан 110° гача бўлган) ундаги геометрик шартлар учун бурчаклар бўйича тенглаштирилган яхлит триангуляция тармоғида:

томон дирекцион бурчагининг ўрта квадратик хатоси ўртача қуйидагига тенг бўлади

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

томонлар логарифмининг ўрта квадратик хатоси (6-чи ҳади) қуйидагига тенг бўлади

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

бу ерда m – ўлчанган бурчак ўрта квадратик хатоси; N – тармоқдаги базис томонлар орасидаги учбурчакларнинг ўртача сони; t – параметр қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

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

ёки N аргумент бўйича топилади (8-жадвал).

(5.36)-(5.39) формулалар ўрта квадратик хатоларнинг кичик қиймати беради, сабаби азимутларни ўлчаш хатоси m_A ва базис томон ўлчаш хатоси m_{lgs} таъсири инобатга олинмайди. Улар таъсири ҳисобга олинса m_α ва m_{lgs} хатоларнинг нисбатан аниқроқ қиймати қуйидагига тенг бўлади

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

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

бу ерда m_α ва m_{lgs} (5.38) ва (5.39) формулалар бўйича ҳисобланади.

8-жадвал

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

Айтайлик, яхлит триангуляция тармоғида базис томонлар уларнинг охирларидаги Лаплас азимутлари билан ўртача 24 учбурчакдан кейин жойлашган бўлсин ($N = 24$), горизонтал бурчаклар ва азимутлар $m = m_A = 1,0''$ базис томонлар $m_b / b = 1/300000$ ёки $m_b / b = 1,45$

ўрта квадратик хатоли билан ўлчанилган бўлсин. $N = 24$ бўлганда параметр $t = 0,016$

Бўлади (8-жадвалга қаранг). Бу маълумотлардан фойдаланиб, (5.41) ва (5.42) формулалар бўйича оламиз: $M_\alpha = 1,0''$ ва $M_{lgs} = 2,1$ логарифм белгисининг 6-ҳади ёки $m_s/s = 1/200000$, бу учбурчак томонларининг узунлиги $s = 7 \div 20$ км бўлганда $m_s = 4 \div 10$ см хатоликка олиб келади, яъни ўртача тахминан 6 см бўлади. Бундай аниқликда таянч геодезик тўрларни барпо этиш 1:2000 ва унданда йирикроқ масштабдаги топографик съемкаларни бажариш учун етарли бўлади (4 жадвалга қаранг).

5.6 Азимут ва базис томонларни жойлашиш частотаси.

Учбурчакларнинг энг қулай шакли

Азимутларни жойлаштириш частотаси. Таянч геодезик тармоқларни барпо этишда Лаплас азимутлари энг муҳим роль ўйнайди: геодезик тармоқларнинг барча қисмларида томонларни азимутал ориентирлаш мустаҳкамлигини юқори аниқликда таяминлайди, азимутал шартлар боғланмаслиги бўйича бурчак ўлчаш натижаларини назорат қилиш имконини беради, бунда ўлчашга систематик хатолар таъсирини камайтиришни ҳам таъминлайди; тармоқни тенглаштиришда азимутал шартли тенгламасини триангуляцияда ҳосил этади ва унинг аниқлигини оширишини таъминлайди. Учбурчаклар чекли сони n_{max} уларни оралаб Лаплас азимутларини жойлаштириш зарур бўлади, ҳисоблаймиз, бунда улар бурчак ўлчашдалар назорати функциясини бажарсин. Учбурчаклар занжирининг учларида α_1 ва α_2 азимутлар ўлчанган бўлсин. Учбурчакларнинг оралиқ бурчаклари C_i дан фойдаланиб, умумий ҳол учун ёзамиз.

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

Ўрта квадратик хатоликларга ўтиб, қуйидагини оламиз

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

бу ерда m_α ва m – азимут ва бурчак ўлчаш ўрта квадратик хатолиги, n – оралик бурчаклар сони, азимутлар орасидаги учбурчаклар сонига тенг. Хатоларнинг чекли қийматлари берилган бўлсин:

$$m_{\alpha\text{чек}} = tm_\alpha \text{ ва } n_{\text{чекли}} = n_{\text{max}}.$$

Бунда бурчак ўлчаш ўрта квадратик хатолигини берилган қиймати m'' ва геодезияда чекларни ҳисоблашда қабул қилинганидек $t=2.5$ десак, топамиз

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

$m_\alpha = m$ да $n_{\text{max}} = 12$ бўлади; $m_\alpha = 1,0''$ ва $m = 0,7''$ да $n_{\text{max}} = 25$ бўлади.

1-класс триангуляцияси звеноси 12 – 16 учбурчакдан ташкил топган. 2-класс триангуляция тармоқларида йўриқномага асосан азимутлар ҳар 25 та учбурчакдан кейин аниқланади, бу эса (5.43) ифода орқали бажарилган ҳисобга тўғри келади.

Базис томонларини жойлаштириш частотаси. Триангуляцияда базис томонлар, Лаплас азимутлари каби энг муҳим роль ўйнайди. Улар ер сиртида геодезик тармоқларни барпо этишда ягона масштабни таъминлайди; томонлар узунлигини узатишни назорат қилишга имкон беради ва ўлчашда систематик хатолар йиғилишини камайтиради; геодезик тармоқларни тенглаштиришда базис шартини келтириб чиқади, бу эса ўз навбатида тармоқ аниқлигини ошириш учун хизмат қилади.

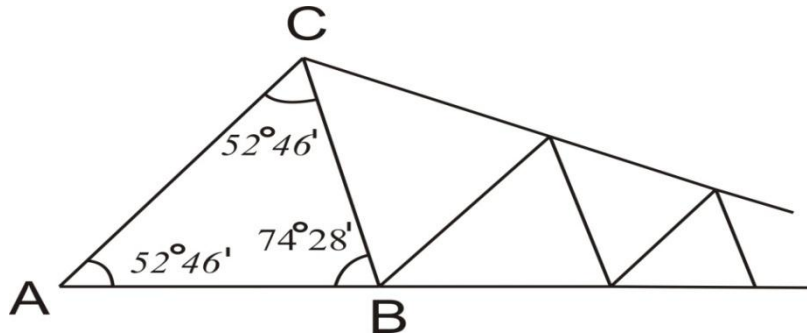
Давлат геодезик тармоқларини барпо этишнинг мукамал системасини таъминлаш мақсадида базис томонларнинг учларида Лаплас азимутларини аниқлаш қабул қилинган. Шунинг учун триангуляцияда базис томонларни жойлаштириш частотаси, Лаплас азимутлари жойлаштириш частотаси каби аниқланади.

Учбурчакнинг энг қўлай шакли. Триангуляция учбурчакларининг барча томонлари бир хил аҳамиятга эга, шунинг учун боғловчи s ва оралик s томонлар учбурчакда, тенг шароитларда бир

хил юқори аниқликда аниқланиши шарт. Бу талабни қуйидаги тенглик кўринишида ёзиш мумкин

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

Бу талаб бажарилса триангуляция қаторидаги учбурчаклар тенг ёнли кўринишига келади, яъни бурчаклар $C=A=52^{\circ}46'$ ва $B=74^{\circ}28'$



5.3-шакл. “Энг қулай” бурчакларга эга бўлган учбурчаклар занжирининг схемаси

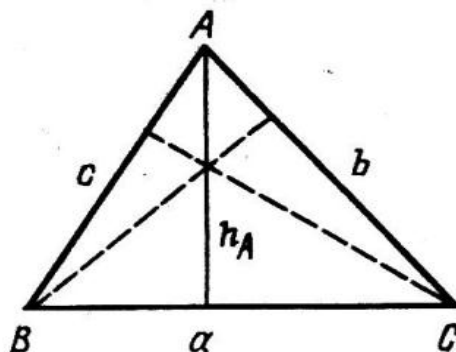
Бинобарин, учбурчакларнинг бу қулай шакли амалиётда яроқсиздир, яъни қатор бошланғич базис томонлардан узоқлашган сари “бузилади” (5.3-шакл). Амалиёт нуқтаи назардан қараганда учбурчакнинг энг қулай шакли тенг томонли учбурчаклардир, аммо жой рельефи туфайли ҳамма вақтда буни барпо таъминлашни иложи йўқ. 1-класс триангуляция қаторида учбурчаклар бурчаклари 40° дан, 2-класс узлуксиз триангуляция тармоғида 30° дан кичик бўлмаслиги керак.

5.7 Трилатерация тармоғи ва қаторлари аниқлигини тақрибий формулалар билан баҳолаш

Учбурчакларнинг ҳисобланган бурчакларининг ўрта квадратик хатолари

a , b , c ўлчанган томонлари қаршисида ётган A , B , C бурчаклар бўлган ABC учбурчаги берилган бўлсин (5.4-шакл). Косинуслар теоремасидан фойдаланиб унинг ҳохлаган бурчагини ҳисоблаб топишимиз мумкин, мисол учун a томон қаршисида ётган A бурчак қуйидагига тенг бўлади

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



5.4-шакл. Томонлари ўлчанган учбурчак.

(5.44) формулани барча ўзгарувчилар бўйича дифференциаллоб, мураккаб бўлмаган ўзгартиришлардан сўнг қуйидагиларни оламиз

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

бунда h_A -учбурчакнинг A учидан уни қаршисидаги a томонга туширилган баландлик; у қуйидаги формулалар бири билан ҳисоблаш мумкин

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

(5.45) ифодадан, ўрта квадратик хатоликка ўтсак унда қуйидагини ҳосил қиламиз

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

Бу формула учбурчакнинг гуанлиги яни бурчакларни катталигига боғлиқ равишда, ҳисоблаб топилган бурчакнинг ўрта квадратик хатоси ва томонларни ўлчашдаги m_a , m_b , m_c хатоликлар орасидаги боғланишни ўргатади.

Учбурчакнинг B ва C бурчаклари учун ҳам (5.45) ва (5.47) формуласини келтириб чиқарганимиздек мулоҳазалар юритиб, бу бурчакларни ўрта квадратик хатосини ҳисоблаш формулаларини ёзамиз

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

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

Тенг томонли учбурчакларда $a=b=c=s$,

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

бўлади, унда томонлар тенг аниқликда ўлчанган десак яъни $m_a=m_b=m_c=m_s$ бурчаклар $A=B=C=\beta$ бўлганлигини инобатга олиб, учбурчакнинг ўрганган томонларидан фойдаланиб ҳисоблаб топилган бурчакнинг ўрта кавдратик хатосини ҳисоблаш формулаларни қуйидагича ёзиш мумкин

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

Тенг томонли трилатерация учбурчакларнинг β бурчаклари талаб этилаган аниқликда ҳисоблаб топишимиз учун, унинг томонларини ўлчаш аниқлиги қуйидагидан паст бўлмаслиги лозим

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

бунда,

$$m_N = \frac{m_\beta}{\sqrt{2}}$$

Йўналишни ўрта квадратик хатоси.

Трилатерация звеносида кўндаланг ва бўйлама силжиш

Айтайлик трилатерация звеноси тенг томонли учбурчаклардан ташкил топган ва уларнинг учларида A_1 ва A_2 азимутлари ўлчанган бўлсин. Звенони азимутлар шарти учун тенглаштириб, Бутлер формуласига биноан топамиз:

звенонинг бўйлама силжиши

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

звенонинг кўндаланг силжиши

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

бу ерда L – звено диагоналининг узунлиги;

N – звенодаги учбурчаклар сони;

m_A, m_S – томонлар азимути ва узунлигини ўлчашни ўрта квадратик хатоси.

$L = 200$ км, $N = 16$, $S = 25$ км, $m_A = 1,0''$ ва $m_S/S = 1/300000$ ёки $m_S = 0,083$ бўлса, унда $m_L = 0,17$ м ва $m_q = 1,18$ м бўлади. Шунда

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

Тенг томонли учбурчаклардан ташкил топган яхлит трилатерация тармоғи.

Эркин тармоқ сифатида азимутлар ва марказий системалар учун тенглаштирилган ўлчами 200×200 км бўлган, 2-класс яхлит трилатерация тармоғи бўлсин. Азимутлар хатосини инобатга олмаган ҳолда, тенглаштирилган элементлар ўрта квадратик хатосини ҳисоблаш учун К. Л. Проворовни формулаларидан фойдаланамиз.

Қўшни пунктлар нисбий ҳолатининг ўрта квадратик хатоликлари:

томон охирини бўйлама силжиши

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

томон охирини кўндаланг силжиши

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

томон охирини тўлиқ силжиши

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

Агар $s=7 \div 20$ км, $m_s/s=1/300000$ бўлса, (5.53)-(5.55) формулалардан $m_t=2 \div 6$ см; $m_r=3 \div 8$ см; $U=4 \div 10$ см.

Қўшни бўлмаган пунктлар нисбий ҳолатининг ўрта квадратик хатоликлари:

Диагонал охирини бўйлама силжиши

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

Диоганал охири кўндаланг силжиши

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

Диоганал охири тўлиқ силжиши

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

бу ерда L – оралиғида k та учбурчак жойлашган қўшни бўлмаган пунктларни бирлаштирувчи диагоналининг узунлиги; N – Лаплас азимутлари оралиғидаги учбурчакларнинг ўртача сони ($k < N$); m_s – томонларни ўлчаш ўрта квадратик хатоси. Яхлит трилатерация тармоғида $L=180$ км, $s=15$ км, $N=k=24$, $m_s/s=1/300000$ ёки $m_s=0,05$ м бўлганда $m_L=0.08$ м, $m_g=0.46$ м, $M=0,47$ м бўлади. Бу ҳисобдан кўринадики яхлит трилатерация тармоқларида кўндаланг силжиш бўйлама силжишдан олти марта катта экан. Яхлит триангуляция тармоқларида бу силжишлар ўзаро тенг.

5.8. Полигонометрия звеносининг аниқлигини баҳолаш

Тўғри чизикли ва бир хил узунликдаги томонлардан иборат 1-класс полигонометрия звеноси боши ва охирида аниқланган азимутлар бўйича азимут шарти учун тенглаштирилган деб фараз қилайлик. Проф В.В. Данилов формуласига биноан бундай звенонинг бўйлама ва кўндаланг силжиши учун ёзамиз

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

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

бу ерда m_c ва m_{τ} – масофа ўлчашдаги тасодифий ва систематик хатолари;

n – полигонометрия звеносидаги томонлар сони;

m_A ва m – азимут ва горизонтал бурчак ўлчаш ўрта квадратик хатолари.

Агар $L = 200 \text{ км}$, $n = 10$, $S = 20 \text{ км}$, $m = 0,7''$, $m_A = 0,1$, $m_{S/s} = 1/300000$ ёки $m_s = 0,067$ $m_r = 5 \cdot 10^{-6}$ бўлганда; $m_2 = 0,79 \text{ м}$ $m_q = 0,98 \text{ м}$. Бунда звенонинг тўла силжиши: $M = \sqrt{m_L^2 + m_q^2} = 1,02 \text{ м}$.

5.9. Геодезик тармоқларда горизонтал йўналишлар, азимутлар ва томонлар узунликларини ўлчаш аниқликларини мувофиқлашуви

Геодезик таянч тармоқларини барпо этишда бурчаклар ва масофалар,

азимутларни аниқлаш ва х.к. комплекс ўлчаш ишлари бажарилади. Турли катталикларни ўлчаш аниқликлари ўзаро мувофиқлаштирилмаса бирон бир катталик юқори аниқликда, иккинчи бири аниқ ёки техник аниқликда ўлчанса ўлчаш натижаларини тенглаштириш аниқлигини чегараси паст аниқлик билан чегараланиб қолади. Бундай ҳолда юқори аниқликдаги ўлчаш ишларини бажаришга кетган сарф харажат ўзини оқламайди.

Амалиёт нуктаи назаридан олиб қараганда геодезик тармоқни ҳар бир пунктида ўлчаш натижаларининг хатолар эллипси айланага яқин ва радиусини кичик бўлиши мақсадга мувофиқ бўлади. Бу геодезик тармоқдаги ҳар қандай томонни, ихтиёрий диагонални бўйлама ва кўндаланг силжиши модул жиҳатидан тенг бўлиши, яъни $|m_L| = |m_q|$ ва нольга интилиши керак.

(5.35), (5.36), (5.50) формулаларидан кўринишича биринчи шарт $|m_L| = |m_q|$ бажарилиши мумкин агарда горизонтал йўналишларни ўлчашни ўрта квадратик хатоси $m_N = \frac{m_\beta}{\sqrt{2}}$, радианда ифодаланган йўналишлар азимутлари m_A , ҳамда масофаларни ўлчаш нисбий хатоси m_s/s ўзаро тенг бўлса:

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

(5.60) тенгликларга асосланиб N -йўналиш, β - бурчак, A -азимут ва S - томон узунликларини мувофиқлаштирилган ўрта квадратик хатоларининг жадвалини тузамиз (9-жадвал).

9-жадвал

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

Барча хатоликлар шартли тенгламаларнинг эркин ҳадлари бўйича ҳисобланиши зарур.

III-БЎЛИМ. Юқори аниқликда бурчак ўлчаш

6-боб. Юқори аниқликдаги оптик теодолитлар.

Теодолитларни тадқиқ қилиш

6.1. Юқори аниқликдаги теодолитлар ва улардан фойдаланиш. Уларга қўйиладиган талаблар.

Бурчак ўлчаш геодезик асбобларини вазифаси, ўлчаш аниқлиги ва конструкциясига қараб турли гуруҳларга бўлиш мумкин.

Вазифасига қараб бурчак ўлчаш геодезик асбоблари теодолитларга ва астрономик теодолитларга бўлинади.

Теодолитлар геодезик тармоқлар пунктларида горизонтал бурчаклар ва зенит масофаларни ўлчашда, астрономик теодолитлар эса Лаплас пунктларида астрономик кузатишларни бажариб кенглик, узоклик ва азимутларни аниқлашда ишлатилади. Аниқлиги бўйича теодолитлар юқори аниқликдаги теодолитлар, аниқ теодолитлар ва техник теодолитларга бўлинади. Юқори аниқликдаги теодолитларга бурчакни лаборатория шароитида бир приёмда $m \leq 1''$, аниқ теодолитларга $1 < m \leq 10''$ ва техник теодолитларга $m \geq 10''$ ўрта квадратик хатолик билан ўлчашни таъминлайдиган теодолитлар киради. Конструкцияси бўйича ҳозирги теодолитларни санок олиш мосламасига қараб иккита катта гуруҳларга: оптик санок олиш мосламасига эга теодолитларга ва электрон теодолитларга бўлинади. Амалдаги стандарт бўйича теодолитнинг ҳар бир типига уларни ўлчаш аниқлигига боғлиқ ҳолда махсус шифр берилади, бу шифр «Т» харфидан (теодолит) ва лаборатория шароитида бурчак ўлчашни ўрта квадратик хатоси чегарасини белгиловчи рақамлардан ташкил топади. Масалан, $T1$ бир секунд аниқликдаги теодолит ҳисобланади.

Давлат геодезик тармоқларини қуришда бурчак ўлчаш ишлари турли физик-географик ва иқлимий шароитларда: иссиқ чўл ва қумлик ҳудудларда, тоғ олди ва баланд тоғ ҳудудларда, ҳаво ҳароратини кескин тебранишларда ($+50$ дан -20°C) бажарилади.

Ҳар бир асбобни бундай шароитларда узок йиллар давомида фойдаланиш, кам меҳнат ва вақт сарфлаб юқори аниқликдаги ўлчаш

натижаларига эришиш бурчак ўлчаш асбобларини ишлаб чиқишда махсус талабларни ҳисобга олиш ва уларни таъминлашни талаб этади.

Бу талаблардан энг асосийлари қуйидагилар:

- турли физик-географик ва иқлимий шароитларда бажарилган ўлчашлардан юқори аниқликдаги ва кам ўзгарувчан натижаларни олиш;

- қийин экспедиция шароитларида ва узоқ вақт давомида фойдаланишда теодолит асбобини ишчи ҳолатда бўлишини таъминлаш;

- асбобни кичик ҳажмли ва енгил бўлиши билан бирга уни ўлчаш жараёнида турғунлигини, қисмларини оддий ва ишончли бўлишини ҳамда ишлашда қулайлигини таъминлаш.

Асосий геодезик ишларни бажарувчи мутахассислар теодолитлар тузилишини мукамал билиши, уларни тадқиқ қила олиши, асбоб доимий қийматларни юқори аниқликда аниқлай олиши (адилак бўлак қийматини, микрометр бўлак қийматини ва ҳ.к), пунктда ишлаш пайтида теодолитни созлашни билиши ва асбоб хатоларини ўлчаш натижаларига таъсирини ҳисобга ола билиши керак. Юқори аниқликдаги теодолит мураккаб система бўлиб, металл ва оптик қисмлари ички зўриқиш ёки кенгайиши натижасида деформацияга учрайди. Деформация эса бурчак ўлчаш натижаларида хатоликларга олиб келади.

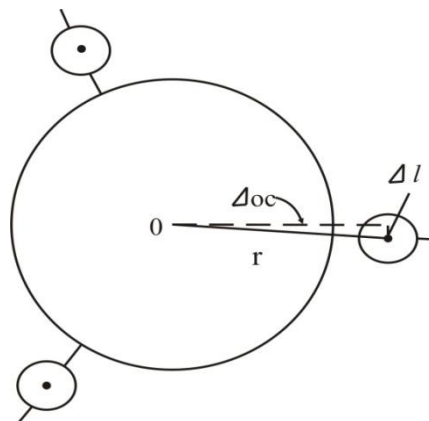
Оддий мисол, пунктда ишлаш жараёнида кузатувчини бепарволиги оқибатида кўтаргич винтлардан бирига маълум вақт давомида қуёш нурунинг тушиб туриши кўтаргич винтларни Δl ўта кичик чизиқли (0,5 мкм) силжишга олиб келади (6.1-шакл).

Теодолит ўқи билан кўтаргич винтлар орасидаги масофа $r = 14$ см бўлганда бу силжиш теодолитни лимби билан бирга қуйидаги бурчак қийматга бурилишига сабаб бўлади

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

Юқорида келтирилган $\Delta l = 0,5$ мкм; $r = 14$ см орқали топамиз $\Delta\alpha = 0.7''$ шунда ўз навбатида ўлчанган йўналиш қийматига шу миқдорда хатолик таъсир этади. Агар бурчаклар юқори аниқликда

ўлчанса хатоси 0,5" дан ошмаслиги керак, демак юқоридаги 0,7" йўл қўйиб бўлмайдиган хатоликдир.



6.1-шакл. Кўтариш винтининг деформацияси туфайли теодолит тағлигининг азимутал силжиши

Бундан келиб чиқадики кузатишлар давомида катта эҳтиёткорлик билан ишлаш талаб қилинади. Геодезик тармоқларда пунктлар орасидаги масофалар 15-20 км бўлганда асбоб хатолари $m_{a \cdot x}$ билан ташқи муҳит таъсири $m_{m \cdot M}$ (ён рефракция, сигналларни буралиши ва ҳ.к) хатоларини ўзаро тенг деб қабул қилиш мумкин. Шуни ҳисобга олиб 1-класс триангуляцияси учун бурчак ўлчашни ўрта квадратик хатосини ($m \leq 0,7''$) қуйидагича ёзамиз

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

Асбоб хатоси $m_{a \cdot x}$ теодолит комплекс хатоларини қўшма таъсиридан келиб чиқади. Тенг таъсир этиш принципига асосан айтиш мумкинки ҳар бир хато манбасининг таъсири 0,2-0,3" дан ошмаслиги керак.

Ушбу мураккаб бўлмаган ҳисоблаш юқори аниқликдаги теодолитни тайёрлаш, йиғиш ва созлаш учун қандай юқори талаблар қўйилишини кўрсатади.

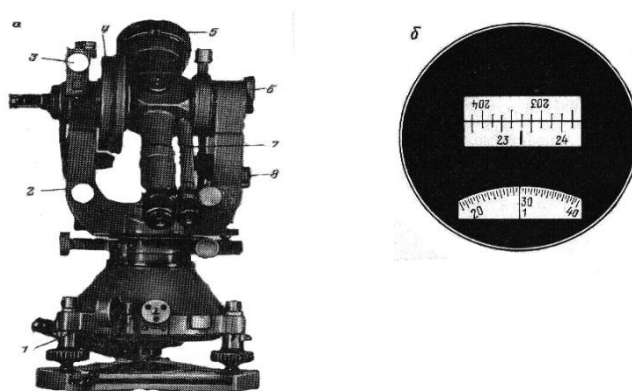
6.2. Юқори аниқликдаги теодолитлар ҳақида умумий маълумотлар

Катта ҳажмдаги астрономик – геодезик тармоқларни қуриш ишларини таъминлаш мақсадида проф.Ф.Н.Красовский томонидан ишлаб чиқилган техник топшириққа асосан 1936 йилда юқори

аниқликдаги ТТ-2/6 триангуляция теодолити ишлаб чиқа бошланди. У 1 класс триангуляция тармоқларида бурчакларни ўлчашга мўлжалланган эди.

ТТ-2/6 теодолит диаметри 220 мм га тенг металлдан тайёрланган горизонтал лимб доирасига эга; теодолитни вертикал ўқи конус шаклида бўлиб ўзгартириш имкониятига эга; кўриш трубасининг фокус масофаси 520 мм га тенг, унинг катталаштириши $30;52$ ва 65^x ; у бўлак қиймати $1''$ га тенг окуляр микрометри билан таъминланган; текшириш трубасининг катталаштириши 30^x , окуляр микрометрини бўлак қиймати $1,4''$ ва у теодолит таглигига маҳкамланган, вазифаси сигнал столчасининг тобланишини аниқлаш ва ҳисобга олишдан иборат; теодолит 2 мм га бўлак қиймати $2,5''$ га тенг бўлган қараш трубасининг горизонтал айланиш ўқиға ўрнатилган цилиндрик адилакка эга; горизонтал доирадаги микроскоп-микрометр барабанининг энг кичик бўлаги қиймати $2''$ ни ташкил қилади; теодолт

массаси 27,5 кг.



6.2-шакл. Теодолит ОТ-02М

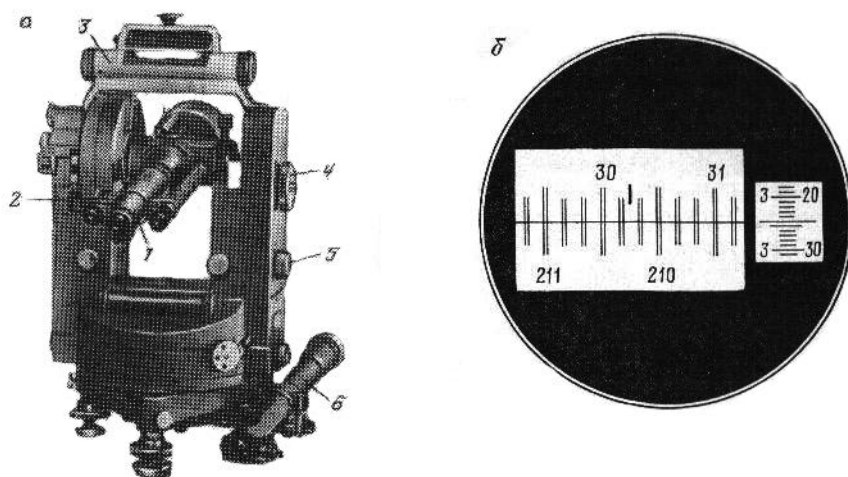
(а) 1-таглик, кўтариш винтлари билан; 2-теодолитнинг алидада қисми; 3-вертикал доира алидадасининг адилаки; 4-вертикал доира; 5-кўриш трубаси; 6-оптик микрометр бурагичи; 7-саноқ олиш қурилмасининг микроскопи; 8-вертикал ва горизонтал доираларни ўзгартирувчи призма; (б)- саноқ олиш қурилмаси микроскопининг кўриш майдони.

Бу теодолит билан астрономик-геодезик тармоқларда бурчакларни ўлчаш таъминланди. У теодолит учбурчаклар томонлари 20-30 км ва ундан ортиқ бўлганда горизонтал бурчакларни ўлчаш ўрта квадратик хатоси 0.5-0.7" дан кам бўлмаган аниқликни таъминлайди (учбурчаклар боғланмасликлари бўйича).

Тахминан шу йилларда АУ-2/10 юқори аниқликдаги астрономик универсал ишлаб чиқилди, унинг горизонтал ва вертикал лимбларининг диаметри мос равишда 220 ва 135 мм ни ташкил қилади. Бу асбоблар бир неча ўн йиллар давомида юқори аниқликда астрономик кенглик, узоклик ва азимутларни (Лаплас пунктларида) аниқлашда хизмат қилди.

1940 йилда “Аэрогеоприбор” заводи юқори аниқликдаги оптик теодолит ОТ-02 биринчи партиясини ишлаб чиқди. Бу асбоблар 2-4 класс геодезик тармоқларда бурчак ўлчашга мўлжалланган эди. 1965 йилда бу асбоб бирмунча мукаммалаштирилиб ОТ-02М шифри билан ишлаб чиқилди (6.2.а-шакл).

1968 йилда ТТ-2/6 теодолити ўрнига юқори аниқликдаги Т05 теодолити ишлаб чиқа бошланди, унинг аниқлиги 0,5" ни ташкил қилади.



6.3- шакл. Теодолит Т05 (а):

1-кўриш трубаси; 2-окулярли микроскоп; 3-ўрнатилучи адилак; 4-вертикал доира; 5-вертикал ва горизонтал доираларни ўзгартирувчи призма; 6-окулярли микрометрга эга бўлган текширувчи труба; (б)- саноқ олиш қурилмаси микроскопининг кўриш майдони.

Теодолит Т05 (6.3а-шакл), бошқа оптик теодолитларга ўхшаш ишлаш учун қулай, ТТ-2/6 га нисбатан кичик ўлчам ва массага эга, аниқлиги бўйича эса ундан аниқроқ.

Т05 теодолити иккита асосий қисмлардан: остки ва устки қисмлардан ташкил топган бўлиши зарурат бўлганда (масалан, узоқ мудатга сақлашда, бошқа жойга олиб боришда ва ҳ.к) улар ажратилиб бошқа-бошқа қутиларга солинади.

Теодолитни остки қисмига қуйдагилар киради:

Таглик кўтаргич винтлари, ҳамда марказлаш мосламаси билан бирга; горизонтал доира унда ўрнатилган лимб доираси билан бирга; қараш трубагининг горизонтал айланиш ўқини ўрнатиш учун лагерли колонкалар; санок олиш системасининг колонкалар ичида ўрнатилган қисмлари.

Теодолитни устки қисмига қуйдагилар киради: қараш трубагининг горизонтал айланиш ўқи билан; вертикал доира ва унда ўрнатилган цилиндрлик адилак; санок олиш микроскопи; вертикал доира санок олиш системасининг қисмлари.

Горизонтал доира алидадасида 2 мм га бўлак қиймати 6-7" га тенг цилиндрлик адилак жойлашган; трубагининг горизонтал айланиш ўқи цапфаларида эса 2 мм га бўлак қиймати 4-5" га тенг бўлган цилиндрлик адилак ўрнатилади.

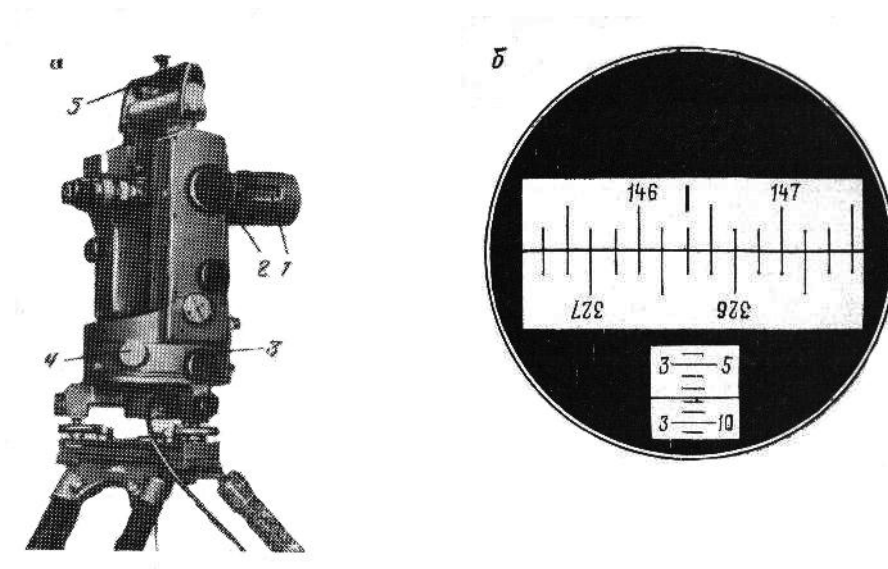
Теодолитни вертикал ўқи цилиндрлик, ярим кинематик типда ва ўз-ўзидан созланади, (шарикли подшипникда); унинг ишчи қисми узунлиги 100 мм га яқин. Вертикал ўқ билан теодолит алидада доираси қуйма маҳкамланган. Трубагининг горизонтал ўқи цилиндр шаклида бўлиб, ичи бўш, унинг цапфалари бронзали лагерларга таянади. Қараш трубагини-марказий тўғри астрономик бўлиб окуляр қисми билан зенитдан ўтказилади. Трубагини ясси паралел пластинкалик окуляр микрометрининг бўлак қиймати 1" га тенг. Санок олиш системаси классик вариант асосида лимбнинг диаметрлик қарама-қарши штрихлари тасвирини туташтиришга асослаб қурилган. Горизонтал ва вертикал доиралардан санок олиш оптик понали микрометр ёрдамида амалга оширилади. Масалан, горизонтал доира бўйича санок қуйдагини ташкил қилади (6.3.б-расм).

30°15'

3'24 (1 туташтиришда)

Теодолитни геодезик белги столчасидаги нукта устида марказлаш механик марказлаш мосламаси билан амалга оширилади. Асбоб комплектига шунингдек сигнал тобланишини ҳисобга олиш учун текшириш трубаси ҳам киради (буюртмачини талабига асосан).

Теодолит Т1 (6.4.а-расм) ОТ-02 ва ОТ-02М теодолитларидан қўшимча мўлжалга аниқ қаратиш учун окуляр микрометрига; трубанинг горизонтал айланиш ўқиға ўрнатиладиган адилакка; асбобни нукта устига марказлаш учун оптик центрирга эга.



6.4-шакл. Теодолит Т1(а):

1-окулярли микрометрига эга бўлган кўриш трубаси; 2-оптик микрометр бурагичи; 3-кўтариш винтларига эга бўлган таглик; 4-горизонтал доирани қайта ўрнатиш учун бурагич қурилмаси; 5-ўрнатилуши адилак; (б)- саноқ олиш қурилмаси микроскопининг кўриш майдони.

Вертикал ўқи цилиндрик, ярим кинематик, ўз-ўзидан мосла-надиган. Қараш трубаси тўғри марказий астрономик, окуляр қисми билан зенит орқали ўтказилади. Окуляр микрометри кичик бўлагининг қиймати 1" га тенг, у телескопик линза шаклида тайёрланган. Горизонтал ва вертикал доиралар бўйича саноқлар Т05 теодолитига ўхшаш оптик понали микрометр ёрдамида амалга оширилади. Масалан, Т1 теодолити горизонтал доираси бўйича саноқ (6.4.б-шакл) қуйидаги тартибда олинади:

146°20'

3'07,7" (1 муташтиришда)

146°23''07,7''

Қиёслаб айтиш мумкинки ОТ-02 ва ОТ-02М теодолитларида янада мураккаброқ ясси паралел пластинкали микрометр қўлланилган. Т05 теодолитидагидек. Т1 теодолити ҳам учта цилиндрлик адилакларга эга.

Электроника, микропроцессорли техника ва оптик асбобсозлик соҳасидаги кейинги йилларда эришилган ютуқлар геодезияда қўлланадиган юқори аниқликдаги ўлчаш техникасини автоматлаштириш имконини берди. Кейинги йилларда ишлаб чиқарилаётган юқори аниқликдаги теодолитларда, анъанавий оптик теодолитлардаги лимтдан санок олиш оптик микрометр қурилмаси ўрнига, санок олишни динамик тизими оптик-электрон сканерлаш қўлланилганки у бурчак ўлчаш жараёнини автоматлаштириш ҳамда асбоб ўлчаш аниқлигини ошириш имконини беради.

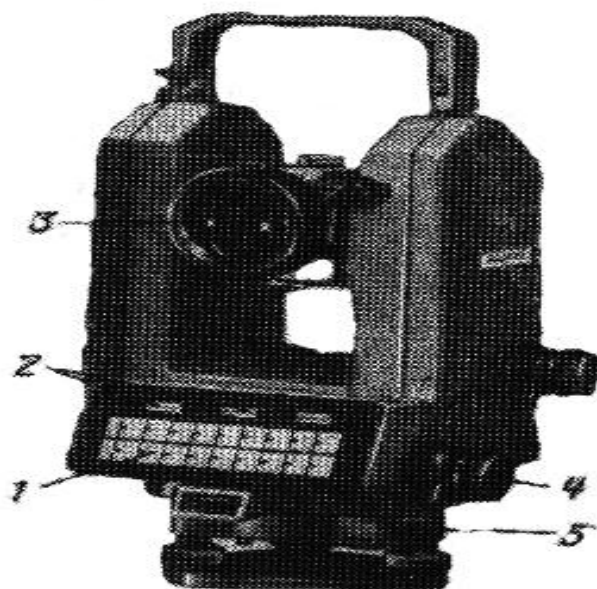
Бундай электрон теодолитларга мисол қилиб ET-02, T2000S, Trimble 3600DR ва бошқаларни кўрсатиш мумкин.

Қуйидаги 10-жадвалда юқори аниқликдаги оптикавий ва электрон теодолитларни техник тавсифи берилган.

10-жадвал

Техник тавсифлар	Теодолитлар				
	оптик		электрон		
	Т 05	Т 1	ET-02	T2000S	Trimble 3600DR
Лаборатория шароитида бурчакни тўла приёмда ўлчашни ўрта квадратик хатоси:					
Горизонтал	0,5"	1"	2"	0,5"	1"
	-	1,5"	2"	0,5"	1"

Вертикал					
Қараш трубаси (бош труба):					
Объектив диаметри	64 _м	60 _м	30 ^х	52 _{мм}	
Катталаштириши	_м	_м	1,3 ⁰	43 ^х	30 ^х
Кўриш майдони бурчаги	36;5 0 ^х 40'	30;4 0 ^х 1 ⁰		1 ⁰	1,3 ⁰
Микрометр окуляр барабани					
Бўлак қиймати	1"	1"	-	-	-
Визирлаш энг кичик масофаси, м	5	5	-	-	-
Горизонтал доира:					
Лимб кичик бўлагининг қиймати	10'	10'	-	-	-
Лимб диаметрининг тўла хатоси	1"	1,2"	-	-	-
Вертикал доира:					
Лимб кичик бўлагининг қиймати	10'	10'	-	-	-
Лимб диаметрининг тўла хатоси	2"	2,5"	-	-	-
Санок олиш қурилмаси:					
Кўриниши	Оптик		Оптик-электрон		
Бўлак қиймати	микрометр		сканер		
	1"	1"	1"	-	-
Адилак энг кичик бўлаги (2 мм) қиймати:					
Труба горизонтал ўқидаги	4"	5"	-	-	-
Горизонтал доира алидадасида	7"	7"	30"	20"	20"
Вертикал доира алидадасида	12"	12"	комп	комп	комп
Теодолит массаси, кг қутисиз	19	11	5,2	5,9	6,5



6.5-шакл. Электрон теодолит T2000 S:

1-дисплейли бошқариш панели; 2-горизонтал бурчак ва зенит масофаларни ўлчанган натижаларини кўрсатувчи табло; 3-кўриш трубаси; 4-горизонтал доира алидадасини маҳкамловчи ва тўғрловчи винтлари; 5-таглик.

Электрон теодолит T2000S. Юқори аниқликдаги электрон теодолит Т 2000S (6.5-расм). «Вильд Хербругг» (Швейцария) фирмаси томонидан ишлаб чиқилган. Қараш трубаси юқори сифатли тўғри тасвир ҳосил қилади; объектив диаметри 52 мм, трубанинг катталаштириши 43^x (стандарт), лекин $26,35$ ва 59^x га тенг қилиб ўрнатилиши мумкин. Бурчакларни ўлчаш иккита режимга эга: оддий бурчакларни юқори аниқликда ўлчаш учун ва кузатиб борувчи, ҳаракатда бўлган нишонини кузатиш учун. Теодолит ҳаво ҳарорати – 20 дан $+50^0$ С гача бўлганда нормал ишлайди. Теодолит массаси, электр батареясиз $9,7$ кг.

Вертикал доира нол белгисини бошланғич ҳолатига келтириш учун компенсаторга эга. Доиралар бўйича санок олиш аниқлиги кузатувчини ҳоҳшига қараб $1''$ дан $0,1''$ гача ўзгартирилиши мумкин. Горизонтал доира бўйича санокларга эксцентриситет тузатмаси, коллимация хатосига тузатма ва труба горизонтал ўқини қиялиги учун тузатма автоматик равишда киритилади.

Теодолит бошқариш дисплей панели ва унга уланадиган регистраторга эга. Тугмачалар орқали теодолитга иш режими ва маълумотларни қайд қилиш топшириқлари берилади. Дисплей

экранига ўлчанган горизонтал бурчак ва зенит масофа қийматлари чиқарилади. Бошқариш панелидан фойдаланиб қайд қилувчи хотирасига нафақат ўлчашлар натижалари, шу билан бирга, кузатиш вақти, пункт номери, унинг координаталари ва баландлиги, кузатилаётган пунктларгача масофалар киритилиши мумкин. Қайд қилувчи регистратор нафақат ёзилган маълумотларни сақлайди балким берилган дастур асосида ўлчашлар натижаларини математик ишлаб чиқади. Қайд этувчига компьютер ва бошқа электрон мосламалар уланиши мумкин.

Т 2000S теодолити юқори аниқликда ўлчаш ишларини ва уларни ишлаб чиқишни маълум даражада автоматизациялашни таъминлайди ва меҳнат унумдорлигини оширади; у ишлаш учун оддий, ишончли ва ўлчашларни юқори аниқликда таъминлайди, жумладан горизонтал бурчакларни $0,5''$ ўрта квадратик хато билан ўлчаш имконини беради (ташқи муҳит хатоларини ҳисобга олмаганда).

Электрон теодолит ЕТ-02. Бурчак ўлчашни ўрта квадратик хатоси $2''$ га тенг. Горизонтал ва вертикал доиралар лимбларини қарама-қарши томонларидан автоматик санок олиш сиетемасига эга; вертикал доира компенсатор билан бўлиши мумкин. Теодолит иккита интерфейс портларга эга бўлиб электрон дальномер ва компьютер билан маълумотлар алмаштиришга мўлжалланган. Қараш трубаси тўғри тасвир ҳосил қилади, уни катталаштириш $30\times$ ва кўриш майдони бурчаги $1,3^{\circ}$ га тенг. Лимбдан санок $1''$ ва $5''$ аниқликда ёзилиши мумкин. Горизонтал доира адилагининг бўлак қиймати $30''$, вертикал доира компенсаторини ишлаш чегараси $\pm 3'$ ташкил қилади. Теодолит нуқта устида оптик шовун ёрдамида марказлаштирилади, уни кўриш майдони 5° га тенг. Асбоб массаси $5,2$ кг. Хитой Халқ Республикасини SOUTH фирмаси томонидан ишлаб чиқилади.

Электрон теодолит-тахеометр Trimble 3600DR. Бурчак ўлчашни ўрта квадратик хатоси $1''$ га тенг. Вертикал доира автоматик компенсаторга эга, уни ишлаш чегараси $\pm 5'$. Горизонтал доирада доиравий ва электрон цилиндрик адилаклар ўрнатилган. Қараш трубасининг катталаштириш $30\times$ ва уни кўриш майдони $1,3^{\circ}$ ни

ташкил қилади. Қайтаргич призма ёрдамида чизик ўлчаш чегараси 1,5 м дан 3000 м гача бўлиб ўлчаш аниқлиги $\pm 1 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км}$ ни ташкил қилади. Рангли дисплей қўшимча ёритилади. Алфавит-рақамли 19 та клавиатурага эга, ички хотира 4 Мбдан ортиқроқ. Зарядланган батарея билан тўла ишлаш вақти 8,5 соат; теодолит массаси 6,5 кг.

6.3 Юқори аниқликдаги оптик теодолитларнинг геометрик чизмаси

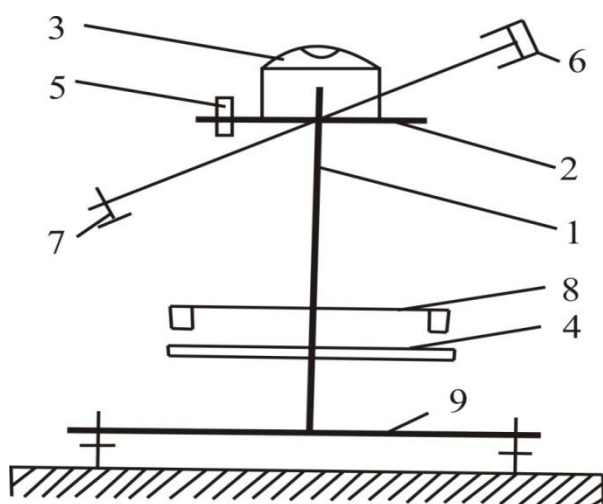
Юқори аниқликдаги теодолит аниқ теодолитга нисбатан бирмунча конструктив хусусиятларга эга, булар геодезик таянч тармоқда горизонтал бурчакларни максимал юқори аниқликда ўлчаш билан асосланади. Юқори аниқликдаги теодолит асбоби қуйидаги асосий қисмлардан ташкил топади (6.6- шакл):

ўқий система - бунга теодолитни вертикал ўқи 1, трубани айланиш ўқи 2, аниқ адилак 3, таглик 9 киради;

ишчи ўлчагичлар - горизонтал доира лимби 4, вертикал доира лимби 5, юқори аниқликда уларга туширилган бўлаклари билан;

визирлаш қурилмаси - қараш трубаси 6, уни окуляр микрометри 7 билан ёки у сиз;

санок олиш қурилмаси - оптик микрометр 8.



6.6-шакл. Юқори аниқликдаги теодолитларнинг геометрик схемаси

Теодолитни оптик схемасига асосан трубани горизонтал айланиш ўқи ва горизонтал доира лимби текислиги теодолит вертикал ўқиға

перпендикуляр бўлиши керак; трубанинг визир ўқи трубанинг горизонтал айланиш ўқиға перпендикуляр бўлиши керак; трубанинг визир ўқи трубанинг горизонтал айланиш ўқиға перпендикуляр бўлиши керак. Алидадани айланиш ўқи ва горизонтал доирани айланиш ўқи лимб бўлаклари гардиши маркази орқали ўтиши ёки у билан устма-уст тушиши керак.

Бурчак ўлчаш жараёнида теодолит геометрик чизмасини ҳар қандай бузилиши сўзсиз тегишли хатоликларга олиб келади.

Теодолитни асосий қисмлари ўзаро маълум боғлиқликда бўлади; уларни тайёрлаш аниқлиги келиштирилиши зарур.

Ҳар қандай теодолитда, айниқса юқори аниқликдаги теодолитларда, қуйидагилар келиштирилиши керак:

Ўқий системаларни тайёрлаш аниқлиги, лимбни бўлакларга бўлиш аниқлиги, қараш трубасини визирлаш аниқлиги, санок олиш қурилмаси бўлақларини тайёрлаш аниқлиги ва компановкаси ва ҳ.к. Қуйида юқори аниқликдаги теодолитларни асосий конструктив ҳусусиятлари ва уларга қўйиладиган талаблар кўриб чиқилади.

6.4. Юқори аниқликдаги теодолитларни ўқий системалари ва адилаклари

Ўқий системалар. Теодолит вертикал ўқи асосий ўқ ҳисобланади, унга нисбатан бошқа ҳамма қисмлари ва узеллари геометрик чизмага асосан жойлаштирилади. Юқори аниқликдаги Т05, Т1, ОТ-02М теодолитлар типларида кенг кўламда ярим кинематик типдаги цилиндрик ўқлар қўлланади.

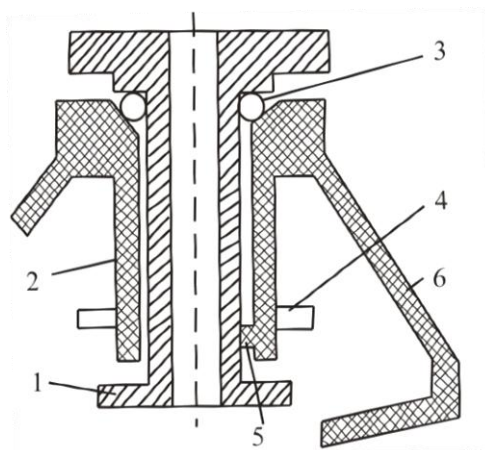
ОТ-02 теодолити вертикал ўқининг (6.7-шакл) ичи бўш, теодолитни алидада (устки) қисми билан қуйма маҳкамланган. У втулкани ён сирти билан остки қисмида ўқ ҳаракатини йўналтирувчи, фақат тор энли белбоғча бўйлаб ёндошади. Алидада учун таянч бўлиб ўқ втулкасини бурчак остида йўнилган сиртида ўрнатилган пўлат шарик подшипник хизмат қилади. Алидада массаси ва ўз массаси таъсирида шарик подшипник қия текислик бўйича қуйига қараб сирғанишга ҳаракат қилади ва алададани айланиши пайтида ўқни тебранишига йўл қўймай уни ҳамма томонидан ушлаб туради.

Бундай ўқий састема ўз-ўзидан бошқарилувчи система дейилади.

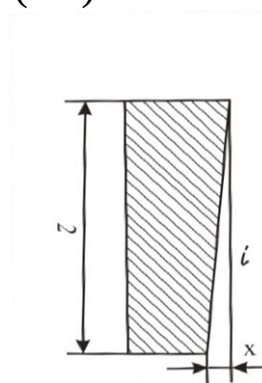
Ўқни айланишида турғунлигини таъминлаш учун шариклар диаметрларининг фарқи 0.5 мм дан ошмаслиги керак.

Юқори аниқликдаги теодолитлар ўқларини тайёрлаш масулиятли механик жараён ҳисобланади. Одатда бурчакларни ўлчаш вақтида алидада ўқини тебраниши 1" дан ошмаслиги талаб этилади, буни эса цилиндрик ўқни (6.10-шакл) конуслиги учун чекли қиймат деб ҳисоблаш мумкин ва у қуйидагидан ошмаслиги керак

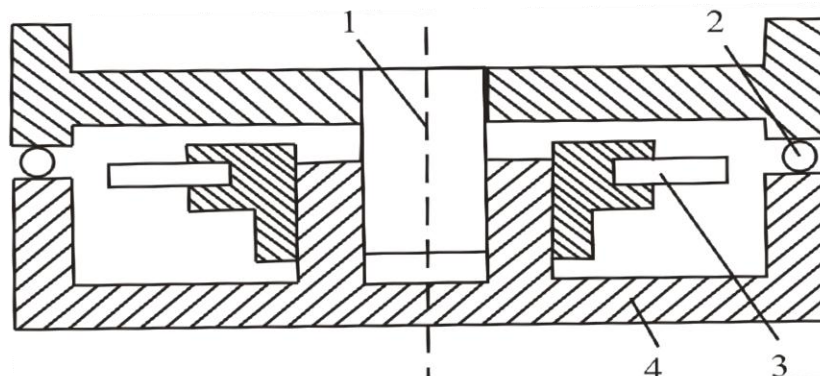
$$x = \frac{i}{\rho} \ell. \quad (6.3)$$



6.7-шакл. ОТ-02 типидagi теодолитларда шарикли таянчга эга бўлган ярим кинематик типидagi цилиндрик ўқ: 1-алидада ўқи; 2-алидада втулкаси; 3-шарикли подшивник; 4-лимб; 5-етаковчи пояс; 6-таглик



6.8-шакл. Теодолит цилиндрик ўқининг конуслиги



6.9-расм. DKM-3 теодолити вертикал ўқини тарқоқ шарикли устунини бўлинган вертикал ўқи: 1-алидада ўқи; 2-шарикни кўтаргич; 3-лимб; 4-таглик

Агар $i=1''$, $l=100$ мм деб олинса $x=0.5$ км м бўлишини топамиз. Демак юқори аниқликдаги теодолитларда ўқларни жуда синчиклаб катта аниқликда тайёрлаш керак бўлади.

Юқори аниқликдаги теодолитлар адилаклари

T05 ва T1 юқори аниқликдаги теодолитларни энг муҳим конструктив хусусиятларидан бири труба айланиш ўқи цапфаларида ўрнатилган цилиндрик адилак ҳисобланади; бундан ташқари горизонтал ва вертикал доиралар алидадасида адилаклар ўрнатилган. Энг аниқ адилак труба айланиш ўқиға ўрнатилган адилак ҳисобланади, унинг бўлак қиймати 2 мм га 3-5" ни ташкил қилади. Горизонтал доира алидадасидаги адилак бўлак қиймати 6-7", вертикал доира алидадасидаги адилак эса 10-12" бўлак қийматига эга. Труба айланиш ўқиға қўйилган адилак ва горизонтал доира алидадасида ўрнатилган адилак теодолит вертикал ўқини вертикал ҳолатга келтириш учун хизмат қилади.

Труба горизонтал ўқиға қўйилган адилак труба айланиш ўқини горизонтал ҳолда эканини узлуксиз назорат қилиб боришга ва ўлчанган йўналишларга теодолит вертикал ўқининг қиялиги учун тузатмалар аниқлашга имкон беради.

Вертикал доира алидадасидаги адилак вертикал доира нол диаметрини ($0-180^0$ ёки $90-270^0$) горизонтал ҳолатга келтириш учун хизмат қилади (теодолит типига қараб).

Цилиндрик адилакни асосий қисми бўлиб шишадан ясалган ампула хизмат қилади, унинг ички сирти юқори аниқликда силликланади.

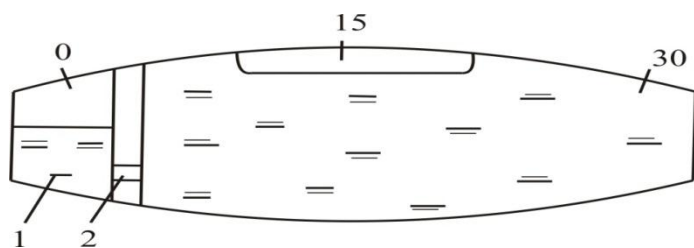
Ампуланинг бўйлама йўналишидаги ички сиртининг эгрилик радиуси, адилак бўлак қиймати τ га боғлиқ ва у қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин

$$r = \frac{\rho}{\tau} \Delta\ell, \quad (6.4)$$

бу ерда $\Delta\ell$ - адилак ампуласининг иккита қўшни бўлаклари орасидаги масофа. Агарда $\tau = 4''; 7''; 12''$ ва $\Delta\ell = 2$ мм бўлганда юқоридаги формуладан тегишли қийматларни топамиз $r \approx 103; 59$ ва 34 м. Адилак пуфакчасининг узунлиги ҳаво ҳароратини ўзгариши

билан сезиларли ўзгаради (тақрибан $0,4$ бўлакка ҳар 1°C да). Пуфакчанинг узунлиги қанча калта бўлса унинг сезгирлиги шунча кам бўлади, аксинча узунлиги қанча катта бўлса унинг сезгирлиги шунча юқори бўлади. Адилак пуфакчасининг сезгирлиги $0,1\tau$ деб қабул қилинади.

Пуфакчанинг меъёрий узунлиги (нормал узунлиги) адилак ампуласидаги шкала бўлакларини $1/3$ ҳиссасига тенг деб олинади. Камерали адилакда (6.10-шакл) пуфакча узунлигини ўзгартириш учун ампулани қиялатиб, керакли ҳажмдаги эфир буғини ажратилган камера 1 дан ундаги тўсиқ тешиги 2 орқали суриш (ўтказиш) билан амалга оширилади.



6.10- расм. Тўсиқли камерали адилакнинг ампуласи.

Дала шароитида ишлашда теодолит ва адилакларни Қуёш нуридан астойдил асраш керак, чунки ампулани бир томонлама қизиши пуфакчани иссиқлик манбааси томонга қараб сурилишига сабаб бўлади.

Адилак пуфакчаси сезгир бўлиши сабабли ампула шкаласи бўйича санок олишда пуфакча тинчлангунича бироз кутиш керак бўлади.

6.5 Юқори аниқликдаги оптик теодолитнинг лимби

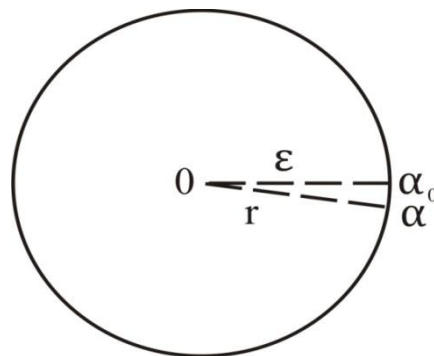
Оптик теодолитнинг лимби шиша дискдан иборат бўлиб, унинг сиртида маълум радиусли айлана бўйича одатда 0 дан 360° гача қўшни штрихлар орасидаги интервал 5 , 10 , 20 ва ҳ.к. бўлаклар шкаласи тушурилган.

Шиша лимб метал доирага бир ўқ бўйича маҳкамланади ва у теодолит айланиш ўқиға (горизонтал доира) ёки трубани айланиш ўқиға (вертикал доира) ўрнатилади.

Лимб ишчи ўлчов бўлиб, у билан жойда берилган йўналишлар орасидаги горизонтал ва вертикал текисликлардаги бурчаклар солиштирилади. Лимбнинг сифатли тайёрланишини тавсифи бўлиб унинг бўлакларга бўлиниши аниқлиги ҳисобланади. Штрихларни тушириш хатоси қанча кичик бўлса, лимбнинг сифати ва аниқлиги шунча юқори бўлади.

Юқори аниқликдаги геодезик тармоқларда горизонтал йўналишларни 0,3-0,5"дан катта бўлмаган ўрта квадратик хато билан ўлчаш талаб қилинади. Ўлчашлар аниқлигига турли омиллар салбий таъсир этади, шу жумладан ташқи муҳит, асбоб хатолари ва ҳ.к. Шу сабабли йўналишларни юқори аниқликда ўлчаш учун лимб штрихларининг тушириш хатоси йўналишларни ўлчаш хатосидан икки, уч маротаба кичик бўлиши ва ўртача 0,15-0,17"дан ҳар ҳолда бу хатоликнинг реал қиймат $\varepsilon \approx 0,5''$ дан ошмаслиги керак. ε бурчак қиймати лимб a штрихини унинг аслида ҳисоблаши керак бўлган ўрни a_0 га нисбатан чизиқли сурилиши aa_0 ёй қийматини ташкил этса (6.11- шакл), бунда у қуйидагига тенг бўлади

$$a_0^{\cup} a = \varepsilon r / \rho, \quad (6.5)$$



6.11-шакл. Лимб штрихи ҳолатининг хатоси

бу ерда r – лимб бўлакларни гардишининг радиуси. Агар $r = 90$ мм (Т 05 теодолитида) ва $\varepsilon = 0,5''$ бўлса формуладан топамиз $a_0^{\cup} a = 0,2$ мкм. Бундан келиб чиқадики, юқори аниқликдаги теодолитларнинг лимбларини бўлакларга бўлиш ўта аниқликда бажарилиши керак.

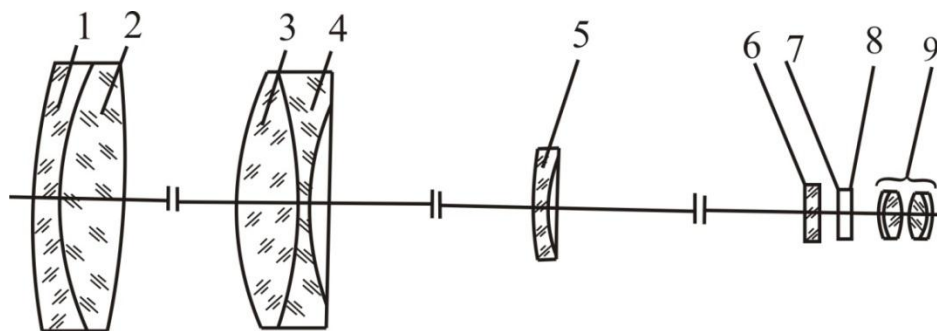
6.6. Юқори аниқликдаги теодолитларнинг қараш трубалари

Юқори аниқликдаги теодолит қараш трубасининг муҳим конструктив хусусиятларидан бири кузатиладиган нишонларга визирлаш учун хизмат қилувчи окуляр микрометрга эга эканлигидадир. Астрономик теодолитларда кузатилган объектларни тескари тасвирини ҳосил қилувчи синик (эгик) қараш трубалари қўлланади.

Юқори аниқликдаги оптик теодолитларда эса ички фокусловчи астрономик қараш трубалари қўлланади (6.12- расм). Бундан ташқари айрим теодолитларда ойнали-линзали трубалар ҳам ишлатилган.

Қаратишнинг (визирлашнинг) ўрта квадратик хатоси. Қараш трубасининг визирлаш аниқлиги унинг ҳал қилувчи кучига, кузатувчининг ҳал қилувчи кўриш қобилятига, мўлжални контрастлилигига, атмосферанинг софлигига, тасвирни тебраниш амплитудасига ва бошқаларга боғлиқ. Кўзининг ҳал қилувчи кўриш қобиляти деб, шундай чекли кичик бурчак ω тушиниладиким, бу бурчак остида иккита яқин жойлашган нуқталар деярли қўшилгандай, лекин алоҳида-алоҳида кўринади. Ҳисоблашларда одатда

$\omega = 60''$ (айрим кузатувчиларда бу қиймат 15 дан 120'' гача ўзгариши мумкин) деб қабул қилинади.



6.12-шакл. Т05 теодолити трубасининг оптик схемаси:

1, 2, ва 3, 4- объектив компонентлари; 5-фокусловчи линза; 6-окуляр микрометрнинг яссипараллел пластинкаси; 7-иплар тўри; 8-иплар тўрини қопловчи ойна; 9-окуляр.

Трубанинг имкон кучи α трубанинг катталаштириши Γ га боғлиқ ва қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$\alpha = \omega / \Gamma \quad (6.6)$$

Тадқиқотларни кўрсатишича кузатишни қулай шароитларида трубанинг имкон кучи визирлашнинг чекли хатосига мувофиқ келади, яъни

$$\alpha \approx 3m_{\text{виз}} \quad (6.7)$$

буни ҳисоблаб олиб (6.6) дан ёзамиз.

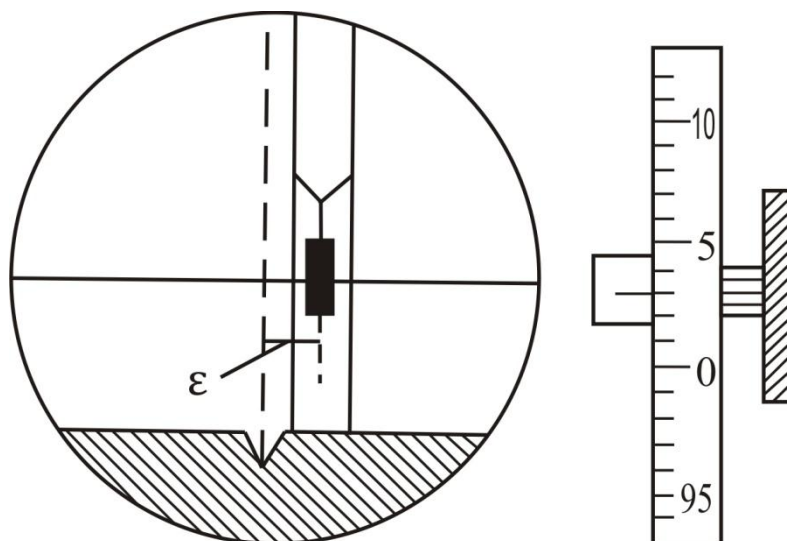
$$m_{\text{виз}} \approx \alpha/3 = \omega/3\Gamma \quad (6.8)$$

Бу формула бўйича турли теодолитлар учун визирлашни ўрта квадратик хатосини аниқлаш мумкин (11-жадвал).

Амалиётни кўрсатишича қараш трубасининг катталаштириши $60^\times$ дан ортиқ бўлганда хоҳланган самарага эришиб бўлмайди, чунки катталаштириш қанча юқори бўлса микро заррачаларни катталаштиришимиз натижасида атмосфера шунча хира кўрина бошлайди. Пунктлар орасидаги масофалар анча узоқ ва трубани катталаштириши катта бўлса атмосфера тиниқлиги пасаяди, мўлжалнинг кўриниши ёмонлашади ва бу билан боғлиқ ҳолда визирлаш аниқлиги пасаяди.

11-жадвал

Техник характеристика	T05	T1	0T-02M
Қараш трубасининг катталаштириши, крат	36;50;60	30;40	24;30
Трубанинг имкон кучи α , сек.	1	2	2
Визарлашнинг ўрта квадратик хатоси $m_{\text{виз}}$, секунд.	0.3	0.7	0.7



6.13-шакл. Юқори аниқликдаги теодолит окуляр микрометрининг кўриш майдони

Окуляр микрометри. Юқори аниқликдаги теодолитлар қараш трубасининг визирлаш эҳтимолий хатолари таъсирини камайтириш мақсадида трубалар окуляр микрометри билан таъминланади, унинг асосий қисми бўлиб микрометрни санок олиш шкаласи билан боғланган (6.13-шакл) иплар тўрининг силжийдиган биссектори ҳисобланади. Биссекторнинг вертикал иплари орасининг бурчак қиймати 30-35" атрофида. Кузатишда трубанинг кўзгалмас ҳолатида биссектор камида уч маротаба кетма-кет визирлаш нишонига қаратилади, шу йўл билан биссектор ўртасини микрометр нол пунктига нисбатан бурчак қиймати ϵ ўлчанади (шаклда пунктир чизик билан кўрсатилган). ϵ қийматини бурчак ўлчашида ифодалаб окуляр микрометрини кўрсатуви учун лимб бўйича санокқа тузатма олинади. Сурилма биссекторли окуляр микрометрини қўллаш визирлаш эҳтимолий хатосини 1,5-2 маротаба камайтириш имконини беради.

Текшириш трубаси. Юқори аниқликдаги теодолитлар бош қараш трубасидан ташқари текширувчи деб аталадиган трубага эга, у окуляр микрометри билан таъминланган. Бу труба биринчи маротаба таниқли рус астрономи ва геодезисти В.Я.Струве томонидан таклиф этилган эди. У теодолит тағлигига маҳкамланади ва геодезик сигнал столчаси тобланишини (планда бурилишини) аниқлаш ва уни ҳисобга олишга мўлжалланган. Бурчак ўлчашдан аввал пунктда текшириш

трубасини яқин жойлашган (1-2 км масофада) кузатиш нишонига қаратилади ва теодолит тағлигига маҳкамлаш мосламаси билан қўзғалмас қилиб маҳкамлаб қўйилади.

Пунктда кузатишларни бажаришда бош ва текшириш трубаларини тегишли визирлаш нишонларига қаратилади ва кузатувчини кўрсатмасига биноан бу трубаларнинг окуляр микрометридан бараварига саноклар олинади. Текшириш трубасининг саноклари фарқи бўйича геодезик сигнал тобланиш хатосига ўлчанган йўналишлар ва бурчаклар учун тузатмалар ҳисобланади. Текшириш трубасини қўллаш натижасида сигналлардан бурчак ўлчаш аниқлиги сезиларли ошади. Агар сигнални тобланиш бурчаги кичик бўлса (4-5 дақиқа учун 1"дан ошмаса) текшириш трубаши ишлатилмайди.

6.7. Оптик теодолитнинг санок олиш қурилмаси

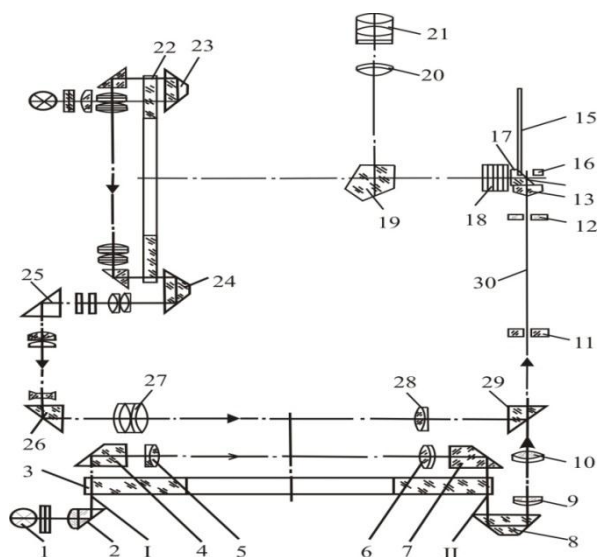
Оптик теодолит санок олиш қурилмасининг геометрик чизмаси лимб бўлаклари тўғрисидаги маълумотни узатиш принципига боғлиқ. ОТ-02 ва Вильд Т-3 типидagi теодолитларда ёруғлик манбасидан келаётган нурлар линза ва призмалар системаси воситасида лимб орқали ўтиб унинг амалгама билан қопланган устки сиртидан қайтарилади. Т05 ва Т1 типидagi теодолитларда ёруғлик нурлари лимбдан қайатрилмай, унинг бўлаклар туширилган қисмини ёритади. Умумий тартибда қуйида Т05 теодолити санок олиш қурилмасининг оптик чизмасини (6.14-шакл) кўриб чиқамиз. Ёруғлик оқими ёруғлик манбаси 1 дан сақлаш ойнаси, конденсатор ва призма 2 орқали ўтиб штрихлар I, лимбнинг чап қисми 3 ни, ёритади (штрихлар лимбнинг остки сиртига туширилган). Иккита бир хил компонентлар 5 ва 6 ҳамда призмалар 4 ва 7 дан ташкил топган қайтариш системаси ёрдамида лимб I (чап) қисми штрихларнинг тасвири лимб II (ўнг) бўлагини штрихлари текислигида ҳосил қилинади, бунда лимб чап қисми штрихларининг тасвири II қисм штрихларига нисбатан 180^0 га бурилган бўлади. Чап штрихлар (I) ва ўнг штрихлар (II) ҳақидаги маълумотларни элтувчи нур оқими энди призма 8 ёрдамида горизонтал доира санок олиш микроскопини 9 ва 10 компонент-

ларидан иборат объективга йўналтирилади, у лимбнинг диаметрал қарама-қарши томонлари тасвирини тақсимловчи блок 13 дан ёруғлик дастасининг чиқиш текислигида қуради.

Блок 13 лимб қарама-қарши қисмлари тасвирини тўғри чизик бўйлаб қўшиш ва аниқ ҳосил қилишга керак (6.3-шакл).

Ёруғлик оқими оптик микрометр 11-17 га киришда горизонтал ва вертикал доиралар тасвирининг призма–ўтказувчиси 29 ёнидан ўтади.

Вертикал доира лимби 22 қарама-қарши қисмларининг тасвири призма ва линзалар системаси 23-28 ёрдамида призма–ўтказувчи 29 га узатилади ва оптик микрометр 11-17 га юборилади. Лимбнинг қарама-қарши бўлакларидан келаётган ёруғлик нурлари пардача 30 билан ўзаро бўлинган иккита қўзғалмас оптик поналар 11 орқали ўтади, кейин поналар 12 орқали, ажратувчи блок 13, призма 14 лар орқали ўтиб коллектив 18 га тушади, у санок олиш микроскопининг биринчи оптик детали ҳисобланади. Призма 14 ни кириш қиррасида эксцентриситетни аниқлаш учун индексли ойна мавжуд; бу ойна лимб қарама-қарши бўлаклари тасвирини кўриш майдони диафрагмаси бўлиб хизмат қилади.



6.14-шакл. Т05 теодолити санок олиш системасининг оптик схемаси

Микрометрнинг секундлар шкаласи 15 сурилма поналар 12 билан қуйма маҳкамланган. Секундлар шкаласи бўйича санок индексининг призмаси 17 кириш қиррасига туширилган, бу қирра секунд шкаласининг тасвирини кўриш майдони диафрагмаси бўлади.

Санок микроскопи коллектив 18, пента призма 19, объектив 20 ва окуляр 21 дан иборат бўлиб лимб диаметрал қарама-қарши бўлаклари тасвирини, ҳамда секундлар шкаласининг тасвирини узатади (6.3-шакл).

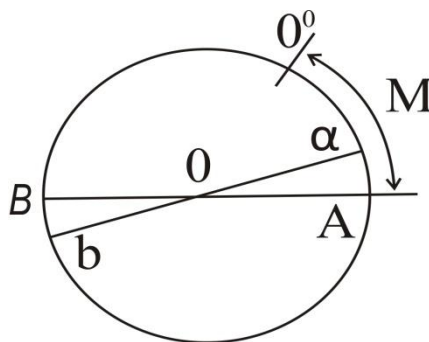
T1 теодолити санок системасининг оптик чизмаси T05 теодолити чизмасидан асосий қисми бўйича фарқ қилмайди.

6.8. Бирлаштириб санок олиш принципи.

Оптик микрометрлар

Бирлаштириб санок олишнинг моҳияти. Эксцентриситет таъсирини йўқатиш учун саноклар лимбнинг диаметрал қарама-қарши штирихлари бўйича олинади ва улардан ўртача натижа чиқарилади.

A ва B лимбнинг қарама-қарши қисмларида ўрнатилган иккита санок олиш қурилмаларининг индекслари бўлсин a ва b эса кичик штирихлари, яъни A ва B индексларига энг яқин лимб штирихлари (6.15-шакл) бўлсин.



6.15-шакл. Иккита санок олиш қурилмаси ёрдамида лимб бўйича санок олиш схемаси

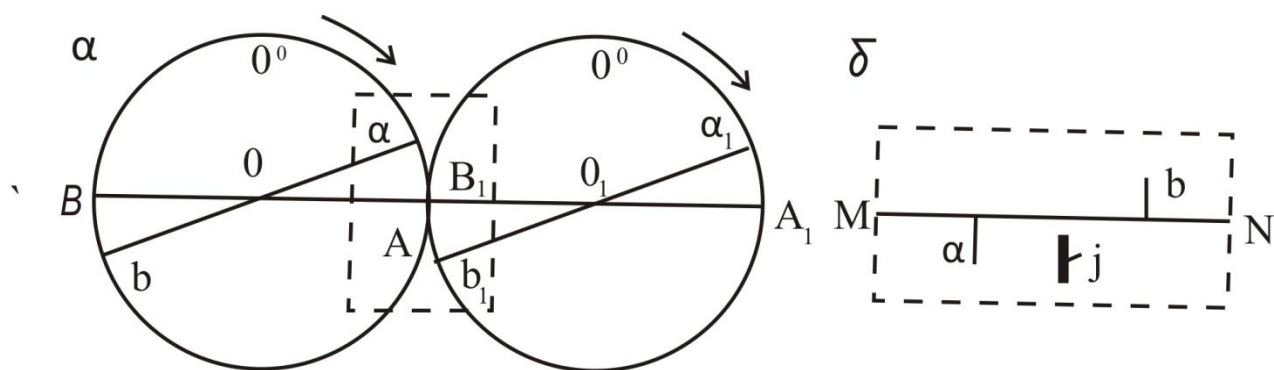
Лимбдан унинг қарама-қарши қисимларидаги иккита санок қурилмалари бўйича санок олиш учун a ва b ёйлари кесимларини ўлчаш керак бўлади. Шунда якуний санок M эксцентриситет таъсиридан озод бўлиб, қуйидагига тенг бўлади

$$M = a + \frac{aA + bB}{2}. \quad (6.9)$$

Оптик теодолитларда санок олиш қурилмаси шундай тузилганки, унда санок микроскопининг кўриш майдонида (6.16,а-шаклда пунктор чизиклар билан кўрсатилган) лимбнинг диаметрал қарама-қарши иккита чет қисмларини қўшилган тасвирлари кўринади уларни иккита бир-бирига тегиб турган доиралар деб тасаввур этиш мумкин (6.16,а –шакл). a ва b ёйлари жуда кичик бўлгани учун нур дастаси ажратувчи блокдан ўтгандан кейин иккала доираларни бир-бирига тегиш чизғи j индексли санок микроскопининг кўриш майдонида MN тўғри чизик кўринишида тасвирланади (6.16,б- шакл). Оптик теодолит лимбидан санок олиш a ва b диаметрал қарама-қарши штрихлар тасвири орасидаги $\overline{ab}$ масофани ўлчашга ва якуний санокни қуйидаги формула бўйича ҳисоблашга асосланади

$$M = a + \frac{\overline{aA} + \overline{bB}}{2} = a + \frac{\overline{aA} + \overline{b_1B_1}}{2} = a + \frac{\overline{ab}}{2}. \quad (6.10)$$

Шундай қилиб оптик теодолитда лимбдан эксцентриситет таъсиридан озод санокни олиш учун кичик штрих a қийматини аниқлаб a ва b диаметрал қарама-қарши штрихлар орасидаги $\overline{ab}$ масофани ўлчаб уни яримини бурчак ўлчамида олиб кичик штрих қийматига қўшиш керак бўлади. $\overline{ab}/2$ кесимни оптик микрометр ёрдамида ўлчанади.



6.16-шакл. (а) оптик теодолитларда лимб бўйича бирлаштириб санок олиш схемаси ва (б) санок олиш микроскопининг кўриш майдони

Оптик микрометрлар. Оптик микрометрларни жуда кўп конструкциялари мавжуд. Юқори аниқликдаги оптик теодолитларда

асосан ясси паралел пластинкали микрометрлар (ОТ-02, Вильд Т-3 ва бошқа типдаги теодолитларда) ва оптик понали микрометрлар (Т05, Т1 ва бошқаларда) кенг қўлланади. Ясси паралел пластинкали микрометрларда лимбнинг a ва b диаметрал қарама-қарши штрихлари орасидаги $\overline{ab}$ масофа яримини иккита ясси паралел пластинкалар ёрдамида ўлчанади, бу пластинкаларни бараварига турли томонга бир хил бурчак остида қийшайтириш мумкин. Оптик микрометр головкасини бураб лимбнинг қарама-қарши томонларидаги a ва b штрихларнинг тасвири бирлаштирилади ва кейин микрометрнинг секунд шкаласидан $\overline{ab}/2$ қийматни берувчи санок олинади.

Ясси паралел пластинкали микрометрни афзаллиги уни компактлиги (ихчамлиги), кичик ҳажми (диаметри $\approx 30\text{мм}$) ва етарли даражадаги аниқлигидир.

Лекин уни айрим камчиликлари ҳам бор: микрометр таъсирсиз йўлга (мертвый ход) эга; тайёрланиши анча мураккаб (унинг қисмларини тайёрлашда кичик қийматда бўлса ҳам систематик хатоларни келиб чиқишига асос яратилади, бу хатоликлар юқори аниқликдаги ўлчашларда албатта ҳисобга олиниши керак).

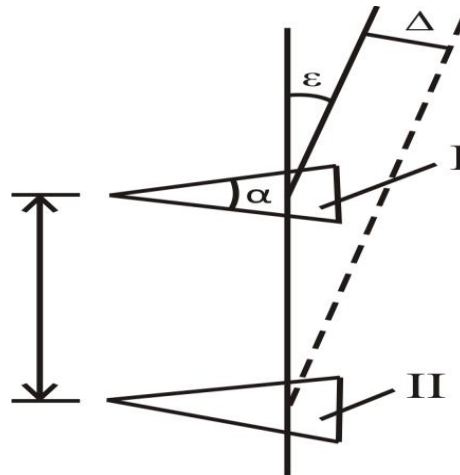
Бошқа типдаги оптик микрометрда ўлчаш воситаси сифатида кичик синиш бурчакли оптик понадан фойдаланади (6.17-шакл).

Агар оптик пона (I-ҳолат) унга тушаётган нур томонга қараб ℓ масофага сурилса (II-ҳолат) бунда нур ўз-ўзига паралел $\Delta = \varepsilon \ell$ қийматга ёки $\varepsilon = \alpha(n-1)$ бўлганда $\Delta = \alpha(n-1)\ell / \rho$ қийматга сурилади,

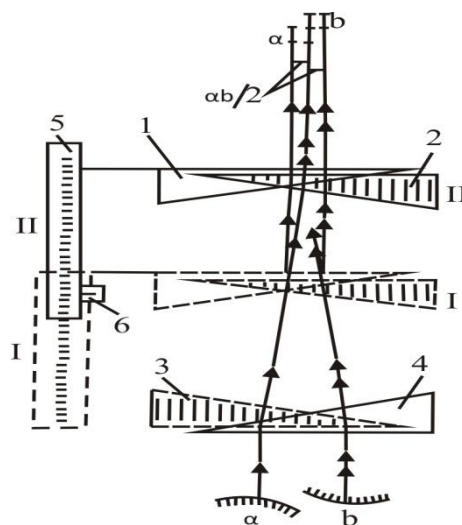
бу ерда α - понани синдириш бурчаги; n -пона шишасини синдириш кўрсаткичи. Берилган пона учун α ва n қийматлари доимий, шунинг учун Δ ни ўлчаш l ни аниқлаш билан амалга оширилади.

Микрометр (6.18-шакл) бир жуфт сурилма поналар 1 ва 2, улар ёрдамида $\overline{ab} / 2$ кесим ўлчанади, қўзғалмас поналар жуфти 3 ва 4, секундлар шкаласи 5 ва қўзғалмас индекс 6 дан ташкил топади. Сурилма поналар ўзаро ҳамда секундлар шкаласи билан қўзғалмас қилиб уланган. Қўш сурилма поналарни ҳар қандай сурилиши ҳудди шу қийматга секундлар шкаласи сурилишини таъминлайди.

Лимбнинг қарама-қарши штрихлари тасвири a ва b орасидаги кесим $\overline{ab}/2$ ўлчаш учун поналарни бошланғич ҳолати I дан шкаладан саноқ нолга тенг



6.17-шакл. Оптик пона ёрдамида оптик нурни паралел силжитиш схемаси



6.18-расм. Оптик поналар ёрдамида микрометрнинг ишлаш схемаси

II ҳолатга (штрихлар тасвири туташтирилган) олдинга қараб сурилади ва бу суриш қийматини шкаладан аниқланади.

Қўзғалмас поналар сурилма поналарга нисбатан 180° га айлантирилган ва нурларни бошланғич йўналишига паралел оғдиришга ҳамда хроматизмни чеклашга хизмат қилади.

Оптик понали микрометрлар юқори аниқликдаги теодлитларда кенг қўлланади, чунки улар бирмунча авзалликларга эга: унинг

конструкцияси содда ва осон ясалади; микрометр таъсирсиз йўл (мертвый ход) га эга эмас ва юқори аниқликда ўлчашни таъминлайди.

Оптик микрометрдан фойдаланиб лимбдан саноклар қуйидагича олинади. Санок индексининг яқинида лимбнинг диаметрал қарама-қарши штрихлари тасвири бирлаштирилади ва индексдан чапда ёзиб кўрсатилган M^0 санок олинади; кейин аниқ 180^0 га фарқ қиладиган рақамлар билан белгиланган штрихлар орасидаги бўлақлар сони n аниқланади, охирида микрометрни секунд шкаласидан C саноғи олинади. Лимбдан якуний санок M йиғинди сифатида олинади, яъни

$$M = M^0 + n(i / 2) + c\mu \quad (6.11)$$

бу ерда i –лимб кичик бўлагининг қиймати; μ – микроскоп шкаласининг бўлак қиймати.

6.9. Юқори аниқликдаги теодолитларни текшириш ва тадқиқ қилиш

Теодолитни текшириш ва тадқиқлари вазифасига уни конструкциялашда асос қилиб олинган геометрик параметрлар ва оптик-механик талаблардан чекланишни аниқлаш ва уни имкони борича тўла бартараф этиш киради. Тадқиқотлар бартараф этиб бўлмайдиган чекланишларни аниқлаш ва уларга тегишли тузатмаларни киритиш; теодолитни доимийлари (санок олиш қурилмаси бўлак қийматини, окуляр микрометри, адилаклар бўлак қийматлари ва б.қ.) ни аниқлаш; теодолит айрим боғланмалари тўғри ишлашини синаш; лимб диаметрлари хатосини аниқлаш; теодолитни айрим боғланмалари ва бутун теодолитни ишлашга ташқи мухит таъсирини аниқлаш ва бошқаларни кўзда тутати.

Бажарилган тадқиқотлар натижалари бўйича теодолитни берилган аниқлик классидagi ишларга яроқлилиги аниқланади.

Ҳар бир пунктда бажариладиган кузатишлардан олдин ўтказиладиган мажбурий текширишларга қуйидагилар киради:

1. Труба айланиш ўқида ўрнатилган адилак ўқи трубанинг горизонтал айланиш ўқи билан битта текислигида жойлашиши ва унга паралел бўлиши керак.

2. Алидадани теодолит вертикал ўқи атрофида айланиши текис ҳеч қандай тебранишсиз ва озод (тегиб қолмасдан) ўтиши керак.

3. Трубанинг горизонтал айланиш ўқи теодолит вертикал айланиш ўқиға перпендикуляр бўлиши керак.

4. Теодолит трубасини труба йўналтириш винти орқали вертикал текисликда оғдириш труба ўқини лагерларда азимутал силжишишга олиб келмаслиги керак.

5. Санок қурилмаси текширилган ва созланган бўлиши керак.

6. Трубанинг коллимация хатоси 10" дан ошмаслиги керак.

7. Труба окуляри микрометрининг иплар биссектори вертикал ўрнатилган бўлиши керак.

8. Вертикал доира зенит ўрни $Z\ddot{U}$ ёки нол ўрни $H\ddot{U}$ қиймати 10'' дан ошмаслиги керак; $Z\ddot{U}$ ёки $H\ddot{U}$ қуйидаги формулалар бўйича топилади:

ОТ-02М теодолити учун

$$Z\ddot{U} = ДЧ + Д\ddot{U} - 180^0; Z = Д\ddot{U} - ДЧ + 90^0; \quad (6.12)$$

Т1 теодолити учун

$$Z\ddot{U} = (ДЧ + Д\ddot{U} - 360^0) / 2; Z = ДЧ - Z\ddot{U}; \quad (6.13)$$

Т05 теодолити учун

$$H\ddot{U} = (ДЧ + Д\ddot{U} \pm 180^0) / 2; \beta = 90^0 - Z = ДЧ - H\ddot{U}; \quad (6.14)$$

9. Кўтаргич ва (қаратгич) йўналтирувчи винтлари юмшоқ люфтсиз ва озод юриши керак.

Юқори аниқликдаги ҳар бир теодолит заводдан олингандан кейин ёки капитал таъмирлашдан кейин тўла дастур асосида тадқиқ қилинади. Юқори аниқликдаги бурчак ўлчаш ишларига уни яроқлилигини аниқлаш учун тадқиқотлардан адилак бўлак қиймати (труба айланиш ўқидаги ва алидадаги адилаклар); труба окуляр микрометрини бўлак қиймати (бош труба ва текшириш трубаси); труба фокуслаш линзасининг тўғри юриши; лимб штрихлари тасвирини бирлаштириш хатоси оптик микрометр рени; ясси паралел пластинкали микрометрни фойдасиз йўли (мертвый ход); микрометр шкаласининг бўлаклари хатоси; лимб ва алидадани эксцентриситети; алидада айланиши тўғрилиги; лимб диаметрлари хатоси; теодолит горизонтал ва вертикал ўқларини ўзаро перпендикуляр эмаслиги

аниқланади. Лаборатория шароитида теодолит билан горизонтал ва вертикал бурчакларни битта приёмда ўлчашни ўрта квадратик хатоси аниқланади.

Теодолитни текшириш ишлари ва тадқиқотларини тўғри бажариш ҳақидаги батафсил кўрсатмалар, амалдаги Стандартларда ва меъёрий ҳужжатларда келтирилади.

6.10. Оптик микрометр ренини аниқлаш

Оптик микрометр рени деб, лимб ярим бўлагининг лойиҳа (номинал) қиймати билан уни микрометр билан ўлчанган қиймати орасидаги фарққа айтилади. Рен горизонтал ва вертикал доиралар санок олиш қурилмалари учун алоҳида-алоҳида аниқланади.

Лимбнинг қарама-қарши четларидан келаётган нурлар дастаси микрометрغا турли оптик йўллари босиб ўтиши сабабли санок микроскопининг кўриш майдонидаги доирани юқори ва қуйи тасвирлари учун рен қиймати турли бўлиши мумкин. Горизонтал доира санок системасининг рени, лимб доирасининг диаметрлари хатосини рени ўртача қийматига таъсирини камайтириш мақсадида, доирани тўла айлана бўйича тенг бўлиб турли ўрнатишларда аниқланади. Алидадани ҳар $45^{\circ} + i$ (i -лимб бўлагининг қиймати) дан ўрнатилади.

Тўғри йўл алидадани $0^{\circ}00'$ га қўйиб бошланади, тескариси эса $360^{\circ} - (22 + i)$ га қўйиб бошланади. Т05 теодолитларида вертикал доира санок системасини рени 350° дан то $4^{\circ}10'$ гача (тўғри йўл) ва $7^{\circ}50'$ дан то $353^{\circ}40'$ гача (тескари йўл); ОТ-2М, Т1 теодолитларида $80^{\circ}00'$ дан то $94^{\circ}10'$ (тўғри йўл) ва $97^{\circ}50'$ дан то $83^{\circ}40'$ гача (тескари йўл) оралиқларда аниқланади; вертикал доира ҳар $2^{\circ}10'$ дан ўзгартирилади.

Ўлчаш тартиби қуйидагича, оптик микрометр шкаласида (6.19-шакл) нолга яқин санок ўрнатилади, кейин алидадани қаратгич винти ёрдамида диаметрал қарама-қарши лимб бўлаклари шкаласининг устки ва остки тасвирлари А ва $A+180$ бирлаштирилади (1 чи - ҳолат). Бундай тайёргарликдан кейин оптик микрометр ёрдамида

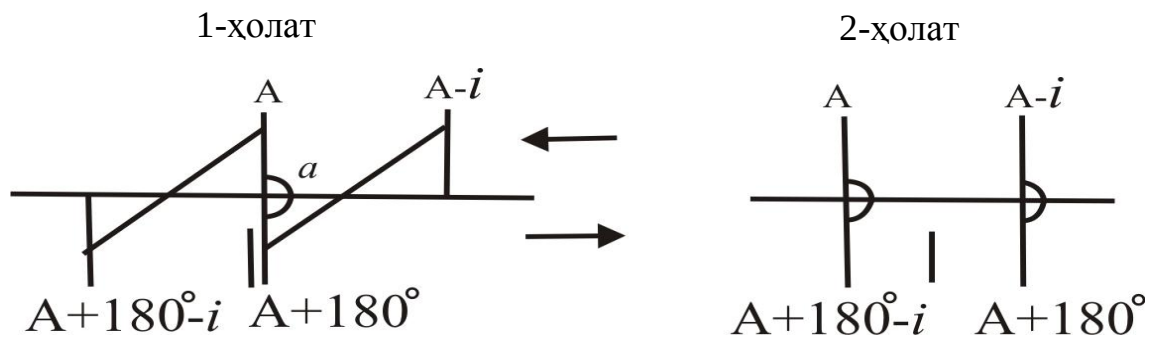
лимб штрихларининг тасвири аниқ бирлаштирилади (икки маротаба кетма-кет) ва икки маротаба саноклар олинади:

A ва $A+180^\circ$ штрихларни бирлаштириб; - a

$A-i$ ва $A+180^\circ$ штрихларни бирлаштириб; - b

A ва $A+180^\circ - i$ штрихларни бирлаштириб - c

бу ерда i - лимб бўлагининг қиймати.



6.19-расм. Оптик микрометр ренини аниқлашда лимб штрихлари таъсирини бирлаштириш схемаси

Таъкидлаш керакки a саноклари микрометр шкаласининг бошидан, b ва c саноклар эса микрометр шкаласининг охиридан (2-хoлат) олинади, бунда b саноғи индексдан ўнг томондаги c санок эса уни чап томондаги штрихларни бирлаштириб олинади. Рен қуйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$r_b = (a - b)\mu + i/2; r_H = (a - c)\mu + i/2; r = (r_b + r_H)/2, \quad (6.15)$$

бу ерда a, b, c - микрометр шкаласидан саноклар, бўлакларда; μ - микрометр шкаласининг бўлак қиймати, i - лимб бўлагининг қиймати.

Реннинг ўртача қиймати $r = (r_b + r_H)/2$ ва улар фарқи $\Delta r = r_b - r_H$ юқори аниқликдаги теодолитларда $0,5''$ дан ошмаслиги керак. $r > 0,5''$ ва $\Delta r \leq 0,5''$ бўлганда пунктда ўлчанган йўналишлар ва зенит масофаларга рен учун қуйидаги формуладан ҳисобланадиган тузатмалар киритилади

$$\delta r = \frac{2c}{i} r, \quad (6.16)$$

бу ерда микрометрдан санок s ва лимб бўлак қиймати i минутларда ифодаланади. $r > 0.5''$ ва $\Delta r \geq 0.5''$ бўлса санок олиш системасини, уни 9 ва 10 оптик компонентлари орасидаги масофани (6.14-шаклга қаранг) ўзгартиб сошлаш керак бўлади.

Ренни аниқлаш ўрта квадратик хатоси m_r ва лимб штрихлари тасвирини бир маротаба бирлаштириш ўрта квадратик хатоси $m_{\text{бир}}$ қуйидаги формулалардан ҳисобланади

$$m_r = \sqrt{\frac{3 \sum d^2}{4nk}}; \quad (6.17)$$

$$m_{\text{бир}} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}, \quad (6.18)$$

бу ерда $d = A - A'$ – алидадани k маротаба ўрнатишлардаги штрихларни биринчи ва иккинчи бирлаштришда олинган саноклар айирмаси; n - шу айирмаларнинг сони; бу ерда кўриб ўтилган ренни аниқлаш услубида $k=16$, $n=48$. Юқори аниқликдаги теодолит горизонтал доираси учун m_r ва $m_{\text{бир}}$ хатолар қиймати тегишлича $0,1''$ ва $0,3''$ дан ошмаслиги керак. Вертикал доира учун бу қийматлар иккига оширилади.

6.11. Оптик микрометр шкаласининг хатолари

Микрометр шкаласининг хатолари. Микрометр шкаласини бўлакларга бўлишда штрихларни тушириш хатолари иложсиз содир бўлади. Бу хатолар аниқланиши ва зарурият бўлса юқори аниқликда ўлчашларда тузатмалар киритиш билан ҳисобга олиниши керак. Ушбу масалани кўриб чиқишда микрометр рени текширилиб созланган деб ҳисоблаймиз.

Коллиматор ёрдамида ҳар бири лимб ярим бўлаги $i/2$ да m маротаба жойлашиши зарур бўлган учта назорат бурчаклар β_1 , β_2 ва β_3 кетма-кет белгиланади. Бунда қуйидаги тенгликни бажарилиш шарти қўйилади

$m_1\beta_1=m_2\beta_2= m_3\beta_3=i/2.$

Одатда $m_3=2$ деб олинади. Агар $i=10'$ бўлса куйидагиларни оламиз

Тадқиқ лимбнинг турли ўрнатишларида, айланаси бўйича тенг тақсимлаб бажарилади. Ҳар бир β бурчак уни қиймати қолдиқсиз бўлинадиган микрометр шкаласининг ҳамма ораликларида ўлчанади. Бурчак ни ўлчашда ҳар бир кейинги ўрнатишда бошланғич бўлиб, ундан олдинги ўрнатишда охириги бўлган штрих хизмат қилади.

[illegible]

δ_i -шкалани қайси бўлаклари орасида β бурчаги ўлчанган бўлса, шу бўлаклар учун тенглашдан олинган тузатмалар ($i = 1, 2, \dots, m$), бунда $\delta_0 = \delta_n = 0$;

**Ясси паралел пластинкали оптик микрометри фойдасиз
(мертвый) йўли**

Фойдасиз йўл ОТ-02 типдаги теодолитларни оптик микрометрига хос. Уни алидада ва микрометр шкаласини турли

ўрнатишларда аниқланади. Аладада ва микрометрни ҳар бир ўрнатишда лимб қарама-қарши штрихларнинг тасвири икки маротаба бирлаштирилади. Микрометр каллаги соат йўли бўйича бураб I-бирлаштириш ва соат йўлига қарши бураб II-бирлаштириш амалга оширилади. Кейин айирмалар $d=I-II$ ҳисобланади, улар қиймати фойдасиз йўл катталигини тавсифлайди. Ҳар бир айирма қиймати $d \leq \pm 1''$ шартини қаноатлантириши керак. Лимбдан олинадиган санокқа микрометрни фойдасиз йўли таъсирини пасайтириш учун лимб штрихлари тасвирини бирлаштиришда микрометр каллаги ҳаракатини ҳар доим ичкарига қараб, соат йўли бўйича бураш билан якунлаш керак.

6.12. Алидада ва лимб эксцентриситетини аниқлаш

Теодолитни геометрик чизмасига асосан алидада айланиш ўқининг

лимб текислигига проекцияси O , горизонтал доира 1 айланиш маркази O_1 ва лимб 2 бўлаклари халқасининг маркази K (6.20-расм) устма-уст тушиши керак. Теодолитни марказлашда хатолик рўй бериши табиий, лекин унинг қиймати белгиланган миқдордан ошмаслиги керак. Алидада эксцентриситети деганда алидадани айланиш маркази O ни лимб бўлаклари халқасининг маркази K билан устма-уст тушмаслигига, лимб эксцентриситети деганда эса лимб айланиш маркази O_1 ни унинг бўлаклари халқаси маркази K билан устма-уст тушмаслигига тушинилади. Алидада эксцентриситети чизик элементи $e = KO$ ва бурчак P (6.21–шакл), лимбнинг нол штрихига нисбатан чизикли элементни ориентирлайдиган бурчак, билан тавсифланади. Лимб эксцентриситети айнан шундай элементлар: $e_1 = KO_1$ ва бурчак P_1 билан тавсифланади.

Алидада эксцентриситети элементларини ва уни тўғри айланишини аниқлаш.

K лимб бўлаклари халқасининг маркази (6.21-шакл); O - алидада айланиш ўқи; j –оптик микрометрни санок индекси;

d - индексни ҳисобланган силжиши бурчаги; e ва p - алидада эксцентриситети элементлари; A ва B – лимб қарама-қарши

A diagram of a two-layered ring structure. The inner ring is divided into segments, with one segment labeled 0_1 . The outer ring is labeled 1 . A dashed line from the center to the left is labeled 0^0 . Inside the ring, a point K is marked. Lines from K to the inner ring are labeled e and e_1 . Lines from K to the outer ring are labeled p and p_1 . An angle at K is labeled θ .

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_A &= \mathbf{M}'_A + \mathbf{x}, \\ \mathbf{M}_B &= \mathbf{M}'_B + \mathbf{x}. \end{aligned} \quad (6.21)$$

Буларга кўра ёзиш мумкин

$$t = \frac{1}{2}(M_A + M_B) = \frac{1}{2}(M'_A + M'_B),$$

$$t' = \frac{1}{2}(M_A + M_B) + x + d. \quad (6.22)$$

Пастдаги тенгламадан юқорисидаги тенгламани айирамиз. $v=t'-t$ айирма δ тасодифий хато - билан аниқланишини ҳисобга олиб, топамиз

$$\delta = x + d - \vartheta, \quad (6.23)$$

бу ерда x ва d – номаълумлар; ϑ - озод ҳад.

16.21-шаклдаги OKA' учбурчакда $OK=e$; $KA'=r$; бу ерда r – лимб бўлаклари халқасининг радиуси;

K нуқтасидаги бурчак $M'_A=P$ га тенг, A' нуқтасидаги бурчак эса x бурчагига тенг, чунки эксцентриситет лимбнинг кўринаётган штрихларини паралел кўчишини (силжишини) келтириб чиқаради. Ушбу учбурчак ечиб ёзамиз

$$\frac{e}{r} = \frac{\sin x}{\sin[180^\circ - (M'_A - P + x)]} \cong \frac{\sin x}{\sin(M'_A - P)}, \quad (6.24)$$

Бурчак x кичик бўлгани учун ($x < 1'$) юқоридаги ифодадан етарли аниқликда топамиз

$$x = \frac{e}{r} \rho \sin(M'_A - P) = \varepsilon \sin(M'_A - P), \quad (6.25)$$

бу ерда $\frac{e}{r} \rho = \varepsilon$ алидадани бурчак эксцентриситети дейилади; $\rho = 206265''$.

қуйидагиларни ҳисобга олиб $\sin(M'_A - P) = \sin M'_A \cos P - \cos M'_A \sin P$ (6.26)

ва қуйидаги белгиларни киритиб

$$y = \varepsilon \cos P; z = \varepsilon \sin P, \quad (6.27)$$

тузатмалар тенгламасини қуйидаги якуний кўринишда ёзамиз

$$\delta = y \sin M'_A - z \cos M'_A + d - \vartheta \quad (6.28)$$

Тенгламадаги озод ҳад ϑ алидадани ҳар бир M'_A берилган ўрнатиш учун олинган тўртта қийматлардан, иккита тўғри ва иккита

тескари йўлларда, ўртачаси олиниб топилади. Бу эса ϑ қийматларидан алидада ўқини айланишидаги тебранишдан келиб чиқадиган хатоликларни тўла йўқотиш имконини беради, бу эса жуда муҳим. Тузатмалар тенгламаларининг сони бутун айлана бўйича алидадани қўйиш сони n га тенг.

Тузатмалар тенгламаларидан нормал тенгламалар системасига ўтилади, уларни ечиб номаълумлар δ аниқланади

$$\begin{aligned} y &= \frac{2[\vartheta \sin M_A]}{n}; \\ z &= \frac{-2[\vartheta \cos M_A]}{n}; \\ d &= \frac{1}{n} [\vartheta]. \end{aligned} \quad (6.29)$$

Олинган y ва z қийматлардан фойдаланиб топамиз

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} P &= \frac{z}{y} = \frac{\sin P}{\cos P} = \frac{-[\vartheta \cos M_A]}{[\vartheta \sin M_A]} \\ \varepsilon &= \frac{y}{\cos P} = z / \sin P \end{aligned} \quad (6.30)$$

ёки

$$\varepsilon = \frac{2[\vartheta \sin M_A]}{n \cos P} = \frac{-2[\vartheta \cos M_A]}{n \sin P} \quad (6.31)$$

ε ни аниқлаб юқоридаги (6.31) формуладан фойдаланиб алидада эксцентриситетининг чизиқли элементиға ўтилади

$$e = r\varepsilon/\rho \quad (6.32)$$

ε , ρ ва d қийматлардан фойдаланиб алидадани ҳамма ўрнатишлари M_A учун айирмалар $\vartheta = t' - t$ синусоида кўринишидаги силлиқланган қийматлари ҳисобланади:

$$\vartheta = \varepsilon \sin(M_A - P) + d \quad (6.33)$$

Айирмалар $\omega = \vartheta - \bar{\vartheta}$ қийматлари бўйича, яни ϑ ни синусоида $\bar{\vartheta}$ дан фарқлари бўйича алидадани ўз ўқи атрофида тўғри айланиши ҳақида хулоса қилинади. Ҳозирги мавжуд йўриқномаларни талабига асосан $v = t' - t$ қийматларининг ўзгариши $40''$ дан ошмаслиги керак, уларни синусоидадан оғиши, яни $\omega = \vartheta - \bar{\vartheta}$ фарқлар қиймати $10''$ дан ошмаслиги керак.

Бошқача айтганда, агар бараварига қуйидаги иккита шартлар бажарилса алидадани ўз ўқи атрофида айланиши тўғри ҳисобланади

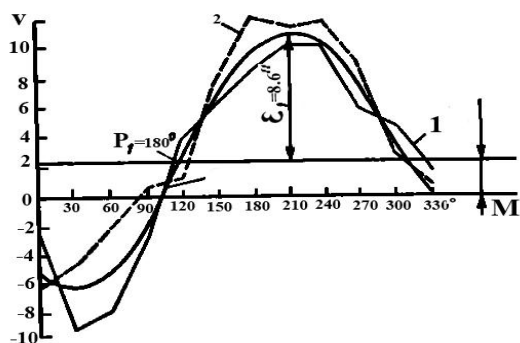
$$\begin{aligned}\omega_{max} &= \bar{\vartheta} - \vartheta_{max} \leq 10'', \\ \vartheta_{max} - \vartheta_{min} &= 2(\varepsilon + \omega_{max}) \leq 40''.\end{aligned}\quad (6.34)$$

Бу шартларни қондирилиши алидадани бурчакли эксцентриситети $10''$ дан ошмаслигини, яъни $\varepsilon \leq 10''$ эканини таъминланишидир.

Алидадани айланиши тўғрилигини қўшимча тадқиқ қилиш труба айланиш ўқидаги адилакни (алидададаги адилакни) кетма-кет икки маротаба орқа томонга айлантириб унинг кўрсатишини ўзгариши бўйича бажарилиши мумкин.

Лимб эксцентриситетини аниқлаш

Алидадани маҳкамланган ҳолатида, тўғри ва тескари йўлларда тўла айлантириб, лимб ҳар 30° дан ўзгартиб ўрнатилади. Лимбнинг ҳар



6.22-шакл. Лимб эксцентриситети элементларини аниқлаш схемаси:

бир ўрнатишда диаметрал қарама-қарши штрихларни бирлаштириб t ва лимб штрихини саноқ индекси билан бирлаштириб t' саноклар олинади.

Шундан кейин айирмалар $\vartheta = t' - t$ ҳисобланади ва улар графикка туширилади (6.22-шакл), графикда симметрия ўқини ўтказиб ϑ қиймати ўзгаришини энг яхши апроксимацияловчи синусоида чизилади. Синусоида параметрлари ε_1 , p_1 ва d қуйидагича аниқланади. Бурчак эксцентриситети ε_1 симметрия ўқидан ҳисобланадиган синусоидани энг катта ординатасига тенг; бурчак P_1 синусоидани симметрия ўқи билан кесишадиган нуқтасида, v қиймати оша бошлайдиган нуқтада, саналади; d қиймати синусоида симметрия ўқини ординатасига тенг. Горизонтал лимб доирасининг бурчак эксцентриситети ε_1 $10''$ дан ошмаслиги керак. Юқори аниқликдаги теодолитларда алидадани бурчак эксцентриситети ε ва

горизонтал доира эксцентриситети ε_1 қўшма қиймати $20''$ дан ошмаслиги керак, яъни $\varepsilon + \varepsilon_1 \leq 20''$

6.13. Теодолит горизонтал ва вертикал ўқларини перпендикуляр эмаслигини аниқлаш

Теодолит горизонтал ва вертикал ўқларини перпендикуляр эмаслигини деярли битта створда (створдан оғиши 1^0 дан ошмайдиган) ва вертикал бурчаклари $\beta_1 \approx +20^0, \beta_0 \approx 0^0, \beta_2 \approx -20^0$ бўлган учта визирлаш нишонларига қараб ўлчанган бурчакларни ишлаб чиқиб топилади. Ўлчашлар дастури 6 та приёмдан ташкил топади. Ҳар бир приёмда вертикал доирани битта ҳолатда ($ДЧ$) трубани учта визирлаш нишонларига: юқоридаги, горизонтдаги ва пастки нишонларга кетма-кет қаратилиб горизонтал доирадан саноклар олинади. Кейин трубани зенит орқали айлантириб ўтказиб ($ДЎ$) тескари кетма-кетликда ўлчашлар бажарилади. Ҳар бир нишон учун i приёмда $c_i = (ДЧ + ДЎ \pm 180^0)/2$ ни ҳисобланади ва 6 та приёмдан тегишли ўртача қийматлар c_1, c_2 ва c_3 топилади. Ҳар бир визир нишонига қараб бир минут аниқликда қиялик бурчаклари β_1, β_0 ва β_2 ўлчанади.

Теодолит ўқларини перпендикуляр эмасли бурчаги i қуйидаги

$$i = \frac{1}{2} \left(\frac{c_1 - c \sec \beta_1}{\operatorname{tg} \beta_1} + \frac{c_2 - c \sec \beta_2}{\operatorname{tg} \beta_2} \right). \quad (6.35)$$

Юқори аниқликдаги теодолитларда бу бурчакни қиймати $5''$ дан ошмаслиги керак. i ни аниқлашни ўрта квадратик хатоси қуйидаги формуладан топилади

$$m_i = m_c \sec \beta_1 \sqrt{1 + \sin^2 \beta_1} \quad (6.36)$$

бу ерда хатолик m_c қуйидагига тенг

$$m_c = \sqrt{\frac{\sum \vartheta^2}{3n(n-1)}} \quad (6.37)$$

Ушбу ҳолатда ϑ_i - учта нишонидан ҳар бири учун алоҳида топилган $C = (Dr - D\check{y} \pm 180^0)/2$ приёмларда c_i қийматларини тегишли n та приёмлар ўртачасидан оғишлари. Юқори аниқликдаги

теодолитларда ўқларни перпендикуляр эмаслигини аниқлашни m_i хатоси $0,5''$ дан ошмаслиги керак.

6.14. Лимб диаметрининг тўла хатосини аниқлаш

Лимбга бўлакларни автоматик бўлувчи машина ёрдамида дақиқасига 3-4 та штрих тезлигида тушурилади. Бунда иложсиз келиб чиқадиган хатоликларни сабаби қуйидагилар ҳисобланади: машинани этолон шестерняларини хатолари; машинани созлаш ва уни ишлашидаги камчиликлари; машинани айланиш ўқиға лимбни ўрнатиш хатоси; хароратни ўзгариши; машина асосини вибрацияси (ишлаш жараёнида) ва бошқалар.

φ штрихни амалдаги ўрни бўлиши δ_φ қийматга фарқ қилади. Иккита диаметрал қарама-қарши штрихлар φ ва $\varphi+180^\circ$ хатоларини арифметик ўртачасига φ диаметр хатоси x_φ дейилади, яъни

$$x_\varphi = \frac{1}{2}(\delta_\varphi + \delta_{\varphi+180}). \quad (6.38)$$

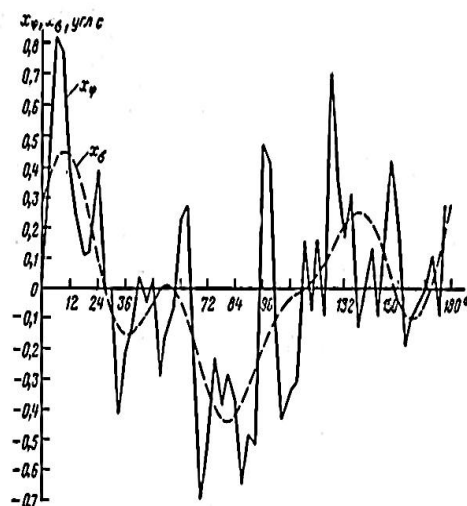
Бурчакларни ўлчашда ҳар доим лимб диаметри фойдаланилади, чунки саноклар лимбнинг қарама-қарши штрихлари бўйича олинади.

Лимб нол штрихининг хатоси ($\varphi=0$) нолга тенг деб, қабул қилинади ($\delta_{\varphi_0}=0$). Нол диаметрининг хатоси нолдан фарқ қилади ($x_{\varphi_0} \neq 0$), чунки диаметрал қарама-қарши штрих $\varphi+180$ ни тушириш хатоси умумий ҳолда нолга тенг бўлмайди.

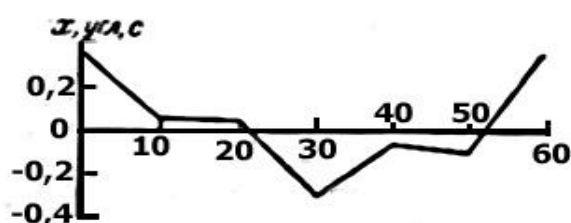
Диаметр φ тўла хатоси x_φ ни уни систематик x_σ ва эҳтимолий x_η ташкил этувчилари йиғиндисидан иборат деб ҳисоблаш мумкин, яъни

$$x_\varphi = x_\sigma + x_\eta. \quad (6.39)$$

Тадқиқотлардан x_φ ва x_σ қийматларини аниқлаб эҳтимолий хатоларини қуйидаги айирма сифатида топилади $x_\eta = x_\varphi - x_\sigma$.



6.23-шакл. T05 теодолити диаметрларининг x_σ тўла ва x_ϕ



6.24-шакл. T05 теодолити диаметрларининг қисқадаврли (ичкиградусли) хатолари

Диаметрал хатолар узун даврий, лимбнинг бутун айланаси бўйича ўзгарадиган (6.23-шакл) ва калта даврий (6.24-шакл), ҳар бир градусли бўлак чегарасида ўзгарадиган, хатоларга бўлинади. Ҳозирги юқори аниқликдаги теодолитларда ҳар бир диаметрни x_ϕ тўла хатолари $\pm (1-2'')$ гача йўл қўйилади. Бу хатоларни амалдаги қиймати кўрсатилган чекдан бир мунча кичик бўлади.

Ҳар бир серия ичида β бурчакни ўлчашда лимбни $m = 180^\circ/\beta$ ўрнатиб, уни ҳар оралиғида ўрни β бурчакка алмаштириб ўрнатилади.

Лимб диаметрининг хатоси бурчакларини ўлчаш натижаларига бевосита таъсир этади, шунинг учун лимб синчиклаб тадқиқ қилиниб уни юқори аниқликда бурчак ўлчашга яроқли экани аниқланади. Бу иш махсус қабул қилинган стандарт талаблари асосида амалга оширилади. У қуйидаги усуллардан хоҳлаганини қўллаш имконини беради: яқинлашиш усули, тескари матрица усули, Елисеев усули ва ўзгартирилган Вильд усули. Лимб диаметрларининг сони жуда

кўплиги (лимб бўлагининг қиймати 10' бўлганда уларнинг сони 1080 тага тенг) сабабли тадқиқотлардан уларни ҳаммасини эмас балким ҳар 1° ёки 3° га қолдиқсиз бўлинадиган диаметрларининг хатолари аниқланади. Лимб диаметрлари хатоликларини аниқлашни юқорида келтирилган ҳар бир усул асосида маълум дастур бўйича учта назорат бурчаклари β_1, β_2 ва β_3 ни кетма-кет ўлчаб чиқиш ётади. Назорат бурчакларини, одатда, 2 та коллиматорлар ёрдамида берилади, улар ўрнига бошқа мосламалар ҳам ишлатилиши мумкин. Назорат бурчакни ҳар бирига қўйиладиган асосий талаблардан бири, унинг қиймати берилган дастур бўйича бажариладиган кузатишлар давомида ўзгармас қолиши керак ($0,01''$ аниқликгача). Ҳар бир назорат бурчаги β алоҳида серияларда лимбнинг турли ўрнатишларида ўлчанади. Сериялар сони $n = \beta / \Delta\varphi$, бу ерда $\Delta\varphi = 3^\circ$ - диаметрлар хатосини тадқиқ қилиш интервали. Ҳар бир серия ичида β бурчакни ўлчашда лимбни $m = 180^\circ / \beta$ ўрнатилиб, уни ораликда ўрни β бурчакни алмаштириб ўрнатилади. Сериялар номерларини $i = 1, 2, \dots, n$ орқали, ҳар бир серия ичидаги лимбни ўрнатиш номерини $k = 1, 2, \dots, m$ билан белгилаймиз. Шунда лимбни i номерли серияда бошланғич ўрнатиш қиймати φ_i қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин

$$\varphi_i = (i - 1)\Delta\varphi, \quad (6.40)$$

k номерли i -сериядаги лимбни кейинги ўрнатиш φ_{ik} қуйидагича ҳисобланиши мумкин

$$\varphi_{ik} = \varphi_i + (k - 1)\beta. \quad (6.41)$$

Лимбни ҳар бир ўрнатишда φ_{ik} бурчак β иккита приёмда ўлчанади ва натижалардан ўртачаси олинади. Ҳар бир i - серияда ўлчанган бурчакни m қийматларидан ўртачаси $\bar{\beta}_i = \sum \beta / m$ ҳисобланади, кейин ўртача $\bar{\beta}_i$ дан ҳар бир қийматни β_{ik} фарқи топилади, яъни тузатмалар тенгламаларининг озод ҳадлари сифатида қабул қилинадиган айирмалар $\ell_{jk} = \beta_{ik} - \bar{\beta}_i$ ҳисобланади. Бу тенгламалар ҳар бир серияда лимбни m ўрнатишларда назорат

бурчакни ўлчаш натижалари бўйича тузилади ва улар қуйидаги кўринишда бўлади

$$\begin{aligned}\delta_1 &= x_1 - x_0 + \ell_1; \\ \delta_2 &= x_2 - x_1 + \ell_2; \\ \delta_3 &= x_3 - x_2 + \ell_3; \\ &\dots\dots\dots \\ \delta_k &= x_0 - x_m + \ell_m;\end{aligned}\tag{6.42}$$

бу ерда $x_1, x_2, \dots, x_m - 1, 2, \dots, m$ номерли диаметрлар қийматларига тузатмалар.

Ҳамма серияларда ўлчанган назорат бурчакларни ўлчаш натижаларидан фойдаланиб бундай тузатмалар тенгламалари $\beta_1 = 36^\circ, \beta_2 = 45^\circ$ ва $\beta_3 = 60^\circ$ бурчакларнинг ҳар бири учун тузилади. Бунда диаметрлар ва тузатмалар номери x_j лимб учун умумий. Тузатмалар тенгламаларининг умумий сони 180 га, диаметрларни аниқладиган тузатмалари 60 тага тенг бўлади.

Бутун айлана чегараси бўйлаб лимбни тенг қийматларда ўрнатиб чиқишда диаметрлар тузатмаларининг йиғиндиси нолга тенг бўлади ($\sum x_i = 0$). Шу сабабли тенгламаларни биргаликда ечишда қийинчилик пайдо бўлади. Лимб диаметрлари тузатмаларининг ҳисоблашни энг оддий ва қатъий усули С.В.Елисеев усули бўлиб, у тайёр формулалар ёрдамида амалга оширилади. Тузатмаларни ҳисоблаш аниқлиги 0,1" ўрта квадратик хато билан тавсифланади.

7-боб. Юқори аниқликда бурчакларни ўлчашда хатолар манбаи ва уларнинг таъсирини камайтириш усуллари

7.1. Юқори аниқликда бурчакларни ўлчашдаги хатоларнинг турлари

Бурчак ўлчаш хатоларининг келиб чиқиш шароитига қараб учта катта гуруҳларга бўлинади: шахсий хато, асбоб хатолари ва ташқи муҳит таъсиридан келиб чиқадиган хатолар. Бундан ташқари хатолар систематик ва тасодифий турларга бўлинади. Юқори аниқликдаги бурчак ўлчашларда энг қийин йўқотиладиган хато бу систематик хатолар ҳисобланади, шунга кўра уларни жуда синчиклаб ўрганилиши керакки, натижада ўлчашни махсус усулларини қўллаб ёки натижаларга тегишли тузатмалар киритиб бу хатолар таъсирини камайтириш мумкин бўлсин. Тасодифий хатолар таъсирини ўлчаш приёмларни кўпайтириши йўли билан камайтирилади. Лекин иқтисодий нуқтаи назардан приёмлар сони маълум чегарадан ошмаслиги керак.

Ўлчашларни шахсий хатоси асбоб-кузатувчи ўлчаш системасини мукамал эмаслигидан келиб чиқади. Шахсий хатоларга қараш нишонига трубаи визирлашни тасодифий ва систематик хатоларини кўрсатиш мумкин: теодолит доирасидан санок олишда лимб бўлаклари тасвирини бирлаштиришни тасодифий хатоси; лимб штрихларини ёритилиши шароитидан лимбдан олинган саноклардаги систематик хатолар; оптик микрометрни шкаласидан санокларни тасодифий хатолари.

Асбоб хатолари теодолитни айрим қисми ёки узелини тайёрлашдаги хатолар туфайли келиб чиқади. Асбоб хатолари қаторига қараш трубаи окуляр микрометрини бўлаги амалдаги қийматлари фарқидан келиб чиқадиган хатолар; қараш трубаи фокусловчи линзаси йўлини хатоси; лимб ва алидада эксцентриситети; лимб диаметрлари хатоси; трубаи коллимация хатоси; теодолит горизонтал ва вертикал ўқларини оғишидан келиб чиқадиган хатолар; лимбни қиялиги хатолари; кўтаргич винтлар люфтидан келиб чиқадиган хатолар ва к.к.

Ҳар бир теодолит амалдаги Стандартларда белгиланган текшириш ва тадқиқларни даврий ўтиб туради. Пунктда кузатишларни бошлашдан олдин теодолитни зарурий текширишлари ва созлаши бажарилади. Бурчакларни ўлчаш аниқлиги қанча юқори талаб қилинса, шунча асбоб хатолари синчиклаб ва тўла ўрганилиши ва ҳисобга олиниши керак бўлади.

Кичик систематик хатолар аста-секин йиғилиб бориш хусусиятига эга ва уларни йиғма таъсирига эътибор бермаслик мумкин эмас. Шунинг учун барча турлардаги асбоб хатолари таъсирини камайитириш барча чора тадбирларни кўриш зарур.

Юқори аниқликдаги теодолит динамик жуда сезгир ўлчаш асбоби бўлиб, кўп факторларга, шу жумладан теодолитни алоҳида узеллари ишга таъсир этувчи механик факторларга, ярим приёмларда алидадани айланиш йўналишига ва ҳ.к., ҳамда пунктда ўлчаш шароитларини ўзгариши билан боғлиқ физик факторлар, масалан ҳаво хароратини кўтарилиши ёки пасайиши ва ҳ.к.ларга боғлиқ.

Ҳозирги замон юқори аниқликдаги теодолитлардан фойдаланишда бурчак ўлчашда систематик хатоларни энг сезиларли манбаи, бу ташқи муҳит таъсири, биринчи навбатда рефракция ҳисобланади. Агар унинг таъсирига қараши самарали чоралар кўрилмаса у бурчак ўлчаш аниқлигини янада оширишни чегаралаб қўяди. Бу гуруҳга сигналларни бурилиши ва букланиши хатолари ҳам киради.

Юқорида келтирилган систематик хатолар рўйхатидан кўринишича, йўналишлар, горизонтал бурчаклар, азимутлар ва зенит масофаларни атмосферани реал шароитида пунктлар орасидаги катта масофаларда (бир неча ўн километргача) аниқ ўлчаш анча мураккаб муаммо ҳисобланади. Шунинг учун ҳар бир юқори квалификацияли геодезия мутахассиси бурчакларни ўлчашдаги хатолар турли манбааларини яхши ўрганиши ва уларни салбий таъсирига қарши чора-тадбирлар кўра билиши керак. Фақат шундагина энг юқори аниқликдаги натижаларни олиш мумкин бўлади.

7.2. Визирлашни систематик хатолари

Ҳозирги замон бурчак ўлчаш усуллари кўллашда тасодифий хатоларни, шу жумладан шахсий хатоларни, 1 ва 2 класс геодезик тармоқларда ўлчашларга таъсири нисбатан кичик [8]. Булардан энг сезиларлиси кузатувчига хос систематик хатолик билан труба иплар тўри биссекторини нишонга (мўлжалга) қаратишда келиб чиқадиган визирлаш систематик хатоси ҳисобланади. Бу хатолар мўлжални контрастлиги ва фонни пасайиши билан ортиб боради. Профессор Ф.Н. Красовскийни баҳолашича визирлаш цилиндрига труба окуляр микрометрининг биссекторини қаратиш систематик хатоси $u/18$ қийматини ташкил қилиши мумкин, бу ерда u -биссекторни бурчак қиймати ($u=30\div 35''$).

Ёруғлиги бир-биридан кескин фарқ қиладиган нишонларга қаратишда, масалан, жой предмети азимутини юлдузларни кузатиш орқали аниқлашда, нуқталар шаклидаги ёруғлик манбаларини кўзни қабул қилиш психофизиологик хусусиятларидан визирлаш систематик хатоси келиб чиқиши мумкин. Астрономларни аниқлашича астрономик кузатишда меридиан орқали юлдузни ўтиши лаҳзасини белгилаш, уни ёруғлик даражасига боғлиқ: юлдуз қанча ёруғ бўлса кузатувчи уни меридиан орқали ўтишини шунча олдин (вақтли) белгилайди. Юлдуз ёруғлигини бешта юлдуз катталигига оширганда айрим кузатувчиларда бу ўтиш илгарилаб қайд этиш $0,05^s$ га етади.

Юқорида келтирилган юлдузларнинг ёруғлиги фарқи ҳамда нуқтали ёруқ нишонларни кузатишдан келиб чиқадиган визирлашни систематик хатоси объектив ҳолатдир. Уларни ўзгариш қонунияти юлдуз ёруғлиги (ёруғлик нишони) ошганда кузатувчига уни азимути ошган бўлиб кўринади ва аксинча, ёруғлиги пасайиши билан меридиандан соат йўли бўйича ўлчанадиган азимути камайиб кўринади. Бу ҳодисани «Юлдузлар ёруғлиги ва нуқтали ёруғлик нишони азимутал тенгламаси» орқали ифодалаб уни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин

$$\delta = k(m - 4,0), \quad (7.1)$$

бу ерда δ - α юлдузга ёки N нуқтали ёруғлик нишонига қараб ўлчанган йўналишга тузатма; k - пропорционаллик коэффициент; m - юлдуз (ёруғлик нишони) ёруғлиги, Гарвард шкаласи бўйича юлдузлар бирлигида ифодаланади. Ушбу тенглама $1 \leq m \leq 4$ бўлганда ишончли; m ни бошқа қийматларида тенглама мураккаброқ шаклга эга бўлади. k коэффициентини юлдузлар учун k_α ва нуқтали ёруғлик нишонлар учун k_N қийматлари ҳар хил бўлиб, уларни ўртача қиймати қуйидагиларга тенг $k_\alpha = 0,10$ ва $k_N = 0,33$ Лаплас пунктларида астрономик азимутларни аниқлашда юлдуз α (одатда қутб юлдузи) билан жой предметининг ёруғлик нишони N орасидаги β бурчаги ўлчанади.

Юлдуз ёруғлиги m_α , ёруғлик нишони равшанлиги эса m_N бўлсин, шунда ўлчанган бурчак $\beta = N - \alpha$ учун кузатилаётган нишонлар ёруғлигини фарқи учун тузатма δ_β қуйидагига тенг бўлади

$$\delta_\beta = 0,33m_N - 0,10m_\alpha \quad (7.2)$$

Агар $m_N = 4$ ва $m_\alpha = 2,1$ (қутб юлдузи) бўлса юқоридаги формуладан топамиз $\delta_\beta = +1,11''$. Юқори аниқликда бурчак ўлчашда ва азимутларни аниқлашда бундай катта тузатмаларни ҳисобга олмасдан бўлмайди. Лекин амалда бу тузатмалар ҳалигача ҳисобга олинмай келинади.

Иккита юлдузлар 1 ва 2 ёки нуқтали ёруғлик нишонлари орасидаги горизонтал бурчакни $\beta = 2 - 1$ ўлчашда, улар ёруғликларнинг фарқи m_1 ва m_2 учун тузатма қуйидагича ҳисобланади

$$\delta_\beta = k(m_2 - m_1). \quad (7.3)$$

Агар $m_1 = m_2$ бўлса $\delta_\beta = 0$ га тенгдир.

Шундай қилиб ёруғлиги турли юлдузлар ва нуқтали ёруғлик нишонларини кузатишда систематик хатолар таъсирини камайтириш учун уларнинг ёруғлиги фарқини бирор бир йўл билан (масалан, ёруғлик филтрини ишлатиб) тенглаштириш керак бўлади.

7.3. Юқори аниқликда бурчак ўлчашда асбоб хатолари

Фараз қилайлик пунктда бурчак ўлчашдан олдин теодолит синчиклаб текширилган, созланган ва унга қўйилган техник

талабларга тўла жавоб беради. Шунга қарамай 7.1 да кўрсатиб ўтилган асбоб хатолари бурчак ўлчашда тўла йўқотилган бўлмайди, демак улар таъсирини камайтириш керак бўлади. Давлат геодезик тармоқларида пунктлар орасидаги масофалар ҳар доим 1 км дан катта бўлади, шунинг учун ҳар бир пунктда труба чексиз фокусланиб бутун кузатишлар давомида у ўзгартирилмайди (уни приёмлар орасида ўзгартишга йўл қўйилади). Бу ҳолатда фокуслаш линзасини нотўғри юриши бурчак ўлчаш натижаларига таъсир этмайди. Лимб ва алидада эксцентриситети лимбни диаметрал қарама-қарши штрихлари бўйича санок олиш йўли билан йўқотилади. Агарда микрометр рени йўл қўярли чекидан ошса ўлчаш натижаларига тегишли тузатмалар киритилади. Шунга ўхшаш амал микрометр шкаласи бўлакларининг хатосига нисбатан ҳам бажарилади.

Труба окуляр микрометри бўлак қийматини аниқлаш хатоси ($m_\mu = 0,01''$) бурчак ўлчаш натижаларига жиддий таъсир этмаслигини таъминлаш учун окуляр биссекторини визирлаш нишонига қаратилганда окуляр микрометридан санок $\pm 5''$ дан ошмаслиги керак ва нишон турли санокларда навбати билан микрометр нол пунктдан ҳар иккала томонда жойлашиши керак.

7.4. Бурчак ўлчаш натижаларига лимб диаметрлари хатосининг таъсирини камайтириш

Ҳатто ҳозирги замон юқори аниқликлардаги теодолитларда лимб диаметрларининг тўла хатоси X_ϕ кўпинча $\pm 0,7''$ қийматни ташкил қилади (6.24-шакл). Лимб диаметрларининг систематик хатоси X_σ ни Фурье қатори кўринишида ифодалаш мумкин

$$X_\sigma = \sum_{i=1}^{i=k} (a_{2i} \sin 2i\phi + b_{2i} \cos 2i\phi), \quad (7.4)$$

бу ерда a ва b коэффициентлар қуйидаги формулалардан аниқланади

$$a_{2i} = \frac{2}{n} \left[x_{\phi i} \sin 2i\phi \right]_{\phi=0}^n;$$

$$b_{2i} = \frac{2}{n} \left[x_{\varphi i} \cos 2i\varphi \right]_{\varphi=0}^n. \quad (7.5)$$

Ушбу ҳолатда x_{φ} тадқиқлардан олинган лимб диаметрларини тўла хатолари;

i - диаметр $\varphi(i=1,2,n)$ тўла хатосини тартиб номери; $2i$ -Фурье қатор коэффицентининг тартиб номери ($2i=2,4,6, \dots, k$);

n - лимб диаметрларининг тўла хатолари сони .

Айрим диаметрларни қуйидагига тенг тасодифий хатолари X_{η}

$$X_{\eta} = X_{\varphi} - X_{\sigma} \quad (7.6)$$

баъзи вақтларда систематик хато X_{σ} қийматига етиб боради.

Лимб диаметрларининг систематик хатоларини (узун ва қисқа даврий хатолар) тўлароқ компенсациялаш учун йўналишлар ва бурчакларни ўлчашда лимб доираси приёмлар орасида $\delta = (180^\circ / m) + i$ бурчакка ўзгартиб борилади, бу ерда m приёмлар сони; i - лимб кичик бўлагининг қиймати. Хатоларни компенсациялаш ўлчаш приёмлари сони қанча кўп бўлса шунча тўлароқ бўлади.

Ўлчаш приёмлари, сони нисбатан кўп бўлганда нафақат систематик хатолар, балким тасодифий хатолар ҳам етарлича тўла компенсацияланади, демак лимб диаметрларининг тўла хатолари ҳам.

Ҳозирги замон теодолитлари лимб диаметрларининг тўла хатоси ўлчашлардаги приёмлар сони 12 та бўлганда одатда $0,10 - 0,15''$ дан ошмайди. Амалий ишлар натижаларини кўрсатишича кўпгина масалаларни мувоффақиятли ечиш учун лимб диаметрлари хатосининг таъсири ҳар бир приёмда ўлчанган йўналиш учун $0,3''$ дан ошмаслиги керак.

7.5. Қараш трубаси коллимация хатосининг таъсири

Коллимация хатоси деганда трубанинг визир ўқи ва теодолит катта доираси текислигининг орасида ҳосил бўладиган кичик s бурчак тушунилади. Коллимация хатосини вертикал доирани битта ҳолатида (ДЎ ёки ДЧ) ўлчаганда йўналишга таъсири қуйидаги формулалар билан ифодаланади

$$N = D\ddot{Y} + \frac{c}{\sin z};$$

$$N \pm 180^\circ = D\check{C} - \frac{c}{\sin z}, \quad (7.7)$$

бу ерда N - йўналишнинг ҳақиқий қиймати; $D\ddot{Y}$ ва $D\check{C}$ йўналишни ўлчанган қийматлари; z - визир нишонининг зенит масофаси. A ва B нуқталар орасидаги бурчакни вертикал доирани битта ҳолатида ўлчанган қийматига ушбу коллимация хатосининг таъсири қуйидагиларга тенг

$$N_B - N_A = D\ddot{Y}_B - D\ddot{Y}_A + c\left(\frac{1}{\sin z_B} - \frac{1}{\sin z_A}\right);$$

$$N_B - N_A = D\check{C}_B - D\check{C}_A - c\left(\frac{1}{\sin z_B} - \frac{1}{\sin z_A}\right). \quad (7.8)$$

Йўналишни вертикал доирани ҳар иккала ҳолатида ўлчаб лимб бўйича ўртача санокни оламиз

$$N = \frac{1}{2}(D\ddot{Y} + D\check{C} \pm 180^\circ), \quad (7.9)$$

Бу санок коллимация хатосининг таъсиридан ҳоли бўлади. Бундан айтиш мумкинки йўналишлар ҳар доим вертикал доирани икки ҳолатида ўлчаниб натижалардан ўртачаси олиниши керак.

Коллимация хатоси қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$N = \frac{1}{2}(D\ddot{Y} - D\check{C} \pm 180^\circ)\sin z \quad (7.10)$$

Коллимация хатоси $c \leq 10''$ шартни қаноатлантириши талаб қилинади.

7.6. Қараш трубаси горизонтал айланиш ўқи қиялигининг таъсири

Фараз қилайлик трубанинг горизонтал айланиш ўқи уфқга кичик i бурчакка қиялашган (труба подставкалари ва цапфалари диаметрини тенг эмаслигидан), теодолитни вертикал ўқи қатъий тик, бошқа асбоб хатолари йўқ бўлсин. Теодолит билан ўлчанган йўналишга труба горизонтал айланиш ўқининг қиялиги таъсирини кўриб чиқамиз.

Фараз қиламиз теодолит кузатилаётган предмет M (7.1-шакл) йўналишга нисбатан труба горизонтал айланиш ўқини чап учи ўнг

учига нисбатан баланд жойлашган. Бу ҳолатда лимбдан ҳақиқий санок N – қуйидагига тенг бўлади

$$N = N_1 + x \quad (7.11)$$

бу ерда N_1 – труба ўқини қия ҳолатидаги санок; x – труба ўқининг қиялиги учун тузатма. x бурчагини кичик тўғри бурчакли сферик учбурчак m z_1 z (7.2-шакл) дан аниқлаймиз. Сферик тригонометрияни маълум формуласига асосан ёзамиз

$$\cos(90^\circ - x) = \operatorname{ctg}(90^\circ - i) \operatorname{ctg} z$$

ёки

$$\sin x = \operatorname{tgi} \cdot \operatorname{ctg} z.$$

x ва i бурчаклари кичик, шунинг учун ёзиш мумкин

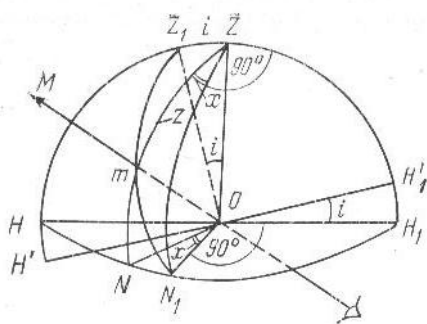
$$x = i \cdot \operatorname{ctg} z. \quad (7.12)$$

Трубани зенит орқали ўтказиб уни яна ўша M предметга қаратилганда, тузатмани ишораси тескарига ўзгаради, чунки труба ўқининг чап учи ўнг учидан пастда бўлади. Кузатишлар $D\check{Y}$ ва $DЧ$ ҳолатларида бажарилган бўлсин (7.1-шакл). Бунда қуйидагиларни оламиз

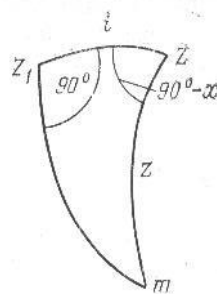
$$N = D\check{Y} + i \cdot \operatorname{ctg} z;$$

$$N \pm 180^\circ = DЧ - i \cdot \operatorname{ctg} z;$$

$$N = \frac{1}{2} (D\check{Y} + DЧ \pm 180^\circ). \quad (7.13)$$



7.1-шакл. Трубани айланиш горизонтал ўқининг қиялиги туфайли лимб бўйича санокдаги хатолик



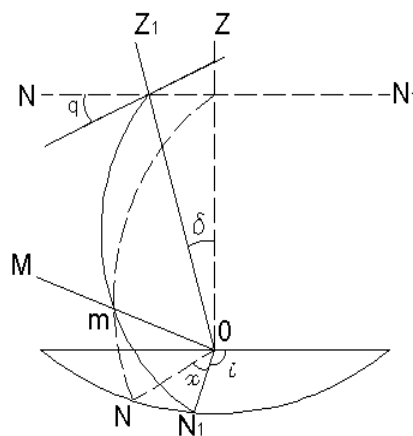
7.2-шакл. Сферик учбурчак

Бундан келиб чиқадики трубанинг горизонтал айланиш ўқини теодолит вертикал айланиш ўқига перпендикуляр эмаслиги ва цапфалар диаметрларини ўзаро тенг эмаслиги таъсиридан келиб

чиқадиган хатоларни йўқотиш учун йўналишларни трубани ҳар иккала ҳолатларида (ДЎ ва ДЧ) ўлчаб олинган натижалардан арифметик ўртасини чиқариш керак бўлади.

7.7. Теодолитни вертикал ўқи ва лимби қиялигининг таъсири

Теодолит вертикал ўқи қиялигининг таъсири. Фараз қиламиз асбоб хатолари бўлмасин, теодолитни вертикал ўқи пунктда унча аниқ ўрнатилмаган бўлиб, вертикал ҳолатдан кичик δ қийматга оғган бўлсин. Бу ҳолда горизонтал доиранинг лимби ҳам δ бурчакка оғган бўлади. Ушбу хатолар таъсири алоҳида-алоҳида кўриб чиқамиз, чунки бунда жамланган натижалар ўзгармайди ва формулаларнинг исботи анча соддалашади.



7.3-расм. Теодолитнинг вертикал ўқининг қиялиги туфайли лимб бўйича санокдаги хатолик

Лимб доираси горизонтал ҳолатда бўлсин, вертикал ўқ эса δ бурчакка оғган бўлсин (7.3-шакл). Қараш трубасини M предметиға қаратамиз ва ўқ қия OZ , ҳолатидаги катта доира $ON_1 Z_1$ текислигини кўрсатамиз. Бу текислик лимб текислигини ON_1 чизиғи бўйича кесиб ўтади ва лимб бўйича санок $ON_1 Z_1$ мос ҳолда N_1 га тенг бўлади.

Шовун чизиғи OZ ва кузатиладиган предмет M орқали лимб текислигини ON чизиғи бўйича кесиб ўтувчи вертикал текислик $OZ m N$ ни ўтказамиз ва лимбдан O нуктасида теодолит ўқи вертикал ҳолатда бўлганда олинган санокқа тенг N саноғини оламиз.

Вертикал ўқни қиялиги таъсири учун x тузатма билан тузатилган лимб саноғи N қуйидагига тенг

$$N = N_1 + x \quad (7.14)$$

Шовун чизиғи OZ га нисбатан теодолит вертикал ўқи OZ кичик бурчак δ га оғиши ўз навбатида труба айланиш ўқи HH_1 ни кичик бурчак q га оғишига сабаб бўлади, у қуйидагига тенг

$$q = \delta \sin t, \quad (7.15)$$

бу ерда t кичик бурчак δ га оғган теодолит вертикал ўқи OZ жойлашган вертикал текисликка нисбатан трубани ориентирлаш бурчаги.

Труба айланиш ўқини q бурчакка қиялиги учун тузатма x ёки айнан, вертикал ўқни δ бурчакка оғиши учун тузатмани (7.12) формуладан фойдаланиб топамиз унда

$$x = q \operatorname{ctg} z \quad (7.16)$$

Бу хатолик трубани $D\check{Y}$ ва $DЧ$ ҳолатларида кузатиш натижаларидан ўртача қиймат чиқарилганда ҳам бартараф этилмайди, чунки ҳар иккала ҳолатда

($D\check{Y}$ ва $DЧ$) ҳам труба айланиш ўқини чап ($\check{y}$ нг) учи $\check{y}$ нгга (чапга) нисбатан баландда (пастда) жойлашади, шунга кўра тузатма $q \operatorname{ctg} z$ ишораси ўзгармайди.

Теодолит вертикал ўқини қиялиги учун тузатмалар киритиб тузатилган лимбдан олинган саноқлар қуйидагига тенг

$$\begin{aligned} N &= D\check{Y} + q \cdot \operatorname{ctg} z; \\ N \pm 180^\circ &= DЧ + q \cdot \operatorname{ctg} z; \\ N &= \frac{1}{2} (D\check{Y} + DЧ \pm 180^\circ) + q \operatorname{ctg} z \end{aligned} \quad (7.17)$$

q ва t қийматлари номаълум бўлганлиги учун горизонтал ўқ қиялик бурчаги q ни (7.15) формула бўйича ҳисоблашни имкони йўқ. Шунга кўра q бурчаги ҳар бир кузатиладиган йўналиш учун труба айланиш ўқидаги адилак ёки горизонтал доира адилаги ёрдамида аниқланади. Бунда $D\check{Y}$ ва $DЧ$ ярим приёмларда ҳар бир йўналишни кузатишда адилак пуфакчасини чап ($\check{y}$) ва $\check{y}$ нг (y) учлари бўйича шкаладан саноқлар олинади.

Олинган φ ва ψ саноклардан фойдаланиб ҳар бир йўналиш учун труба горизонтал ўқининг адилак ярим бўлакларида ифодаланган қиялиги қуйидаги формуладан топилади

$$b = \frac{1}{2}[i_0(\varphi+\psi) - (\varphi+\psi)_0], \quad (7.18)$$

бу ерда $i_0(\varphi+\psi)$ -теодолит визирлаш нишони йўналишига нисбатан адилак шкаласининг ноли чап томонда жойлашганда пуфакчани чап ва ўнг учларидан санокларнинг йиғиндиси; $(\varphi+\psi)_0$ -ноль ўнг томонда бўлганда (яъни доирани бошқа ҳолатида).

Адилак ярим бўлагининг қиймати $\tau/2$ ни билиб, аниқланиши керак бўлган труба айланиш ўқининг қиялик бурчагини топамиз

$$q = b \frac{\tau}{2}, \quad (7.19)$$

ва у орқали ўлчанган йўналиш учун тузатма x топилади. Теодолит вертикал ўқини қиялиги учун тузатма x визир чизигини қиялиги $\beta = |90^\circ - Z| \geq 1^\circ$ бўлган йўналишлар қийматига киритилади. Масалан, 1 ва 2 йўналишлар орсидagi бурчакни ўлчашда $z_1=92^\circ$ ва $q_1=+5''$; $z_2=88^\circ$ ва $q_2=+4''$; олинган бўлсин. Унда горизонтал бурчакка тузатма қуйидагига тенг бўлади

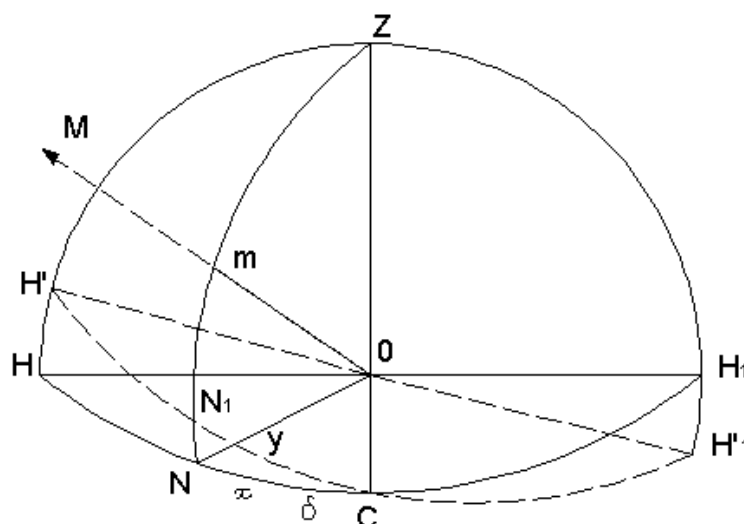
$$x_2 - x_1 = q_2 \operatorname{ctg} z_2 - q_1 \operatorname{ctg} z_1 = +0,31.$$

Бу мисол асосида шундай хулоса қилиш мумкин: теодолит вертикал ўқини ўлчашлар пайтида юқори аниқликда вертикал ҳолатга келтириш зарур ва визирлаш нуруни 1° ва ундан катта бўлган оғишда ўлчанган йўналишларга вертикал ўқини қиялиги учун тузатмалар киритилиши керак.

Лимб қиялигининг таъсири. Фараз қилайлик теодолит вертикал ўқи OZ қатъий вертикал ҳолатда ўрнатилган, лимб эса ушбу нуқта уфқ текислигига нисбатан кичик δ бурчагига қия жойлашган бўлсин. Бошқа ҳамма асбоб хатолари йўқ бўлсин (7.4-шакл). Бу ҳолда трубани битта M предметга лимбни горизонтал ва қия ҳолатларида қаратиб олинган саноклари фарқи $y-x$ бурчакка тенг бўлсин (y ва x бурчаклари лимбнинг горизонтал ва қия ҳолатларини кесишган S нуқтасидан бошлаб ҳисобланади).

Мураккаб бўлмаган ўзгартишлардан кейин оламиз

$$\sin(y-x) = 2\sin^2\frac{\delta}{2}\sin y\cos x.$$

$$y - x = \frac{\delta^2}{4\rho} \sin 2y. \quad (7.20)$$


Агар $\delta = 60''$, $\sin 2y = 1$ деб олсак, унда $y - x = 0,005''$. Демак лимбнинг $1-2''$ га оғиши сезиларли хатоликка олиб келмайди. Лимбни теодолитнинг вертикал ўқиға перпендикуляр қилиб ўрнатиш олдиндан $1-2''$ дан кам бўлган хатолик билан бажарилиши сабабли ҳамма амалий ҳолатларда лимбнинг горизонтал эмаслиги хатосини ҳисобга олмаса бўлади.

7.8. Лагерларда қараш трубаи ўқининг азимутал силжиши, кўтариш винтларнинг люфти, теодолитни ҳарорат ўзгаришидан деформацияси

Лагерларда труба ўқининг азимутал силжиши. Қараш трубаининг қаратгич винти баъзи вақтда кўзга ташланмайдиган носозликлар бўлиши мумкин, бу қаратгич винт ёрдамида трубаи вертикал текисликга қиялаштирганда айланиш ўқини лагерларда азимутал силжишга олиб келади. Шунинг учун дала ўлчаш ишларига чиқишдан олдин труба қаратгич винтини тўғрилигига ишонч ҳосил қилиш керак. Тадқиқ лаборатория шароитида ипли шовун ёки коллиматордан фойдаланиб бажарилади. Теодолит бетон тумбага ўрнатилиб синчиклаб кўздан кечирилади, вертикал ўқи қатъий вертикал ҳолатга келтирилади, трубаи визир ўқи горизонтал ҳолатга, трубаи қаратгич винти эса уни ишчи қисмини ўртасига келтирилади. Алидадани айлантириб труба окуляр микрометри биссекторини шовун ипига қаратиб маҳкамланади. Кейин йўналтирувчи винт ёрдамида трубаи объективи винтни иккита тўла айлантириш билан пастга қаратилади. Шу билан тадқиқ учун винтни тайёрлаш якунланади.

Тадқиқлар соат йўли бўйича винтни иккита тўла айлантириш учун (тўғри йўл) ва соат йўлига қарши уни иккита тўла айлантириш учун (тескари йўл) бажарилади. Тўғри ва тескари йўлларда винтни ҳар чорак айланишда ўрнатилади; ҳар бир ўрнатишда окуляр микрометри биссектори 5 мартадан қаратилади ва улардан ўртачаси чиқарилади. Натижада тўғри йўлда винтни турли ўрнатишда N'_i саноклар тескари йўлда эса ўша ўрнатишларда - N''_i саноклар ($i = 1, 2, \dots, n$). олинади. Ҳар бир i ўрнатиш учун тўғри ва тескари йўллардан ўртача санок $N_i = (N'_i + N''_i) / 2$, кейин фарқлар олинади

$$\Delta N_i = N_{i+1} - N_i,$$

бу фарқлар труба қаратиш винтини ишлашидаги камчиликлар таъсирида труба ўқини лагерларда азимутал силжишини тавсифлайди.

Кўтаргич винтларнинг люфти таъсири. Кўтаргич винтлар йўли керакли тарзда созланмаган бўлса ва уларни жуда ҳам юмшоқ (бўш) айланиши кузатилса йўналишларни ўлчашда винтлар люфтидан (тебранишидан) хатолик келиб чиқиши мумкин. Геодезик пунктда кузатиш ишларини бошлашдан аввал кўтаргич винтларни юриши шундай созлаб олиниши керакки уларни айланиши етарлича қаттиқ бўлсин ва шу билан бирга уларни айлантериш мумкин бўлсин. Кўтаргич винтларнинг люфти ва алидада ўқи билан теодолит таглигига маҳкамланган втулка орасида келиб чиқадиган сийқалишдан ўлчанган бурчак одатда бир мунча камайган бўлади (ε -қийматга); бу биринчи ярим приёмдан бурчак $\alpha = \alpha_1 - \varepsilon_1$ ва иккинчи ярим приёмдан бурчак $\beta = \beta_2 - \varepsilon_2$ лар учун адолатли бўлади.

β - бурчакни 360^0 дан айириб, иккинчи ярим приём ўлчашларидан бурчак қийматини қуйидагича топамиз

$$\alpha = 360^\circ - \beta = \alpha_2 + \varepsilon_2.$$

Бурчакни ўртача қиймати ҳар иккала ярим приёмлардан қуйидагига тенг

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{1}{2}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1),$$

бу қиймат кўтаргич винтлар люфти хатоларидан маълум даражада холи бўлади.

Теодолитни ҳарорат ўзгаришидан деформацияси. Юқори аниқликдаги теодолит жуда сезгир ўлчаш системаси бўлиб, иш шароитини ўзгариши, айниқса ҳароратни ўзгаришига сезгирлик билдиради. Теодолитнинг металл ва оптик қисмларининг кенгайиш коэффициенти турли бўлганлиги учун теодолитнинг турли узелларида турли кучланишлар ва деформациялар пайдо болади. Бу деформациялар нисбатан кичик. Лекин юқори аниқликдаги теодолитда оптик қисмларнинг ўзаро ҳолати ҳаммаси бўлиб микрометр ўндан бири бўлагига ўзгарса бу йўналишларни ўлчашда 1'' гача хатоликка олиб келади. Ҳаво ҳароратини кескин бир неча градусга ўзгариши мумкин бўлган вақитларда бурчак ўлчаш мумкин эмас. Пунктда кузатишларни бошлашдан олдин теодолит ҳарорати

ҳаво ҳароратига тенглашиши учун сояда камида бир соат очик туриши керак. Пунктда ҳаво ва теодолит ҳароратини аста-секин ўзгариб бориши табиий бўлгани учун ўлчашда приёмлар оралиғи қанча қисқа бўлса ва ўлчашлар тез бажарилса теодолитни деформациясини ўлчаш натижасига таъсири шунча кам бўлади.

7.9. Ўлчаш натижаларига ташқи муҳитнинг таъсири

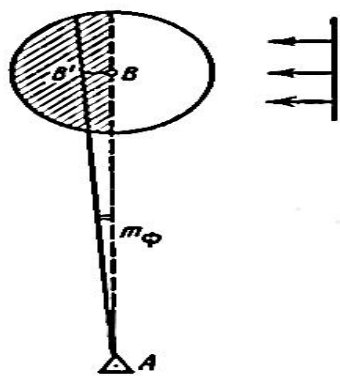
Амалиётни кўрсатишича метеорологик шароитни ўзгариши билан геодезик сигналлар деформацияланади, кузатиш нишонларини Қуёш нури билан ёритилиши ўзгаради, визирлаш нурларини траекторияси букилади ҳ.о. Бу факторларнинг ҳаммаси кузатишлар жараёнида ҳисобга олиниши керак, чунки улар натижаларга салбий таъсир этади. Айниқса рефракцияни таъсири катта бўлади.

Геодезик сигналларнинг деформациясидан келиб чиқувчи хатолар. Геодезик сигнал, шамол, ҳароратни ўзгариши, ҳаво намлиги ва бошқалардан бирмунча деформацияланади бу факторлар айниқса баланд сигналларга катта таъсир этади. Бунинг оқибатида сигналнинг юқори қисми, теодолит ўрнатиладиган столча билан бирга кўзга кўринмайдиган азимутал бурилади, сигнални ўзи бирмунча букилади. Шамолни тезлиги $v=3$ м/с бўлганда сигнални букилиши рўй бермайди. $v \geq 5$ м/с бўлса сигнал тебрана бошлайди.

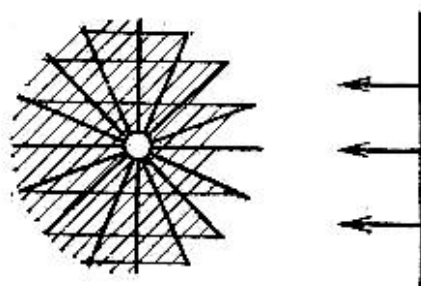
Юқори аниқликда бурчак ўлчашда сигнал юқори қисмининг бурилиши натижага катта таъсир этади. Айрим вақтларда сигнал 1 дақиқада 1" гача бурчакка бурилиши мумкин, бир соатда эса бу қиймат 25" га етиши мумкин. Йўналишлар сони кўп пунктларда йўналишларни доиравий приёмларда кузатишда сигнални бурилиши таъсирида горизонт ёпилмаслик хатоси ошиб кетиши мумкин. Кўпгина ҳолатларда сигнални бурилишини қиймати ва ишораси ўзгаришида қонуният кузатилмайди, шуни такидлаш керак, куннинг биринчи яримидаги бурилиш билан иккинчи ярмидаги бурилиш турларича бўлади.

7.10. Визирлаш нишонининг фазасидан келиб чиқадиган хатоликлар.

Фараз қилайлик геодезик белгининг визирлаш нишони силлиқ сиртли цилиндр шаклиги эга. A пунктдан (7.5-шакл) кузатишда Қуёш нури кузатиш нишонининг ўнг томонини ёритсин. Бунда A нуктада турган кузатувчига визирлаш нишонининг чап томони аниқ кўринади (соя томони), қуёш ёритган ўнг томони эса кўриниши аниқ бўлмайди. Шу сабабдан кузатувчи визирлаш нишонининг геометрик ўқи ҳолатини хатолик билан баҳолайди, биссекторни m_ϕ бурчагига яхши кўринадиган томонга суради. m_ϕ бурчакни ушбу лаҳзадаги визирлаш нишонининг фаза учун хатоси дейилади. Қуёшни ўрни осмон сферасида узлуксиз ўзгариб бориши сабабли m_ϕ қиймати ҳам вақт бирлигида ўзгаради. Фаза хатолиги фақат очик ҳавода содир бўлади. Тадқиқларни кўрсатишича ноқулай шароитда силлиқ деворли визирлаш цилиндрларини фаза хатоси 1-1,5" ни ташкил қилади. Шунини ҳисобга олиб инженер В.Н.Шишкин томонидан «Кичик фазали визирлаш цилиндри» конструкцияси таклиф қилинган (7.6-шакл).



7.5-шакл. Визир нишони фазаси учун хатолик



7.6-шакл. Шишкин визир нишонининг ўз соясини схемаси

Шишкиннинг визирлаш цилиндри унинг сиртини тўла соя билан таъминлайди ва шу сабабли визирлаш нишонининг фазаси учун хатолик 0,2-0,4" гача камаяди.

7.11. Келтириш элементларини аниқлашнинг хатоси

Пунктда ўлчанган йўналишлар пункт марказига келтирилиши керак. Бунинг учун қуйидаги формуладан теодолитни марказлаш хатоси учун тузатма ҳисобланади

$$c = \frac{e \sin(M+\theta)}{s} \rho'',$$

шу формула билан редукция учун ҳам тузатма ҳисобланади. Формулада e ва θ келтириш элементлари; s - пунктлар орасидаги масофа; $\rho'' = 206265''$; M -ўлчанган йўналиш. Ўрта квадратик хатоларга ўтиб ва M ни хатосиз деб ҳисоблаб ёзамиз

$$m_c^2 = m_e^2 \sin^2(M + \theta) \rho^2 / s^2 + m_\theta^2 \cos^2(M + \theta) e^2 / s^2 + m_s^2 \sin^2(M + \theta) e^2 \rho^2 / s^4,$$

бу ерда m_e, m_θ, m_s - келтириш элементлари e, θ ва S томонлар узунлигини аниқлашни ўрта квадратик хатолари; m_θ секунд ўлчамда олинади.

Тенг таъсир этиш принципига асосан қуйидагини оламиз

$$m_c / \sqrt{3} = m_e \sin(M + \theta) \rho / s = m_\theta \cos(M + \theta) e / s = m_s \sin(M + \theta) e \rho / s^2.$$

Ҳар бир конкрет ҳолат учун хатолик m_s ни конкрет қийматини қабул қилиб келтириш элементлари e, θ ва S масофаларнинг талаб қилинадиган аниқлигини ҳисоблаш мумкин.

8 - боб. Бурчак ўлчаш ва азимутларни аниқлашда ёруғлик рефракцияси

8.1. Ёруғлик рефракцияси

Гедоезик пунктлар орасида визир нури ҳаво муҳитидан ўтиб уни таъсирига учрайди. Бу муҳитнинг физик ҳолати шу жумладан босими, ҳарорати, атмосфера тиниқлиги ва бошқалар тўхтовсиз ўзгариб боради. Ҳаво муҳити кузатиладиган пунктларнинг кўриш узоқлигини чегаралашга, визирлаш нишонлари тасвирини тебраниб туриши ва сифатини пасайишига, визир нурини эгилишга сабаб бўлади. Шулар таъсирида геодезик ўлчашларда меҳнат унумдорлиги, айниқса пунктлар орасидаги масофалар катта бўлаганда, пасаяди.

Бурчак ўлчашда визирлаш нишони тасвирини тебраниб туриши билан рефракция ҳодисасини ажрата билиш керак. Тасвири тебраниши турли ҳароратдаги ҳаво қатламларини турбулент аралашуви таъсиридан келиб чиқади. Бу тебранишлар визир нури ер сиртига қанча яқин ўтса, ҳамда ҳаво ҳарорати тупроқ ҳароратидан қанча катта фарқ қилса, шунча кучаяди.

Ёруғлик рефракцияси деб, ҳар хил зичликдаги, демак, синдириш кўрсаткичи турли бўлган бир муҳитда ёруғлик нурини эгилишига айтилади.

Ер атмосферасининг турли участкаларида зичликни бир хил бўлмаса ўз ўзидан ёруғлик нурини синдириш кўрсаткичлари ўзгаришига олиб келади.

Кузатиш олиб борилаётган нукта билан кузатилаётган нуқталарни ўзаро ҳолатига боғлиқ ҳолда бир неча турдаги рефракциялар мавжуд; булар астрономик, спутник ва ер, кузатилаётган нукта чексиз узоқда жойлашганда ер олди фазоси ва ер сатҳи рефракцияларидир. Булардан ташқари ердаги объективларни космик учиш апаратлари ёки самалётлардан суратга олишда фотограмметрик рефракциялар ҳам келиб чиқади. Рефракцияларни бундай бўлишини шартли қабул қилинган бўлиб, бу бўлиниш уларни ўрганишда услубийят жиҳатидан қулайлик яратади.

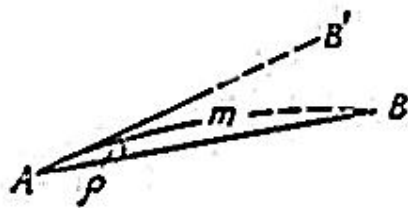
Ер атмосфераси оптик жиҳатдан хилма хил муҳитдан иборат. Шунинг учун ёруғлик нури A нуқтадан B нуқтагача AB тўғри чизик бўйича эмас, балким икки ёқлама мураккаб эгрилик AmB бўйича ўтади, 8.1-шакл. Кузативчи A нуқтадан туриб B нуқтанинг тасвирини AB йўналиши ўрнига, A нуқтасидаги уринма AB' бўйича кўради.

Бурчак ўлчашда рефракцияни ўлчови бўлиб бошланғич нуқтада нурга уринма AB' билан нурни бошланғич ва охириги нуқталарининг туташтирувчи ватар AB орасидаги ρ бурчак ҳисобланади. Бу бурчакни AmB нури учлари нуқталаридан ўтувчи вертикал текисликка проекциясини вертикал рефракция бурчаги, унинг горизонтал текисликка проекциясини эса – ён рефракция бурчаги дейилади. Вертикал рефракция бурчаги r , ён рефракция бурчагини эса δ билан белгилаймиз. Бу кичик бурчаклар r ва δ рефракцияни тегишлича зенит мософани ва горизонтал йўналишини ўлчашга таъсирини тафсифлайди.

Вертикал рефракция одатда ён рефракцияга нисбатан 1-2 тартибга катта бўлади. Пунктлар орасидаги масофа 10-20 км бўлганда вертикал рефракция кўпинча 2-3' ва ундан ортиқни ташкил қилади. Ёруғлик рефракцияси зенит масофаларни, горизонтал бурчакларни ва жой предметлари азимутини аниқ ўлчашни бир мунча қийинлаштиради, демак геодезик тармоқларни куришда ўлчашлар аниқлигини оширишни чегаралаб қўяди.

Ҳозирги вақтда рефракцияни аниқлаш ва уни ҳисобга олиш масалани ечиш икки хил йўли танланган:

- 1) рефракция бурчакларини етарли аниқликда бевосита ўлчаш асбоби рефрактомерларни ишлаб чиқиш;
- 2) ўлчашлар натижасига рефракция таъсирини йўқотиш ёки пасайтиришни самарали услубий дастурини ишлаб чиқиш.



8.1-расм. Ёруғлик рефракциясининг бурчаги

XX асрнинг тахминан 60 - йиллари ўртасидан бошлаб собиқ Совет иттифоқи, АҚШ, ГФР, Швеция ва бошқа давлатларда дисперсияли бурчак ўлчаш рефрактометрларини ишлаб чиқишга киришилди. Бу асбоб вертикал рефракцияни 1" аниқликда бевосита ўлчашга мўлжалланган эди. Бундай асбобларни амалда синаш натижалари шуни кўрсатадики, улардан бирортаси ҳам ишончли натижа бера олмайди; агарда масофа 2 км дан ортиқ бўлса атмосферани катта ўзгариши туфайли умуман ишламайди.

1-2 класс геодезик тармоқларни қуришда бурчакларни ўлчашни ўрта квадратик хатоси 0,6 – 0,8'' билан ифодаланса, шундан 0,4 – 0,5'' рефракция хатосига тўғри келади. Шунинг учун ишлаб чиқиладиган рефрактометр ён рефракция бурчагини 0,2'' ўрта квадратик хато билан ўлчаш имконини бериш керак.

Бурчак ўлчашга ташқи муҳит таъсирини, шу жумладан рефракция таъсирни камайтириш мақсадида 1 ва 2 класс тармоқларида амалдаги йўриқномалар қуйидагиларни талаб қилади:

- горизонтал йўналишлар ва бурчакларни яхши ёки қониқарли кўринишда визирлаш нишонини тебранмайдиган ёки енгил тебранаётган тасвирда кузатишни;

- қуёшли кунларда кун чиқиши ва кун ботишига яқин вақтлардан кузатиш учун фойдаланмасликни;

- 1 ва 2 класс пунктларида кузатишларни эрталаб ва кечқурун ёки турли кунларда бажаришни.

Рефракция бурчакларини бевосита ўлчаш мукамал асбобларини ҳозиргача яратимаганлиги сабабли рефракция таъсирини

камайтирувчи услубий приемларни ривожлантириш ва мукаммаллаштириш устида иш олиб бориш керак бўлади.

Рефракция микдори ва ишорасини нурни ҳар бир нуктасидаги ҳавони синдириш кўрсаткичи n ни вектор градиенти $\partial n / \partial N$ аниқлайди. $\partial n / \partial N$ векторига кўпинча рефракция вектори дейилади. Атмосферани ҳар бир нуктасига тегишли рефракция вектори қўйилса, рефракция майдони ҳосил бўлади.

Ён рефракция майдони назариясига асосан рефракция майдони умум ер майдони, регионал майдон, кичик маҳаллий майдонларга бўлинади.

Ҳаво зичлигини ва шу билан бир вақтда уни синдириш кўрсаткичини экватордан қутибгача ўзгариши умум ер рефракци майдонини ташкил этади.

Теварак атрофдан фарқли атмосфера босими, ҳаво ҳарорати ва синдириш кўрсаткичига эга бўлган катта чўзиқликдаги майдон регионал майдон рефракцияси (мисол учун: тоғ тизмалари, шунингдек, денгиз ва океанларининг қирғоқлари бўйлаб) ҳисобланади.

Нисбатан катта бўлмаган участкалар сирти қопламаси устида ҳаво ҳароратини фарқиға боғлиқ бўлган ҳаво аномал зичлиги билан тавсифланувчи кичик маҳаллий майдонлар масалан, сув ҳавзалари, намсиз тупроқ устида, ўрмон устида, дала экинлари, бино ва иншоотларнинг томлари, шаҳар ҳиёбонлари устида ва х.к.).

Булардан энг муҳими маҳаллий ён рефракция майдонини бурчаклар ва азимутларни ўлчаш натижаларига таъсири ҳисобланади. Тадқиқотларни кўрсатишича ён рефракция майдони таъсирининг ўрта квадратик қиймати m_{ref} 1 ва 2 класс триангуляцияси йўналишлар N учун масофа s га боғлиқ бўлиб қуйидаги эмперик формула билан ифодаланади

$$m_{N(реф)} = K\sqrt{s}, \quad (8.1)$$

бу ерда K - коэфорициент.

Ишлаб чиқариш материалларига асосланиб кечки кузатишлар учун $K_{кеч} = 0,093$ ($m_k = 0,004$), тундаги кузатишлар учун $K_{тун} = 0,131$, биргаликда $K_{бир} = 0,114$ ($m_k = 0,006$) эканлиги аниқланган.

Катта ишонч билан тасдиқлаш мумкинки, рефракция маҳаллий майдонини 1, 2 класс триангуляцияси горизантал бурчаклари β ни ўлчашга таъсири қуйидаги ўрта квадратик қийматларни ташкил қилади

$$\left. \begin{array}{l} \text{кечки } m_{\beta(\text{реф})} = 0,093\sqrt{2s}, \\ \text{тунги } m_{\beta(\text{реф})} = 0,131\sqrt{2s}. \end{array} \right\} \quad (8.2)$$

Лоплас пунктларида астрономик азимутлар α асосан тунда ўлчанади, 15÷30 км масофада рефракция таъсир 8.1 формула бўйича ўртача $m_{\alpha(\text{реф})} = 0.131\sqrt{15 \div 30} = 0.50 \div 0.71''$ ни ташкил этади.

Ноқулай шароитларда рефракцияни маҳаллий майдони таъсири остида бурчак ва азимутларни ўлчашдаги хатолар айрим ҳолатларда 3 - 7'' ни ташкил қилади.

Ер қопламаси ва унинг физик хусусиятларини турли бўлиши рефракция маҳаллий майдонини конкрет ҳудудларда тасодифий тақсимланишига олиб келади.

Шунга кўра рефракция маҳаллий майдонини геодезик тармоқлар бурчакларини ўлчашга таъсири ҳам тасодифий ҳарактерга эга бўлади.

8.2. Рефракция бурчагини метеорологик элементлар билан боғлиқлиги ва уларнинг градиентлари

Ўлчанган зенит масофа ва йўналиш (азимут) ларга тегишлича r ва δ тузатмаларни ҳисоблаш учун бошланғич формулалар нурнинг ҳар бир нуқтасидаги ҳаво синдириш кўрсаткичи n ва унинг градиентлари $\partial n / \partial N$ функцияси кўринишида берилган. Зенит масофаларни вертикал, йўналишлар ва азимутларни эса горизантал текисликда ўлчаниши сабабли вектор градиенти $\partial n / \partial N$ тегишлича иккита: $\partial n / \partial N$ вертикал ва $\partial n / \partial x$ горизантал текисликлардаги тузувчиларга ажратилади.

Масофа $s \leq 100$ км бўлганда аниқ формулалар қуйидаги кўринишда ёзилади

$$r = \frac{\rho}{s} \int_0^s \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial z} (s - y) dy, \quad (8.3)$$

$$\delta = -\frac{\rho}{s_0} \int_0^s \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial x} (s - y) dy. \quad (8.4)$$

Бу формулалар тўғри бурчакли координаталар системасида олинган бўлиб, унда y ўқи ватар бўйича нурнинг бошланғич нуқтасидан охириги нуқтасигача йўналган; x ўқи уфқ текислигида ётиб, y ўқидан чап тамонга йўналган; z ўқи xy текислигига перпендикуляр юқорига йўналган; s - ватар узунлиги; s_0 - унинг горизонтал текисликка проекцияси ($s_0 = s \cos \beta$, бу ерда β - ватарнинг уфққа нисбатан оғиш бурчаги). Метеорология тажрибасида ҳавонинг синдириш кўрсаткичи ва унинг градиентларини планда ва баландлик бўйича тақсимланиши ўрганилмаган.

Шу сабабли (8.3) ва (8.4) формулалардан фойдаланиш учун синдириш кўрсаткичи n ва унинг градиентларини метеорологик элементлар ва уларнинг градиентлари орқали ифодаланади.

Спектрни кўринадиган қисмидаги ҳаво синдириши кўрсаткичи индекси $(n-1)$ учун $2 \cdot 10^{-7}$ аниқликгача қуйидаги формула ишончлидир

$$(n - 1) = 110,8 \cdot 10^{-6} \left(\frac{p}{T^2} - 0,14 \frac{e}{T} \right), \quad (8.5)$$

бу ерда p - ҳаво босими мм сим уст. (1 мм сим уст. = 133,3 Па); T - ҳавонинг мутлоқ ҳарорати; $T = 273,16 + T^\circ \text{C}$; e - сув буғланиши босими, мм·сим·уст.

(8.5) формуладан фойдаланиб $\partial n / \partial z$ ва $\partial n / \partial x$ ҳосилларни ҳисоблаб, уларни (8.3) ва (8.4) формулаларга қўйиб, кейин фазовий тўғри бурчакли координаталар системаси xyH га ўтилади; бунда вертикал ўқ шовун чизиғи H билан туташган, x ўқи уфқ текислигида ётиб Ернинг шимолий қутбига, y ўқи эса шарққа йўналган бўлади.

Натижада r ва δ тузатмалари учун ҳисоблаш хатоси 1% дан ошмайдиган қуйидаги формулалар олинади

$$r = \frac{22,85}{s} \int_0^s \frac{p}{T^2} \left(0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) [\sin z - \operatorname{tg} v \cos z \cos(A - Q)] (s - y) dy, \quad (8.6)$$

$$\delta = \frac{22,85}{s} \int_0^s \frac{p}{T^2} \left(0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) \operatorname{tg} v \sin(A - Q) (s - y) dy, \quad (8.7)$$

бу ерда s - визирлаш нурунинг ватар бўйича узунлиги, м; s_0 - визирлаш нурунинг горизонтал текисликка проекцияси; $s_0 = s \sin z$; y - ватар бўйича нурунинг бошланғич нуқтасидан берилган нуқтагача узунлиги, м; p – ҳаво босими, мм сим. уст.; $T=273.16+T^{\circ}\text{C}$ $\delta T/\delta H \approx (T_2 - T_1)/(H_2 - H_1)$ - ҳаво ҳароратининг вертикал градиенти, градус/м; ν – зенит нуқтасидан синдириш кўрсаткичининг вектор градиенти $\partial n/\partial N$ гача ўлчанадиган ва камайиш томони $n(x, y, H)$ га йўналтирилган бурчак; A - ўлчанадиган йўналиш азимути; Q - градиент вектори $\partial n/\partial N$ азимути; азимутлар шимолга йўналтирилган (x ўқи) йўналишидан бошлаб соат мили йули бўйича ҳисобланади; Z – кузатиш нишонининг зенит масофаси. $\partial n/\partial N = \text{const}$ бўлган бир хил рефракция майдони учун (8.6) ва (8.7) формулалар қуйидаги кўринишда бўлади

$$r = 11,42 \frac{p}{T^2} s \left(0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) [\sin z - \operatorname{tg} \nu \cos z \cos(A - Q)], \quad (8.8)$$

$$\delta = 11,42 \frac{p}{T^2} s_0 \left(0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) \operatorname{tg} \nu \sin(A - Q). \quad (8.9)$$

Ҳаво ҳаракатининг вертикал градиенти $\partial T/\partial H$ ва $n(x, y, H) = \text{const}$ сатҳини $\operatorname{tg} \alpha$ оғиши ҳар доим қарама-қарши ишораларга эга бўлади. Бундан ташқари $\partial T/\partial H$ ишораси ўзгариши билан бир вақтнинг ўзида $\operatorname{tg} \nu$ ва $\sin(A - Q)$ элемент ишоралари қарама-қарши ишораларга ўзгаради.

Метрологияда:

$$\frac{T}{p} \cdot \frac{\partial p}{\partial H} = -0,0342 \quad (8.10)$$

катталиқни ҳаво босимини келтирилган градиенти дейилади (градус/м). $\partial p/\partial H$ -босим вертикал градиенти, мм сим. уст./м.

Ўртача об-ҳаво шароитида геодезик ўлчаш ишлари олиб борилаётганда $n(x, y, H) = \text{const}$ сатҳини уфққа оғиши, одатда, бир градусдан кам бўлади ($\operatorname{tg} \alpha \leq 0,0175$).

Геодезик тўрларда визир нуруни қиялик бурчаги ҳар доим 10° дан кичик ($z \approx 80 \div 100^{\circ}$). Бу катталиқларда (8.6) ва (8.8) формулаларнинг квадрат қовуслардаги иккинчи ҳадининг вертикал

рефракцияга таъсири 0,3% дан ошмайди. Бундай кичик катталикларни инобатга олмасдан ёзишимиз мумкин, бир жинсли бўлмаган майдон рефракцияси учун

$$r = \frac{28,85}{5} \int_0^P \frac{P}{T^2} \left(0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) \sin z (S - y) dy; \quad (8.11)$$

Бир жинсли майдон рефракцияси учун

$$r = 11,42 \frac{P}{T^2} S \left(0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) \sin z. \quad (8.12)$$

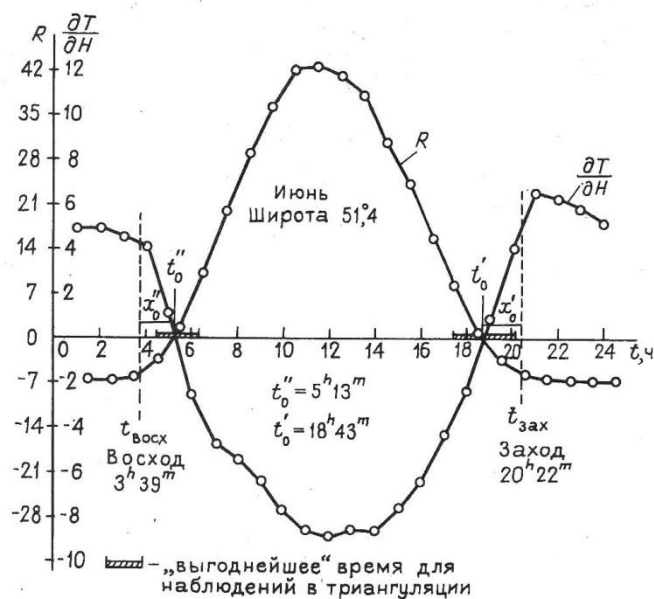
Юқорида келтирилган (8.6) – (8.9) формулалар бошқаларга ўхшаш нурнинг бутун йўли бўйича метеорологик элементлар градиентларини билишни талаб қилади, шунинг учун рефракция тузатмаларини аниқ ҳисоблаш учун улардан фойдаланилмайди.

8.3. Ҳарорат, рефракция ва ўлчанадиган миқдорлар градиентларининг квази даврий ўзгариши

Ернинг суткали айналиши ва уни Қуёш атрофидаги ҳаракатидан метеорологик элементлар ва улар градиентлари узлуксиз ўзгариб туради. Ўзгариш суткали ва йиллик бўлиб, у ўзгаришига об-ҳавога боғлиқ. Рефракцияни метеорологик элементлар ва уларнинг градиенти билан функционал боғлиқлиги туфайли у ҳам суткали ва йиллик ўзгариб боради ва бу ўз навбатида зенит масофалар, горизонтал йўналишлар ва ер предметлари азимутларини суткали ва йиллик ўзгаришига олиб келади.

Вақтга боғлиқ бу ўзгаришлар қонуниятга бўйин сўнади ва улар юқори аниқлигидаги астрономо – геодезик ўлчашларни ташкил қилишда ва натижаларни математик ишлаб чиқишда ҳисобга олиниши керак.

Юқоридаги (8.6) ва (8.7) формулаларда кўпайтма $p/T^2 \approx 0,009$ ҳарорат ва ҳаво босимига боғлиқ бўлиб, конкрет ҳар бир сутка давомида деярли ўзгармас қолади, шу билан бирга ҳарорат градиенти $\partial n / \partial H$ кенг диапазонда ўзгаради (8.2-шакл).



8.2-расм. R – радиация балансини ва очик жойда ердан 2 м баландликда ҳаво температурасининг вертикал градиенти $\frac{\partial T}{\partial H}$ ни суткали йўли.

Қўшни геодезик пунктлар орасида визир нури нисбатан катта бўлмаган баландликда: текис жойларда бир неча метр, тепалик жойларда бир неча ўн метр ва тоғлида эса бир неча юз метрда (нурни ўрта қисмида) ўтади.

Геодезик пунктлар орасида кўпчилик нурлар атмосфера қуйи қатламларидан, қалинлиги 50-80 м, ўтади; метеорологияда у ер усти қатлами дейилади. Бу қатлам учун баландлик ва вақт ўзгариши билан метеорологик элементларни кескин ўзгариши хос. Метеорологик элементларни вертикал градиенти атмосферанинг бу қатламида юқори қатламларга қараганда бир – икки тартибга ортиқ. Ер усти атмосфера қатлами иқлимнинг шаклланишида асосий омил ер сиртининг радиация баланси R ҳисобланади. Радиация баланси қийматини ҳисоблаш турли вақт оралиғи учун: дақиқа, соат, сутка, ой ва йилга бажарилади.

Радиация баланси тупроқ ва ҳавода ҳарорат тақсимланиши, буғланиш ва қор эриши, туманлар ҳосил бўлишига таъсир этади. Унинг қиймати жой кенглиги, сутка ва йил вақти, ҳаво шароитини ўзгариши билан ўзгаради. Ўрта ҳисобда қор қатлами бўлмаганда кун давомида мусбат, кечаси манфий ишорада бўлади.

Радияция баланси нур энергияси оқимнинг йўналишини белгилайди ва шу билан атмосфера қуйи қатламида ҳаво ҳароратининг вертикал градиенти қиймати ва ишорасини аниқлайди. Ер қор қопламаси бўлмаганда радиация баланси ва ҳароратнинг вертикал градиенти эгрилари ўзини суткалик ҳаракати (ўзгариши) да битта нуқтада бир вақтда нол чизигини кесиб ўтади, сутка давомида эса икки маротаба (эрталаб ва кечкурун), 8.2 - шакл; бунда ҳар сафар ўз ишораларини қарама-қаршига ўзгартиради. Бу хусусиятдан фойдаланиб кузатувчи геодезистлар ён рефракция таъсиридан келиб чиқадиган хатоларни аниқлаш ва уни йўқотишда фойдаланиши мумкин.

Бурчак ўлчашда ва азимутларни аниқлашда ён томон рефракция таъсиридаги хатоларни компенсацияланиши
(8.7) ва (8.9) формулаларни ҳар бирини икки қўшилувчи ҳад кўринишида кўрамиз

$$\delta = \varepsilon + \mathfrak{S}, \quad (8.13)$$

Бунда бир жинсли бўлмаган рефракция майдони учун

$$\varepsilon = \frac{0.79}{S_0} \int_0^S \frac{P}{T^2} \operatorname{tg} \gamma \sin(A - Q)(s - y) dy; \quad (8.14)$$

$$\mathfrak{S} = \frac{22.85}{S_0} \int_0^S \frac{P}{T^2} \frac{\partial T}{\partial H} \operatorname{tg} \gamma \sin(A - Q)(s - y) dy; \quad (8.15)$$

бир жинсли рефракция майдони учун

$$\varepsilon = 0,39 \frac{P}{T^2} S_0 \operatorname{tg} \gamma \sin(A - Q); \quad (8.16)$$

$$\mathfrak{S} = 11,42 \frac{P}{T^2} S_0 \frac{\partial T}{\partial H} \operatorname{tg} \gamma \sin(A - Q). \quad (8.17)$$

Ўртага об-ҳаво шароитида $P/T^2 \approx 0,009$ катталиқ сутка давомида барқарор. Шунинг учун ён томон рефракциясининг (8.13) сутка давомида ўзгариши ҳаво қатламларида визир нури баландлигида хароратининг вертикал градиентлари, $n(x, y, h) = \text{const}$ сатҳини оғиши $tg\gamma$ ларга боғлиқ. Умумий ҳолда, яъни $\varepsilon + \zeta \neq 0$ ва $A \neq Q$ да

$$\delta = 0, \text{ агар } (tg\gamma)_s = 0. \quad (8.18)$$

Кўпчилик ҳолларда s узунликдаги бутун визир нури давомида $tg\gamma$ оғиши нолга тенг эмас (8.14) ва (8.15) формулалар асосида қуйидагиларни оламиз

$$\varepsilon \rightarrow 0, \text{ агар } (tg\gamma)_s \rightarrow 0. \quad (8.19)$$

$$\zeta \rightarrow 0, \text{ агар } \left(\text{ва ёки} \right) \left. \begin{array}{l} \partial T / \partial H \\ tg\gamma \end{array} \right| \rightarrow 0 \quad (8.20)$$

Ҳаво изотермиясида визир нури баландлигида $\partial T / \partial H = \partial T / \partial x = 0$, рефракция майдони амалий жиҳатдан олганда бир жинсли ва (8.15), (8.17) формулалардан рефракцияни ташкил этувчиси ζ нольга тенг ($\zeta=0$). Бу ҳолатда $n(x, y, z)$ сатҳини уфққа оғиши $tg\gamma$ ҳисобга олмаса ҳам бўладиган даражада кичик ва меридиан текслигида қуйидагидан катта бўлмайди

$$tg\gamma \leq tg\gamma_p = -29,24 \frac{T}{P} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \quad (8.21)$$

Юқорида тасдиқланадики, ўртача об-ҳаво шароитида изобарик юзаларни оғиши кичик бўлади: $\alpha_p \leq 2'$ ёки $tg\gamma \leq 0.0005$. (8.16) формулада ўрта қийматалар $P/T^2 = 0.009$; $\sin(A-Q) = 1$ ва $tg\gamma = 0.005$ деб олиб, изотермияда рефракцияни ташкил этувчи $\varepsilon \leq 0.02 \div 0.04''$ эканлигини топамиз. Бундай кичик катталиқни амалий жиҳатдан ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

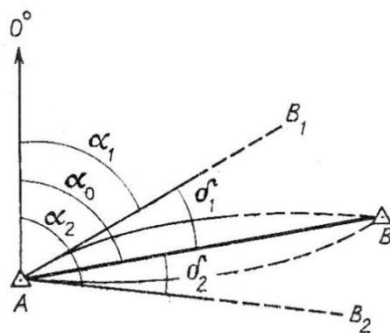
Визир нури баландлигига ҳаво изотермик ҳолати бўлганда ёки унга яқин ҳолат бўлганда яралди, қатлами атмосфераси физикасига асосланган рефракция назариясидан ён томон рефракцияси δ амалий жиҳатдан нольга тенг бўлади. Бу хулоса назарий ва амалий жиҳатдан муҳим хулоса ҳисобланади.

Сутканинг бошқа ҳар қандай вақтида ён томон рефракцияси нольга тенг бўлмайди, чунки $\frac{\partial T}{\partial H} \neq 0$ ва $\operatorname{tg} \gamma \neq 0$ ва шу сабабли $\varepsilon \neq 0$ ва $\zeta \neq 0$. Шу нарсани такидлашимиз керакки, δ ташкил этувчи ε δ дан анча кичик, лекин ноқулай шароитда ва $S=10 \div 20$ км бўлган ҳолларда $0,3''$ ва ундан катта бўлиши мумкин.

Ён томон рефракцияси таъсирида келиб чиқадиган хатоликларни компенсацияланишининг амалиётда ишлатиш учун пунктларда кузатиш олиб борилаётганда визир нури баландлигида ҳаво изотермиясини пайдо бўлиш вақтини аниқлаш талаб этилади. Бу масалани ечими осон бўлиб, ҳеч қандай қийинчилик туғдирмайди.

8.4. Ён томон рефракция таъсири учун тузатмани аниқлаш

Ён рефракциясининг юзага келтирадиган хатолик ҳар бир йўналиш, бурчак ва азимутни ўлчаш вақти нур баландлигидаги ҳаво изотермияси вақтига асимметрик бўлиши туфайли келиб чиқади. Бундан ён рефракция таъсирини йўқотиш ёки камайтиришни қуйидаги усули келиб чиқади: горизантал бурчаклар ва жой предметлари азимутлари асимметририк ўлчаш вақтида бажарилган бўлса ўлчашлар натижасини ён рефракция нолга тенг бўладиган ҳаво изотермияси вақтига ўтказиш (редуциялаш) керак бўлади. Горизантал йўналишлар ёки жой предмети азимутини ён рефракцияни ўзгарувчан майдонида ўлчашда A пунктида ўрнатилган (8.3-шакл) теодолитнинг қараш трубасини B пунктдаги визирлаш нишонига қаратиб



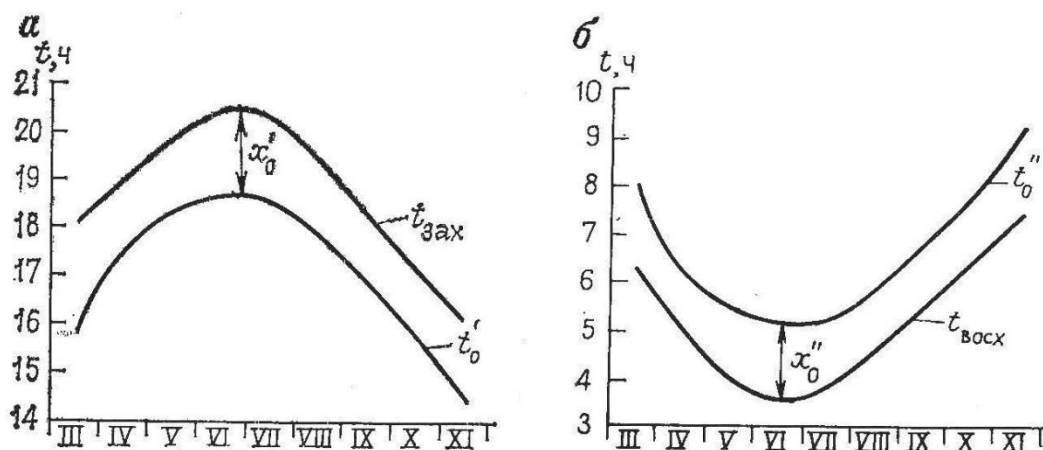
8.3-шакл. Ён рефракцияни суткалик йўли таъсирида йўналиши квазидавий ўзгариш графиги.

вақт (t) ни белгиланган ҳар бир дақиқага тўғри келувчи лимбнинг ўзгармас ноли (меридиан йўналиши) билан A пунктидаги ёруғлик

нурига уринма AB_1 , (AB_2) орасидаги йўналиш ёки азимут α_t топилади. Ёруғлик нури AmB шакли ва ўрни (унинг горизонтал текисликка проекцияси) изланаётган йўналиш $AB=\alpha_0$ (8.3-шакл) га нисбатан вақтга боғлиқ тўхтовсиз, айнан ён рефракциясини ўзгаришига боғлиқ, сутка давомида ва қисман йиллик ўзгариб (юриб) туради. Шу сабабли ёруғлик нурига уринма суткалик ўзгариб аста-секин четдаги бир ҳолатдан $AB_1=\alpha_1$ иккинчи ҳолат $AB_2=\alpha_2$ га, кейин эса тескари йўналишда, α_2 дан α_1 га сурилади. Шундай қилиб ўлчанаётган ҳар бир йўналиш суткалик йўлида (ўзгаришда) α_{min} дан α_{max} гача ва тескари юриб квази даврий қонуниятга асосан суткада икки маротаба, кечки ва эрталабки ҳаво изотермияси вақт дақиқалари t_0^k ва $t_0^э$ да ўзгариб ён рефракцияси таъсиридан озод бўлган қиймат $\alpha_0 = \alpha_{t_0}$ га эга бўлади.

Юқори аниқликдаги бурчак ўлчаш ва азимутларни аниқлаш ишлари 1 ва 2-класс трангуляциясининг ҳар бир пунктида 2 – 3 кун, Лаплас пунктларида азимутларини аниқлаш эса 10 – 12 кунгача давом этади. Бир кундан иккинчисига ўтишда ҳаво изотермиясини кириш вақт они моменти t_0 сурилади, яъни қуёшни ботиш они ($t_{\text{бот.}}$) кечкурун, уни чиқиш онини ($t_{\text{чик.}}$) эрталаб деярли аниқ такрорлайди (8.4-шакл). Шунинг ҳисобга олиб кўп кунлик кузатишлар натижасини ишлаб чиқишда бир кундан иккинчисига ўтишдан Қуёшни оғиш қийматини ўзгариши билан боғлиқ вақт они смоменти t_0 ни сурилиб боришини ҳисобга олиш керак бўлади. Бунинг учун Қуёшни ботиш они $t_{\text{бот.}}$ (тундаги кузатишларда) ва чиқиш они $t_{\text{чик.}}$ (эрталабки кузатишларда)га нисбатан аниқланадиган вақтни ҳисоблаш шартли системасига ўтиш керак бўлади, яъни:

$$\left. \begin{aligned} x &= t_{\text{бот.}} - t; \\ x &= t_{\text{чик.}} - t. \end{aligned} \right\} \quad (8.22)$$



8.4 – шакл. Ердан 2 м баландликда 53° кенгликда кечки ва эрталабки хаво изометрияси. а) Қуёш ботишида. б) Қуёш чиқишида.

Вақтни бу системасида ҳавонинг кечки изотеримияси вақт они x_0^k ва эрталабки изотермия вақт они $x_0^э$ ни қуйидаги формулалар бўйича топилади

$$\left. \begin{aligned} x_0^k &= t_{\text{бот.}} - t_0^k; \\ x_0^э &= t_0^э - t_{\text{чик.}} \end{aligned} \right\} \quad (8.23)$$

Бу вақтни ҳисоблаш системасининг хусусияти шундаки x_0^k ва $x_0^э$ ўз қийматлари бўйича бир санадан иккинчисига ўтишда ўзгармасдан қолади. Бундан ташқари ҳар бир муаян сана учун x_0^k ва $x_0^э$ қийматлари деярли ўзаро тенг бўлади, бу эса катта амалий аҳамиятга эга. Амалий тажрибаларни кўрсатишича Қуёшни ботиши олдида ва уни чиқишидан кейин уч соат вақт давомида ҳарорат градиенти, рефракция ва кузатиладиган йўналиш ёки азимутлар вақтга боғлиқ тўғри чизик бўйича ўзгариб боради. Шу сабабли горизонтал бурчаклар (азимутлар) бир неча кечалар давомида сутканинг шу вақт бўлагиди ўлчанган бўлса рефракция хатоси учун тузатилган бурчак қиймати уни изотермия онига редукциялангандан кейин x_0 қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$\alpha_0 = \bar{\alpha} + k(x_0 - \bar{x}), \quad (8.24)$$

бу ерда $\bar{\alpha}$ - бурчак ўлчаш приёмларидан чиқарилган ўртача қиймати; k - бурчак ёки азимутни соат давомида ўзгариши, бурчак сут./соатда; $\bar{x}$ - приёмлар вақтининг ўртача қиймати, соатда

$$\delta = k(x_0 - \bar{x}) \quad (8.25)$$

қиймат вақт асимметрияси сабабли келиб чиққан рефракцияга тузатма бўлади. Бир неча кеча давомида ўлчанган ҳар бир бурчак ёки азимутни соат ўзгариши k ни ҳисоблаш учун вақт санок системаси x га ўтиш керак бўлади (азимутни аниқлашда юулдуз вақтини аввал ўртача Қуёш вақтига ўзгартириб олиш керак бўлади).

Юқоридаги (8.24) ва (8.25) формулаларда бурчакни соат ўзгариши k ва ҳаво изотермияси соат ўзгариши x_0 қийматлари номаълум.

Ҳамма бурчаклар учун соат ўзгариши k қиймати қўйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$k = \frac{[\Delta x_i \Delta \alpha_i]}{[\Delta x_i^2]}, \quad (8.26)$$

бу ерда $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$; $\Delta \alpha_i = \alpha_i - \bar{\alpha}$; $i=1, 2, 3, \dots, n$.

Ҳисоблаш ишлари қулай бўлиши учун бурчакни (азимутни) приёмларда ўлчанган натижалари α_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) жадвали тузилади, 12-жадвалга қаранг.

12-жадвал

Қабул номери I	Кузатишлар вақти x_i	Кузатишлар натижаси α_i
1	x_1	α_1
2	x_2	α_2
3	x_3	α_3
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	x_n	α_n
$\bar{x}^2 = \frac{1}{n} \sum x_i^2$	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i}{n}$

Келтирилган (8.25) формула бўйича ҳисобланган рефракция учун тузатма δ ни аниқлашни ўрта квадратик ҳатоси қўйидаги формула бўйича топилади

$$m_{\delta}^2 = (x_0 - \bar{x})^2 m_k^2 + k m_{x_0}^2, \quad (8.27)$$

бу ерда k қийматини аниқлашни ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

$$m_k = \sqrt{\frac{\sum v^2}{(n-1)[\Delta x^2]}}. \quad (8.28)$$

Бу формуладаги приёмларда ўлчанган α_i қийматларига тузатма v қуйидагича топилади

$$v_i = k(x_i - \bar{x}) - (\alpha_i - \bar{\alpha}). \quad (8.29)$$

8.5. Юқори аниқликда бурчак ўлчаш ва азимут аниқлашда кузатишни энг қулай вақти

Юқорида қайд қилинганидай ҳар бир суткадаги вақт давомида метеорологик элементлар ва уларнинг градиентлари ўзгариб боради, шулар қаторида атмосфера тиниқлиги, кузатилаётган пунктлар кўриниши, визирлаш нишонларининг кўриниш сифати ва бошқалар ўзгариб туради

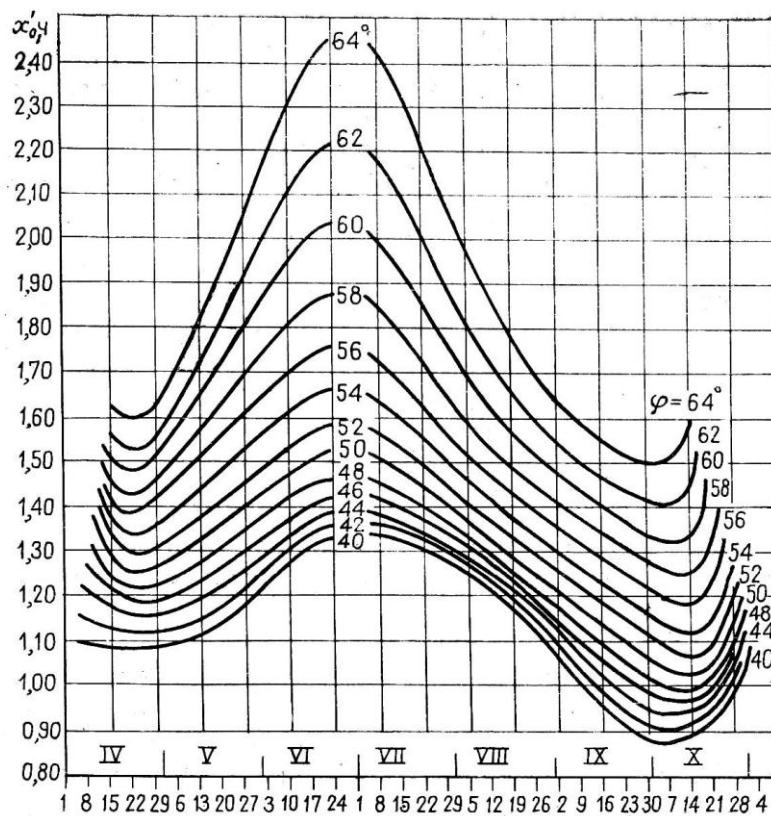
Бу омиллар меҳнат унимдорлигига ҳамда бурчак (азимутлар) ўлчаш аниқлигига таъсир этади. Геодезик тармоқларда юқори аниқликда бурчак ўлчашни “фойдали” деб аталувчи кузатиш даврида, визирлаш нишони тасвирининг тебраниши жуда кичик, атмосфера тиниқлиги ва кўриш шароити энг яхши, рефракция таъсири эса энг кичик бўлганда бажарилади. Бундай энг қулай кузатиш шароити кечкурун ва эрталаб визирлаш нурининг баландлигидаги ҳавода изотермияга энг яқин ҳолат кузатиладиган соатларда бўлади. Кузатишлар учун бундай қулай шароитни давомийлиги кўпгина омилларга: ҳавонинг ҳарорати, очик ёки булутлилиги, ер қопламасидан визир нурининг баландлиги ва бошқаларга боғлиқ. Шабадасиз, очик ва иссиқ ёз ҳавосида, айниқса жанубий чўл зоналарида, бу шароит 0,5 соатдан ошмайди; тоғли ҳудудларда кузатишни қулай даври ошади ва бир неча соатга етади.

Кечки кузатишларда энг қулай шароитни бошланиш вақти $t_{\text{бош.}}$ ни тақрибий қуйидаги формула бўйича ҳисоблаш мумкин

$$t_{\text{бощ.}} = t_{\text{бощ.}} - 2x'_0, \quad (8.30)$$

x'_0 қиймати махсус график бўйича (8.5-расм) аниқланади; $t_{\text{бощ.}}$ - Қуёш ботиш вақти Астрономик йилномадан олинади. Кузатишларни Қуёш ботишидан ярим соат илгари тугатиш тавсия этилади.

Шуни такидлаш керакки эрталабки “фойдали” кузатиш даври кечкига қараганда анча қисқа бўлади, баъзан бундай давр бутунлай бўлмаслиги ҳам мумкин. Ҳаво булутли бўлиб ҳарорат пасайса ва шамол кучайиб турса бу давр ошади. Рефракция маҳаллий майдони таъсирини камайтириш мақсадида ёзги иссиқ ҳавода изотермия онига нисбатан симметрик бурчак ўлчашни қуёш чиққандан 1 соатдан кейин бошлаб уни 1,5 соатгача давом эттириш мумкин.



8.5 – шакл. Ердан 2 метр баландликда турли кенгликларда радиацион балансни ноль орқали ўтиши. $x'_0 = t_{\text{max}} - t'_0$ вақт моментларини кўп йиллик қийматлари.

9-боб. Юқори аниқликда бурчакларни ўлчаш назарияси ва усуллари

9.1. Умумий тушунчалар

Бурчакларни ўлчашни турли усуллари мавжуд бўлиб давлат геодезик тармоқларида уларни ҳаммаси ҳам қўлланавермайди. Геодезик тармоқларни тенглаштиришда ҳисоблаш ишлари ҳажмини қисқартириш ва пунктлар координаталарини мумкин қадар катта аниқликда олиш мақсадида, бурчакларни ўлчаш натижалари биринчидан ҳамма пунктларда бир хил вазнга эга тенг аниқ йўналишлар қатори кўринишда, иккинчидан ўлчаш ва ҳисоблашга кам меҳнат ва вақт сарфлаб мумкин қадар юқори аниқликда олиниши керак.

Биринчи масала бурчакларни ўлчашга энг мукаммал усулни (дастурини) ишлаб чиқиш ва қўллаш билан ечилади; иккинчи масалани кузатишлар жараёнида ўлчаш хатолари манбаалари таъсирини, айниқса систематик хатоларни (шу жумладан шахсий, асбоблар ва ташқи мухит хатоларини) камайтириш билан ечилади.

Тенгмас аниқликда ўлчашлар натижаси олинган бўлса ўлчанган бурчак натижасини ҳар бир пунктда келиб чиқадиган барча шартлар ҳамда геодезик тармоқдаги бевосита ўлчанган натижалар вазнини ҳисобга олган ҳолда, биргаликда тенглаштиришга зарурият келиб чиқади. Бу ҳолда ҳатто унча катта бўлмаган геодезик тармоқда тузатмаларни катта миқдордаги тенгламалари келиб чиқади ва уларни тенг ечими керак бўлади; бундан тенглаштириш масаласи мураккаблашади, яъни ишлар қийинлашади. Агарда ўлчашлар натижаси ва бурчакларни станцияда тенгланган қийматлари бир хил вазнли йўналишлар қаторига келтирилса тенгламаларни ҳисоблаш ишларининг ҳажми қисқаради ва соддалашади. Шунинг учун ҳар бир пунктда бурчак ўлчаш натижаларини бир хил вазндаги йўналишлар қатори кўринишида олиш кераклиги шарти мулҳим аҳамиятга эга. Демак юқори аниқликда бурчакларни ўлчашда ушбу шартни ҳисобга олган ҳолда ишларни ташкил қилиш талаб қилинади.

9.2. Пунктда тенг аниқликда йўналишларни олиш шарти

Агар пунктда ихтиёрий тартибда бурчаклар ўлчанган бўлса тенгланган бурчаклар вазнлари $P_{j,l}$ билан тенгланган йўналишлар вазнлари P_j (P_l) орасида боғланишини тиклаш кўпинча қийинлик туғдиради.

Амалда станциядаги тенглаштирилган йўналишларни олдиндан берилган вазнда олиш керак бўлади: турли $P_j \neq P_l$ ёки бир хил $P_j = P_l = \text{const}$ ($j, l = 1, 2, \dots, n$).

Агарда берилган йўналишлар жуфти j ва l , хоҳлаган бурчак j, l , ни ташкил қилувчи кузатиш дастурини битта ёки бир нечта гуруҳида бирга ўлчанган бўлса, бу бурчакни ўлчаш вазни $P_{j,l}$ гуруҳларда қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$P_{j,l} = \left[\frac{P_j P_l}{\sigma_i} \right] (j \neq l = 1, 2, \dots, n), \quad (9.1)$$

бу ерда $\sigma_i = (p_1 + p_2 + \dots + p_k)_i$ - i гуруҳидаги ўлчанган барча йўналишлар (шу жумладан j ва l) суммаси; ҳар бир гуруҳдаги йўналишлар сони k_i қуйидаги чегарада ўзгариши мумкин $2 \leq k \leq n$, бу ерда n -пунктдаги йўналишлар сони.

Станцияда тенгланган вазнлар P_j (P_l) конкрет қийматлари бўлган йўналишлар j (l) ни олиш учун шундай бурчак ўлчаш дастурини фойдаланиш керакки, бунда қуйидаги тенглик шарти бажарилсин

$$P_{j,l} = \frac{P_j P_l}{[P]} (j \neq l = 1, 2, \dots, n), \quad (9.2)$$

бунда ҳамма бурчаклар учун

$$\begin{array}{ccccccc} 1.2 & 1.3 & 1.4 & \dots & 1.n, \\ 2.3 & 2.4 & \dots & 2.n, \\ 3.4 & \dots & 3.n, \\ \dots & \dots & \dots, \\ & & n-1.n \end{array} \quad (9.3)$$

бунда бурчаклар сони r станциядаги n пунктдан 2 тадан бирикма сонига тенг, яъни

$$r = n(n-1)/2; [P] = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

Юқорида таъкидлангандай триангуляцияни ҳар бир пунктида бурчакларни ўлчаш натижалари берилган бир хил вазнда $P_j = const$ тенг аниқ йўналишлар битта катори кўринишда берилиши керак.

Келтирилган (9.2) формулада $P_1 = P_2 = \dots P_n = const$ деб қабул қилиб, уни қуйидагича ёзамиз

$$P_{j,l} = \left[\frac{P_j P_l}{\sigma} \right] = \frac{P}{n} = const \quad (j \neq l = 1, 2, \dots, n). \quad (9.4)$$

Бу тенглик шарти пунктдаги ҳамма йўналишларни қўш жуфтлашдан ҳосил бўлган (9.3) даги ҳамма бурчаклар учун бажарилиш керак. (9.4) даги шартлар таъминланганда станцияда тенгланган йўналишлар қуйидагига тенг бир хил вазн олади

$$P = nP_{j,l} = const. \quad (9.5)$$

Агарда кузатиш дастурида ҳар бир i гуруҳда йўналишлар $1, 2, \dots, n$ бир хил вазнда ўлчаниши кўрсатилган бўлса

$$(P_1 = P_2 = \dots P_n)_i = P_i = const, \quad (9.6)$$

ва вазнлар йўналишлар бир гуруҳидан иккинчисига ўтишда ўзгарувчан бўлса (9.4) тенглама қуйидаги шаклни олади

$$P_{j,l} = \left[\frac{P_i}{k_i} \right]_{j,l} = \frac{P}{n} = const \quad (j \neq l = 1, 2, \dots, n), \quad (9.7)$$

Агарда ҳар бир бурчак j, l йўналишлар турли гуруҳда қатъий тенг t маротаба ўлчанса ($t=const$) қуйидаги талабга риоя қилиниши керак

$$\left(\frac{P_i}{k_i} \right)_{j,l} = const, \quad (9.8)$$

унда (9.7) формула ўрнига қуйидагини ёзамиз

$$P_{j,l} = t \left(\frac{P_i}{k_i} \right)_{j,l} = \frac{P}{n} = const \quad (j \neq l = 1, 2, \dots, n), \quad (9.9)$$

Шундай қилиб пунктда бажарилган кузатишлар натижаси тенг аниқ йўналишлар қатори кўринишда берилиши мумкин, агарда, биринчидан кузатиш дастури ўлчашлардан ҳамма бурчакларни олиш имконини берса, иккинчидан бу бурчаклардан ҳар бири $j.l$ қатъий бир хил вазнда $P_{j,l} = P/n = \text{const}$ ўлчанса, бу ерда P - тенгланган йўналишларнинг берилган вазни, n –пунктдаги йўналишлар сони.

Юқоридаги (9.9) шарт бажарилганда станциядаги тенгланган бурчаклар $[j, l]$ қуйидаги формуладан топилади

$$\left. \begin{aligned} [1.2] &= \frac{2 \cdot 1.2 + (1.3 - 1.2) + \dots + (1.n - 2.n)}{n}; \\ [1.3] &= \frac{2 \cdot 1.3 + (1.2 - 1.3) + \dots + (1.n - 3.n)}{n}; \\ &\dots \dots \dots \\ [1.n] &= \frac{2 \cdot 1.n + (1.2 - 1.n) + \dots + (1.n - 1 + n - 1.n)}{n}, \end{aligned} \right\} \quad (9.10)$$

бу ерда ҳар бир бурчак $j.l$, қатъий бир хил сонда t ўлчанган йўналишлар турли гуруҳларидан ($t=1, 2, \dots$) ўртача сифатида топилади, яъни

$$j.l = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (j.l)_i, \quad (9.11)$$

бу ерда $(j.l)_i$ - i гуруҳида ўлчанган йўналишлардан олинган бурчак қиймати.

Бошқа ҳар қандай тенгланган бурчаклар $[j.l]$ айирма сифатида $[j.l] = [1.l] - [1.j]$ ёки (9.10) кўринишдаги формулалардан топилиши мумкин.

Юқорида келтирилган (9.9) шарт бажарилганда станцияда бурчак ўлчашларни тенглаштиришдан олинган вазн бирлигининг ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

$$\mu = \sqrt{\frac{\frac{P_i}{k_i} [g_{j,l}^2]}{\sum_{i=1}^r (k_i - 1) - (n - 1)}}. \quad (9.12)$$

Тенгланган йўналишнинг ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

$$M_H = \sqrt{\frac{[\mathcal{G}_{j,l}^2]}{\left[\sum_{i=1}^r (k_i - 1) - (n - 1)\right] nt}}. \quad (9.13)$$

Агар ҳар бир гуруҳ бир хил ададли йўналишлардан ташкил топган бўлса ($k_i = k = \text{const}$) μ ва M_H формулалар соддароқ кўринишда бўлади, яъни

$$\mu = \sqrt{\frac{P[\mathcal{G}_{j,l}^2]}{(n-1)(nt-k)}}; \quad (9.14)$$

$$M_H = \sqrt{\frac{k[\mathcal{G}_{j,l}^2]}{nt(n-1)(nt-k)}}. \quad (9.15)$$

Берилган (9.12-9.15) формулалардаги ўлчанган ва тенгланган миқдорлар орасидаги фарқ $v_{j,l} = (j.1)_i - [j.1]$ ҳамма гуруҳлардаги йўналишларни бурчаклар имконли комбинацияларига ажратишдан ҳосил бўлган ҳамма бурчаклар (9.3) учун ҳисобланади.

Масалан, гуруҳдаги учта йўналишлардан 1.2; 1.3 ва 2.3 ҳисобланади ва уларнинг ҳар бири учун айирмалар $\mathcal{G}_{12}$, $\mathcal{G}_{13}$ ва $\mathcal{G}_{23}$ топилади.

Горизонтал йўналишлар ва бурчакларни юқори аниқликда ўлчашнинг асосий принциплари.

Ҳар бир пунктда тенг аниқ йўналишларни олиш ва ўлчашда юқори аниқ натижаларга эришиш учун ҳар бир йўналиш ва бурчакни юқори аниқликда ўлчашни қайтий бир хил, энг мукаммал дастурда ва ўлчаш натижаларига ташқи муҳит таъсири энг кам бўладиган сутка вақтида, яъни кузатишларни “фойдали” вақтида бажариш керак бўлди.

Пунктдаги кузатишларни қўйидаги талабларга риоя қилган ҳолда бажариш керак бўлади:

- ҳар бир йўналиш лимбнинг бутун айланаси бўйича тенг тақсимланган ҳар хил диаметрларида ўлчаниши керак;

- ҳар бир ярим приёмда ҳар бир кузатиладиган йўналиш бўйича ўлчаш операцияларини тўла бир хил бажарилиши таъминланиши керак;

- йўналишлар ҳар бир приёмда приёмлар учун белгиланган ўртача вақтга нисбатан симметрик ўлчаниш керак;

- ҳар бир пунктда барча йўналиш ва бурчаклар ҳаво изотермияси онига нисбатан симметрик ўлчаниши керак (эрталабки ва кечки кузатишларда).

9.3. Доиравий приём усули

Пунктдаги кузатиш натижаларини тенг аниқ йўналишлар битта қатори кўринишида олиш имконини берадиган бурчак ўлчашни энг содда усули бу йўналишларни доиравий приёмларда ўлчаш усулидир.

Бу усулни моҳияти қуйидагилардан иборат. Лимбнинг қўзғалмас ҳолатида теодолит алидадасини бўшатиб соат мили йўли бўйича айлантириб қараш трубасини биринчи, иккинчи, учинчи ва ҳ.к. пунктларга ва якунида охириги пунктга қаратилади; бунда ҳар бир пунктга қаратилганда лимбдан саноклар олинади. Бу ўлчашларни жами биринчи ярим приёмни ташкил этади. Шундан кейин трубани зенит орқали ўтказиб ва алидадани соат мили йўлига қарши йўналиш бўйича айлантириб трубани яна ўша пунктларга фақат тескари кемакетликда қаратилади: охириги пунктга, охириги пунктдан битта олдингисига ва ҳ.к., охирида биринчи пунктга қаратилади ва шу билан иккинчи ярим приём якунланади. Иккала ярим приёмлар битта приёмни ташкил қилади ва приёмлар сони тенгланган йўналишларни зарур вазнига қараб белгиланади. Агарда ҳар бир ярим приём охирида трубани бошланғич (биринчи) пунктга қайта қаратиб лимб бўйича яна санок олинса, яъни уфқ ёпилса, йўналишларни бундай ўлчаш усулига **доиравий приёмлар усули** дейилади.

Доиравий приёмлар усули 1816 йилда буюк рус геодезисти ва астрономи академик В.Я.Струве томонидан таклиф этилган. Бу усул жаҳонни деярли ҳамма давлатларида тарқалган. МДХ давлатларида у 2-4 класс давлат геодезик тармоқларини қуришда қўлланади.

Триангуляция пунктида кузатиш тартиби ва дастури

Биригада тайёргарлик ишлари мажмуасини бажаради, геодезик белги (пирамида ёки сигнал) ни кўздан кечиради, зарур бўлса кичик таъмирлаш ишларини бажаради; бурчак ўлчаш натижаларини пункт марказига боғлаш учун уни ер остидаги маркагача кавлаб очилади; геодезик сигналга теодолит ва керакли анжомларни кўтарилади; теодолитни куёш нуридан сақлаш учун палатка ёки брезет ўрнатилади. Кузатувчи геодезик белгини синчиклаб қараб чиқиб теодолит ўрнатиладиган столни мустаҳкамлигига ва сигнални ички пирамидаси, кўтаргич столча, ҳеч қаерида пол ва нарвонга тегиб турмаганига ишонч ҳосил қилиши керак. Аниқланган камчиликларни кузатувчи бартараф қилиши керак.

Столча марказида нуқтани белгилаб, уни устига теодолит ўрнатилади. Агарда теодолит комплектида марказлаш плитаси бўлса аввал нуқта устига у ўрнатилади, кейин теодолит плитага маҳкамланади. Кузатишга ўтишдан аввал кузатувчи геодезик тармоқ чизмасига асосан жойдаги кузатиладиган пунктларга теодолит трубадан қараб чиқиб горизонтал ва вертикал доиралардан 1' аниқликда олинган санокларни ёзиб олади. Кейин лимбни ўрнатиш жадвалини тузиши керак, бу жадвал бурчак ўлчашни дастури ҳисобланади.

Теодолит сигнал столига ўлчашларни бошлашдаш 40 минут аввал ўрнатилади ва синчиклаб текиширилади. Кузатиладиган цилиндрик нишонларни тасвири яхши, сокин ёки енгил тебранаётган ($\pm 2''$) ҳолати тушиши билан горизонтал йўналишларни кузатишга ўтилади.

Йўналишларни доиравий приёмлар усулида ўлчашда қуйидаги талабларга риоя қилинади:

- биринчи ярим приёмда алидада фақат соат мили йўли бўйича айлантирилади, иккинчи ярим приёмда, труба зенит орқали айлантирилгандан кейин фақат тескари йўналишда;

- биринчи ярим приёмда иплар тўрининг маркази предметдан озроқ ўтказилади, иккинчисида озроқ етказилмайди. Бу қараш

трубасини нишонга аниқ қаратишда йўлловчи винтини, соат милининг йўли бўйича бураш мақсадида қилинади;

- ҳар бир ярим приёмни бошлашдан олдин алидадани ушбу приёмда айлантириш йули бўйича бир неча марта бўш айлантирилади;

- текшириш трубаси билан таъминланган теодолитлар билан кузатишда ўлчаш тартиби қуйидаги билан тўлдирилади. Ҳар бир кузатиш бош труба окуляр микрометр биссекторини предметга (пунктга) уч марта қартиш, бирданига текшириш трубаси окуляр микрометрини ҳам 1 км чамаси ораликда ўрнатилган марка ёки яқинроқ жойлашган ва аниқ кўринадиган геодезик белгига уч маротаба қаратишдан иборат;

- турли приёмларда ўлчанадиган йўналишларни мустақиллигини таъминлаш ва ўртача натижага лимб диаметрлари хатоси таъсирини камайтириш учун, приёмлар орасида лимб қуйидаги бурчакка ўзгартиб олинади

$$\delta = (180^\circ / m) + i, \quad (9.16)$$

бу ерда m - приёмлар сони, i - лимб бўлагининг қиймати.

Йўналишлар 2 класс пунктларида 12-15 та, 3 класс пунктларида – 9 та, 4 класс пунктларида эса – 6 та приёмларда ўлчанади.

Учланган йўналишлар қийматига қуйидаги тузатмалар киритилади: уфқ ёпилмагани учун, рен учун ($r > 0,5''$ бўлганда), теодолит вертикал ўқининг қиялиги учун (визир нурунинг оғиш бурчаги 1° дан ошганда).

Бурчак ўлчаш натижаларини назорат қилиш ҳар бир ярим приёмда бошланғич йўналишга қараб приём бошида ва охирида олинган натижаларни (санокларни) тенглиги бўйича, приёмларда эса ҳар бир приёмда нолга келтириб ҳисобланган, бир хил йўналишлар қийматларини тенглиги бўйича амалга оширилади.

Масалан, 2 – 4 класс триангуляциясида ярим приём бошида ва охирида бошланғич йўналишни кузатиш натижалари (саноклар) орасидаги фарқ $T05$, $T1$ теодолитлар учун $5''$, $T2$ учун эса $6''$ дан

ошмаслиги керак; алоҳида приёмлардаги нолга келтирилган йўналишлар фарқи эса тегишлича 4" ва 5" дан.

Қуйида горизонтал йўналишларни ўлчаш журналининг шакли 13-жадвалда келтирилган.

13-жадвал

Теодолит Т1 №27200

Пункт “Жар”

Сана 15.05.12

Вақт 17с.00 д.

Тасвир аниқ

Приём 1

$t = +24^{\circ}$

Об-ҳаво: очиқ, шабада

Кўриниш: қониқарли

Йўна- лиш	Дои ра	Лимбд ан санок	Микрометрдан санок		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	2C	$\frac{d\chi + d\psi}{\sigma}$	Нолга келтирил ган йўналиш лар
			a_1	a_2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
“Бол- та”	ДЧ	0°00′	40,2″	40,4″	40,3″	-	0°00′42,	0°00′00″
	ДЎ	180 00	45,3	45,1	45,2	4,9	8″	
	ДЧ	63 16	26,2	25,8	26,0	”	0,0	63 15
“Қипч ақ”	ДЎ	243 16	27,4	28,2	27,8		63 16	44,0
	ДЧ	109 48	04,6	05,0	04,8	-	26,9	
	ДЎ	289 48	09,7	09,1	09,4	1,8	-0,1	109 47
“Қора су”	ДЧ	186 35	27,2	27,8	27,5		109 48	24,1
	ДЎ	6 35	32,7	33,5	33,1	-	07,1	
	ДЧ	0 00	41,1	41,8	41,4	4,6	-0,2	186 34
“Бу- лоқ”	ДЎ	180 00	44,8	45,3	45,0		186 35	47,2
						-	30,3	
						5,6	-0,3	
“Бол- та”							0 00	
						-	43,2	
						3,6	-0,4	

Уфқ ёпилмаслиги: $\Delta_{d\chi} = +1,1''$; $\Delta_{d\psi} = -0,2''$.

$$\Delta_{yp} = \frac{1,1'' - 0,2''}{2} = +0,4''; \sigma = -\frac{0,4''}{4} = -0,1''.$$

$$2c = 3,8''.$$

Журнални ишлаб чиқишда 4 ва 5 устунлари бўйича микрометр саноклари ўртачаси топилиб 6 устунга ёзилади. Кейинги, 7 устунда ҳар бир йўналиш $ДЧ$ ва $ДЎ$ санокларининг ўртачаси бўйича $2c$ қиймати $2c = ДЧ - ДЎ$ ҳисобланиб ёзилади.

Ҳар бир йўналишга $ДЧ$ ва $ДЎ$ санокларнинг ўртачаси $(ДЧ+ДЎ)/2$ олиниб 8 устунга ёзилади, бунда градус қийматлари фақат $ДЧ$ бўйича олинади.

Қуйидаги формула $\sigma_k = (-\Delta_{yp} / n)(k-1)$ бўйича ҳар бир йўналишга тузатма топилади; бунда σ_k - йўналиш учун тузатма; n - кузатилган йўналишлар сони; k - кузатилган йўналишнинг тартиб рақами.

Журналда ёзилган рақамларни ўчириб қайта ёзиш, устидан ёзиб тузатишга йўл қўйилмайди.

Биринчи ярим приём охирида уфқ ёпилмаслиги ва $2c$ қиймати тўла приём ўртасида уларнинг йўл қўярли чекидан ошиб кетса кузатиш тўхтатилади ва приём қайта бажарилади.

Станцияда ўлчанган натижаларни тенглаш ва аниқлигини баҳолаш

Ҳар бир приёмда аввал икки ярим приёмларда ўлчанган йўналишлар қийматлари ўртачаси топилади; кейин “уфқ ёпилмагани” хатоси тескари ишораси билан ҳамма йўналишларга, уларни номерига пропорционал равишда тақсимланади, кейин эса ҳамма йўналишлар бошланғичга уни $0^{\circ}00'00,00''$ га тенг деб қабул қилиб келтирилади. Станцияда тенгланган йўналишлар, аниқроғи бурчаклар $[j.l]$ (бошланғич йўналишдан ҳисобланадиган) m приёмлардаги ўлчашлар ўртачаси сифатида топилади

$$[1.j] = \frac{1}{m} \sum 1.j. \quad (9.17)$$

Бошқа ҳар қандай жуфт йўналишлар j ва l ташкил қилган тенгланган бурчак $[j.l]$ бошланғич йўналишдан ҳисобланадиган

тенгланган йўналишлар, аниқроғи бурчаклар, фарқи сифатида топилади:

$$[j.l] = [1.l] - [1.j]. \quad (9.18)$$

Тенгланган йўналиш вазни P (9.9) формулага асосан $P_i = m$, $k_i = n$ ва $t = 1$ бўлганда қўйидагига тенг

$$P = nt \frac{P_i}{k_i} = m, \quad (9.19)$$

яъни йўналишларни доиравий приёмларда ўлчашда тенгланган йўналиш вазнини ўлчаш приёмлари сонига тенг деб қабул қилинади.

Бунда вазн бирлиги ўрта квадратик хотаси қўйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$\mu = \sqrt{\frac{n \sum [\vartheta_{1,j}^2] - \sum [\vartheta_{1,j}]^2}{n(n-1)(m-1)}}, \quad (9.20)$$

бу ерда

$$v_{1,j} = 1.j - [1.j]$$

- m приёмда ўлчанган йўналишларни уларнинг ўртача қийматидан фарқи; n - йўналишлар сони.

Амалда (9.20) аниқ формула ўрнига кўпинча Петерс тақрибий формуласи қўлланади

$$\mu = \frac{1,25}{\sqrt{m(m-1)}} \frac{\sum |\vartheta_{1,j}|}{n} = k \frac{\sum |\vartheta_{1,j}|}{n}, \quad (9.21)$$

бу ерда $\sum |\vartheta_{1,j}|$ - приёмларда ўлчанган йўналишлар қийматларини, уларнинг ўртачасидан фарқининг абсолют қийматлари йиғиндиси; m - приёмлар сони; n - йўналишлар сони. Ҳар хил приёмлар сони учун (9.21) формуладаги k қийматлари қўйидагиларга тенг:

m	6	9	12	15
k	0,23		0,15	0,11 0,08

Тенгланган йўналишларнинг ўрта квадратик хатоси қўйидагига

тенг,

$$M_H = \frac{\mu}{\sqrt{m}} \quad (9.22)$$

бу ерда m - ўлчаш приёмлари сони; тенгланган бурчак ўрта квадратик хатоси қўйидагига тенг $M_y = M_H \sqrt{2}$.

Қуйидаги формула бўйича q номерли йўналиш тенгланган қийматининг ўрта квадратик хотаси ҳисобланади.

$$M_q = \sqrt{\frac{(n-2)[\mathcal{Q}_{q,l}^2] - [\mathcal{Q}_{i,k}^2]}{m(m-1)(n-1)(n-2)}}, \quad (9.23)$$

бу ерда m - приёмлар сони; n -йўналишлар сони $\mathcal{Q}_{q,l} = q.l - [q.l]$; $\mathcal{Q}_{i,k} = i.k - [i.k]$.

Ўрта квадратик хатоси топишлиши керак бўлган йўналиш номери q бўлсин. Станциядаги барча бурчаклар $j.l$ ни икки гуруҳга бўламиз: битта гуруҳга q - йўналиш қатнашиб ташкил қилган бурчаклар кирсин, уларни $q.l$ билан белгилаймиз; иккинчи гуруҳга q йўналиш кирмаган, қолган ҳамма бурчаклар, уларни $i.k$ орқали белгилаймиз. Шу белгиларни қабул қилиб юқоридаги (9.23) формула бўйича ҳоҳлаган тенгланган йўналишни ўрта квадратик хатоси топилади.

Станцияда бурчак ўлчашни математик ишлаш

Приёмларда ўлчанган натижалар жадвали тузилади (14- жадвал); кейин бошланғич йўналишга келтирилган ҳар бир йўналиш, яъни $1, j$ бурчаклар учун ўртача чиқарилади ва у тенгланган бурчак $[1. j]$ деб қабул қилинади. Кейин аниқлигини баҳолашга ўтилади. Бурчаклар $1, j$ учун приёмлардаги ўртачадан оғиши $\mathcal{Q}_{1,j} = 1.j - [1.j]$ ҳисобланади; бошқа ҳамма бурчаклар $j.l = 1.l - 1.j$ учун эса $\mathcal{Q}_{j,l} = v_{1,l} - v_{1,j}$ формула бўйича оғиш $\mathcal{Q}_{j,l}$, ҳамда аниқликни юқорида келтирилган формулалар билан баҳолаш учун бошқа қийматлар ҳисобланади.

Якуний вазн бирлигининг ўрта квадратик хотаси топилади, у олинган мисолда қуйидагига тенг:

$$\mu = \sqrt{\frac{n \sum [\mathcal{Q}_{1,j}^2] - \sum [\mathcal{Q}_{1,j}]^2}{n(n-1)(m-1)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 78,50 - 146,50}{4 \cdot 3 \cdot 11}} = 1,13'',$$

ҳамда пункт учун тенгланган йўналиш ўрта квадратик хатосини пункт учун ўртачаси топилади

$$M_H = \frac{\mu}{\sqrt{m}} = \frac{1,13}{\sqrt{12}} = 0,33''.$$

Юқоридаги қийматлар қуйида келтирилган 14-жадвалдан топилган.

14- жадвал

Қабул номер и	1.2		1.3		1.4		$\vartheta_{2,3}$	$\vartheta_{2,4}$	$\vartheta_{3,4}$	$[v_{1,j}]$
	$63^{\circ}15'$	$\vartheta_{1,2}$	$109^{\circ}47'$	$\vartheta_{1,3}$	$186^{\circ}34'$	$\vartheta_{1,4}$				
1	44,0"	-1,32"	24,1"	-0,12"	47,2"	-1,86"	+1,20"	-0,54"	-1,74"	-3,30"
2	45,8	+0,48	26,7	+2,48	51,5	+2,44	+2,00	+1,96	-0,04	+5,40
3	44,3	-1,02	22,4	-1,82	50,1	+1,04	-0,80	+2,06	+2,86	-1,80
4	43,0	-2,32	24,8	+0,58	45,9	-3,16	+2,90	-0,84	-3,74	-4,90
5	46,7	+1,38	27,3	+3,08	50,8	+1,74	+1,70	+0,36	-1,34	+6,20
6	44,0	-1,32	22,5	-1,72	48,2	-0,86	-0,40	+0,46	+0,86	-3,90
7	44,6	-0,72	23,9	-0,32	49,4	+0,34	+0,40	+1,06	+0,66	-0,70
8	46,0	+0,68	23,0	-1,22	48,2	-0,86	-1,90	-1,54	+0,36	-1,40
9	46,4	+1,08	23,3	-0,92	49,7	+0,64	-2,00	-0,44	+1,56	+0,80
10	47,8	+2,48	25,4	+1,18	49,9	+0,84	-1,30	-1,64	-0,34	+4,50
11	44,9	-0,42	24,0	-0,22	50,2	+1,14	+0,2	+1,56	+1,36	+0,50
12	46,4	+1,08	23,2	-1,02	47,6	-1,46	-2,10	-2,54	-0,44	-1,40
Ўрта- ча назо- рат	45,32 $\sum \vartheta$ [$\vartheta_{1,j}^2$]	+0,06 21,68	24,22	-0,04 27,18	49,06	-0,02 29,65	-0,10 31,45	-0,08 24,69	+0,02 32,89	

$$\sum |\vartheta_{1,j}| = 45,36; \quad \sum [\vartheta_{1,j}] = 78,50; \quad \sum [\vartheta_{1,j}]^2 = 146,50.$$

Юқоридаги жадвалда 2 класс триангуляция пунктида ўлчанган йўналишларни тенглаш берилган; бунда бошланғич йўналиш $0^{\circ}00'00''$ га тенг; мисол [17] дан олинган.

Навбатда тенгланган йўналишлар жадвали тузилади ва (9.23) формула бўйича улар ҳар бирининг ўрта квадратик хатоси M_q топилади (15-жадвал).

Ҳисобланган M_q ва M_H хатолар қийматларини тўғрилиги текширилади, бунда қуйидаги тенгликдан фойдаланади

$$\sum_{q=1}^n M_q = n M_H^2. \quad (9.24)$$

Доиравий приёмлар усули қуйидаги муҳим афзалликларга эга:

- бурчакларни ўлчашни жуда содда дастури бир хил вазндаги тенгланган йўналишларни олиш имконини беради;

- ҳар бир йўналишни кўп сонли приёмларда бевосита ўлаш имкони (2 класс триангуляция пунктида $m=12-15$). Бунинг натижасида ўлчашларда ишончли натижалар олинади ва ўлчанган йўналишлардаги йўл қўйилган хатолар осон топилиб бир вақтда тузатиб борилади;

- лимб диаметри систематик хатосини приёмлардаги ўлчаш натижалари ўртачасига таъсири сезирарли камаяди.

15-жадвал

Йўналиш q	Тенгланган йўналиш	$[v_{q.1}^2]$	$[v_{i.k}^2]$	M_q
1	0°00'00"	78,51	89,03	0,29"
2	63 15 45,32	77,82	89,72	0,29"
3	109 47 24,22	91,92	76,02	0,37"
4	186 34 49,06	87,23	80,31	0,34"

$$\sum M_q^2 = 0,42.$$

Усулни камчиликларига қуйидагилар киради:

- пунктда ўлчанадиган йўналишлар сони кўп бўлса битта приёмни бажаришга нисбатан кўп вақт талаб қилинади. Кузатиш қанча узоқ давом этса шунчалик хатоликлар таъсири ошади;

- бир вақтни ўзида ҳамма кузатиладиган йўналишлар бўйича кўриниш яхши бўлиши керак, бу эса ҳар доим бўлавермайди. Кузатиш даврида кўриниши яхши бўлмаган йўналишлар қолдирилади, кейин уларни битта ёки иккита қўшни ва бошланғич йўналишлар билан ўлчанади, бу эса кузатиш дастурини бузишга ва тенгланган йўналишларни тенгмас аниқликка олиб келади.

Пунктдаги бошланғич йўналиш, бошқаларига қараганда бир мунча аниқроқ қийматга эга бўлади.

9.4. Барча комбинацияларда бурчак ўлчаш (Шрейбер) усули

Бу усулни моҳияти пунктда бурчакларни барча йўналишлардан тузиладиган турли жуфтланган барча комбинацияларда ўлчашдан иборат.

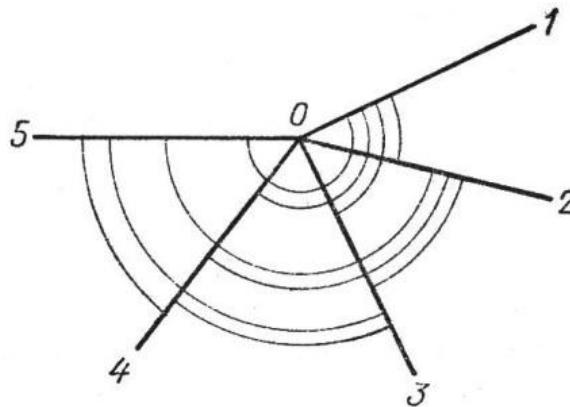
Пунктда йўналишлар сони n та бўлганда қуйидаги бурчаклар ўлчанади:

$$\left. \begin{array}{l} 1.2 \ 1.3 \ 1.4 \ \dots \ 1.n, \\ 2.3 \ 2.4 \ \dots \ 2.n, \\ 3.4 \ \dots \ 3.n, \\ \dots \ \dots \ \dots, \\ n-1.n. \end{array} \right\} \quad (9.25)$$

Бундай бурчакларни сони n 2 тадан бирикмага тенг, яъни

$$r = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}. \quad (9.26)$$

Масалан, 5 та йўналишли пунктда 10та бурчак ўлчанади, 9.1 шакл



9.1 – шакл. 5 та йўналишли пунктда барча комбинацияларда бурчак ўлчаш схемаси.

Станцияда тенгланган йўналишларнинг вазни (9.5) формулага асосан қуйидагига тенг

$$P = mn, \quad (9.27)$$

бу ерда m -ҳар бир бурчакни ўлчаш приёмлари сони, n - пунктдаги йўналишлар сони; тенгланган бурчакнинг вазни тенгланган йўналиш вазнининг яримига тенг, яъни

$$P_{тенгл.} = mn / 2. \quad (9.28)$$

Бир хил классдаги пунктларда тенгланган йўналишлар вазни, уларни сони турли бўлишига қарамай, бир хил бўлиши учун Шрейбер биринчи қилиб mn кўпайтмаси ҳамма пунктларда доимий қийматга тенг бўлиши талабини қўйди, яъни $P = mn = const$.

Ушбу усул 1 ва 2 класс триангуляцияси ва полигонометриясида қўлланади. Тенгланган йўналишлар вазни $P = mn$ қуйидагиларга тенг қабул қилинади:

триангуляция:

1-класс 35 - 36;

2-класс 21 - 25;

полигонометрия:

1-класс 48;

2-класс 36.

Бурчакларни бир-бирига боғлиқ бўлмаган тартибда ўлчашни ва лимб диаметрлари хатоси таъсирини камайтиришни таъминлаш мақсадида Шрейбер иккинчи талабни шакллантирди: ҳар бир йўналишни имкони борича лимбнинг битта ҳолатида бир маротаба, ўлчаш керак.

Бу талаб лимб ўрнини ўзгартишни керакли системасини қўлашда бажарилиши мумкин. Лимбнинг ихтиёрий ҳолатида бир-бирига боғлиқ бўлмаган диаметрларида n та жуфт бурчаклар $n/2$, n та тоқ бурчаклар эса $(n-1)/2$ марта ўлчаниши мумкин.

Жами бўлиб пунктда $r = n(n-1)/2$ та бурчаклар ўлчанади. Бундай бурчаклар ҳар бир гуруҳида бир-бирига боғлиқ бўлмаган ўлчашларни таъминлаш учун, бир гуруҳдан иккинчисига ўтишда лимбни бурчаклар сони n жуфт бўлса

$$\frac{n(n-1)}{2} : \frac{n}{2} = n-1, \quad (9.29)$$

n тоқ бўлса

$$\frac{n(n-1)}{2} : \frac{n-1}{2} = n$$

марта ўзгартиб олиш керак бўлади.

Ҳар бир бурчак m та приёмда ўлчаниши ва приёмлар орасида лимбни $\delta = (180/m) + i$ бурчакка ўзгартиб олиш кераклиги учун бирига ёндош бўлмаган бурчаклар бир гуруҳини ўлчашда бошқа гуруҳга ўтишда лимбни ўзгартиш бурчаги σ қуйидагича ҳисобланади:

бурчаклар сони n жуфт бўлса

$$\sigma = \frac{\delta}{n-1} + i, \quad (9.30)$$

бурчаклар сони n тоқ бўлса

$$\sigma = \frac{\delta}{n} + i.$$

Бу формулаларда лимб кичик бўлагининг қиймати i лимб диаметри қисқа даврий хатолари таъсирини камайтириш мақсадида олинади.

Лимбни ўрнатиш жадвалини, масалан, $n=4$, $mn=24$, $i=10'$ бўлганда, ҳисоблашни кўриб чиқамиз, 16-жадвал. Бош йўналишдан ўлчанмайдиган бурчаклар $j.l$ учун лимбни жадвал бўйича ўрнатиш қиймати ўрнига ишчи деб аталадиган қийматга ўтиш керак бўлади. Бунинг учун жадвал бўйича лимбни ҳар бир ўрнатиш қийматига бошланғич йўналиш билан ўлчанадиган $j.l$ бурчакни чап йўналиши орасидаги $1'$ аниқликда ўлчанган бурчак $1.j$ бурчак қўшилади. Топилган қийматлар лимб бўлаги i қолдиқсиз бўладиган сонгача яхлитланади.

Ҳисоблаш натижаси қуйидаги 16-жадвалда берилган.

16-жадвал

Бурчак	Приёмлар					
	I	II	III	IV	V	VI
1.2	0°00′	30°10′	60°20′	90°30′	120°40′	150°50′
1.3	10 10	40 20	70 30	100 40	130 50	161 00
1.4	20 20	50 30	80 40	110 50	141 00	170 10
2.3	20 20	50 30	80 40	110 50	141 00	170 10
2.4	10 10	40 20	70 30	100 40	130 50	161 00
3.4	0 00	30 10	60 20	90 30	120 40	150 50

Алоҳида бурчакни ўлчаш услуби. Ҳар бир бурчак лимбнинг битта ўрнатилишида икки ярим приёмларда ўлчанади. Биринчи ярим приёмда аниқланаётган бурчак ўлчанади, иккинчи ярим приёмда эса шу бурчакни 360°га тўлдирувчиси. Ҳар иккала ярим приёмларда алидада бир хил йўналиш бўйича айлантрилади. Приёмдан приёмга ўтишда эса алидада олдингисига нисбатан тескари йўналишда айлантрилади. Ўлчанадиган битта пунктдаги ҳамма бурчаклар турли шароитларда, яъни кеч (эрталаб) ки вақт давомида ҳамма бурчаклар ушбу пунктда аввал битта приёмда, кейин шу бурчаклар иккинчи приёмда, учинчи приёмда ва ҳ.к. ўлчаб чиқилиши керак.

Ушбу усулда юқоридаги 9.1 шаклда кўрсатилган бурчаклар қуйидагича ўлчанади. Қараш трубагининг биссектори чап йўналишнинг визирлаш нишонига қаратилади. Оптик микрометр ва лимбада дастур бўйича ҳисобланган санок қўйилади (2-3'аниқликда). Алидада бўшатилади ва у соат йўлига қарши йўналишда 30-40°га айлантрилади. Тескари йўналишда (соат йўли бўйича) алидада айлантрилиб труба ўлчанадиган бурчакнинг чап йўналишига (9.1-шаклда 1-пункт) қўлда қаратилади ва алидада маҳкамланади. Алидаданинг йўналтириш винти билан визирлаш нишони труба биссекторига киритилади. Окуляр микрометрнинг биссектори уч маротаба визирлаш нишонига қаратилади (*T05*, *T1* теодолитларда) ва ҳар сафар окуляр микрометри шкаласидан санок олинади. Лимбнинг қарама-қарши штрихлари икки маротаба

туташтирилиб (ОТ-02М ва Т2 теодолитларда) ҳар бирида оптик микрометрдан санок олинади (биринчи туташтиришда лимбдан ҳам санок олинади). Алидада бўшатилиб у соат йўли бўйича қўл билан айлантирилиб труба ўлчанаётган бурчакнинг ўнг йўналишига қаратилади ва алидада маҳкамланади. Алидада йўналтириш винти билан визирлаш нишони трубанинг биссекторига киритилади ва окуляр микрометри, лимбдан саноклар олинади (ОТ-02М ва Т2 да оптик микрометрдан санок олинади). Шу билан биринчи ярим приём тугайди.

Труба зенит орқали айлантирилиб (иккинчи ярим приём) алидада 180° га ўзгартирилади. Биссектор ўнг йўналишни визирлаш нишонига қаратилади, биринчи ярим приёмдаги амаллар ва санок олишлар такрорланади. Алидада бўшатилиб соат йўли бўйича ўлчанаётган бурчакни 360° га тўлдирадиган бурчак қийматига айлантирилади ва олдинги йўналиш бўйича бажарилган амаллар ва саноклар такрорланади ва шу билан ушбу бурчакни битта приёмда ўлчаш якунланади.

Лимб карама-қарши штрихларини туташтиришда оптик микрометр бўйича олинган саноклар фарқи ОТ-02М теодолити учун 2,5" ва Т2 учун 4"дан ошмаслиги керак.

Окуляр микрометри барабани бўйича олинган санокларни ўзгариши уни битта бўлагидан (1") ошмаслиги керак.

Пунктдаги ўлчаш дастурининг яримини алидадани соат йўли бўйича айлантириб, иккинчи қисмини соат йўлига тескари айлантириб бажарилади. Бунинг учун приёмдан приёмга ўтишда алидадани айлантириш йўналишини ўзгартириш тавсия этилади. Битта бурчакни кетма-кет бир нечта приёмда ўлчашга йўл қўйилмайди.

Қуйидаги 17-жадвалда бурчакларни барча комбинацияларда ўлчаш журналининг шакли келтирилган.

Барча комбинацияларда бурчак ўлчаш журнали

Теодолит Т1

Об-ҳаво: очик

Сана 10.05.06 й.

Шамол: Жшқ, секин

 $t=+26^{\circ}$

Кўриниш: яхши

Вақт $18^{00}-18^{10}$

Тасвир: аниқ

Бурчак, приём	Доира	Йўналиш номери, визир ношон и	Саноқлар		Ярим приёмлардаги қийматлар		Бурчакни н ўртача қиймати
			Лимб штрихлари	Шкала	Йўналишлар	Бурчаклар	
1-3 III	ДЧ	1 в.н.	$53^{\circ}15'$	$1'19,4''$ $19,8''$	$16'19,6''$		$151^{\circ}11'04,4''$
		3 в.н.	$204^{\circ}25'$	$2'24,6''$ $25,0''$	$27'24,8''$	$151^{\circ}11'05,2''$	
		3 в.н.	$24^{\circ}25'$	$2'24,2''$ $23,8''$	$27'24,0''$		
	ДЎ	3 в.н.	$24^{\circ}25'$	$2'24,2''$ $23,8''$	$27'24,0''$		
		1 в.н.	$233^{\circ}15'$	$1'20,2''$ $20,8''$	$16'20,5''$	$151^{\circ}11'03,5''$	

$$ДЧ - ДЎ = +1,7''$$

Ўлчанган ҳамма бурчаклар тенг вазнларга эга бўлади. Лекин ҳар бир бурчак, бевосита ўлчанган қийматидан ташқари бошқа ўлчанган бурчакларнинг айирмаси ёки йиғиндисидан топилиши мумкин. Масалан, бурчак

$$(1.2) = (1.3) - (2.3) = (1.4 - 2.4), \text{ (9.1-шакл),}$$

$$\text{бурчак } (1.3) = (1.2) + (2.3) = (1.4 - 3.4) \text{ ва х.к.}$$

Пунктда n та йўналиш бўлса иккита бурчаклар айирмаси ёки йиғиндисидай бевосита ўлчанган бурчак қийматлари $n-2$ тасини ҳосил қилиниши мумкин. Бурчакни бевосита ўлчанган қиймати, уни бошқа қийматларига қараганда аниқроқ бўлади; бундан ташқари ҳамма қийматлари ўзаро тенг бўлмайди. Шу сабабли ўлчашлар

якунлангандан кейин бурчакларни тенглаш керак бўлади, яъни ҳар бир бурчак учун битта якуний қиймат топилиши керак бўлади.

Бурчакларни станцияда тенглаш ва аниқлигини баҳолаш.
Дастлаб m приёмлардан ҳар бир бурчакнинг ўртача қиймати топилади

$$j.l = \frac{1}{m} \sum (j.l)_i, \quad (9.31)$$

бунда приёмларда топилган қийматларнинг фарқи белгиланган чеклардан ошмаган бўлиши керак.

Приёмлардаги бурчаклар қийматлари ўртачасидан фойдаланиб станциядаги тенгланган бурчаклар топилади

$$\left. \begin{aligned} [1.2] &= \frac{2 \cdot 1.2 + (1.3 - 2.3) + \dots + (1.n - 2.n)}{n}, \\ [1.3] &= \frac{2 \cdot 1.3 + (1.2 + 2.3) + \dots + (1.n - 3.n)}{n}, \\ &\dots \dots \dots \\ [1.n] &= \frac{2 \cdot 1.n + (1.2 - 2.n) + \dots + (1.n - 1 + n - 1.n)}{n}, \end{aligned} \right\} \quad (9.32)$$

бу ерда n - пунктдаги йўналишлар сони.

Юқоридаги (9.32) формулалардан кўринишича ҳар қандай тенгланган бурчак $[j.l]$ вазнли ўртача сифатида топилади: бевосита ўлчанган бурчакка 2 га тенг вазн, тегишли қўш бурчаклар комбинацияларидан топилган қийматларга эса вазн 1 га тенг деб олинади.

Тенгланган йўналишлар 1, 2, 3, . . . , n тегишли рақамли қийматларни олади: $0^{\circ}00'00''$, $[1.2]$, $[1.3]$, . . . , $[1.n]$.

Вазн бирлигининг ўрта квадратик хатоси қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$\mu = \sqrt{\frac{2m \sum \vartheta^2}{(n-1)(n-2)}}, \quad (9.33)$$

бу ерда $v = j.l - [j.l]$ - бурчакларни ўлчанган (приёмлардан ўртачаси) ва тенгланган қийматларининг фарқи, m - приёмлар сони; n - йўналишлар сони.

Тенгланган йўналишлар ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

$$M_H = \frac{\mu}{\sqrt{mn}} = \sqrt{\frac{2\Sigma\vartheta^2}{n(n-1)(n-2)}}, \quad (9.34)$$

тенгланган бурчакларнинг ўрта квадратик хатоси эса

$$M_m = \frac{\mu}{\sqrt{mn/2}} = \sqrt{\frac{4\Sigma\vartheta^2}{n(n-1)(n-2)}}. \quad (9.35)$$

Тўртта йўналишли пунктда бурчак ўлчаш натижаларини ишлаб чиқишга мисол кўриб чиқамиз. Ҳисоблашлар қуйидаги тартибда олиб борилади:

1. Ўлчашлар натижалари ёзилади

Бурчаклар	Приёмлар ўртачаси
1.2	61°18'48,57"
1.3	117°27'18,04"
1.4	175°49'02,59"
2.3	56°08'28,36"
2.4	114°30'13,39"
3.4	58°21'45,02"

2. Тенгланган бурчаклар ҳисобланади (18-жадвал).

18-жадвал

1.2	1.3	1.4	2.3	2.4	3.4
48,57"	18,04"	2,59"	28,36"	13,39"	45,02"
48,57"	18,04"	2,59"	28,36"	13,39"	45,02"
49,68"	16,23"	1,96"	29,47"	14,02"	44,55"
49,20"	17,57"	3,06"	28,37"	13,38"	45,03"
Ўртача 49,00 $\vartheta = -0,43$	17,64 +0,40	2,55 +0,04	28,64 -0,28	13,54 -0,15	44,90 +0,12

$$\Sigma\vartheta^2 = 0,4618.$$

3. Тенгланган йўналишлар жадвали тузилади (19-жадвал).

19-жадвал

Йўналиш N	Тенгланган йўналишлар	Йўналишлар вазни

1	0°0'00"	$n = 4$
2	61 18 49,00	$m = 9$
3	117 27 17,64	$P = mn = 36$
4	175 49 02,55	

4. Вазн бирлигининг ўрта квадратик хатоси ҳисобланади

$$\mu = \sqrt{\frac{2m \sum g^2}{(n-1)(n-2)}} = \sqrt{\frac{18 \cdot 0,4618}{3 \cdot 2}} = 1,18''.$$

5. Тенгланган бурчак ўрта квадратик хатоси ҳисобланади

$$M_m = \frac{\mu}{\sqrt{mn/2}} = \frac{1,18}{\sqrt{18}} = 0,28''.$$

Барча комбинацияларда бурчак ўлчаш усули қуйидаги афзалликларга эга.

1. Станцияда ўлчанган бурчакларни тенглаш натижаси тенг аниқ ўлчашлар қаторини ташкил қилади.

2. Бурчакларни ҳоҳланган кетма-кетликда ўлчаш мумкин, бунда кузатиш учун қулай кўриниш шароитини танлаб ва ўлчашларни юқори аниқликда таъминлаш мумкин.

3. Битта приёмга сарфланадиган вақтни қисқартиш (2-4 дақиқа) асосида ҳар бир бурчак геодезик сигнални ва ташқи муҳитни бир хил устувор ҳолатида ўлчаниши ва аниқ натижага эришиши таъминланади.

4. Лимб доирасини кўп маротаба ўзгартиб олиш сабабли ўлчашлар натижасига лимб диаметри хатоларининг таъсири камайтиради.

Усулни камчиликлари: пунктда йўналишлар сони n , ошиши билан приёмлар сони m кескин камайиб кетиши (бунда приёмларда ўлчанган бурчак ўртача қийматининг аниқлиги пасайиб кетади; ўлчанган бурчаклар сонини кўпайиб кетиши сабабли ўлчашлар ҳажмини ошиши ва бошқалар.

9.5. Комбинацияларда бурчакларни ўлчашнинг ўзгартирилган усули

Пунктлардан кузатиладиган йўналишларнинг сони кўпайганда бурчак ўлчаш асосий усулларини камчиликлари намоён бўлиб қолади. Шунинг учун 2-класс триангуляциясида йўналишлар сони кўп бўлган пунктларда бошқа, бундай ҳолатлар учун мақсадга мувофиқ бўлган, усулларни қўллаш керак бўлади. Бундай усуллардан бири А.Ф.Томилин тамонидан таклиф этилган ва 2-класс ёппасига муттасил узлуксиз куриладиган триангуляция тармоғида қўлланадиган усулдир.

Бу усулда n та йўналишли пунктда бурчаклар икки гуруҳга бўлиниб ўлчанади:

$$\left. \begin{array}{cccccc} 1.2 & 2.3 & 3.4 & \dots & n.1 \\ 1.3 & 2.4 & 3.5 & \dots & n.2 \end{array} \right\} \quad (9.36)$$

яъни қўшни йўналишлар орасидаги бурчаклар ва икки қўшни бурчаклар йиғиндисидан иборат бурчаклар гуруҳлари; бунда жами бурчаклар сони $2n$ ни ташкил қилади.

Ҳар бир бурчак барча комбинацияларда бурчак ўлчаш усулига ўхшаш лимбнинг ҳар бир қисмида ўлчанади. Бурчак ўлчаш приёмларининг сони бир хил пунктдаги йўналишлар сонидан қатъий назар, 5 ёки 6 та олинади.

Бу усулда бурчаклар тўла ўлчанмайди. Ўлчанадиган бурчакларнинг сони $\Delta r = n(n-1)/2 - 2n = n(n-5)/2$ пунктда йўналишлар ошиши билан кўпаяди:

n	5	6	7	8	9
Δr	0	3	7	12	18

Бешта йўналишли пунктда Шрейбер усулига ўхшаш ҳамма бурчаклар ўлчанади (9.25). $n \geq 6$ бўлганда бурчаклар тўла (ҳаммаси) ўлчанмаслиги сабабли станцияда тенгланган бурчаклар ва йўналишлар вазни турли бўлади. Тенгланган бурчаклар вазни $n = 7 \div 9$ бўлганда бир биридан бир ярим маротаба фарқланиши мумкин, бу эса ушбу усулни камчилигидир.

Бурчаклар пунктда тўла ўлчанмагани сабабли ўлчанган бурчакларга тузатмалар ҳисоблаш формулалари мураккаблашади ва амалда қўллашга ноқулайлик туғдиради. Бу усулни афзаллиги пунктдаги йўналишлар $n = 7 \div 9$ бўлса приёмлар сони 5-6 тани ташкил қилади, яъни Шрейбер усулига нисбатан бунда приёмлар сони ошгани учун бевосита ўлчанган бурчаклар аниқлиги юқори бўлади.

9.6. Тўла бўлмаган приёмлар усули

Ушбу усул Ю.А.Аладжалов усули дейилиб, унда берилган пунктдаги йўналишлар ҳар бирида учтадан йўналишлар бўлган гуруҳларга бўлинади. Гуруҳлар шундай танланадики бунда ўлчашлар натижалари бўйича n та жуфтланган йўналишларни иккитасидан ҳосил бўладиган ҳамма бурчакларни ҳисоблаш мумкин бўлсин. Ҳар бир гуруҳ мустақил йўналишлар усулида (уфқни ёпмасдан) кузатилади.

Гуруҳда учтадан йўналиш олиб пунктдаги ҳама кузатишларни тўла бажариш мумкин, агарда йўналишлар сони тоқ бўлиб, барча комбинацияларда ўлчаш учун усули ҳисобланган бурчаклар сони эса учга бўлинса, яъни пунктда 7, 9 ва 13 та йўналишлар бўлса.

Масалан, 7 та йўналиши бўлган пунктда қуйидаги гуруҳлар ўлчанади: 1.2.3, 2.4.5, 3.4.6, 5.6.1, 6.7.2 ва 4.7.1. Агарда пунктда 8, 10, 11, 12 та йўналишлар бўлса ўлчаш дастурига, учтадан йўналишли гуруҳлардан ташқари, учтадан йўналишлардан комбинация тузишда фойдаланмаган алоҳида бурчаклар киритилади. Алоҳида бурчаклар m та приёмда ўлчанади, бу ерда m - барча комбинацияларда ўлчаш усулида бурчакларни ўлчаш приёмлари сони. Учтадан йўналишли гуруҳлар $3/2m$ приёмларда ўлчанади.

Ўлчанган йўналишлар мустақиллигини таъминлаш ва бирданига лимб диаметри хатоларининг таъсирни камайитириш мақсадида приёмлар орасида лимб доираси қуйидаги бурчакка ўзгартиб борилади $\delta = (180^\circ / m) + i$, битта гуруҳ йўналишларидан иккинчисига ўтишда эса $\sigma = (\delta / r) + r$ бурчакка ўзгартирилади, бу ерда m - приёмлар сони, r - кузатиш дастуридаги йўналишлар гуруҳларининг

сони, i - лимбнинг кичик бўлаги қиймати. Тенгланган йўналишлар вазни қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$P = 2mn / k , \quad (9.37)$$

бу ерда m - йўналишлар ва алоҳида бурчакларни ўлчашда приёмлар сони; n - пунктдаги йўналишлар сони; k - гуруҳдаги йўналишлар сони ($k=3$); бурчаклар учун $k=2$.

Станцияда тенглаш ва аниқликни баҳолаш. Дастлаб гуруҳларда m та приёмда ўлчанган йўналишлар ва алоҳида бурчаклар қийматларининг ўртачаси ҳисобланади. Кейин, бу ҳисобланган ўртача қийматлардан фойдаланиб учта йўналишлардан иборат ҳар бир гуруҳдан учтадан чиқариладиган ҳамма бурчаклар (9.25) ҳисобланади. Бу бурчакларни бевосита ўлчанган бурчаклар деб ҳисоблаб (9.32) формулалар бўйича уларни тенгланган қийматлари бурчаклар $[1. j]$ ҳисобланади.

Тенгланган йўналишларнинг ўрта квадратик хатоси қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$M = \sqrt{\frac{3 \sum \vartheta^2}{n(n-1)(n-3) + r n}} , \quad (9.38)$$

бу ерда $\vartheta = j.l - [j.l]$ - приёмлардан ўртача қийматлар билан бурчакларнинг тенгланган қийматлари орасидаги фарқ; n - пунктдаги йўналишлар сони r - кузатишлар дастуридаги алоҳида бурчаклар сони.

Ушбу усулни қуйидаги афзалликлари бор:

- станцияда ўлчанган бурчакларнинг тенгланган натижалари тенг аниқ йўналишлар бир қаторини ташкил қилади;
- пунктдаги ишларнинг ҳажми бурчакларни барча комбинацияларда ўлчашга караганда 20-25% гача кам;
- турли йўналишлар бўйича кўриниш шароити ўзгарувчан бўлганда бу усул ушбу вақтда кўриниш яхши бўлган йўналишларни ўлчаш имкониятини беради.

Усулни камчиликларига қуйидагилар киради:

- учта йўналишлардан иборат гуруҳларни ташкил қилишни маълум тартиби йўқ, бу эса пунктда бурчакларни ўлчашда ноқулайлик туғдиради;

- пунктда йўналишлар сони $n=8$ бўлганда кузатиш дастури катта миқдордаги алоҳида бурчакларнинг ўлчашни талаб этади, бу эса кузатишлар аниқлигини ошириш ва меҳнат сарфини камайтиришга имкон бермайди;

- кузатишлар дастури бир тамонлама таъсир этадиган ҳатоликлар таъсирини камайтиришни кўзда тутмайди.

9.7. Йўналишларнинг симметрик комбинациялар усули

Ўлчашлар натижаларига бир томонлама ва систематик таъсир этувчи хатолар, масалан, теодолит алидадасини айлантирганда кўтаргич винтлар люфтидан келиб чиқувчи хато таъсирини камайтириш мақсадида кузатишлар дастурида мумкин қадар кўпроқ бир-бирини 360° га тўлдирувчи бурчакларни ўлчашни кўзда тутиш керак бўлади.

Гаусс тамонидан биринчи марта таклиф этилган бу талабни қондириш ҳар бир йўналишни дастур бўйича симметрик кузатишга ва шу билан аниқликни оширишга олиб келади.

Шу мақсадда В.Н.Ганшин бурчаклар ўлчашни циклар усули дастурини таклиф этди. Бунда $n=3\div 6$ бўлганда кузатиш дастурини ҳамма гуруҳида ҳар бир йўналиш бошланғич, ўрта ва охирги бўлади ва шу билан кузатишлар симметрияси таъмин этилади.

Кўпчилик ҳолларда гуруҳлар ягона қоида асосида ташкил қилинади: $i, i+1, i+3$ ва ҳ.к, бу ерда i - пунктдаги йўналиш номери. Ушбу хусусиятга кўра нафақат ўлчаниши зарур бўлган бурчаклар $\alpha = j.l$, балким уларни 360° га тўлдирувчи бурчаклар ҳам ўлчанади ва шу асосда тенгланган бурчакларни ҳисоблаш билан бир тамонлама таъсир этувчи ўлчаш хатолари камайтирилади. Бундан ташқари осонгина эслаб қоладиган кузатишлар дастури ишда қулайлик туғдиради. Агар $n=8$ бўлса учта йўналишлардан иборат гуруҳларга

қўшимча фақат тўртта бурчак ўлчанади, Аладжалов дастуридаги 7 та бурчак ўрнига.

Йўналишларнинг ҳар бир гуруҳи доиравий приёмлар усули услубида ўлчанади, фақат бу ерда уфқ ёпилмайди. Агарда $n=8$ бўлса қўшимча бурчаклар худди Шрейбер усулига ўхшаш ўлчанади. Йўналишларни ўлчашда улар бир-бирига боғланмаслиги учун лимб приёмлар орасида $\delta=(180^\circ/m)+i$ бурчакка, йўналишлар гуруҳлари орасида $\sigma=(\delta/r)+r$ га ўзгартиб олинади; бу ерда m - приёмлар сони; r - йўналиш гуруҳлари сони; i - лимб кичик бўлагнинг қиймати.

Йўналишлар ҳар бир гуруҳидаги ўлчаш приёмларининг сони қуйидаги формула бўйича топилади

$$m = \frac{kP}{2nt}, \quad (9.39)$$

бу ерда k - гуруҳдаги йўналишлар сони (айрим бурчак учун $k=2$); P - тенгланган йўналишнинг берилган вазни; n - пунктдаги йўналишлар сони; t - ҳар бир бурчак m та приёмларда ўлчанадиган турли гуруҳлар сони; $t>1$, яъни $n=3\div 6$ бўлганда ҳар бир бурчакни ўлчаш приёмлари сони, $m'=mt$ га тенг бўлади.

Станциядаги кузатишларни ишлаб чиқиш қуйидагича бажарилади:

- ҳар бир гуруҳ йўналишлари приёмларидан ўртачаси, ҳамда бурчаклар приёмлари ўртачаси чиқарилади ($n=8$ бўлса);

- учта йўналишдан иборат гуруҳда ҳар уччала бурчаклар қиймати ҳисобланади, бу бурчаклар йўналишларини қўш жуфтланиши ҳосил бўлади;

- (9.25) формуладан фойдаланиб станцияда n та йўналишларни 2 тадан бирикмадан ташкил топган бурчакларни ҳисобланган қийматларидан фойдаланиб станциядаги тенгланган бурчаклар қиймати (9.32) формула бўйича аниқланади (айнан барча комбинацияларда бурчакларни ўлчаш усулига ўхшаш). Тенгланган йўналишнинг вазни қуйидаги формуладан топилади

$$P = 2mnt/k, \quad (9.40)$$

бу ерда m - ўлчаш приёмлари сони; n - йўналишлар сони; t - кузатиш дастурида кўрсатилган ҳар бир бурчакни такрорланиши сони; k - гуруҳдаги йўналишлар сони (айрим бурчак учун $k = 2$).

Тенгланган йўналишни ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

$$M = \sqrt{\frac{k[\vartheta_{j,l}^2]}{nt(n-1)(nt-k)}},$$

бу ерда $\vartheta_{j,l} = j.l - [j.l]$ гуруҳларда m приёмда ўлчанган бурчаклар $j.l$ билан уларнинг тенгланган қийматлари $[j.l]$ орасидаги фарқ. $t > 1$, яъни $n = 3 \div 6$ бўлганда $\vartheta_{j,l}$ фарқлар бурчаклар сонидан t марта кўп бўлади; $k = 3$; n - пунктдаги йўналишлар сони.

9.8. Ориентир пунктларни боғлаш

Ҳар бир белгида ориентир пунктларга бўлган йўналишлар триангуляция тармоғининг йўналишлари билан боғланиши керак. Бунинг учун тармоқ томонлари ва ориентир пунктлар (ОРП) орасидаги бурчаклар қиймати $\pm 2,5''$ ошмаган ўрта квадратик хато билан ўлчаниши керак.

ОРП алоҳида дастурда ўлчанади. Дастурга тармоқнинг иккита йўналиши кузатувчининг танлаши асосида киритилади. Улардан бири бошланғич йўналиш бўлса мақсадга мувофиқ бўлади. ОРП доиравий приёмлар усулида учта тўла приёмда кузатилади, кузатишлар тармоқни кузатган асбобларда бажарилади.

Приёмларда топилган йўналишлар фарқи 6"дан ошмаслиги керак. ОРПни кузатишда пунктлар орасидаги масофалари билан ориентир пунктлар масофасининг фарқи трубани фокуслашини ўзгартишни талаб қилади. Бунда тармоқ йўналишларини шундай танлаш керакки, уларга ОРПни боғлашда труба фокуслашини икки мартадан ортиққа ўзгартиш талаб қилинмасин. ОРПга йўналишни ўлчашдан олдин белгилаш столби олиниб тупроқ остидаги марка очилади. Бу маркага трубани визирлаш учун уч хил усул қўлланиши мумкин.

1. Агар белги баланд бўлиб ОРП гача масофа яқин, (250-350 м), бўлса тупроқ белгига қараб очилади ва ОРП маркази устига учига

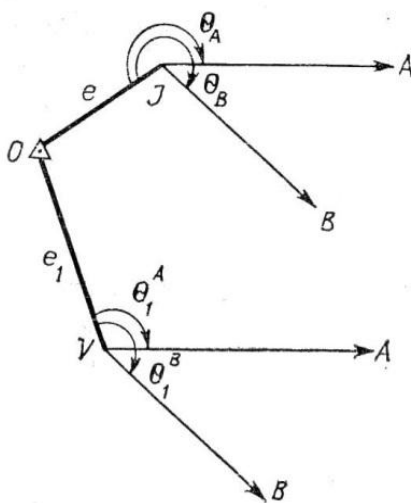
нина санчилган қалам тикка қилиб ўрнатилади (агарда махсус визирлаш нишони қўл остида бўлмаса).

2. ОРП маркасининг устига синчиклаб текширилган оптик центрир марказлаштирилади.

3. ОРП маркази устига марказлаштирувчи стол ёки мензула ўрнатилиб уни тахтаси горизонтал ҳолга келтирилади. ОРП маркасининг марказини теодолит билан учта станцияда туриб мензула тахтаси сиртига проекцияланади. Бунда тахтада чизилган проекциялаш текисликлари битта нуқтада кесиб ўтиши керак ва бу нуқта марканинг маркази бўлади. Тахтадаги бу нуқтада визирлаш нишони ёки қалам вертикал ўрнатилади.

9.9 Келтириш элементларини аниқлаш

Бурчакларни ўлчашда ҳар бир пунктда уни ташқи белгиси бўлмиш сигнал столида ўрнатилган теодолитнинг айланиш ўқи J ва визирлаш цилиндрининг симметрия ўқи V пункт маркази O дан (9.2-шакл) ўтувчи битта шовун чизигида жойлашиши керак. Амалда эса бу шарт бажарилмайди. Шунинг учун пунктда кузатишларни бошлашдан аввал ва уларни тугатгандан кейин теодолитни марказлаш элементлари $(e, 0)$ ва визирлаш цилиндрининг редукция элементлари $(e_1, 0_1)$, уларга келтириш элементлари дейилади, аниқланади, кейин эса ўлчанган йўналишлар учун марказлаш ва редукция тузатмалари ҳисобланади.



9.2 – шакл. Триангуляция пунктида келтириш элементлари.

Келтириш элементларини аниқлаш учун пункт марказининг устида енгил мензула тахтаси ёки кичик стол ўрнатилади, тахта устига марказлаш варағи маҳкамланади ва горизонтал ҳолатга келтирилади. Кейин сигнал баландлигидан тахминан 2 маротаба каттароқ масофада ўрнатилган қўшимча теодолит асбоби ёрдамида марказлаш варағига сигналда ўрнатилган теодолит айланиш ўқи ҳамда визирлаш цилиндрининг ўқи проекцияланади. Проекциялаш азимут бўйича ҳар 120° бурчак орасида уч маротаба ўрнатилган теодолит билан амалга оширилади (ҳар бир нуқтада $ДЧ$ ва $ДЎ$ ҳолатларда). Худди шунга ўхшаш учта нуқтадан туриб марказлаш варағига пункт маркази ҳам проекцияланади. Бунда хатолар учбурчаклари ҳосил бўлади, уларнинг томонлари узунлиги қуйидагилардан ошмаслиги керак: пункт марказини проекциялашда 3 мм, теодолит айланиш ўқини проекциялашда 5 мм ва визирлаш цилиндри ўқини проекциялашда 10 мм дан. Ушбу шартлар таъминланса аниқланиши керак бўлган нуқталар шу учбурчаклар ичида жойлашган бўлади.

Теодолит ва визирлаш цилиндри жойлашган нуқталар J ва V дан бошланғич пункт A ва яна бирон-бошқа пункт B ларга қараб йўналишлар чизилади, J ва V нуқталарни O нуқтаси билан туташтирилиб марказлашни чизик элементи $e = OJ$ ва редукцияни чизик элменти $e_1 = OV$ қийматлари оддий чизғич билан 1 мм аниқликда ўлчаб олинади. J ва V нуқталарда e ва e_1 чизик элементларни $A, B, \dots$ пунктларга қараб йўналишларга нисбатан ориентирлаш бурчаклари $\theta(\theta_A, \theta_B)$ ва $\theta_1(\theta_1^A, \theta_1^B)$ геодезик транспортир билан $15'$ аниқликда ўлчаб олинади. θ ва θ_1 бурчаклар пункт марказига бўлган йўналишлардан бошлаб соат милининг йўли бўйича ҳисоблаб олинади. Бундан ташқари транспортир билан марказлаш варағида A ва B пунктларига қараб чизилган йўналишлар орасидаги бурчак ўлчаниб, уни жойда ўлчанган қиймати билан солиштириб кўрилади. Уларнинг фарқи 1° дан ошмаслиги керак.

Визирлаш нишони V пункт маркази устида жойлашмагани сабабли B пунктида ўлчанган йўналиш BV га визирлаш нишони V ни редукциясига тузатма $r = \angle OBV$ билан тузатиш керак бўлади. OV учбурчагини ечиб, унда $S = OB$, бурчак OV эса $(M_1 + \theta_1) - 360^\circ$ га тенг бўлганидан кичик бурчак r , яъни BV йўналишига визирлаш нишони редукцияси учун тузатмани қўйдаги формуладан топиш мумкин

$$r = \frac{e_1 \sin(M_1 + \theta_1)}{s} \rho'' . \quad (9.43)$$

Шуни такидлаш керакки теодолитни O пунктда марказлаш ҳатоси учун тузатмалар ундан ўлчанган йўналишларга, визирлаш нишони редукцияси учун тузатмалар эса уларга тескари йўналишларга (яъни AV , BV , йўналишларга) ўз ишораси билан берилади, чунки A , B , пунктларида визирлаш O пунктининг марказига эмас, балким у билан туташмайдиган V визирлаш нишонига бажарилади.

Тузатмалар s ва r 1-2 класс триангуляциясида $0,001''$, 3-4 класслар учун эса $0,01''$ гача аниқликда ҳисобланади.

Дала шароитида бурчакларни ўлчашни назорати.

Пунктлар марказига келтирилган йўналишлардан (марказлаш ва редукция учун тузатмалар киритилгандан кейин) фойдаланиб ўлчовчи дала шароитида қўйидагиларни ҳисоблайди: ёпилган учбурчакларда ўлчанган бурчаклар боғланмаслигини ҳатосини, кутбий шартларнинг озод ҳадларини ва ўлчанган бурчаклар ўрта квадратик ҳатосини. Бунда топилган ҳатолар қийматини уларни йўл қўярли чеки билан солиштирилади. Агар йўл қўйлмайдиган ҳатолар келиб чиқса ўша пунктларда кузатишлар қайта такрорланади.

IV-бўлим. Юқори аниқликдаги геометрик ва тригонометрик нивелирлаш

10-боб. Давлат нивелирлаш тармоқлари

10.1. Нивелирлаш тармоқлари ва уларнинг аҳамияти

Нивелир тармоқлари давлат ва соҳа (маркшейдерлик, қурилиш ва бошқалар) тармоқларига бўлинади. Давлат нивелирлаш тармоғи деганда давлат бутун ҳудудида жойлаштирилган ва жойда ишончли маҳкамланган, баландликлари эса ҳисоблаш боши (ноли) деб қабул қилинган бошланғич пунктдан бир системада аниқланган геодезик пунктлар (реперлар) системаси тушинилади.

Давлат нивелир тармоғи «умумдан айримга» ўтиш принципида қурилиб, тўртта классга бўлинади: I, II, III ва IV. I класс нивелирлаш тармоғи давлат ҳудудидаги бош баландлик асоси бўлиб, энг юқори аниқликда, юқори аниқликдаги асбоблар билан ва мукаммал юқори аниқ нивелирлаш усулларида, гравиметрик съёмкани бажариш билан бир вақтда қурилади. II-класс нивелирлаш тармоғи давлат юқори аниқликдаги тармоғини зичлаш учун қурилади ва аниқ тармоқлар қаторига киради. II-класс нивелирлаш тармоғи асосида аввал III ва кейин IV-класс нивелирлаш тармоғлари қурилади.

I ва II-класс давлат нивелирлаш тармоқлари энг аниқ ҳисобланиб, биринчи навбатда бутун давлат ҳудудида баландликлар ягона системасини тарқатиш мақсадида керак бўлади. Улар илмий мақсадлар учун ҳам қўлланади. Юқори аниқликдаги нивелирлаш усули билан ҳал этиладиган илмий муаммо ва вазифаларга биринчи навбатда қуйидагилар киради:

- Ернинг физик сирти, шакли ва ташқи гравитация майдонини батафсил ўрганиш;

- денгиз ва океанларни ўрта сатҳий юзаларининг баландликлари фарқлари ва қияликларни аниқлаш;

- Ер қобиғи йирик блокларнинг асрий кўтарилиши;

- Ер ости массаларини сурилишидан содир бўладиган Ернинг сатҳий юзалари деформациясини аниқлаш;

- Ер сиртининг замонавий вертикал ҳаракатини ўрганиш, шу жумладан сейсмоактив ҳудудларда йирик zilзилар аломатларини қидириш ва келгусида башорат қилиш;

- йирик шаҳарлар ҳудудларини микросейсмик районлаш, бош планларини тузиш учун зарур бўлган ҳамда биноларни ишончли конструкцияларини ва қаватларини танлаш ва бошқа мақсадларда.

Юқори аниқликдаги I ва II-класс нивелирлаш ўрганилаётган объектлар ва табиат ҳодисаларини ер сиртининг нуқталари баландликлари фарқи кўринишида ва бу баландликларни вақт ўтиши билан ўзгариб бориши ҳақида энг аниқ миқдорий маълумотлар беради.

Ернинг қобиғи вақт ўтиши билан аста-секин кўтарилиш ва тушишни кечириб боради, бунда турли физик-географик ҳудудларда тезлиги ҳар қил бўлади. Ер қобиғининг вертикал ҳаракати туфайли нивелир репер ва маркаларини баландликлари ўзгаради, ўзгариш турли жойларда турли қийматга эга бўлади. Шу сабабларга кўра нивелир тармоғининг аниқлиги вақт ўтиши билан аста секин пасайиб боради, яъни тармоқ “эскиради”.

Нивелир тармоғини аниқлиги йўл қўярли даражадан пасайиб кетмаслигини таъминлаш учун нивелирлашни даврий, маълум вақт оралиғида, такрорлаб туриш талаб этилади.

Давлат нивелир тармоғида такрорий I ва II-класс нивелирлашни ўртача ҳар 25 йилда бажариб турилади. Сейсмоактив ҳудудларда такрорий нивелирлаш бошқаларга қараганда қисқароқ вақтларда такрорлаб турилади.

I ва II-класс нивелирлаш тармоқлари топографик съёмкаларни баландлик асосини қуриш учун асос бўлиб хизмат қилади. Бундан ташқари улар жойдаги нуқталар баландлигини турли инженерлик мақсадлар учун аниқлашни таъминлайди.

Алоҳида гуруҳга йирик шаҳарларда, геодинамик полигонларда ва қурилиш майдончаларида қуриладиган юқори аниқликдаги нивелир тармоқлари киритиш керак бўлади. Бундай нивелир тармоқларини ҳамма турлари, махсус мақсади ва барпо этилиш тартиби билан ўзини

хусусиятига эга. Бу нивелир тармоқлари давлат баландлик тармоқларига боғланади.

10.2. Замонавий давлат нивелир тармоғи

Ҳозирги кунгача давлат нивелир тармоғи I, II, III ва IV-класс тармоқларига бўлинади. Бош баландлик асоси бўлиб I ва II-класс нивелир тармоғлари хизмат қилади. I ва II-класс нивелир йўллари имкони борица темир йўллар ва автомобил йўллари бўйлаб ўтказилади. Улар йўқ жойларда эса дарё ва каналлар соҳили бўйлаб, сўқмоқ йўллар ёқалаб ўтказилади. Ҳамма ҳолларда нивелирлаш йўллари ушбу ҳудуддаги қулай бўлган тупроқ шароитига эга, кичик нишабликли иложи борица унчалик баланд паст бўлмаган жойдан ўтиши мақсадга мувофиқ.

I-класс нивелир тармоғи ёпиқ полигонлар кўринишида ёки катта узунликдаги якка чизиклар кўринишида қурилади. II-класс нивелир тармоғи I-класс нивелир чизикларига таянади ва ёпиқ полигонлар шаклида қурилиб, уларнинг периметри 400 дан 800 км гача, ўзлаштирилмаган ҳудудларда эса 1000 дан 2000 км гача етади.

III ва IV-класс нивелир тармоқлари юқори класс полигонлари ичида алоҳида йўллар ҳамда тугун нуқтали йўллар системаси кўринишида ўтказилади. III-класс тармоқлари полигонларининг периметри 150 км дан ошмаслиги керак. IV-класс полигонлари периметри ва алоҳида нивелир йўлларининг узунлиги 50 км дан ошмаслиги керак. Ҳамма классдаги нивелир йўллари трасса бўйича 5 км дан катта бўлмаган ораликда доимий белгилар (реперлар ёки деворий маркалар) билан маҳкамланади. Ноқулай шароитли бўлган жойларда белгилар ораси 6-7 км гача етказилиши мумкин. I ва II-класс нивелир йўлларида ҳар 50-60 км да фундаментал реперлар ўрнатилади, улардан 50-150 м масофада оддий йўлдош реперлари ўрнатилади. Фундаментал реперлар шунингдек I ва II-класс йўлларини тугун пунктларида, денгиз сатҳини ўлчаш станциялари ёнида ва дарё (кўл) сув ўлчаш постлари олдида олинади.

I, II ва III-класс нивелир тармоқларида ҳар бир йўл тўғри ва тескари йўналишларида нивелирланади. I ва II-класс нивелир йўллари ёқалаб, тоғли ҳудудларда ҳатто III-класс нивелир йўллари

ёқалаб махсус дастур асосида ўлчанган нисбий баландликларга тузатмалар ҳисоблаб, нормал баландликлар системасига ўтиш учун оғирлик кучи ўлчанади.

I, II, III ва IV-класс полигонлари ва йўллари бўйича боғланмасликлар мос равишда қуйидагилардан ошмаслиги керак $3\sqrt{2}$ мм; $5\sqrt{2}$ мм; $10\sqrt{2}$; ва $20\sqrt{2}$ мм; бу ерда L полигон периметри, ёки нивелир йўлининг узунлиги, км да. Вақт ўтиши билан I ва II-класс нивелир тармоғини аниқлигига ва пунктлари зичлигига талаб ошиб боради. Шунинг учун бу тармоқ бутун давлат ҳудудида тўхтовсиз ривожланиб ва модернизацияланиб боради. 70- йиллар ўртасида собиқ Иттифок (ҳозирги МДХ) ҳудуди I, II-класс нивелир тармоқлари билан турли зичликда қопланган, шундан I-класс нивелир йўлларининг умумий узунлиги 70 минг км ни, II-класс – 360 минг км ни ташкил қилган. Бундай ўта катта ва аниқ нивелир тармоғини тенглаш учун, у иккита блокга: «Ғарб» ва «Шарқ» блокларга бўлиниб, уларнинг чегараси Архангелъск-Қозон- Орол денгизи- Арыс I-класс йўли бўйича ўтган эди.

Ғарбий блок кореллата усули, шарқий блок эса параметрик усулда тенгланган. Ҳисоблашлар куруқлик билан гидростатик нивелирлаш усулида 5 км нивелир йўлига 0,8 мм аниқликда боғланган, Кронштадт футштокининг нолидан олинган нормал баландликлар системасида бажарилган.

Ҳар бир блокда I ва II-класс нивелир йўллари биргаликда, уларнинг қуйидаги формулалар бўйича ҳисобланган вазнларни ҳисобга олган ҳолда тенгланган

I-класс йўллари учун

$$P = 1/3L;$$

II-класс йўллари учун

$$p = 1/L,$$

бу ерда L – нивелир йўлининг узунлиги, км да. Тенглашга полигонлардаги боғланмаслик хатоси қуйидаги талабларга жавоб берган нивелир йўллари киритилган:

I-класс учун

$$\omega_{чекли} = 3\sqrt{L}, \text{ мм};$$

«Ғарб» блоки бўйича II-класс учун

$$\omega_{чекли} = 5\sqrt{L}, \text{ мм};$$

«Шарқ» блоки бўйича II-класс учун

$$\omega_{чекли} = 6\sqrt{L}, \text{ мм};$$

I ва II-класс нивелир йўлларида ташкил бўлган (қўшма) полигонлар учун чекли боғланмасликлар қуйидаги формулалар бўйича ҳисобланган

«Ғарб» блоки учун

$$\omega_{чекли} = \sqrt{9L_I + 25L_{II}}$$

«Шарқ» блоки учун

$$\omega_{чекли} = \sqrt{9L_I + 36L_{II}}.$$

Тенгланадиган I ва II-класс нивелир тармоғи (ҳар иккала блоклар) турли периметрдаги 500 тадан ортиқроқ полигонлардан иборат эди.

Тенглашлар натижасидан 1 км нивелир йўлига қуйидаги ўрта квадратик хатолар олинди.

Блоклар	I-класс	II-класс
«Ғарб»	1,6 мм	2,7 мм
«Шарқ»	2,1 мм	3,6 мм.

Шунингдек Кронштадт футштоки нолига нисбатан турли жойлардаги реперларнинг тенгланган баландликларини аниқлаш ўрта квадратик хатолари ҳам ҳисоблаб топилади.

1977 йил I ва II-класс нивелир таянч тармоғининг баландликлар каталоги тузилди, каталогдан кўринадик, кронштадт футштокидан энг узоқ жойлашган пунктларининг (реперларини) баландликлари атиги 15 см ўрта квадратик хатолик билан аниқланди, бу эса катта аниқликни ташкил этади.

Давлат I ва II-класс нивелир йўлларини янада аниқ ва зич йўллар билан ривожлантириши истикболи сақланиб қолади, чунки нивелир полигонлари периметрлари катта бўлган ерларда ер қобиғининг ҳозирги замон силжишини аниқ ўрганиш масаласи қийинлашади.

Ер қобиғининг ҳозирги замон вертикал ҳаракатини ҳисобга олиб юқори аниқликдаги нивелирлаш натижаларини маълум эпохага келтириш муаммоси ҳозирда ҳал қилиниб қолмоқда.

11-Боб. Нивелирлаш йўллари лойиҳалаш, рекогносцировка қилиш ва жойда маҳкамлаш

11.1. I ва II класс нивелирлаш йўллари лойиҳалаш

Нивелирлаш тармоқлари бошқа геодезик тармоқлар каби ишлаб чиқилган ва тасдиқланган техник лойиҳага мувофиқ барпо этилади. Техник лойиҳада нивелирлаш тармоқларининг чизмаси ва барпо этиш дастури ишлаб чиқилади, унда иш бажариладиган ҳудуднинг физик-географик ва иқлимий хусусияти, грунтнинг музлаш ва эриш чуқурлиги, реперлар баландлигини ҳисоблаш учун бошлангич маълумотлар, олдин ўрнатилган ва янгидан лойиҳаланаётган реперларнинг сони ва типлари, олдин бажарилган нивелирлаш ишлари ва уларнинг лойиҳаланаётгани билан боғланиши лойиҳаланаётган I ва II-класс нивелирлаш йўллари бўйлаб гравиметрик аниқлашлар тўғрисида маълумотлар келтирилади. I ва II-класс такрорий нивелирлашда ўзгариш ва қўшимчалар киритишни асословчи маълумотлар келтирилади; ундан ташқари нивелирлаш усуллари ва асбоблари, нивелирлаш натижаларини математик қайта ишлаш ва аниқлигини баҳолаш усуллари, ишларни ташкил этиш техника хавфсизлиги ва меҳнат муҳофазаси бўйича тадбирлар белгиланади ва харажатлар сметаси тузилади.

Нивелирлаш тармоқининг схемаси 1:100000-1:300000 масштаблардаги карталарда ишлаб чиқилади. Лойиҳанинг деталлари, зарур пайтда, йирикрок, масштабдаги карталарда аниқланади.

Турли классдаги нивелирлаш йўллари кетма-кетликда лойиҳаланади: дастлаб I-класс, II-класс кейин III ва IV-класс.

Техник лойиҳани тузишда ҳар бир лойиҳаланаётган нивелирлаш йўли, жойда мавжуд нивелир йўли билан боғланиши шарт.

Ҳар бир лойиҳаланаётган нивелирлаш йўлининг боши ва охири ўзидан юқори ёки шу классдаги мавжуд нивелирлаш йўллари билан мустаҳкам боғланиши керак.

Лойиҳаланаётган ва мавжуд I ва II-класс нивелирлаш йўллариининг ўзаро боғланиши мавжуд нивелир йўлининг битта реперини лойиҳаланаётган нивелирлаш йўлига киритиш ва ушбу

реперга туташувчи нивелирлаш йўлининг бир секциясини назорат нивелирлаб чиқиш орқали таъминланади.

Лойиҳаланаётган нивелирлаш йўлида жойлашган барча класс аниқликдаги мавжуд реперлари (деворий маркалар) шу йўлга киритилади. Лойиҳаланаётган нивелирлаш йўли яқинида жойлашган олдинги нивелирлаш реперлари, улардан лойиҳаланаётган нивелирлаш йўллариининг иккита реперига алоҳида йўл ўтказиш билан боғланади.

Нивелирлаш йўллариини ўзаро туташиб ҳосил қилувчи ҳар бир тугун нуқта чизмаси алоҳида йирик масштабда тузилади, унда тугун нуқтада боғланувчи барча нивелирлаш йўллариининг йўналиши, ҳамда лойиҳаланаётган нивелирлаш йўли ёки назорат нивелирлаш йўлига киритилиши керак бўлган мавжуд реперлар кўрсатилади.

11.2. I ва II-класс нивелирлаш йўллариини рекогносцировка қилиш

Нивелирлаш тармоғи техник лойиҳасини амалга оширишнинг биринчи босқичларидан бири бу жойларда нивелирлаш йўллариини рекогносцировка қилиш ҳисобланади. Рекогносцировка қилишнинг вазифасига қуйидагилар киради:

- жойда лойиҳаланган нивелирлаш йўллариини ва улар тугун нуқталариини энг ишончли вариантыни танлаш;
- жойда реперларни ўрнатиш жойиини аниқлаш ва белгилаш;
- иқлимий шароитларга ҳамда иш ҳудудини рельефи ва ғрунтига боғлиқ ҳолда нивелирлаш реперлариининг турлариини танлаш;
- нивелирлаш тармоғини барпо этиш бўйича ишни ташкил этиш ва амалга ошириш учун зарурий маълумотларни йиғиш;
- нивелирлаш тармоғи чизмасини ва смета харажатлариини аниқлаш;

Янги реперларни ўрнатиш ўрни жойдаги ориентирлар, ҳамда характерли контурлар яқинида танланади, бу эса реперларни кейинчалик топишни осонлаштиради ва аэрофотосъёмкада уларни аниқлаш осон бўлади.

Асосан фундаментал реперларни ўрнатиш учун жой танлаш мураккаблик туғдиради. Бунда грунтнинг характери ва гидрологияси 4-5 метргача чуқурликда ҳисобга олинади.

Деворий реперлар мустаҳкам тошли, гиштли, бетонли ва темир бетон бино ва иншоотлар деворларига ўрнатилади.

Реперларни ўрнатиш учун жой танлаш пайтида рекогносцировкани нивелирлаш йўлининг афзал ва қулай йўналишини белгилашни таъминлайди, яъни имкони борича тоғ ёнбағирларини, баланд тепаликларни, юмшоқ тупроқли жойларни, ботқоқлик ва экинзорларни айланиб ўтиш вариантини аниқлайди.

Рекогносцировка натижасида қуйидагилар олинади:

-1:100000 ва 1:300000 масштабда картада тузилган нивелирлаш йўналиши ва реперларнинг жойлашиш чизмаси;

-мавжуд ва лойиҳаланган нивелирлаш йўллари туташган нуқталарини аниқлаштирилган чизмаси;

-сув тўсиқлари орқали нивелирлаш йўлининг аниқлаштирилган чизмаси;

-реперлар ўрнатиш жойларнинг абрисини, йўқолган ёки топилган нивелирлаш белгиларининг далолатномалари;

-I-класс нивелирлаш реперларини ўрнатиш жойининг геологик текшируви материаллари;

- техника хавфсизлиги ва меҳнат муҳофазаси бўйича талабларни ҳисобга олган ҳолда нивелирлаш ишларини ташкил этиш бўйича тавсиялари билан тушунтириш матни.

11.3. Нивелирлаш йўллари жойда маҳкамлаш

Нивелирлаш тармоғи пунктларини ўрни жойларда реперлар билан маҳкамланади. Жойда нивелирлаш тармоғи узок муддат давомида юқори аниқликни сақланишини таъминлаш учун ҳар бир алоҳида ўрнатилган репер физик-географик ва иқлимий шароитларидан қаттиқ назар грунтда мустаҳкам ўрнатилган бўлиши лозим.

Грунтга ўрнатилган реперга кўтарувчи (юқорига йўналган) ва қаршилиқ (пастга йўналган) кучлар таъсир этади. Репер ҳолатининг

Ўзгармаслигини таъминлаш мақсадида бу икки куч бир-бирига тенг бўлиши лозим. Бу кучларнинг микдори кўплаб факторларга боғлиқ бўлади: грунтнинг тури, физик-механик хусусияти, намлиги, музлаш ва эриш чуқурлиги ва бошқаларга.

Реперларнинг конструкцияси ишлаб чиқилган ва уларнинг 11 та типии қабул қилинган.

Реперлар грунтга ўрнатилиши мустаҳкамлиги бўйича оддий ва фундаментал реперларга бўлинади. Оддий реперлар нивелирлаш йўлларида ҳар 5-7 км дан ўрнатилади, I ва II-класс нивелирлаш йўлларида (қўшимча) ҳар 50-60 км дан фундаментал реперлар ўрнатилади.

Конструкцияси ва ўрнатиш жойи бўйича нивелирлаш реперлари-грунт, қоя ва деворий реперларга бўлинади. Масалан, 5 типдаги грунт репер (11.1-шакл) мавсумий музлаш грунтларида I-IV-класс нивелирлаш йўлларида ва жанубий ҳудудларда I ва II-класс нивелирлаш йўлларида ўрнатилади.

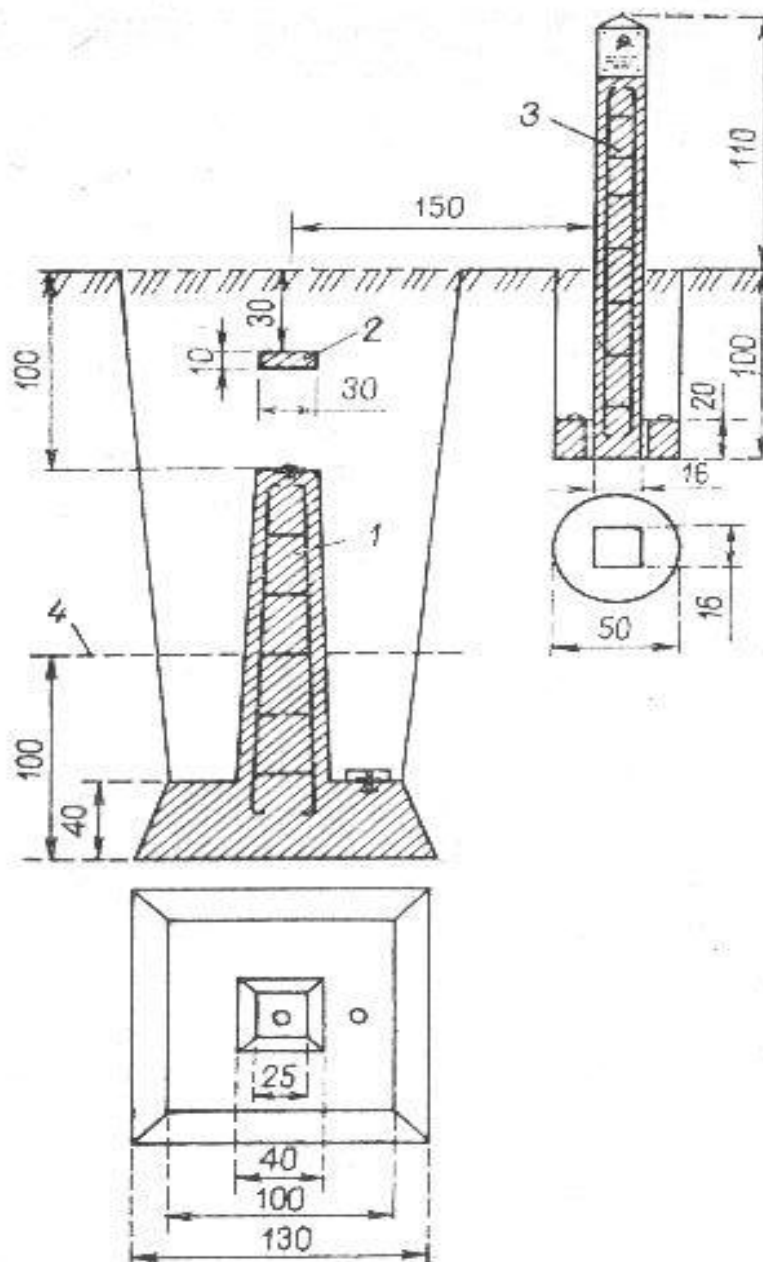
Фундаментал реперлар мавсумий музлайдиган грунтлар учун 11.2-шаклда келтирилган ўлчамлардаги элементлардан ташкил топади.

Қабул қилинган II типдаги нивелир реперларининг тавсифи ва чизмалари, уларни тайёрлаш, жойда ўрнатиш ва расмийлаштирилиши “Центры и реперы государственной геодезической сети» (“Давлат геодезик тармоқлар марказлари ва реперлари”) йўриқномасида берилади.



2-музлаш (муз эриш) чегараси;

3-танитувчи (топиш) белги



11.2-шакл. Фундаментал репер

- 1) Тўртқиррали кесик темир-бетон перамида
- 2) Танитиш белгиси
- 3) Танитувчи темир бетон устуни
- 4) Грунт эришини энг пастки чегараси

11.4. Нивелирлаш йўллариини гравиметрик таъминлаш

Нивелирлаш тармоқларида реперлар баландлиги Болтиқ денгизи сатҳий юзасига нисбатан нормал баландлик системасида ҳисобланади (Кранштадт Футштоки нолидан). Бу баландлик системасига ўтиш учун I ва II класс нивелирлашда реперлар орасидаги нисбий баландликларга (тоғли районларда III класс нивелирлашда) қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланилган тузатмалар киритилади

$$f_{ik} = -\frac{1}{\gamma_m}(\gamma_{ok} - \gamma_{oi})H_m + \frac{1}{\gamma_m}(g - \gamma_m)h_{ik},$$

бу ерда γ_m -нормал оғирлик кучининг тақрибий қиймати у 980000 м Гал. га тенг;

γ_{oi} ва γ_{ok} - қабул қилинган эллипсоидни i ва k нуқталардаги нормал оғирлик кучилари;

H_m - i ва k нуқталардаги нормал баландликларнинг ўртача қиймати;

g -оғирлик кучининг ўлчанган қиймати;

γ -нормал оғирлик кучининг қиймати;

$(g-\gamma)_m$ - i ва k нуқталардаги аномал оғирлик кучларининг ўртачаси;

h_{ik} - i ва k нуқталари орасидаги ўлчанган нисбий баландлик.

Ёнма-ён жойлашган гравиметрик пунктлар орасидаги масофа S , жойнинг қиялигига боғлиқ ҳолда аниқланади [21] .

Тоғли ҳудудларда қўшимча гравиметрик аниқлашлар бажарилади: I ва II класс нивелирлаш йўлларидаги барча реперларда, рельефни асосий ўзгариш жойларида, нивелир йўллариини бурилиш жойларида. Нишаблиги 0,04 дан 0,03 гача бўлган жойларда I ва II класс нивелир йўллариини ўтказишда f тузатма қийматлари нивелир йўлини ҳар бир реперда бажариладиган гравиметрик аниқлашлардан ёки гравиметрик съёмка батафсил картасидан олинади.

Гравиметрик аниқлашлар бажариладиган нуқталар нивелир тармоғларини лойиҳалаш жараёнида картада белгилаб олинади.

Нормал баландлик системасига ўтиш учун f тузатмалар дастлабки ҳисоблаш босқичида ҳисобланади ва уларни ҳисобга олган ҳолда нисбий баландликлар ведомости тузилади.

12-Боб. Юқори аниқликдаги нивелирлар ва инвар рейкалар

12.1.Юқори аниқликдаги нивелирлар ва инвар рейкаларга бўлган асосий талаблар

Юқори аниқликдаги нивелирлашда нисбий баландликлар ҳозирги вақтда 1км иккиланган (тўғри ва тескари) йўлда 0,3-0,5мм тасодифий, 0,03-0,05 мм систематик ўрта квадратик хатолар билан аниқланиши лозим. Бундай юқори аниқликда ўлчашни таъминлаш учун тегишли аниқликдаги нивелир ва рейкаларни ҳамда кузатишлар ва ўлчаш натижасини қайта ишлашнинг энг такомиллашган усулларини қўллаш зарур, яъни барча турдаги хатоликлар манбалари, шу жумладан шахсий, асбоб ва ташқи муҳит, айниқса катталигидан қатъий назар систематик хатолар таъсирини тўла камайтиришга олиб келувчи усулларин қўллаш керак бўлади.

Нивелирлаш пайтида ҳар бир станцияда рейкадан санок олишда визир нури горизонтал ҳолатда бўлиши лозим. Визир нурини горизонтал ҳолатга келтириш адилак ёки компенсатор ёрдамида m ўрта квадратик хато билан амалга оширилади. Бу хатонинг чекли микдорини ва унга тўғри келувчи қараш трубагининг катталаштириши ва адилак бўлагининг қийматини ҳисоблаймиз. Фараз қилайлик цилиндрик адилак ўқи ва қараш трубагининг визир ўқининг ўзаро параллеллик шарти бажарилган ва нивелирдан рейкагача бўлган масофа 50 метрга тенг.

Айтайлик 1км нивелирлаш йўлида тўғри ва тескари йўллардан ўртача нисбий баландликни аниқлашнинг ўрнатилган ўрта квадратик хатоси қуйидаги минимал қийматга тенг бўлсин

$$m_{h\ddot{p}} = 0,25 \text{ мм/км.}$$

Бундан фақат тўғри ёки тескари йўлдан нисбий баландлигини аниқлаш хатоси қуйидагидан ошмайди

$$m_{n\text{Тў}} = m_{h\ddot{p}}\sqrt{2} = 0,35 \text{ мм/км}$$

Текис жой шароитда 1 км узунликдаги йўлни нивелирлашда нивелирдан рейкагача масофа 50 м бўлганда ўлчашни 10 та нивелирлаш станцияларидан бажариш мумкин. Буни ҳисобга олган

ҳолда ҳар бир алоҳида станцияда нисбий баландликни аниқлашни чекли ўрта квадратик хатоси қуйидагидан катта бўлмаслиги керак

$$m_{hCT} = \frac{m_{hT\ddot{y}}}{\sqrt{10}} = \frac{0,35}{\sqrt{10}} = 0,11 \text{ мм}$$

Нуқталар орасида нисбий баландликни станцияда икки маротаба (рейканинг асосий ва қўшимча шкаласи бўйича) «орқага қараш минус олдинга қараш» қоидасига биноан аниқланади

$$h_{CT} = O_p - O_{\wedge,},$$

бундан сўнг нисбий баландликнинг иккита қийматларидан ўртачаси топилади.

Ҳар бир рейкага қараш хатолигини бир хил ва тенг m қараш деб қабул қилиб станциядаги нисбий баландликни аниқлаш ўрта квадратик хатосини қараш хатоси орқали ифодалаймиз

$$m_{hct} = m_{\text{қар}} \sqrt{2}.$$

Бу тенглик нисбий баландликни фақат рейканинг асосий шкаласи ёки фақат қўшимча шкаласи бўйича ҳисобланса ҳам ўзгармас бўлиб қолади. Агар m_{hCT} маълум бўлса рейканинг 1 та шкаласи бўйича қараш ўрта квадратик хатосини топиш мумкин

$$m_{\text{қар}} = \frac{m_{hct}}{\sqrt{2}} = \frac{0,11}{\sqrt{2}} = 0,08 \text{ мм.}$$

Қараш хатолиги 3 та ташкил этувчидан ҳосил бўлади. Рейка бўйича санок олишдан олдин, адилак пуфакчаси қарама-қарши учларининг тасвири бирлаштирилади ($m_{\text{бр}}$ хатолик билан), бу элевацион винт ёрдамида нивелирнинг қараш турбасини қиялаш йўли билан бажарилади. Сўнггра микрометр биссекторини рейкага ($m_{\text{тўғ}}$ хатолик билан) тўғрланади ва микрометр шкаласи бўйича санок олинади (m_0 хатолик билан). Санок олиш хатолиги бошқа хатолардан кичик ($m_0 = 0,1\mu = 0,005\text{мм}$, бу ерда μ - микрометр шкаласи бўлак қиймати), уни ҳисобга олмаслик мумкин. Шунда қараш хатолиги учун қуйидагини оламиз

$$m_K^2 = m_{\text{бр}}^2 + m_{\text{тўғ}}^2.$$

Қараш хатолиги визир нуруни горизонталлаш хатоси m_{Γ} дан кичик ёки тенг бўлиши, яъни $m_K \leq m_{\Gamma}$ шартини қўйиб тенг таъсир этиш принципига биноан қуйидагига эга бўламиз

$$m_{\delta p} = m_{\text{тўғ}} = m_{\Gamma}.$$

Бу тенгламани ҳисобга олиб

$$m_K = m_{\Gamma} \sqrt{2},$$

бундан топамиз

$$m_{\Gamma} = \frac{m_K}{\sqrt{2}} = \frac{0,08}{\sqrt{2}} = 0,06 \text{ мм.}$$

Олинган хатоликнинг миқдори $m_{\Gamma}=0,06\text{мм}$ нивелир ва рейка орасидаги қабул қилинган $d=50$ м масофага тўғри келади. Бу хатоликни бурчак ўлчовида ифодалаб, нивелир адилагги ёки компенсатори ёрдамида амалга ошириладиган визир нуруни горизонталлашни ўрта квадратик хатоси миқдорини топамиз

$$m_{\Gamma}'' = \frac{m}{d} \rho = \frac{0,06 \cdot 2 \cdot 10^5}{50000} \leq 0,23''.$$

Бу миқдорни бошлангич деб қабул қилиб, талаб қилинган адилак бўлак қиймати ва нивелир қараш турбасининг зарурий катталаштириш даражасини ҳисоблаймиз.

Адилак пуфакчасини кўз билан илғаб олиш мумкин бўлган силжиши $\tau/10$ ни ташкил этади, бу ерда τ -адилак бўлагининг қиймати (2 мм га тенг). Юқори аниқликдаги нивелирларда адилак пуфакчасининг қарама-қарши учларининг тасвирини бирлаштиришига имкон берувчи оптик системалардан фойдаланилади, бунда адилак пуфакчасини ноль-пунктга келтириш хатолиги 4-5 маротаба камаяди (ўртача 4,5 марта) ва қуйидагига тенг бўлади

$$m_{\phi} = \frac{\tau}{10 \cdot 4,5} = \tau / 45$$

Бундан оламиз

$$\tau'' = 45 m_{\phi}$$

Визир нуруни горизонталлаштириш ўрнатилган хатосини m_{ϕ} ўрнига

қўйиб $m_{\Gamma} = m_{\phi} = 0,23''$, адилак бўлагининг изланаётган қийматини топамиз

$$\tau = 45 \cdot 0,23 = 10''.$$

Нивелир қараш трубасининг керакли катталаштиришини қуйидаги тарзда ҳисоблаймиз.

Маълумки яхши об-хаво шароитида микрометр биссекторини рейканинг штрихига тўғирлаш ўрта квадратик хатоси нивелирдан рейкагача бўлган d масофага, кўзнинг чекли ажрата олиш қобилиятига P_{Γ} ва нивелир кўриш трубасининг катталаштириши ϑ га боғлиқ. Берилган d масофада бу боғлиқлик қуйидаги формула билан ҳисобланади

$$m_{\text{ТҲҲР}} = \frac{P_{\Gamma}}{\vartheta}$$

Кўзнинг чекли ажрата олиш қобилияти $P_{\Gamma} = 10''$ деб [22], $d = 50$ м масофа учун юқорида олинган тўғирлаш хатосининг қиймати $m_{\text{ТҲҲР}} = m_{\Gamma} = 0,23''$ учун рейкагача масофа 50 метрдан ошмаса нивелир қараш трубасининг талаб этилган катталаштириш даражасини ҳисоблаймиз, у қуйидагига тенг

$$\vartheta = \frac{P_{\Gamma}}{m_{\text{ТҲҲР}}} = \frac{10}{0.23} = 43^{\times}.$$

Юқорида бажарилган ҳисоблар тақрибий ҳисобланади лекин амалиёт билан яхши мувофиқлашади. Бу ҳисоблар кўрсатишича юқори аниқликда нивелирлашга мўлжалланган нивелирлар қараш трубасининг катталаштириш даражаси $40^{\times}$ дан кичик адилак бўлагининг қиймати 2 мм га $10''$ дан катта бўлмаслиги керак ва визир нуруни горизонталлаш $0,2''$ ўрта квадратик хатоликда таъминланиши керак.

Нивелир аниқ адилакдан ташқари, худди шундай аниқликда қараш трубасини қиялигини амалга оширишга имкон берувчи, юқори сифатли элевацион винтга эга бўлиши лозим. Рейкадан $0,1$ мм аниқликда санок олишда рейка бўлагининг каср қисмини баҳолаш учун нивелирнинг тегишли аниқликдаги оптик микрометри хизмат

қилади. Шунинг учун инобатга олиш керак-ки, юқори аниқликдаги нивелирлаш ишлари турли физик-географик, ҳамда

-30дан +50°с гача хароратли иқлим шароитларда бажарилади. Шунинг учун юқори аниқликдаги нивелирлар хароратнинг барча диапазонида, аниқликни сезиларли даражада пасайтирмай ишлаши лозим. Шу туфайли, нивелир хароратнинг 1° га ўзгаришида адилак ўқи ва қараш трубасти визир ўқининг i бурчаги ўзгариши 0,5"дан ошмаслиги талаби қўйилади. Нивелир билан ишлашда қулайлик туғдириш учун иплар тўри, адилак пуфакчаси қарама-қарши учларининг ва оптик микрометр шкаласи таъсири қараш трубасти майдонида жойлашиши лозим. Нивелирнинг оғирлиги нисбатан кичик бўлиш лозим. Шу бир-бирига зид барча талабларни ҳисобга олиб, замонавий юқори аниқликдаги нивелирлар ишлаб чиқилмоқда.

Инвар рейкалар

Нивелир рейкалари нисбий баландликларини аниқлашда узунликнинг ишчи ўлчови ҳисобланади, шунинг учун улар юқори аниқликда тайёрланиши, бўлаклари эса ўта юқори аниқликда тушурилиши лозим. Рейкалар узок вақт давомида -30°С дан + 50° С гача иқлим ва турли физик-географик шароитда фойдаланишда метрли ва хоҳлаган бошқа бўлакларининг қиймати ўзгармас бўлиши лозим. Шунинг учун рейканинг бутун узунлиги ва бўлинган бўлаклари узунлиги ҳаво ҳарорати ўзгаришига боғлиқ кичик ўзгаришни таъминлаш учун рейкани бўлакларга бўлинган ишчи қисми узайиш коэффициенти кичик $(2 \div 2,5) \times 10^{-6}$ бўлган инвардан тайёрланади. Ёз пайтида тоғли ҳудудларда юқори аниқ ўлчашларни бажаришда орқадаги ва олдинги рейкалар инвар полосалари ҳароратининг фарқи 10°С ва ундан ортиқни ташкил қилиши мумкин, рейкалар ҳароратини аниқлаш учун ҳамда ўлчаш натижаларига тегишли тузатмаларни ҳисоблаш учун рейкалар термодатчиклар билан таъминланиши керак. Рейкалар метрли интервалларига, керак бўлганда дециметрли интервалларига тузатмалар топиш мақсадида рейкалар стационар компараторларда этоланланиши лозим, умуман олганда рейка шкаласининг ҳар бир алоҳида штрихи ҳолатига

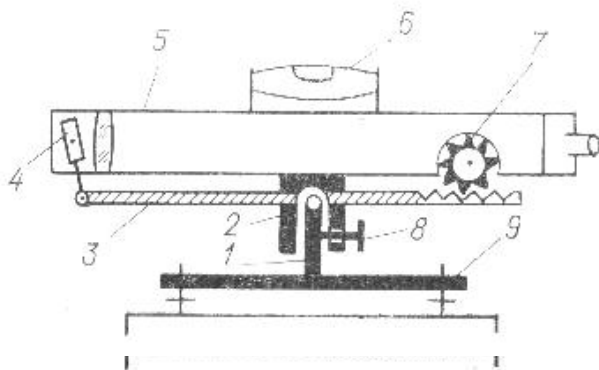
тузатма аниқлаш ва ҳисобга олиш тўғри бўлар эди. Нивелирлар каби рейкалар билан ишлаш жуда катта эътиборни талаб этади. Юқори аниқликда ўлчашларни таъминлаш учун рейкалар нивелир билан бирга систематик равишда тадқиқотлардан ўтказиб борилиши лозим.

12.2. Юқори аниқликдаги нивелирларнинг геометрик чизмаси ва асосий қисмлари

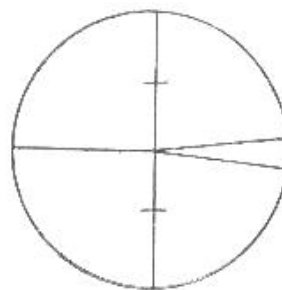
Юқори аниқликдаги нивелирларнинг қуйидаги турлари ишлаб чиқилган:

1. Қараш трубада адилакга эга бўлган нивелирлар;
2. Қиялик бурчаги компенсаторига эга бўлган нивелирлар;
3. Рақамли нивелирлар.

Юқори аниқликдаги нивелирлар қуйидаги асосий қисмлардан ташкил топади (12.1-шакл): ўқий система, қараш труба, аниқ адилак ёки уни алмаштирувчи қараш трубасини қия бурчакли компенсатори, санок қурилмаси.



12.1-шакл. Юқори аниқликда нивелирнинг геометрик схемаси:
 1 - вертикал ўқ, 2 - втулка; 3 - рычаг;
 4 - ясси пластина; 5 - кўриш труба;
 6 - аниқ адилак; 7 - ўлчов шестернаси; 8 - элевацион винт; 9 - элевацион винт; 9-таглик



12.2-шакл. Юқори аниқликдаги нивелир трубасининг иплар тўри

Ўқий система нивелирнинг таглиги 9 билан мустаҳкам бирлаштирилган вертикал ўқ 1 ва нивелирнинг қараш труба билан

бирлаштирилган втулка 2 дан ташкил топган. Нивелирнинг таглигига, вертикаль ўқни вертикал ҳолатга келтиришга хизмат қиладиган ва бўлак қиймати 8' га тенг доиравий адилак маҳкамланган. Қараш трубасида адилак ўрнатилган юқори аниқликдаги нивелирларнинг ўқий системаси, нивелир қараш трубасини нафақат вертикал ўқ атрофида айланишини, балким элевация винти 8 ёрдамида адилак пуфакчасини ўртага келтиришда қараш трубасини горизонтга нисбатан вертикал текисликда унча катта бўлмаган бурчакга қиялатиш имконини беради.

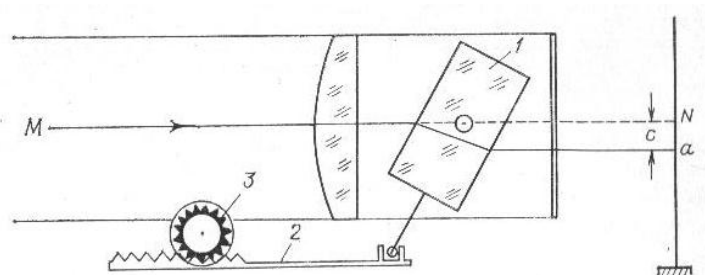
Қараш трубки тўғри, марказий. Унинг асосий қисмлари: объектив, окуляр, фокусловчи линза ва иплар тури ҳисобланади. Иплар тури биссекторининг ўнг қисми (12.2-шакл) ўткир бурчак кўринишга эга, унинг биссектрисаси биссекторнинг чап қисмида жойлашган горизонтал ипнинг давоми ҳисобланади.

Нивелир қараш трубасидаги аниқ адилак, ҳамда труба қиялик бурчак компенсатори труба визир ўқини горизонтал ҳолатга келтириш учун хизмат қилади. Компенсаторсиз юқори аниқликдаги нивелирлар, учлари кавшарланган шиша трубкали конактли адилакка эга, адилак ампуласи тўлдирувчи билан темир ғилоф ичига жойлаштирилади. Бундай адилак ҳарорат -20°C дан $+50^{\circ}\text{C}$ гача ўзгаргандан ҳам барча ишчи диапазон бўйича трубанинг қияланишига ўта сезгирликни таъминлайди, бу эса жуда муҳим. Адилак ўқини трубанинг визир ўқиға параллел ўрнатиш учун туғрловчи винт билан таъминланган. Адилак пуфакчасини ўртага келтириш учун, труба визир ўқининг горизонтал ҳолатида элевация винти ёрдамида пуфакча қарама-қарши учларининг тасвири бирлашгунча нивелир трубаси қиялантирилади.

Юқори аниқликдаги нивелирнинг **санок олиш қурилмаси** оптик микрометрдан иборат бўлиб, объектив олдиға ёки трубанинг ичига ўрнатилган ясси параллел пластинкадан (12.3-шаклға каранг) иборат ўлчовчи шестерня головка билан бирлаштирилган, унинг шкаласи 100 бўлакға бўлинган бўлиб, ҳар бири рейканинг битта бўлагига тўғри келади, яъни 5мм; рычагнинг, бир томони шарнир тарзида ясси параллел пластинка билан ўланган, иккинчи томони эса ўлчовчи

шестерня сцеплениясига кйрувчи тишли кўринишга эга. Оптик
микрометрнинг турли тузилиш схемаси бўлиши мумкин.

Рейкадан санок олишда (12.3-шакл) элевация винти ёрдамида нивелир контактли адилак пуфакчаси учларининг тасвири бирлаштирилиб нивелир трубаси қиялантирилади.



12.3-шакл. Нивелир оптик микрометрининг ишлаш схемаси.

Бунда караш трубасининг визир ўқи М N горизонтал ҳолатда бўлиш керак. Санок олиш қўрилмаси головкаси 3 ни айлантириш йўли билан ричак 2 силжитилади, бунда ясси параллел пластинка қиялантирилади ва кўриш трубасининг иплар тўри биссектори рейканинг яқин кичик штрихи тасвири билан бирлаштирилади сўнгра микрометр шкаласи бўйича a санок олиб рейка бўлагининг $c=aN$ қаср қисми аниқланади. Бу a санокни штрих қийматига қўшиб рейка бўйича $N=a+c$ йигинди шаклидаги якуний санок олинади. Айтайлик иплар тури биссектори рейкани $a=77,5$ штрихига тўғриланган ва микрометр шкаласи бўйича санок $c=44$ га тенг, унда рейка бўйича ярим дециметрда ифодаланган якуний санок $N=a+c=77,544$ га тенг бўлади.

12.3. Юқори аниқликдаги адилакли нивелирлар

Нивелирлар аниқлиги бўйича юқори аниқликдаги нивелирлар Н-05, аниқ нивелирлар Н-3 ва техник нивелирлар Н-10 шифрларга эга бўлган нивелирларга бўлинади. Биринчиси 1км иккиланган йўлга 0,5 мм дан кўп булмаган, иккинчиси 3 мм/км, ва учинчиси 10 мм/км ўрта квадратик хатолик билан нисбий баландликни аниқлаш учун хизмат қилади. Н-05 нивелири I ва II-класс давлат геодезик баландлик тармоқларида геодинamik полигонларида, ҳамда юқори аниқликдаги инженерлик - геодезик ишларда нивелирлашга мулжалланган. Н-3

шифрли нивелирлар III-IV-класс нивелирлашни бажаришда ҳамда инженерлик - геодезик қидирувларда фойдаланилади.

Нивелирлар қараш трубасида адилакли ва нивелир қиялик бурчагини компенсацияловчи компенсаторли қилиб чиқарилади. Нивелир шифрига қўшилган К харфи, компенсаторли эканини билдиради, масалан Н-05К.

Юқори аниқликдаги Н-05 ва Н-05К нивелирлари қуйидаги 20-жадвалдаги талабларни каноатлантириши лозим.

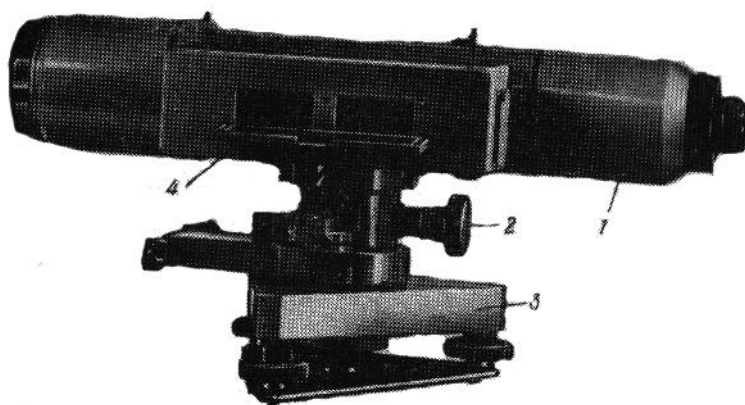
Серияси 80 йиллардан бошлаб ишлаб чиқарила бошланган Н-05 нивелирларидан ташқари ҳозирда ишлаб чиқаришда юқори аниқликдаги Н-1 нивелирлар ҳам қўлланилади.

Асбобсозларнинг изланишлари юқори аниқликдаги янада такоминллашган конструкциядаги I ва II-класс нивелирлаш учун мулжанланган Н-1 (12.4-шакл) ва Н-2 нивелирларни ишлаб чиқиши таъминланади.

20-жадвал

Параметрлар	Н-05	Н-05К
1км иккиланган йўл нисбий баландлигини ўрта квадратик хатоси,мм,	0,5	0,5
Станцияда нисбий баландликни аниқлаш ўрта квадратик хатоси, рейкаларгача бўлган масофалар:	0,15	0,15
30 метр	0,20	0,20
50 метр		
Қараш трубасининг катталаштириш камида, карра	40	40
Адилак бўлагининг қиймати 2 мм га		
Трубадаги (секундда)	10±1	-
Ўрнатувчи (минутда)	5±1	5±1
Санок олиш микрометр шкаласи бўлагининг қиймати, мм	0,05	0,05
Визирлашнинг энг қисқа масофаси, м	5	5
Компенсаторнинг ишлаш диапазони, минут	-	± 8

Визир нурунинг ўзи ўрнатиш хатоси, секунд	-	0,2
Нивелир ўқини 1' га қиялаганда компенсаторни ишлашидаги систематик хатолик, (секунд)	-	0,05
Компенсатор системасининг тебранишини тўхташ вақти, секунд	-	2



12.4-шакл. Н1 нивелири: 1-нивелирнинг қараш трубаси; 2-элевацион виент; 3-кўтариш винтларига эга бўлган таглик; 4-контактли адилак.

Н1-нивелирининг конструкциясини ишлаб чиқишда асос қилиб НБ типдаги нивелир қабул килинган. Шунинг учун ушбу нивелирнинг оптик схемаси НБ типдаги нивелир схемасидан принципаал равишда фарқ қилмайди. Ясси параллел пластинка бунда ҳам трубанинг ичида жойлашган. Н1 нивелири узининг техник тавсифи бўйича (12.2-жадвал) НБ нивелиридан юқори сифатли оптикиси, призма блок контакли адилак ва қараш трубаси ҳаво хароратининг бирданига ўзгаришидан химояловчи (қоплама) билан таъминлангани билан фарқ қилади. Кожух нивелир ичидаги барча узелларнинг хароратини тенглаштириб туради. Шу туфайли адилак ўқи билан трубани визир ўқи орасидаги i бурчакни ўзгариши текис ва микдори жиҳатидан кичик бўлади, бу эса нивелирлаш натижаларининг аниқлигига ижобий таъсир кўрсатади.

Ушбу нивелирнинг энг муҳим афзаликларидан бири оптик микрометр бўлагининг қиймати нивелир ва рейка орасидаги масофага боғлиқ бўлмайди, чунки ясси параллел пластинка труба ичида

бирлашувчи нурлар тўпламида жойлашади ва харорат таъсиридан кам ўзгаради.

Нивелир трубасида бўлак қиймати 2 миллиметрга 10" га тенг бўлган цилиндрик контактли компенсирловчи адилак ўрнатилган.

21-жадвал

Техник тавсифи	Н1 (Рос сия)	Н-05 (Рос сия)	Ni004 (Герма ния)	Нс-2 (Рос сия)	Ni002 (Герма ния)	Ni007 (Герма ния)
Қараш трубасининг катталаштириши, карра	45	42	44	45	40	31.5
Объектив бўш тешигининг диаметри,мм						
Визирлашнинг энг киска масофаси, метр	60	52	56	50	55	40
насадкали						
насадкасиз						
Дальномер коэффиценти	4.2	1.0	3.0	4.5	1.5	2.2
Дальномер доимийси, метр		5.0				
2 мм га адилак бўлагининг қиймати:	100	100	100	100	100	100
трубадаги, секунд	0.35	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00
ўрнатиғич, минут						
Микрометр шкаласи бўлагининг қиймати, мм	10 2	10 5	10 2	5	8	8
Компенсаторни ишлаш диапазони, минут	0.05	0.05	0.05	-	0.05	0.05
Нивелир трубасининг қиялиғига компенсаторнинг сезғирлиғи, сек.	-	-	-	10	10	10
Нивелир қутисиз массаси, кг	- 6.9	- 5.6	- 6.2	0.3 7.0	0.05 6.5	0.15 3.9

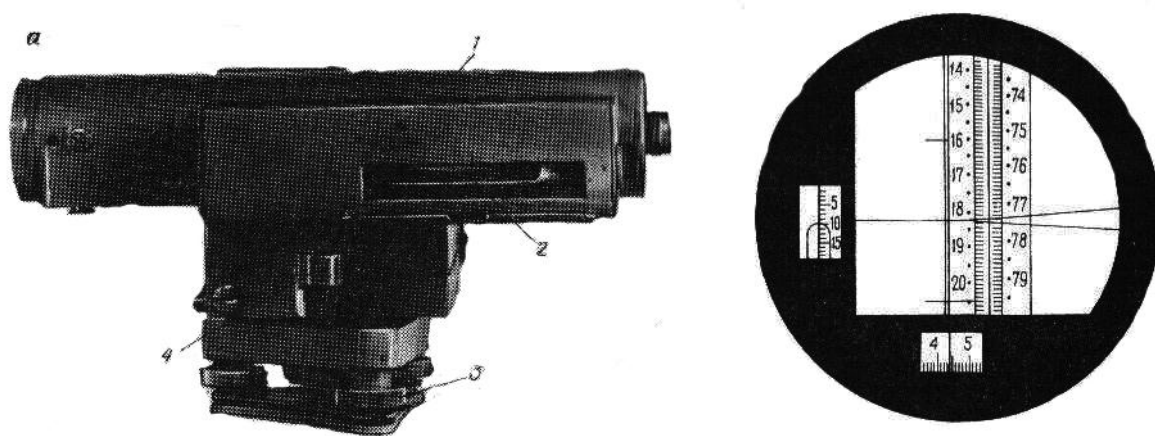
Нивелирнинг харорати 1°С га ўзгарганда адилак пуфакчасининг узунлиғи 0,1-0,2 мм дан ортиқ ўзгармайди. Нивелир элевацион ва азимут бўйича йўналтирувчи винтларга эга; 1-класс нивелирлашга мўлжалланган.

Юқори аниқликдаги нивелир Н-05 (12.5-шакл) Н-2 нивелир базасида ишлаб чиқилган. Нивелир 42^x карра катталаштирувчи апохроматик қараш трубасига (12.6-шакл) эга; трубанинг объективи олдида қўндириладиган линза1, оптик клин 2 ва ясси параллел пластинка 3 жойлашган. Нивелирнинг оптик схемаси цилиндрик контакли адилак пуфакчаси учларининг тасвирини, ҳамда санок олиш шкаласи тасвирини труба куриш майдонига узатади (12.5,б-шакл).

Оптик клин і бурчаги қийматини, уни трубани визир ўқи атрофида айлантириб, ўзгартириш имконини беради. Қараш трубасига, тасвирни узатувчи призма блоки ва контакли адилак иссиқдан химояловчи ғилофга жойлаштирилган, шу туфайли нивелир хароратини 1°C га ўзгарганида і бурчакнинг ўзгариш $0,5''$ дан ошмайди.

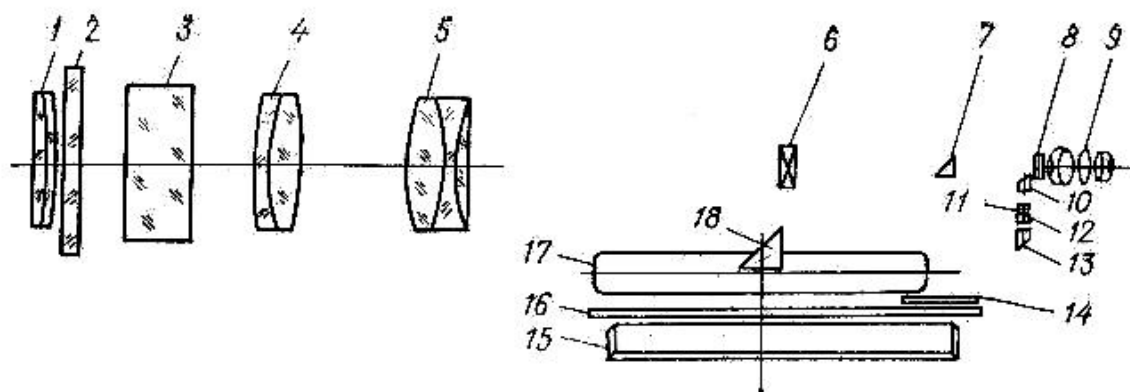
Н-05 нивелири ишлашга қулай, I ва II-класс нивелирлашда натижаларнинг юқори аниқлигини таъминлайди (12.2- жадвалга қаранг).

Юқори аниқликдаги нивелир Ni 004 (Германия) « Карл Цейсс» юқори техник кўрсаткичлари билан характерланади. У I ва II-класс нивелирлашда кенг қўлланилади. Нивелирнинг барча асосий қисмлари, қараш трубаси, билан бирга, компенсирланган ампулалари контакли цилиндрлик адилак оптик микрометрли, ясси параллел пластинкали, химояловчи ойна ва труба объективи орасида жойлашган, иссиқдан химояловчи пўлат ғилофга жойлаштирилган. Нивелирнинг асосий афзаликларидан бири нивелир харорати 1°C га ўзгарганда і бурчакни ўзгариши $0,5''$ дан ошмайди. Трубани кўриш майдонига иплар тури, адилак пуфакчаси учларини тасвири ва оптик микрометр санок олиш шкаласини тасвири узатилади, бу эса нивелир билан ишлашда қулайлик тўғдиради



12.5-шакл. Н 05 нивелири (а): 1-иссиқдан химояловчи ғилофда жойлашган кўриш трубаси; 2- контактли адилак; 3-нивелир таглиги; 4- ўрнатгич адилак; (б)трубанинг кўриш майдони

Нивелирдан рейкагача бўлган турли масофаларда биссекторни штрихга тўғрилаш аниқлигини ошириш учун иплар тўри турли бурчакли иккита ҳаракатланадиган биссекторга эга – биттаси кўриш майдонининг ўнг қисмида 20 метрдан катта масофалар учун, бошқаси (катта бурчакли) кўриш майдонининг чап қисмида 20 метрдан кичик масофалар учун.



12.6-шакл. Н-05 нивелирининг оптик схемаси;

1- қўндириладиган линза; 2 – оптик клин; 3- ясси параллел пластинка; 4-5 –объектив линзаси; 6- фокусловчи линза; 7- оптик микрометрнинг узатувчи линзаси ; 8- иплар тўри; 9- окуляр; 10-13 ва 18- окуляр куриш майдонига адилак пуфакчаси учларининг тасвирини узатувчи оптик система; 14- оптик микрометр шкаласи; 15- ёритиш ойнаси; 16- 17- цилиндрик адилакнинг химоя ойнаси.

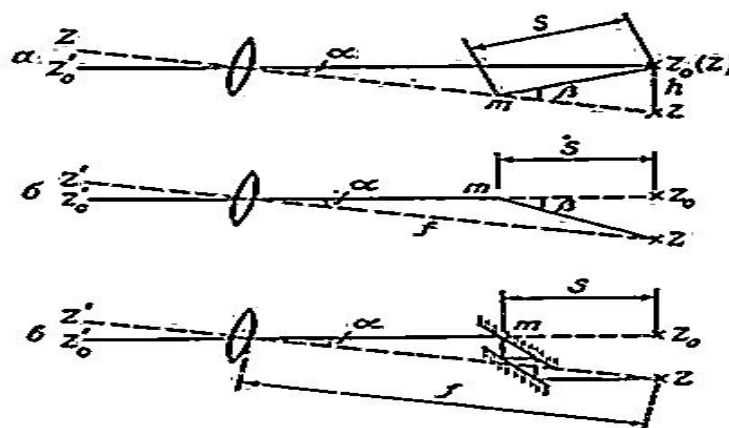
12.4. Юқори аниқликдаги компенсаторли нивелирлар

Геодезик ўлчаш жараёнини автоматизациялаштириш туфайли визир чизикни ўзи ўрнатувчи нивелирлар кенг тарқалмоқда, уларда адилак ўрнига трубанинг визир ўқини автоматик бир лаҳза ичида юқори аниқлик билан горизонтал ҳолатга келтирувчи қиялик бурчак компенсаторидан фойдаланилади. Бунинг натижасида станцияда ўлчаш унумдорлиги сезиларли даражада ошади.

Хозирги вақта турли шкалдаги компенсаторли нивелирлар чиқарилмоқда. Уларнинг кўпчилиги ўта юқори аниқлиги, компактлиги ва қараш трубасини қиялик бурчагини компенсациялаш усулининг оригиналлиги билан фарқланади. Компенсаторларда сезувчан элемент сифатида маятникли система, адилак ва

гидростатик қурилмалар қўлланилади. Энг кўп тарқалгани визир ўқи йўналишини ўзгартирувчи маятникли компенсаторлардир.

Қараш трубасининг қиялик бурчагини компенсациялашнинг асосий усулларини кўриб чиқамиз. Айтайлик трубаининг $Z'Z$ визир ўқи $Z_0'Z_0$ горизонтал йўналиш билан кичик α бурчак ҳосил килади (12.7-шакл), иплар тўрининг кесишиши Z нуқтада жойлашади. Қараш трубаси визир ўқини қиялик бурчаги α учта усул билан компенсацияланиши мумкин; 1) иплар турини Z ҳолатида Z_0 ҳолатига силжитиш (12.7а-шакл); 2) горизонтал нур йўналишини m нуқтасида ўзгартиб, уни сурилган иплар тўрини кесишган нуқтаси Z дан ўтказиш (12.7,б-шакл); 3) горизонтал нурни Z_0 Z қийматга параллел суриб уни сурилган иплар тўри нуқтаси Z дан ўтказиш (12.7,б-шакл).



12.7-шакл. Қараш трубаси қиялик бурчагини

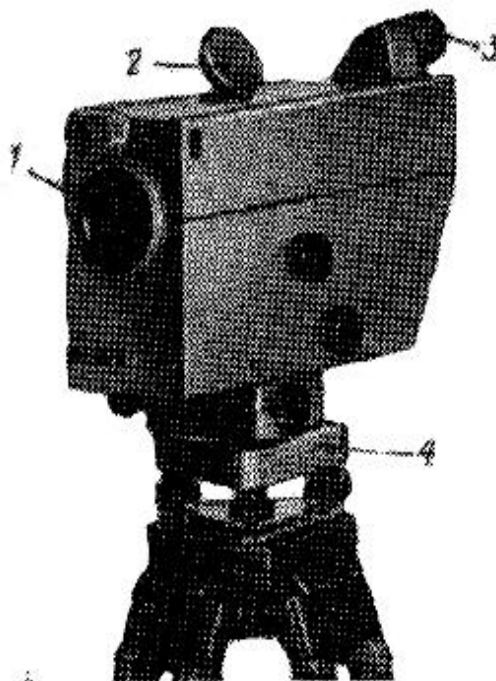
Барча компенсаторларни қараш трубаси визир ўқи қиялик бурчагини компенсациялаш усулидан қатъий назар учта типга ажратиш мумкин; 1) иплар тури ҳаракатланадиган компенсаторлар; 2) визир нурини бурувчи компенсаторлар 3) визир нурини параллел силжитадиган компенсаторлар. Биринчи иккита типдаги компенсаторлар қуйидаги тенгликни қаноатлантириши лозим

$$f\alpha = s\beta,$$

бу ерда f - объективнинг фокус масофаси, α -қараш трубасининг қиялиги, s - нурни бурилиш m нуқтасидан иплар туригача бўлган масофа, иплар турини ушлаб турувчи физик маятник ричагининг узунлиги; β - ричак қиялиги. Нисбат

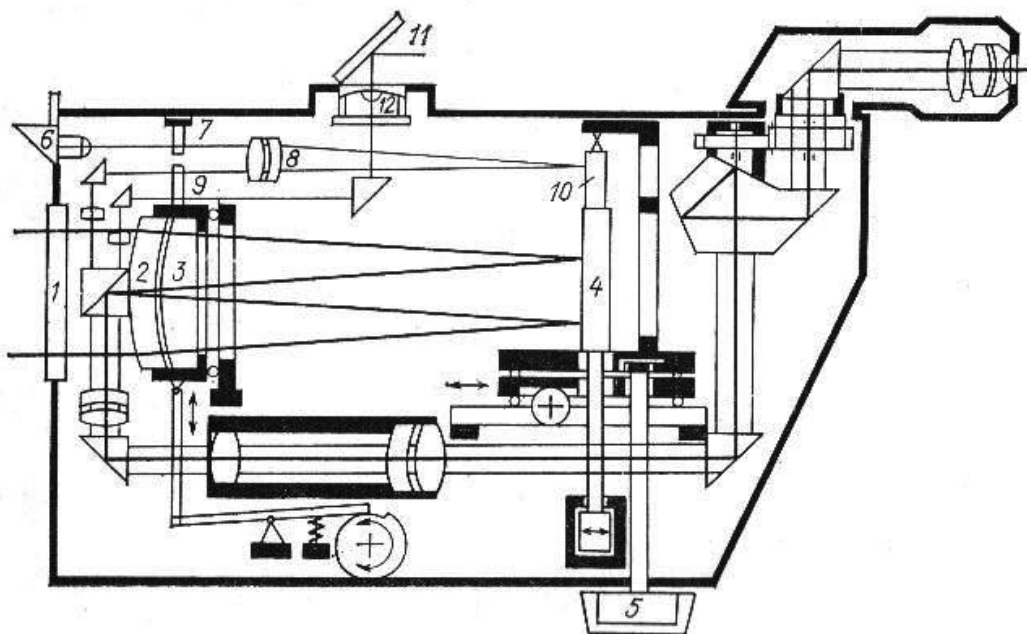
$$f/s = \beta/\alpha = K$$

компенсаторни бурчакли катталаштириши дейилади.



12.8-шакл. Компенсаторли нивелир Ni 002

1- объектив; 2- ўрнатувчи адилакнинг кузгуси; 3- окуляр; 4- нивелир таглиги.



12.9-шакл. Ni 002 компенсаторли нивелирнинг оптик схемаси:

1- клин шаклидаги химоя ойнаси; 2- иплар тўри; 3- объектив; 4- компенсатор ойнаси; 5- компенсатор переключатели; 6- ёритувчи призма; 7- микрометрнинг қаттиқ индекси; 8- объектив; 9- оптик микрометр шкаласи; 10- кўзгу; 11-12 ўрнатиш адилагининг кўзгуси.

Учунчи тип компенсатори, нурларни ўзига ўзи параллел силжитадиган компенсатор бўлиб, у қуйидаги тенгламани қаноатлантириши лозим.

$$f\alpha = vs\alpha \quad \text{ёки} \quad f = vs,$$

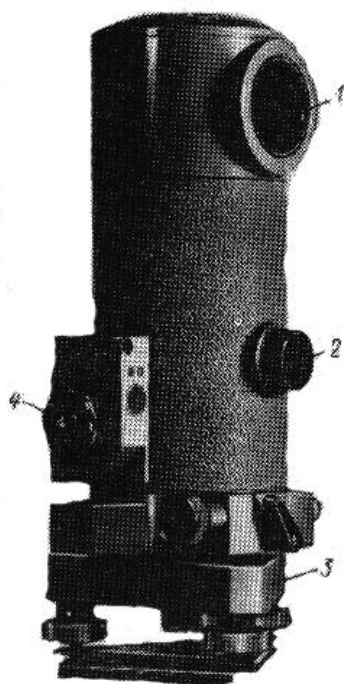
бу ерда v - визир нурини қайтариш сонига боғлиқ коэффициент; s - физик маятниги ричагининг узунлиги.

Ni 002 компенсаторли нивелири 12.8-шакл « Карл Цейс Йена» фирмаси томонидан ишлаб чиқилган бўлиб, юқори техник — иктисодий кўрсаткичлари билан тавсифланади (21-жадвал) ва I–II-класс нивелирлашда кенг фойдаланилади. Нивелир компенсатори кўзгу шаклида тайёрланган бўлиб, у нивелир трубаши объектив бош нуктасидан $f/2$ масофада жойлашади. Компенсаторни катталаштириш бурчак коэффициентлари 1 га тенг. Нивелир қараш трубасини объективи икки компонентлидир. Олдинги компонентда иплар тўғри ўрнатилган. Объектив олдида оптик клин кўринишида тайёрланган химоя ойнаси жойлашган.

Нивелир трубаши қиялигини кам ёки ортиқча компенсациялаш туфайли хатолик таъсирини камайтириш учун компенсаторни кузгу билан 180° га буралишга имкон берувчи переключательга эга. Рейканинг асосий шкаласи бўйича компенсатор кўзгусининг бир ҳолатида (компенсаторни 180° га бурашдан кейин) санок олинади. Трубанинг кўриш майдонига иплар тўри, оптик микрометр шкаласи ва ўрнаткич (доиравий) адилак тасвири узатилади.

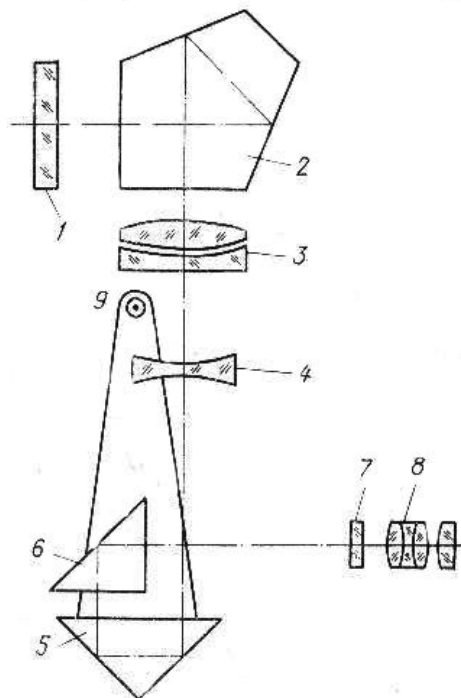
Визир нури 0,5" дан кўп бўлмаган ўрта квадратик хатолик билан (0,5 секундда) деярли лахзада горизонтал ҳолатига келтирилади. Нивелир -20°C дан $+50^\circ\text{C}$ гача харората ишлайди. Нивелир билан ишлаш қулайлиги учун трубанинг фокусловчи линзаси, оптик микрометр ва трубаши азимутал суриш винти нивелирнинг иккита томонида жойлашган ва иккита головкага эга. Бундан ташқари, нивелир корпусини юқори деворига жойлаштирилган труба окуляри азимут бўйича 0° дан 240° гача буралиши мумкин, бу эса нивелир трубасини навбатма–навбат рейканинг биридан бошқасига кузатувчининг ўрнини ўзгартирмасдан тўғрилаш имконини беради.

Компенсаторли *Ni 007* нивелири (12.10-шакл) перископ шаклга эга. У худди *Ni 002* каби юқори техник-иктисодий кўрсаткичларга эга (12.2- жадвалга қаранг) ва II,III ва IV-класс нивелирлаш учун мўлжалланган. Нивелирнинг оптик схемасига мувофиқ, (12.11-шакл) визир нурини ҳимоя ойнаси, пента призма орқали ўтади ва объективга йўналади. Пентопризмадан II-класс нивелирлашда оптик микрометр сифатида фойдаланилади, у горизонтал нури баландлик бўйича максимал $5+0,5$ мм га силжитади. III ва IV-класс нивелирлашда пентопризма арретир ёрдамида қўзғалмас қилиб маҳкамланади ва сантиметр бўлакли шашкали рейкадан фойдаланилади. Иплар тури ва фокусловчи линза орасида объектив бош орқа нуктаси билан бирлашган ричак нуктасида металл лентага осилган компенсатор – тўғри бурчакли призма жойлашади. Маятникали осма ричагини узунлиги, яъни осилиш нуктасидан призма юзасигача бўлган масофа $S=f/2$ катталиқка тенг деб қабул қилинган, бу ерда S - объективнинг фокус масофаси.



12.10-шакл. Компенсаторли *Ni 007* нивелир;

1- труба объективи; 2- саноқ олиш қурилмасининг головкаси; 3- нивелир тағлиги; 4 – труба окуляри;



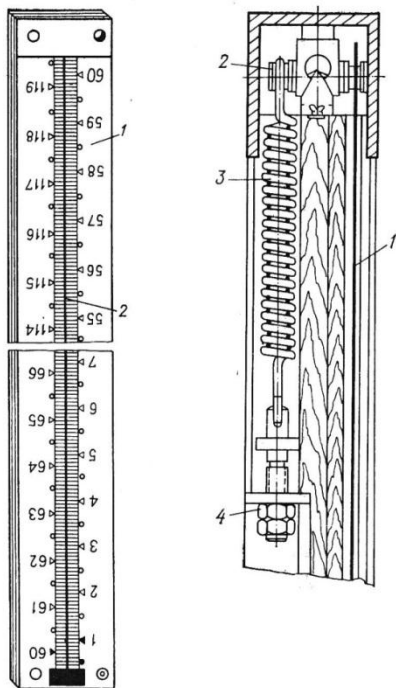
12.11-шакл. *Ni007* Нивелирининг оптик схемаси:

1-ҳимоя ойнаси 2-пентапризма; 3 ва 4- объектив линзалари; 5- компенсатор; 6-тўғри бурчакли призма; 7-иплар тўри; 8-окуляр; 9-компенсаторни осилиш нуктаси.

Нивелирни вертикал ўқи кичик α бурчакга қияланганда трубани иплар тури $h=f\alpha$ миқдорга пастга тушади, призма ҳам пастга эгилади ва бундан ташқари горизонт текислигида визир нури йўналиши бўйича $x=s\alpha$ миқдорга силжийди; визир нури эса уни призмадан чиқишида $2x$ га, яъни уни иккиланган қийматига силжийди. Нивелир қиялик бурчагини компенсациялашни асосий шarti $f_{\alpha} = 2x = h$ тенгликга риоя қилиниши ҳисобланади. $x = s\alpha$ бўлганда $s=f/2$ ни ҳосил қиламиз. Ni 007 нивелирида бу шарт бажарилган. Шунинг учун қараш трубасининг чиқишидаги визир нури ҳамма вақт горизонтал бўлади.

Нивелир вертикал ўқининг қиялик бурчаги $10'$ дан ошмаслиги лозим. Визир чизиғининг горизонтал ҳолатда ўрнатиш аниқлиги нивелирни қиялик бурчагига боғлиқ ҳолда $0,5''$ дан $1''$ гача ўзгариши мумкин. II-класс нивелирлашда нивелирдан рейкагача бўлган масофа 35 метрдан кўп бўлмаслиги тавсия этилади, чунки нивелир трубасининг катталаштириш даражаси унчалик юқори эмас (35°) визир нурини горизонталлаш аниқлиги эса анча кичик.

Демпфирлаш. Компенсаторли нивелирни штативга ўрнатгандан сўнг компенсаторнинг чайқалувчи элементларининг тебраниши шу онда (лаҳзада) тўхташи лозим. Бунинг учун махсус қурилмадан-демпфирдан фойдаланилади, у бу тебранишни «ўчиради». Демпфирлар турли типда бўлади: хаволи, суюқликли, магнитли ва х.к. Маятникли типдаги компенсаторларда асосан хаволи демпфирдан фойдаланилади у цилиндрсимон бўлиб унинг ичида поршен бемалол ҳаракатланадиган. Цилиндрни чап ва ўнг қисмида маятникли система силжиганда навбати билан хаво босимини ошириш ва пасайтириш учун поршен ва цилиндр девори орасидаги масофа етарлича кичик бўлиши лозим, бу эса ўз навбатида маятник тебранишини тўхтатади (сўндиради).



12.12 – шакл. Инварли нивелир рейкаси. 1-ёғоч ғилоф, 2-бўлакли инвар лента.

12.13 – шакл. Инвар лентани таранглатувчи қурилма.

12.5. Нивелирлаш инвар рейкалари

Н-05, Н-3, Н-10 нивелирлари билан ишлатиш учун уларга мос равишдан РН-05, РН-3, РН-10 рейкалар ишлаб чиқилади. РН-05 рейкаси юқори аниқликдаги нивелирлашда ишлатилади. Бу рейкадан фойдаланиб 1 км иккиланган йўлга 0.5 мм аниқликни таяминлаш мумкин.

РН-05 рейка (12.12-шакл) узунлиги 3080 мм, эни 85 мм, қалинлиги 40 мм бўлган қоғоз корпусга эга. Рейкани юзи томонда чуқурлиги 6-8 мм бўлган бўйлама ариқчасимон ўйиқ қилинган бўлиб, унинг ичига бўлақлар туширилган инвар лента жойлаштирилган. Инвар лента узунлиги 3000 мм, эни 25 мм,

қалинлиги 0,6 мм. Лентани пастки учи, (12.13-шакл) рейка пўлат пойнака (тавонига) маҳкамланади, юқори учи пўлат ричагга 2-уланган, унинг иккинчи томонига пуржина 3 маҳкамланган. Пуржинанинг иккинчи учи орқа томонда рейка корпусига маҳкамланган; 4-гайкани бураш билан инвар лентани тортилишини (таранглик ҳолатини) бошқариш мумкин, у доимий бўлиб 200Н га тенг бўлиши керак. Инвар лентага иккита шкала туширилган (12.12-шакл): асосий шкала шнг томонда, чап томонда қўшимча шкала. Ҳар икки шкалада 5 мм ораликда штрихлар чизилган. Штрих қалинлиги 1 мм, узунлиги 6 мм. Бир шкала иккинчисига нисбатан ярим бўлакка яни 2,5 мм га силжитилган. Асосий шкалада бўлақлар 0 дан 60 гача номерлаб ёзилган, қўпинча шкала 60 дан 119 гача номерлаб ёзилган, улар ярим дицетрлни ифодалайди. Асосий шкалани нол рейка тавонидан ҳисобланади. Асосий ва қўшимча шкалалардан олинган санокларнинг фарқи доимий катталиқ бўлиб, 59.25 ярим дийетрга тенг.

Рейка орқа томонида қайтариб қўйиладиган дастаси (ушлагич) ва бўлак қиймати 2мм га 10' бўлган доиравий адилаки бор. Рейкадан санок олишда у костылга (маҳсус темир қозикча) тик (вертикал) ўрнатилади ва бу ҳолатда тиргагич ёрдамида ушлаб турилади.

Рейкани таёйрлашга катта талаблар қўйилади: Рейка тавонини шкала ўқиға перпендикуляр эмаслигини рейка ҳолатини баландлик бўйича 0,08 мм дан ортиққа ўзгартирмаслиги керак. Шкала нолини тавонга тўғри келишининг хатолиги 0,10 мм дан ошмаслиги керак. Рейка ўрта қисмида унинг букилиши 3 мм дан ошмаслиги керак. Инвар лентасининг 1° С да чизикли кенгайиш коэффиценти 2,5 мкм дан ошмаслиги керак. Рейкани олиб юришда унга тасир этувчи турли хилдаги механик тасирларга турғун бўлиши керак.

Шкала бўлак қийматлари 5 мм дан 0,05 мм га фарқ қилиши мумкин. Бутун шкала бўйича метр бўлакларининг хатоси 0,1 мм дан катта дўлмаслиги керак. Рейка комплектидаги рейка жуфтини метрини ўртача узунликлар фақи уларни наминалидан 0,15 мм дан, тоғли жойларда ишлаганда 0,05 мм дан фарқ қилмаслиги керак.

Дала ишларини бошлагандан олдин ва ишлар тугатилгандан сўнг рейкалар МК-1 компораторида эталонлаштирилади (текширилади). Эталонлаштириш натижасида рейка асосий шкаласини 10-30; 30-50; қўшимча шкаланинг 70-90; 90÷110 ярим дицетрлар оралиғидаги метр бўлакларнинг узунлиги 0,01 мм хатолик билан аниқланади.

Дала ишлари олиб борилаётган даврга; бўлакларни метр интервалларида узунлиги ўзгармас эканлиги назорат линейкаси ёрдамида хос икки ойда текшириб турилади, агарда ўзгариш 0,1 мм кааттага фарқ қилса эталонлаштириш МК-1 компораторида амалга оширилади; йилда бир матрда шу компороторда назорат линейкаси эталонлаштирилади.

Яъни рейкаларда асосий шкалани 02-10, 10÷30, 30-50; 50-58, ёрдамга шкалани 60-70, 70-90; 90-110, 110-118 децетр бўлакларининг хатолиги назорат линейкаси ёрдамида аниқланади, бу хатолик I класс нивелирлашда 0,10 мм, дан II-класс нивелирлашда 0,20 мм дан ошмаслиги керак.

Дала ишларига чиқишдан олдин инвар лентасини таранглигини (тортилганлик даражаси), текширилади, эказаменаторда адилак бўлак қиймати аниқланади; рейка эгиклиги ва рейка ўқига тавон текислигини перпендекулярлиги текширилади; шкала нолини тавон текислигига тўғри келиши, рейка комплектини ноллар фарқи аниқланади.

Дала ишлари олиб борилаётган даврда ҳар куни эрталабки ва кечки кузатишлардан олдин рейка адилагини тўғри ўрнатилгани текшириб кўрилади; икки ҳафтада бир мартда рейка эгиклиги аниқланади, ҳар икки ойда шкалани метр интерваллари узунлиги назорат линейкаси билан текшириб турилади.

Рейкани эгиклигини аниқлаш учун рейка ён томони билан горизантал ҳолатда қўйилади, рейка учлари орасида ингичка ип тортилади, иплар инвар рейка орасидаги оралик (тирқиш) a_1 , a_2 ва a_3 масофалар мос равишда рейканинг 02, 30, 50 бўлакларида ўлчанади. Ўлчанган масофалардан рейканинг эгиклиги ҳисобланади

$$f = a_2 - \frac{1}{2}(a_1 + a_3),$$

бу қиймат 3 мм дан катта бўлмаслиги керак. Дала ишлари жараёнида рейканинг эгиклиги 3 мм ошган бўлса, у ишдан бўш вақтда (танафусларда) тиргакка ён томони билан ётқизиб қўйилади, бунда у ўзини оғирлиги билан тўғирланади.

Замонавий рақамли нивелирлар билан I ва II-класс нивелирлашни бажаришда Nedo юқори аниқ инвар рейкаси қўлланади. Рейкага штрихлар аниқ туширилган юзи махсус лак билан қопланган. Штрихларни тушириш аниқлиги $\pm 0,005$ мм га тенг. Рейка узунлиги 3 метрли бўлиб, корпуси алюминий эритмасидан ясалган ва сирти анодланган. Рейкада доиравий адилак ўрнатилган.

13- боб. Юқори аниқликдаги нивелирларни

тадқиқ қилиш

13.1. Цилиндрик адилакли нивелирларни тадқиқ қилиш дастури

Нивелир заводдан олинганида ёки уни капитал таъмирлашдан кейин лаборатория шароитида қуйидаги тадқиқлари бажарилади.

1. Қараш трубагининг оптик ва ўлчаш тавфсифларини тадқиқ қилиш, шу жумладан трубагининг оптик системасини марказлаштириш ва йиғиш сифатини аниқлаш; хроматик ва сферик абберрациялари, ёруғлик ўтказувчанлиги ва ёруғлик тарқатувчанлигини аниқлаш; трубага аниқлик кучини, катталаштириши ва кўриш майдонини аниқлаш; иплар тўрининг параллакси ва визирлаш энг кичик масофасини аниқлаш; микрометр биссекторини рейка штрихига қаратиш ўрта квадратик хатосини ҳисоблаш.

2. Цилиндрик адилакли тадқиқ қилиш: уни бўлак қийматини аниқлаш билан бирга, адилак пуфакчасининг учлари тасвирини туташтириш ўрта квадратик хатосини аниқлаш, ҳамда адилак ампуласи ички сиртини тайёрлаш сифатини тадқиқ қилишдан иборат.

3. Доиравий адилак бўлак қийматини аниқлаш.

4. Оптик микрометр ишини тадқиқ қилиш ва санок шкаласининг бўлак қийматини аниқлаш. Бўлак қийматини шкалани турли қисмларида, рейкагача масофани турли қийматларида ва нивелир ҳароратини ўзгариши туфайли келиб чиқадиган ўзгаришларни аниқлаш.

5. Труба фокусловчи винтини тўғри юришини тадқиқ қилиш.

6. Дальномер коэффиценти ва иплар асимметриясини аниқлаш.

7. Элевация винтини ишлашини текшириш ва унинг айланиш қийматини аниқлаш.

8. Нивелир ҳароратини ўзгариши туфайли цилиндрик адилак ўқи билан труба визир ўқи орасидаги бурчак ўзгаришини тадқиқ қилиш.

Дала ишлари бошланишидан аввал ва дала ишлари давомида юқори аниқликдаги нивелирларни қисқартирилган дастури бўйича тадқиқ қилинади, бу эса нивелир ҳолатини систематик равишда

кузатиб бориш ва уни техник талабларга жавоб беришини назорат қилишга имкон беради.

13.2. Юқори аниқликдаги нивелирлар контактли адилагини тадқиқ қилиш

Контактли адилак нивелир асбобининг энг масъул қисмларидан бири бўлиб, нивелирлаш натижасининг аниқлиги адилакни қанчалик сифатли ва аниқ қилиб тайёрланганлигига боғлиқ бўлади. Шунинг учун юқори аниқ нивелирни адилаги синчиклаб тадқиқ қилинади. Бунинг учун адилак бўлагининг ўрта қиймати аниқланади; адилак най шишаси ички сиртининг тайёрланиш сифати тадқиқланиб, унинг эгрилиги, демак аномал булак қийматига эга қисми аниқланади; адилак пуфакчаси учларини туташтириш ўрта квадратик хатоси аниқланади.

Адилак бўлагининг қийматини экзаменаторда аниқлаш. Юқори аниқ нивелирларнинг адилагини экзаменаторда тадқиқи, теодолит адилагини тадқиқ қилишдаги тайёргарликларни кўриш билан бошланади. Экзаменатор ҳарорати барқарор бинодаги темир-бетон ёки ғиштдан қилинган устунда ўрнатилади. Нивелир экзаменатор устига тадқиқларни бошлашдан 2-3 соат олдин қўйилади. Экзаменатор ёнига бўлак қиймати $0,2 - 0,5^{\circ}\text{C}$ бўлган термометр ўрнатилади. Тадқиқлар даврида ҳаророт 2°C дан ортиққа ўзгарса натижалар нотуғри деб ҳисобланиб тадқиқлар қайта такрорланади.

Тадқиқлар дастури ўлчашларни икки приёмини ўз ичига олади, ҳар бир приём эса тўғри ва тескари йўллардан иборат. Тадқиқларни бошлашдан аввал экзаменатор ўлчаш винтининг қайта ўрнатиш сони t аниқланади, бунда адилак пуфакчасини шкалани бир учидан иккинчи учигача (иккала четидан 1- 2 бўлак бундан мустасно) сурилиши сони 6 – 8 бўлакдан кам бўлмасин.

Биринчи ярим приёмда нивелир объективи билан экзаменатор винтига қараб қўйилади. Ўлчаш винтини ичкарига бураб, уни шкаласида нол саноғи қўйилади. Нивелир элевация винтини бураб адилак пуфакчасининг чап учи (трубанинг қараш майдонидаги

тасвирга қараб) 1-2 бўлакларга тенг соноқ билан туташтирилади. Бир дақиқа ўтиб, пуфакча мувозанатга келгандан кейин биринчи бир жуфт (α , β) саноклар пуфакчанинг учлари бўйича олинади ва улар ёзиб қўйлади. Кейин ўлчаш винтини фақат ичкарига қараб бураб уни ҳисобланган t қийматларга кема-кет қўйиб ҳар сафар бир дақиқадан кейин пуфакчанинг учлари бўйича саноклар олиб борилади. Найшишанинг боши ва охири учларидаги 1-2 бўлаклар фойдаланилмайди.

Тескари йўлга ўтишдан олдин ўлчаш винтини ичкарига қараб бураб нивелир, яна 20-30" га оғдирилади, кейин эса винтни тескарига, яъни ташқари томонга (чиқишга) бураб t нинг тўғри йўлдаги охириги қийматига келтирилади. Бир дақиқа вақт ўтгач пуфакча учларидан саноклар олиниб ёзилади. Экзаменатор винтини фақат ташқарига (чиқишга) қараб бураб кетма - кет унинг шкаласини тўғри йўналишдаги санокларга қўйиб ҳар сафар бир дақиқадан кейин пуфакча учларидан саноклар олинади. Шу билан биринчи приём якунланади. Ўлчашлар дастури катъий симметририк бўлиши учун иккинчи приём қўйидагича бажарилиши керак.

Экзаменатор ўлчаш винтини ичкарига бураб 180° га айлантириб унинг шкаласида бўлак қиймати 90 қўйилади (шкала 180 бўлакка бўлинган). Нивелир трубасини ҳам 180° га айлантириб окуляри экзаменатор винтига қаратиб қўйилади. Нивелир элевация винти билан пуфакчанинг чап учи шкаланинг охирида биринчи приёмининг тўғри йўлда бўлган охириги санокқа яқинроқ қийматга қўйилади. Шу билан тайёргарлик жараёни якунланади.

Иккинчи приёмда ўлчаш винтини соат стрелкаси йўл бўйича бураб дастлаб нивелир оғишини 20-30" га оширилади. Кейин шу винт билан амал қилиб, винтни фақат ташқари (чиқиш) га бураб шкаласида 90 бўлакка тенг санок қўйилади, бир дақиқа ўтгач пуфакчанинг учларидан саноклар олинади. Биринчи ўрнатишдан иккинчисига ўтишда винт тўғри йўл учун ҳисобланган t қийматига ўзгартириб бир дақиқадан сўнг пуфакча учларидан саноклар олиниб борилади. Тўғри ва тескари йўллардаги қолган ҳамма амаллар биринчи приёмдагига

ўхшаш бўлади, фақат бунда тўғри йўлда экзаменатор винтини ташқарига (чиқишга), тескари йўлда эса ичкарига қараб буралади.

Ўлчашларни ишлаб чиқиш қўйидагича бажарилади. Экзаменатор винтини ҳар бир i сонли ўрнатилишда адилак пуфакчасининг узунлиги ҳисобланиди ва унинг ўзгаришига қараб ўлчашларни тўғрилиги баҳоланади: қабулдаги энг катта ва энг кичик қийматлар ($ч + ў$) орасидаги фарқ 0,5 бўлакдан ошмаслиги керак. Кейин экзаменатор винтини ҳар бир ўрнатилиши учун адилак пуфакчасини нол пунктига нисбатан ўрни айирма кўринишда $l_i = (ў - ч) i$ ҳисобланади. Адилак пуфакчасининг битта ўрнатишдан навбатдагига ўтишда сурилиши қўйидагича топилади $r_i = l_i - l_{i+1}$. Экзаменатор винтини бир хил қийматга ўрнатиш ўртачаси приёмдаги тўғри ва тескари йўللاردан қуйидагича ҳисобланди $r_m = (r_{мыз.} + r_{меч.}) / 2$.

Кейин, ҳар иккала приёмладан олинган z_m қийматларининг ўртачаси $r_{yp} = (\sum r_m) / n$, ҳамда $\delta = r_m - r_{yp}$ топилиб, уларнинг қиймати бўйича найшиша ички сиртининг тайёрлаш сифати баҳоланади (δ қиймати адилак бир бўлагининг ярмидан ошмаслиги керак).

Приёмлардаги r_m қийматлардан фойдаланиб, адилак найшишасининг турли қисимлари учун бўлак қиймат τ' қўйидагича ҳисобланади

$$\tau' = \frac{2t\mu}{r_m}, \quad (13.1)$$

бу ерда t -экзаменатор винтини ўрнатиши керак бўлган бўлаклар сони; μ – бу винт боши (галовкаси) бир бўлганлигининг қиймати ($\mu = 1''$). Ҳисобланган τ' қийматлари бўйича адлак шкаласини турли қисмларида бўлак қийматини ўзгариши ҳақида хулоса қилинади.

Ўртача бутун адилак учун бўлак қиймати қўйидагига тенг

$$\tau = \frac{1}{n} \sum \tau', \quad (13.2)$$

бу ерда $n - \tau'$ қийматларининг сони

Айирма $v = \tau' - \tau$ қийматларини ҳисоблаб чиқиб, улар орқали адилак бўлак қиймати ўртачасини аниқлашни ўрта квадратик хатоси топилади

$$m_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}. \quad (13.3)$$

Адилак пуфакчасининг учларини туташтириш ўрта квадратик хатосини аниқлаш. Тадқиқлар экзаменаторда бажарилади. Нивелир экзаменаторнинг горизонтал майдончасига окуляри билан ўлчаш винти тамонига қаратиб ўрнатилади ва кейин эса цилиндрик адилак пуфакчаси ўрта қисмга тақрибан келтирилади. Тадқиқлар дастури 5 та приёмларда ўлчашдан ташкил топади, ҳар бир приём эса тўғри ва тескари йўлларда бажарилади. Тўғри йўлда экзаменатор ўлчаш винтини ичкари бураб пуфакча учларининг тасвири туташтирилади ва 5-10 сония ўтгандан кейин, агар пуфакча учларининг ҳолати ўзгармаса, экзаменатор ўлчаш винтининг шкаласи бўйича санок олинади. Агар пуфакчанинг учлари озроқ сурилиб қолса улар винтни ичкарига бураб қайта туташтрилади ва санок олинади. Кейин, экзаменатор ўлчаш винтини ташқарига бураб пуфакча учларининг тасвири бир–бирдан 5 -8 булакка сурилади; сўнг винтни ичкари тамон бураб пуфакча учлари аниқ туташтирилади ва винт шкаласи бўйча санок олинади.

Тўғри йўлда экзменатор винтини ичкари тамонга қараб бураб пуфакча учлари 10 марта аниқ туташтирилиб ҳар сафар ўлчаш винтининг шкаласи бўйича саноклар олинади. Тескари йўл айнан шунга ўхшаш бажарилади, фақат бунда пуфакча учларининг тасвири винтни ташқарига бураш билан туташтирилади. Тўғри йўлдагига ухшаш 10 марта тасвир туташтирилиб шунча марта саноклар олинади.

Бажарилган тадқиқлар ва уларни ишлаб чиқиш натижалари 22-жадвалда келтирилган.

Тартиб №	Винтнинг шкаласи бўйича саноклар			
	Ичкарига бурашда	v_1	Ташқарига бурашда	v_2
1	21,4"	+0,26"	21,8"	+0,45"
2	21,3	+0,16	21,2	-0,15
3	21,3	+0,16	21,4	+0,05
4	20,7	-0,44	21,5	+0,15
5	21,3	+0,16	21,2	-0,15
6	20,7	-0,44	21,1	-0,25
7	20,8	-0,34	21,3	-0,05
8	21,0	-0,14	21,3	-0,05
9	21,6	+0,46	21,4	+0,05
10	21,3	+0,16	21,3	+0,05
ўртача	21,14"	0,00	21,35"	0,00
	$m'_{\text{мум}} = 0,32"$		$m_{\text{мум}} = 0,20"$	

Ҳар бир ярим приёмда пуфакча учлари тасвирини туташтириш ўрта квадратик хатоси қўйидагича ҳисобланади

$$m_{\text{мум.}} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}, \quad (13.4)$$

бу ерда v - ярим приёмдаги саноклар ўрта арифметик қийматини экзаменатор винти шкаласидан олинган ҳар бир санокдан фарқи; n - v қийматлари сони.

Ўлчашларнинг 5 та приёмида 5 тадан $m'_{\text{мум.}}$ қийматлари, экзаменатор винтини ичкарига ва ташқарига бураш учун олинади. Адилак яхши сифатли бўлганда ва синчиклаб ўтказилган тадқиқда $m'_{\text{мум.}}$ қиймати 0,20 – 0,35" дан ошмайди. Бешта приёмларни тўғри ва тескари йўллари учун ўртаквадратик хато қўйидаги формуладан топилади

$$m_{\text{мум.}} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum m'^2_{\text{мум.}}}, \quad (13.5)$$

бу ерда $k - m'_{\text{нут.}}$ қийматлари сони.

Бу формуладан топилган (5 та приёмлар натижасидан) $m_{\text{нут.}}$ қиймати юқори аниқ нивелирлар учун 0,3" дан ошмаслиги керак, бу эса рейкагача масофа 50 м бўлганда рейкадан олинадиган санокқа 0,08 мм хатолик беради.

13.3. Оптик микрометр ишлашини тадқиқ этиш

Оптик микрометр санок олиш шкаласининг бўлак қиймати унинг мўлжалланган қийматидан фарқ қилиши ва бу фарқ шкаланинг турли қисмларида турлича қийматга эга бўлиши мумкин; у ҳаво ҳароратини ҳамда нивелирдан рейкаларгача масофаларни ўзгаришидан келиб чиқади.

Бундан ташқари оптик микрометрни бўш юриши ҳолати мавжуд, у нивелирлаш жараёнида хатолик манбааси ҳисобланади ва инобатга олиниши керак.

Оптик микрометрнинг бўлак қиймати лаборатория ҳамда дала шароитида аниқланиши мумкин. Лаборатория шароитида аниқлашда бўлак қийматлари 0,7 - 1 мм дан қилиб аниқ туширилган махсус шкаладан фойдаланади, бунда штрихлар йўғонлиги 0,1 мм қилинади. Тадқиқни бошлашдан олдин бу шкала асбоб микроскобида компорланади. Қўшни штрихларнинг ўқилари орасидаги масофа 0,007 мм дан кам бўлмаган аниқликда топилади.

Нивелир ва шкала вертикал қилиб ўрнатилган таклик мустаҳкам асосда бир-биридан $l=7 - 10$ м масофада ўрнатилади. Тадқиқлар дастури олтита приёмлардан ташкил топади. Приёмлар орасида нивелир баландлиги кўтаргич винтлар ёрдамида ёки шкала баландлиги 0,8 - 1 мм га ўзгартириб олинади. Кейинги ҳар бир приёмда шкаланинг бошланғич штрихи бошқа бўлиши шарт, ҳар бир приёмдан олдин ҳаво ҳарорати ўлчаб олинади .

Ўлчашлар приёми тўғри ва тесқари йўللardan ташкил топади (23-жадвал). Тўғри йўлда адилак пуфакчаси учларининг тасвири синчиклаб туташтирилади ва микрометр головкасини ичкарига (соат йўли бўйича) бураб микрометрнинг биссектори шкаланинг 7-8 та штрихларига кетма-кет қаратилади. Бунда микрометр бўйича

саноклар 0 дан 100 бўлакгача ўзгаради. Ўлчаш жараёнида пуфакча учларининг тасвири туташган ҳолда қолиши кузатиб борилади, акс ҳолда ўлчашлар қайта такрорланади. Тескари йўлда микрометр головкаси тескари йўналишда (чиқишга) буралади ва биссектор тўғри йўлда кузатилган штрихларга кетма-кет қаратилади, бунда кузатиш охириги штрихдан бошлаб биринчисига қараб олиб борилади.

Микрометрни тадқиқ этиш натижалари 23-жадвалда келтирилган.

Юқори аниқ нивелир; $l = 10 \text{ м}$; $t = +18,5^\circ\text{C}$

23-жадвал

Қаб ул	Шка- ла штри- хи- нинг номе- ри	Микрометрдан саноклар			Ичка- рига ва ташқар ига бу- раш- даги санок- лар айир- маси	Шкала штрихларнинг орасидаги интервал, мм		Бўлак қийма- ти τ $=a/c$, мм
		Ичка- рига бураш да	Ташқар ига бурашда	ўртача си		Компор- ир- лашдан, a	Микро- метрда ўлчашд ан. c	
1	19,5	3,2	3,2	3,20	0,0			
2	19,4	17,4	17,1	17,25	+0,3	0,730	14,05	0,0520
3	19,3	32,0	31,2	31,60	+0,8	0,729	14,35	0,0508
4	19,2	46,7	46,1	46,40	+0,6	0,736	14,80	0,0497
5	19,1	61,4	61,1	61,25	+0,3	0,731	14,85	0,0492
6	19,0	76,1	75,6	75,85	+0,5	0,720	14,60	0,0493
7	18,9	90,7	90,4	90,55	+0,3	0,751	14,70	0,0511
8	18,8	104,7	104,6	104,65	+0,1	0,723	14,10	0,0513
				ўртача	+0,4			0,0505

Кейинги приёملар ҳам юқорида кўрсатилган биричи приёмга ўхшаш бажарилади ва натижалар ишлаб чиқилади. Агарда микрометр шкаласининг булак қиймати τ шкаланинг турли қисмларида ўртача қийматидан 0,0025 мм дан кўпга фарқ қилса нивелир заводга қайтарилади.

Микрометр бўлак қийматини ҳаво ҳарорати ва рейкагача масофа ўзгаришига боғлиқ ўзгаришини дала шароитида тадқиқ қилиш учун

бўлаклари бир-бирига нисбатан 1 мм га сурилган юқори аниқликдаги иккита туташ шкалалар туширилган рейкача қўлланади. Ҳар иккала шкалаларда қалинлиги 1 мм бўлган штрихлар 2 мм ли ораликдан туширилади. Тадқиқлар бошида ва охирида шкала бўлаклари 0,01 мм аниқликда текшириб кўрилади.

Тадқиқлар текис жойда рейкагача бўлган 30; 50; 70 м масофаларда ҳавонинг турли ҳароратларида, масалан, 5; 15 ва 25°C, яъни нивелирлашни конкрет шароитида ҳаво ҳароратини ўзгариши мумкин бўлган қийматларида бажарилади. Дала тадқиқлари босқичма-босқич дала ишларининг фаслларида (эрта баҳорда, ёз бошланишида ва ҳ.к.) бажарилиши мумкин. Тадқиқларни булутли кунларда, кузатиладиган шкала бўлақларининг тинч ёки енгил тебранма тасвирида бажариш мақсадга мувофиқ.

Нивелирдан рейкагача бўлган ҳар бир масофа учун (30, 50 ва 70 м) микрометр бўлак қиймати юқорида келтирилган лаборатория шароитида кузатиш услуби ва ишлар ҳажмида аниқланади, фақат дала шароитида аниқ бўлакли бошқа шкала қўлланилади. Ҳар бир қабулнинг бошида ва охирида ҳаво ҳарорати 0,1°C аниқлик билан ўлчаб борилади.

Микрометр бўлак қийматини дала шароитида аниқлаш бўйича мисол қўйидаги 24-жадвалда берилган.

Нивелир Н1 №00415

24-жадвал

Сана	Ҳаво ҳарорати, °C	Микрометр бўлак қиймати, мм қуйидаги масофаларда, м			Ўртача τ қиймат, мм
		30	50	70	
25.05	+8,1	0,0500	0,0509	0,0518	0,0509
3.7	+15,8	0,0511	0,0519	0,0541	0,0524
1.08	+25,3	0,0514	0,0518	0,0528	0,0520
ўртача	+16,4	0,0508	0,0515	0,0529	0,0518

Келтирилган жадвалдан кўринишича микрометр бўлак қиймати ҳаво ҳарорати ўзгаришига боғлиқ эмас. Лекин нивелирдан рейкагача бўлган масофага боғлиқлиги аниқ кўриниб турибди.

Бу боғлиқликни қўйидаги эмперик формула билан ифодалаш мумкин $\Delta\tau = 0,0508 + 0,0003(l - 30)$, бу ерда $30 \leq L \leq 70$ м.

Юқоридаги жадвалдан оптик микрометр шкаласининг бўлак қиймати қўйидаги формула бўйича ҳисобланади.

$$\tau = \frac{i_{\text{мм}}}{i_{\text{м.б.}}}, \quad (13.6)$$

бу ерда $i_{\text{мм}}$ – компорланган шкала икки қўшни бўлакларининг оралиғи, мм; $i_{\text{м.б.}}$ - ўша шкаланинг бўлаклари оралиғи бўлиб, оптик микрометр бўлакларида ифодаланган.

Оптик микрометрни бўш юриши (мёртвый ход) ясси параллел пластинка билан соноқ шкаласи ричаги бирлашган жойида зазор (тирқиш) жуда кичик бўлган тақдирда ҳам пайдо бўлади. Бундай бўш юриш борлигини аниқлаш учун ҳаракатсиз турган шкала битта штрихга микрометр биссекторини микрометр бурчагини (галовкасини) “ичкариси” ва “ташқариси” бураш қаратиб олинган саноклар фарқлари ишорасини доимийлиги кўрсатади.

23-жадвалда келтирилган мисолда ичкарига ва ташқарига бурашдаги саноклар фарқининг ишораси бар хил-мусбат бўлиб, ўртача фарқи санок бўлагини 0,4 га тенг. Демак бу нивелирни микрометрида бўш юриш (мертвый ход) бор, у вақт ўтиши билан ясси параллел пластинка билан санок олиш шкаласи ричаги бирлашган жойида ишқаланиб ейилиши оқибатида модуль бўйича ортиб бараверади.

Ясси параллел пластинкаси бўлган барча нивелирларда бўш юришини тадқиқ этиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Бу ишни бажариш дастури қуйидагича бўлиши мумкин: микрометр шкаласини 10, 30, 50, 70, ва 90 бўлаklar қўйиб, микрометр галовкасини (бурагичини) бураб биссекторни 10 мартадан 5-10 метр масофагада ўрнатилган яхшим кўринадиган шкала штрихига қаратилади. Сўнгра ичкарига ва ташқарига бурашларда фарқлари ўртача қиймати топилади, бу бўш юриш катталиқни ва ишорасини кўрсатади. Бўш юриш микрометр санок шкаласи бўлагини ярмига тенг ёки ундан катта бўлса, у холда рейкадан санок олишда биссектори рейка штрихига тўғирлангандан сўнг микрометр галовкасини (бурчагини)

“ичкарига” бураб санок олиш зарур. Микрометр бўш юриши бор ёки йўқлигидан қаттиқ назар микрометрдан санок олишда бу қоидага амал қилиш мақсадга мувофиқ, акс холда нивелирлаш натижасига бўш юриш хатолик таъсир этади.

13.4. Нивелир элевация винтининг ишлашини ва трубанинг фокусловчи линзасини тўғри юришини тадқиқ қилиш

Элевация винтининг ишлашини тадқиқ қилиш вазифасига винтни бурашда нивелир трубасини бир текис оғишини ҳамда винт бир марта тўла айланиши бурчак қийматини аниқлаш киради. Тадқиқ қилиш экзаменаторда амалга оширилади. Тайёргарлик ишлари айнан цилиндрик адилак тадқиқ қилишдаги ишларга ўхшаш бўлади. Агар элевация винтида тўла айланиш сонини кўрсаткичи бўлмаса айланиш сонини аниқлаш мақсадида унга штрихлар туширилади.

Тадқиқ ишларининг дастури икки приёмлардан ташкил топади, ҳар бир приём эса тўғри ва тескари йўллардан иборат бўлади.

Элевация винтининг ишлаши қониқарли ҳисобланади, агарда винт тўла айланишининг қиймати уни ўрта қисмида 60-180° ораликда бўлса, уни ичкарига ва ташқарига тўла бир бурашдаги қиймати бири-биридан 10° дан кўпга фарқ қилмаса. Агар бу фарқ катта бўлса винтнинг қайтаргич пружинаси носозлигини ёки труба қия ҳолатга келтириш механизмининг нотўғри йиғилганини кўрсатади. Бундай камчиликлар далага чиқишдан олдин устахонада тузатилиши керак.

Трубанинг фокусловчи линзасини тўғри юришини тадқиқ қилиш.

Бу тадқиқ ишларидаги елкалар фарқи катта бўлган холларда нивелирлаш бажарилиши керак бўлганда, масалан сув тўсиқларидан нивелирлаб ўтиш керак бўлганда синчиклаб бажарилиши зарур бўлади.

Жойдаги ихтиёрий O нуқтада нивелир костили қоқилиб ундан радиуси 50 м га тенг бўлган айланани $1/4$ қисми жойда чизилади. Бу айлананг қисмида ҳар 10 м ораликда $A, 1, 2, \dots, 7$ лар билан белгиланадиган костиллар (темир қозик) қоқиб чиқилади.

Биринчи маротаба нивелир O нуқтасида ўрнатилиб айланадаги 1 нуқта билан кейингилари орасидаги нисбий баландликлар рейкани асосий ва қўшимча шкалалари бўйича икки маротоба ўлчаб аниқланади (бунда рейка кетма-кет 1, 2, ..., 7 нуқталарда ўрнатилади кузатиш тўғри ва тескари йўналишлар бўйича бажарилади).

Иккинчи маротаба ниверлар айлана A нуқтасида ўрнатилиб рейка кетма-кет 1, 2, 3, ..., 7 нуқталарида қўйилиб ниверланади. Бунда ҳам ниверлаш тўғри ва тескари йўналишларда бажарилади. Бундай приёмлар сони учтадан кам бўлмаслиги керак. O нуқтасидан нивелирлашда барча нуқталарда ўрнатилган рейкалар қараш трубагининг фокуси ўзгартирилмай қаратилади, чунки визирлаш нурининг узунлиги ҳамма нуқталаргача бир хил. A нуқтасидан туриб нивелирлашда эса визир нурининг узунлиги 1, 2, 3, ..., 7 нуқталаргача турли бўлгани сабабли фокусловчи линза ҳолатини ўзгартишга тўғри келади. Биринчи ва иккинчи ҳолдаги нивелирлашлардан топилган нуқталар орасидаги нисбий баландликларнинг ўзаро фарқи фокуслаш линзасининг нотўғри юришини кўрсатади.

13.5. Компенсаторли нивелирларни тадқиқ қилиш

Компенсаторли нивелирларнинг тўла дастур асосида тадқиқ қилиш уларни қараб чиқиш ва текширишларини бажаришдан ташқари қараш трубагининг оптик ва ўлчаш тавсифлари, доиравий адилакнинг бўлак қиймати, оптик микрометрининг ишлаши, дальномер коэффициентини аниқлаш, фокуслаш линзасини тўғри юриши синашларини бажаришни ўз ичига олади. Бу тадқиқлар ҳам айнан цилиндрик адилакли нивелирларга ўхшаш бажарилади. Бундан ташқари компенсаторли нивелирларда адилак пуфакчасини нол — пунктга келтириш сезгирлиги, компенсаторни ишлаш диапазонини аниқлаш, нивелир трубагининг турли даражадаги оғишида визир нурини ўз-ўзидан бир хил горизонтал ҳолатга келиши аниқлиги, компенсатор ишидаги систематик хато ва компенсатор осма системаси тебранишини тўла тўхташ вақти тадқиқ этилади.

Ўрнатиш адилаги сезгирлигини тадқиқ қилиш. Адилак ампуласи ички сиртини тайёрлаш ва силлиқлаш хатоси туфайли

пуфакчани ўртага келтиришда ишқаланиш таъсирида адилак вертикал ўқининг ҳақиқий йўналиши, демак, нивелир айланиш ўқининг вертикаллиги ҳақида тўғри тасаввур ҳосил қилиш қийин бўлади.

Тадқиқ вазифасига пуфакчанинг нол – пунктдаги сезгирлигини аниқлаш ва шу билан нивелир асбобини юқори аниқ нивелирлашга яроқлилигини аниқлаш киради.

Тадқиқлар экзаменаторда бажарилади. Иш бошлашдан аввал нивелирни доиравий адилаги текширилади ва созланади. Экзаменаторда нивелир қараш трубасининг окуляри экзаменатор ўлчаш винти томонига қаратиб ўрнатилади ва ишчи ҳолатга келтирилади. Винт шкаласида санок нолга яқин қилиб қўйилади.

Ўлчашлар тўртта приёмда бажарилади: биринчи приём нивелир трубасининг бошланғич ориентир $A=0^\circ$, иккинчиси – $A=90^\circ$, учинчи ва тўртинчи приёмлар тегишлича $A=180^\circ$ ва $A=270^\circ$ га тенг қилиб бажарилади.

Бошланғич ориентир йўналишга, масалан, труба окуляри экзаменатор винтига қараб ўрнатилишини қабул қилиш ($A=0^\circ$) мумкин; бу ҳолатда экзаменатор винтини ташқари (чиқиш) томонга бураб нивелир 3-4'га қияланади, кейин винтни ичкари (киришга) қараб бураб нивелир ўрнатиш адилагининг пуфакчаси марказга келтирилади ва экзаменатор ўлчаш винти шкаласи бўйича санок олинади.

Бу операция трубанинг ушбу ориентирланган ҳолатида 10 марта такрорланади. Ўнта саноклардан ўртачаси чиқарилади ва улар ҳар бирини ўртача қийматдан фарқлари ва уларнинг квадратлари йиғиндиси $\sum v_0^2$ ҳисобланади, бу ерда нол индекси труба ориентирланишини (мисол, $A=0^\circ$) билдиради.

Кейинги ўлчашларнинг ҳар бир приёми айнан шундай бажарилади, бунда биринчи ва учинчи қабулларда ($A=0^\circ$ ва $A=180^\circ$) адилак пуфакчасини аниқ ўртага келтириш экзаменатор ўлчаш винтини ичкарига бураб бажарилади; иккинчи ва тўртинчи қабулларда эса ($A=90^\circ$ ва $A=270^\circ$) винт ташқари (чиқишга) қараб буралади.

Барча ўлчашлар ва ҳисоблашлар натижасида тегишли тўртта, ўртача қийматлардан фарқлар квадратларининг йиғиндилари: $\sum v_0^2$; $\sum v_{90}^2$; $\sum v_{180}^2$ ва $\sum v_{270}^2$ топилади. Бу қийматлар орқали ўрнатиш адилаги пуфакчасининг нол – пунктдаги сезгирли ўрта квадратик хатоси ҳисобланади; шу орқали нивелир ўқининг вертикал ҳолатга келтириш хатоси баҳоланади.

Бунда қуйидаги формуладан фойдаланади

$$m_{урн.} = \sqrt{\frac{\sum \sum v^2}{k(n-1)}}, \quad (13.7)$$

бу ерда k - приёмлар сони; n - ҳар бир приёмда пуфакчани марказга келтириш сони.

Бу хатолик қиймати 1 ва 2 класс ниверлерлаш учун олинган ниверлирларда тегишлича 0,5' ва 1' дан ошмаслиги зарур. Бу талабга жавоб бермайдиган адилаклар бошқасига алмаштирилиши керак бўлади.

Компенсатор ишлаш диапозонини аниқлаш. Турли йўналишларда нивелир айланиш ўқи оғиш бурчагининг чекли катталикларда, компенсатор систематик ҳатолар таъсирисиз визир уқини горизантал ҳолатга келтира олишини қўйидагича аниқлаш мумкин. Нивелир экзаменатор текислигига шундай қўйиладиги унинг вертикал ўқи мумкин қадар экзаменатор айланиш ўқиға яқин жойлашсин, труба эса объективи биалан унинг ўлчаш винтиға қараб турсин; ўлчаш винти шкаласида санок нол бўлакка қўйилади. Трубанинг объективи олдида автоколлиматор ўрнатилади, агар у бўлмаса объективдан бир неча метр масофада миллиметр бўлакли рейкача ўрнатилади. Нивелир ва экзаменатор ўрнатиш адилакларининг пуфакчалари ўртаға келтирилади. Кейин экзаменатор ўлчаш винтини бураб 0, 2', 4', 6' қийматлар катма-кетлигигада нивелирға мусбат оғиши берилади яний объектив билан юқорига қаратилади ва экзаменаторни ҳар бир ҳолатида коллиматор (рейкача) бўйича саноклар белгиланади, саноклар экзаменатор бир ҳолатдан иккинчисига ўтишда сезиларли бўлмаган кичик ва бир хил миқдорға ўзгаради. Оғдириш коллиматор бўйича санок кескин ўзгаргунға қадар

давом эттирилади, бу эса компенсаторни ишлашдан тўхтаганини билдиради.

Экзаменатор винтининг шкаласидан олинган оғиш бурчагини чекли қиймати аниқланади. Бундай ўлчашлар 2-3 маротаба бажарилади ва топилган қийматлардан оғиш бурчагининг ўртача чекли қиймати чиқарилади ва ундан 2' айриб ташлаб нивелир визир ўқини бўйлама мусбат оғишидаги (труба объективи билан юқорига қаратилганда) компенсатор ишлашини қониқарли бурчаги аниқланади.

Айнан шундай йўлда нивелир визир ўқига бўйлама манфий оғиш берилади (труба объективи пастга қаторидаги) компенсатор ишлашини қониқарли бурчаги аниқланади.

Компенсаторни ишлаш чегараларини нивелирни ёнга оғдирган ҳолати учун аниқлаш ўша услубда, экзаменаторни ўша ҳолатларида бажарилади. Нивелир ўқини ҳар хил йўналишларда оғишида компенсаторни ишлаши чекли бурчаги 1 ва 2-класс нивелирлашни бажариш учун мўлжалланган нивелирларда 8'дан кам бўлмаслиги керак.

Компенсатор осма системаси тебранишини сўниши вақтини аниқлаш.

Компенсаторни сезгир элементини демперсаланиш сифати нивелирлаш аниқлиги ва маҳнат унумдорлигига катта тасир кўрсатади. Компенсатор осма системасининг тебранишнинг тўхтамаслиги сабабли рейкадан санок олиш имконияти бўлмайдиган хатолар ҳам учраб туриши мумкин. Бундай ҳолларда демпфирланиш сифатини тадқиқ этиш зарурати туғилади. Лаборатория шароитида компенсатор осма системаси тебранишни сўниш вақтини секундомер ёрдамида ўлчаш мумкин бўлади. Махсус электрон қурилмадан фойдаланиб, тебранишдан сўнишга бўлган вақтини аниқ ўлчаш мумкин. Юқори аниқ нивелирларда компенсаторни сезгир элементини тебранишининг сўниш вақти 2 секунддан ошмаслиги керак.

13.6. Нивелир визир нуруни ўзи ўрнатиш хатосини аниқлаш

Юқори аниқ компенсаторли нивелирларга қўйиладиган бош шартлардан бири нивелир ўқи $1'$ бурчак қийматига оғишида визир нуруни автоматик равишда горизонтал ҳолатга келишини тасодифий ўрта квадратик хатоси m_k ни $0,2''$ дан ва систематик хатоси σ_k ни $0,05''$ дан ошмаслигини таъминлашдир. Ушбу шартни бажарилишини, яъни бу хатоликларни амалдаги қиймати ўлчаш винтининг бўлак қиймати $\mu=1''$ га тенг экзаменаторда нивелирни тадқиқ қилиб топилади. Қўшимча ўлчаш воситалари сифатида АК-0,25 ёки АК-0,5 типдаги автоколлиматордан фойдаланади. Автоколлиматор бўлмаган тақдирда 3-5 мм ораликдан штрих туширилган рейкачадан фойланиш мумкин.

Нивелир экзаменатор текислигида шундай ўрнатиладики, унинг компенсатори экзаменатор айлананиш ўқи устига тўғри келсин, труба окуляри эса экзаменатор ўлчаш винтига қараган бўлсин. Экзаменатор ўлчаш винти шкаласи бўйича санок нолга келтирилади. Труба объективи олдида битта ўқ бўйича автоколлиматор ўрнатилади. Экзаменатор текислигини, нивелир трубасини ва автоколлиматор трубасини ўрнатиш адилаклари ёрдамида горизонтал ҳолатга келтирилади.

Автоколлиматор бўлмаган тақдирда нивелир трубаси объективи билан экзаменатор ўлчаш винти томонга қаратиб қўйиб унинг визир нури створида 4-5 м масофада (мумкин қадар узоқроқда) бўлакларга бўлинган рейкача деворда тик ўрнатилади.

Ўлчаш қуйидаги тартибда бажарилади. Ўлчаш винтини ичкарига бураб экзаменатор, демак у билан бирга нивелир компенсаторни ишлаш бурчагини чекли қийматига яқин бурчакка $\alpha_{чекли}$ оғдирилади. Кейин винт тескари томонга буралиб (чиқиш томонга) $\alpha_{чекли}=11\div 12'$ да бирин-кетин нивелир ўқи $10'; 8'; 6'; 4'; 2'; 0'; -2'; -4'; -6'; -8'; -10'$ бурчак қийматларига оғдирилади ва ҳар бир i номерли ўрнатишда автоколлиматор бўйича (ёки рейкача бўйича) a'_i санок белгиланади. Ҳар бир санок аниқлигини ошириш учун уни биссекторни 3-5 марта қаратишдан ўртача қиймати чиқариб олинади. Кўрсатилган амаллар биринчи приёми тўғри йўлини ташкил қилади.

Тескари йўлга ўтишда нивелир ўқи қиялигини дастлаб оширилади (20-30"га), кейин экзаменатор ўлчаш винтини кириш томонга бураб нивелирга тўғри йўлдагига ўхшаб оғишлар берилади, бунда фақат тескари йўналишда, яъни минус ишорадан плюс ишорага қараб. Тескари йўлда ҳар бир i номерли ўрнатишда a_i'' саноклар автоколлиматор (рейкача) бўйича олинади. Шу билан ўлчашларни биринчи приёми яқунланади. Нивелир ўқини бўйига қараб оғишида бундай приёмлардан иккитаси бажарилади.

Нивелир ўқини кўндаланг йўналишда оғишида ўлчашлар экзаменаторни ўша ўрнатишларида (+10' дан -10' гача ва тескари йўналишда -10' дан +10' гача) олдингига ўхшаш икки приёмда бажарилади. Бу приёмлардан олдин нивелир трубасини 90° азимут бўйича бураб ўз навбатида автоколлиматор ёки рейкача кўчириб ўрнатилади ва ундан нивелир ўқиғача бўлган масофа ўлчанади.

Ҳар бир приёмдаги ўлчашлар алоҳида-алоҳида ишлаб чиқилади. Нивелир ўқини оғдиришда тўғри ва тескари йўналишлар бўйича ўртача санок $a_i = 1/2(a_i' + a_i'')$, ҳамда бу саноклар фарқи $d_i = a_i'' - a_i'$ ҳисобланади.

Автоколлиматор ёрдамида кузатишда компенсаторни ишлаши ҳамма диапозони учун визир нурини ўзи горизонтал ҳолатга келишини тасодикий ўрта квадратик хатоси қуйидаги формула бўйича топилади

$$m_k = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}}, \quad (13.8)$$

бу ерда n - ҳамма приёмлар бўйича d_i фарқлари сони.

Бу хатоликни қиймати 0,2"дан ошмаслиги керак. Рейкачани кузатишда (13.8) формула бўйича хатоликни иккита қиймати: m_k' - дастлабки иккита приёмлар натижалари бўйича (рейкачагача масофа s_1 бўлганда), мм; m_k'' - кейинги иккита приёмлар натижалар бўйича (рейкачагича масофа s_2 бўлганда), мм ҳисобланади. Ҳамма приёмлар натижалари бўйича хатолик m_k қиймати (бурчак секунд ўлчамида) қуйидаги формула бўйича аниқланади.

$$m_k = \frac{\rho''}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{m'_k}{s_1}\right)^2 + \left(\frac{m''_k}{s_2}\right)^2}. \quad (13.9)$$

Мисол тариқасида *Ni007* нивелири визир нурининг ўзи горизонтал ҳолга келиши ўрта квадратик хатосини аниқлаш натижалари қуйидаги 25-жадвалда келтирилган.

25-жадвал

Оғдириш α_i	Тўғри йўл a'_i	Тескари йўл a''_i	Ўртача $a = \frac{1}{2}(a' + a'')$	Фарқи $d = a'' - a'$
+10'	4,10"	4,20"	4,15"	+0,10"
+8'	4,30"	4,15"	4,22"	-0,15"
+6'	4,15"	4,25"	4,20"	+0,10"
+4'	4,05"	4,15"	4,10"	+0,10"
+2'	3,80"	4,00"	3,90"	+0,20"
0	3,90"	3,90"	3,90"	0,00"
-2'	3,80"	4,00"	3,90"	+0,20"
-4'	3,80"	3,90"	3,85"	+0,10"
-6'	3,85"	3,80"	3,82"	-0,05"
-8'	3,75"	3,65"	3,70"	-0,10"
-10	3,60"	3,60"	3,60"	0,00"
ўртача	3,91	3,96	3,94	$\sum d^2 = 0,165$

$$m_k = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}} = \sqrt{\frac{0,165}{22}} = 0,09''.$$

Автоколлиматорда битта приёмда ўлчашни натижаси бўйича $m_k = 0,09''$ аниқланган, ҳамма приёмлар натижалари бўйича эса - $m_k = 0,11''$.

13.7. Компенсатор ишлашини систематик хатосини аниқлаш

Компенсаторни тайёрлаш ва йиғиш хатолари таъсири натижасида компенсаторни бурчак сурилишини (стабилизация коэффиценти) ҳисоблаб чиқарилган қийматига қараганда бир мунча фарқ қилиши

мумкин. Бу эса визирлаш нуруни горизонтал ҳолга келишида систематик m_α хатоликка олиб келади, унинг қиймати қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$m_\alpha = \alpha \sigma_k, \quad (13.10)$$

бу ерда α - нивелир ўқини оғиш бурчаги, мин. ўлчамида; σ_k - нивелир ўқини бир минут бурчак қийматига оғишида компенсатор ишлашини систематик хатоси, секунд бурчак қийматида.

Систематик хато σ_k мумкин қадар кичик бўлиши ($\sigma_k \leq 0,05''$) керак ва уни вақт-вақти билан махсус тадқиқлар асосида аниқлаб турилади.

Систематик хато σ_k қийматини визир нуруни ўзи горизонтал ҳолатга келишини систематик хатоси m_k ни аниқлаш учун бжарилган ўлчашлар натижасини (25-жадвал) ишлаб чиқиб топилади.

Агар нивелир (аникроғи, компенсаторни осма системаси) экзаменатор айланиш ўқи устида ўрнатилмаган бўлса, яъни ундан l масофа узоқликда ўрнатилган бўлса, экзаменаторни α бурчагига оғдирганда нивелир иплар тўрига қаратилган автоколлиматор шкаласи бўйича санок ўзгариб боради. Нивелирни бундай ўрнатилишида санокларни ўзгариши иккита сабабдан нивелир горизонти баландлигини қуйидаги қийматга ўзгариши сабабли

$$\Delta = \frac{\alpha}{\rho} l, \quad (13.11)$$

бу ерда α - экзаменаторни оғиш бурчаги; $\rho'' = 206265''$ ва труба визир нуруни горизонтал ҳолга келтириш хатоси $m_\alpha = \alpha \sigma_k$ сабабли.

Нивелирни экзаменатор текислигида нотўғри ўрнатишдан келиб чиқадиган хатолик Δ (мм) катта қийматни ташкил қилади, 26-жадвал. Лекин уни таъсирини нивелирни экзаменатор айланиш ўқи устида ўрнатиш билан нолга келтириш мумкин, чунки $l = 0$ бўлганда (13.11) формуладан кўринишича $\Delta = 0$ бўлади.

Визир нуруни ўзи горизонтал ҳолга келиши хатосини аниқлашда (13.4-жадвалга қаралсин) $Ni007$ нивелири экзаменатор айланиши ўқи устида ўрнатилган эди ($l = 0$). Шу сабабли a' ва a'' санокларни систематик камайиши (ошиши) экзаменатор оғиш бурчаги α_i ни

ўзгариши билан боғлиқ ва у визир нурни горизонтал ҳолатга келтириш хатоси таъсирида келиб чиқади.

Экзаменатор текислиги оғиш бурчагининг қиймати α маълум бўлгани туфайли компенсаторни ишлашидаги систематик хато σ_k ни қуйидаги формуладан топиш мумкин

$$\sigma_{k(i)} = \frac{a_i - a_0}{\alpha_i}, \quad (13.12)$$

бу ерда a_0 - нивелир ўқи вертикал турганида автоколлиматордан олинган саноклар ўртачаси; a_i - худди ўшандай саноклар ўртачаси, фақат нивелир ўқи α_i бурчакка қия турганда.

Юқоридаги формула бўйича нивелир ҳар бир қия бурчаги α_i учун $\sigma_{k(i)}$ қиймати ҳисобланади ва кейин улар орқали бу хатоликни ўртача қиймати σ_k топилади

$$\sigma_k = \frac{1}{n} \sum \sigma_{k(i)}, \quad (13.13)$$

бу ерда n - нивелир ўқини қиялик ҳолатлари (мусбат ва манфий ишорали) сони (27-жадвалга қаралсин). Кузатишлар (ўлчашлар) тўртта приёмда бажарилади. Нивелир ўқини ҳар бир қиялик қиймати α_i да тўртта қабулларда олинган саноклар ўртачаси a_i (27-жадвал) компенсаторни ишлаши систематик хатоси σ_k ни ҳисоблаш учун фойдаланади.

26-жадвал

Қиялик бурчаги α'	l_i масофа (мм) даги Δ_i хатоликлар (мм)				
	0	100	200	300	400
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,06	0,12	0,17	0,23
4	0,00	0,12	0,23	0,35	0,46
6	0,00	0,17	0,35	0,52	0,70
8	0,00	0,23	0,46	0,69	0,93
10	0,00	0,29	0,58	0,87	1,16

σ_k қиймати нивелир ўқини 1' қийматга оғишига тўғри келади. Қуйидаги 27-жадвалда келтирилган a_0 санок олинган ҳамма a_i саноклар арифметик ўрта қиймат сифатида топилади, яъни $a_0 = \frac{1}{n} \sum a_i = 3,92''$. Чунки худди шу қиймат нивелир ўқини қатъиян вертикал ҳолатига тўғри келади (яъни $\alpha = 0$).

27-жадвал

Қийшайиши α_i	a_i	$a_i - a_0$	$\sigma_{k_i} = \frac{a_i - a_0}{\alpha_i}$	v	v^2
+10'	4,24''	+0,32''	+0,032''	+0,004''	0,000016
+8	4,16	+0,24	+0,030	+0,002	0,000004
+6	4,14	+0,22	+0,037	+0,009	0,000081
+4	4,04	+0,12	+0,030	+0,002	0,000004
+2	3,94	+0,02	+0,010	-0,018	0,000032
0	3,85	-0,07	-	-	-
-2	3,86	-0,06	+0,030	+0,002	0,000004
-4	3,82	-0,10	+0,025	-0,003	0,000009
-6	3,78	-0,14	+0,023	-0,005	0,000025
-8	3,68	-0,24	+0,030	+0,002	0,000004
-10	3,61	-0,31	+0,31	+0,003	0,000009
	$a_0 = 3,92''$	$\sigma_k = +0.028''$		$\sum v^2 = +0,00048$	

$$\sigma_k = \frac{1}{n} \sum \Delta \sigma_{ki} = 0,028''$$

$$m_\sigma = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}} = 0,003''.$$

Ҳақиқатда нивелир ўқи қатъий вертикал ҳолатда бўлганида уни ҳар хил томонларга бир хил қийматдаги бурчакларга $+\alpha$ ва $-\alpha$ оғдирилса қиймати бўйича бир хил, ишоралари бўйича эса ҳар хил оғиш қийматларини ($a_i - a_0$), ўлчашлар аниқлиги чегарасида бўлиши қуйидаги 28-жадвалдан кўриниб турибди. Бундан $+\alpha$ ва $-\alpha$ бурчаклардаги ҳар бир жуфт саноклардан ўртача қийматлари

$$a_{\alpha} = \frac{a_{+\alpha} + a_{-\alpha}}{2}$$

бир хил бўлиши керак, чунки, улар нивелир ўқи вертикал ҳолатини аниқлайди ва шунинг учун ўртача санокқа тенг бўлиши керак, яъни $a_0 = 3,92''$ ўрнига санок $a'_0 = 3,85''$ олинса (27-жадвалга қаралсин), бунда нивелир ўқини ҳамма $+\alpha$ ва $-\alpha$ бурчакларга оғишлари ($a_i - a_0$) жуфтли симметрик бўлмайди, масалан, $\alpha = \pm 10'$ бўлганда қуйидагиларни оламиз $\Delta_{+10} = +0,39''$ ва $\Delta_{-10} = -0,24''$. Бунинг сабаби нивелир ўқини ўрнатиш адилак билан аниқ вертикал ҳолатга келтирилмаганидир. Адилак бўлак қиймати $\tau = 8'$ бўлганда ва адилак пуфакчасини нол пунктга келтириш билан нивелир ўқини вертикал ҳолатга ўрнатиш хатоси $0,2\tau = 1,6'$ ни ташкил қилади.

Бу хатолик асл қийматини саноклар a_i ва нивелир ўқини оғиши α_i қийматларини интерполяция қилиб аниқлаш мумкин (27-жадвал). Санок $a_0 = 3,92''$ га нивелир ўқини оғиш бурчаги $\alpha_0 = 1,56'$ тўғри келади. Бу эса нивелир ўқини вертикал ҳолатга келтиришдаги номақбул хатолик бўлиб, нивелирлашда у яхши натижага олиб келмайди.

28-жадвал

Ўлчашлар дастури	Нивелир ўқини жуфт оғдиришдаги a_{α} қиймати					
	+10' -10'	+8' -8'	+6' -6'	+4' -4'	+2' -2'	ўртача
Битта приём (25-жадвалдан)	3,88	3,96	4,01	3,92	3,90	3,93
Тўртта қабул 27-жадвалдан)	3,92	3,92	3,96	3,93	3,90	3,92

Нивелир ўқини мусбат ва манфий қийматли бурчаклар α га оғдиришдаги систематик хатолар σ_k қийматларини ўзаро ўхшашлиги (яқинлиги) компенсаторни ҳамма ишчи диапазонларда қониқарли ишлашини ва тавсия этилган хатоликни аниқлаш ушбу услубини тўғрилигини тасдиқлайди.

13.8. Нивелир ҳароратини ўзгаришида қараш трубасининг визир ўқи ҳолатининг барқарор эмаслигини аниқлаш

Юқори аниқ нивелирлаш одатда эрталабки ва кечки соатларда бажарилади. Сутканинг ушбу вақтлари учун ёзнинг булутсиз иссиқ кунларида ҳаво ҳароратини кескин ўзгариши характерли. Ҳароратни кескин ўзгаришидан нивелир деформацияланади, бу эса ўз навбатида цилиндрик адилак ўқи билан трубанинг визир ўқи орасидаги i бурчагини ўзгаришига олиб келади. Шунинг учун ҳарорат ўзгарганда i бурчаги ўзгариши қийматини камайтириш мақсадида қараш трубаси, цилиндрик адилак ва санок олиш мосламасини иссиқликдан сақлайдиган металл корпус ичига жойлаштирилади. Ҳозирги замон юқори аниқ цилиндрик адилакли нивелирларда ҳароратни 1°C га ўзгаришида i бурчагининг ўзгариши $0,5''$ дан ошмаслиги керак. Цилиндрик адилак ўқи билан трубанинг визир ўқи орасидаги i бурчагини амалдаги ўзгариши нивелирни термокамерада тадқиқ қилишдан аниқланади (ҳам мусбат ва ҳам манфий ҳароратлар учун).

Тадқиқ қилинадиган нивелир кузатиш учун ойначага эга термокамерада мустаҳкам ўрнаткичда жойлаштирилади. Термокамера ҳароратни -30 дан $+50^\circ\text{C}$ га ўзгартирадиган мослама билан ҳамда термометр ва ҳаво чиқариш ойначаси билан таъминланган бўлиши керак. Ўлчашлар учун автоколлиматор ёки рейкачадан фойдаланади. Ҳароратни ҳар $8 - 10^\circ$ га ўзгариши билан рейкачадан ёки автоколлиматор шкаласидан саноклар олинади ва бирданига термометр кўрсатгичи ҳам ёзиб борилади.

Ҳароратни 1°C га ўзгариши билан i бурчагини ўзгариши қиймати қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$\delta_i = \frac{\Delta h \cdot \rho}{s \cdot \Delta T}, \quad (13.14)$$

бу ерда Δh - ҳароратни ΔT градусга ўзгаришида рейкачадан олинган санокни ўзгариши (мм); s - нивелирдан рейкачагача масофа (мм); $\rho = 206265''$.

Олинган натижалардан δ_i учун ўртача қиймат ҳисобланади ва у 1°C учун $0,5''$ дан ошмаслиги керак.

14-боб. Юқори аниқликда геометрик нивелирлашда хатолар манбаи ва улар таъсирини камайтириш усуллари

14.1. Геометрик нивелирлашда шахсий хатолик

Геометрик нивелирлашда ўлчашлар хатолари келиб чиқиши уч гуруҳга бўлинади: шахсий, асбоб хатолари ва ташқи мухит таъсири хатолари; бу хатолар ўз навбатида тасодифий ва систематик хатоларга бўлинади. Юқори аниқ нивелирлашда энг хавфли ва йўқотилиши қийин хато бу тасодифий хатолар ҳисобланади. Катта узунлидаги нивелир йўлларида (юзлаб ва минглаб километр) ҳатто кичик қийматли систематик хато кетма-кет йиғилиб бориб нивелирлаш натижасини сезиларли ўзгартириши мумкин. Шунинг учун юқори аниқликда нивелирлашда систематик хатолар турли манбааларини синчиклаб аниқлаш ва улар қиймати қанчалик кичик бўлишига қарамай улар таъсирини кескин камайтириш чораларини таъминлаш лозим. Лекин ўлчашлар тасодифий хатоларининг таъсири ҳам минимумга етказилиши керак.

Нивелирда ўлчашни шахсий хатоси асбоб-кузатувчи ўлчаш системасини мукаммал ишламаслигидан келиб чиқади. Шахсий хатоликларга пуфакча учлари тасвирини туташтиришни тасодифий хатоси $m_{мут.}$, микрометр биссекторини рейка штрихига қаратиш хатоси $m_{қар.}$ ва труба микрометри шкаласидан нивелир рейкалари бўйича саноклар олишдаги хато $m_{сан.}$ киритилиши мумкин. Бу хатоларни қўшма таъсири қараш хатоси $m_{қараш}$ деб белгиланса у қуйидагига тенг

$$m^2_{қараш.} = m^2_{мут.} + m^2_{қар.} + m^2_{сан.} \quad (14.1)$$

Адилак пуфакчаси учлари тасвирини туташтириш хатоси $m_{мут.}$ кўзни кўриш аниқлигига, адилак бўлак қийматига, адилак найшишасининг ички сиртини силиқлаш сифатига ва бошқаларга боғлиқ. Ҳозирги замон юқори аниқликдаги нивелирларда тасвирни туташтириш хатоси $m_{мут.}$ ни қиймати 0,3" дан ошмайди, нивелирдан

рейкагача масофа 50 м бўлганда рейкадан санок олиш $m_{сан}$ хатоси 0,07 мм га тенг.

Бессекторни рейка штрихига қаратиш хатоси $m_{қар.}$ қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин

$$m_{қар.} = P_2 / v = 10'' / v, \quad (14.2)$$

бу ерда $P_2 = 10''$ - кўзни кўриш чекли аниқлиги; v - трубани катталаштириши. Агарда $v = 40^x$ бўлса қаратиш аниқлиги $m_{қар.} = 0,25''$ га тенг, бунда рейкагача масофа 50 м га тенг бўлса қаратиш хатоси $m_{қар.} = 0,06$ мм бўлади. Қаратиш хатосининг қиймати трубанинг иплар тўри кўринишига ҳам боғлиқ. Қаратиш аниқлигини ошириш учун силжийдиган ўткир бурчак кўринишидаги иплар тўри биссектори қўлланади ва бу биссекторга рейкадан санок олишда рейка штрихи киритилади. Қаратиш хатосининг қиймати рейка штрихларини тебраниши амплитудасига боғлиқ, шунинг учун юқори аниқликдаги нивелирлаш тасвирни тинч ёки кичик тебраниши пайтида бажарилиши керак, бунда рейкалардан ишончли саноклар олиш мумкин бўлади.

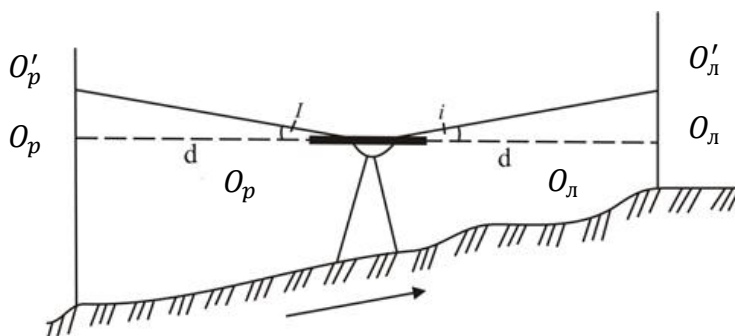
Трубанинг оптик микрометри шкаласидан санок олиш хатоси $m_{сан.}$ шкалани 0,2 бўлагидан ошмайди ва шкала бўлагининг қийати 0,05 мм бўлганда рейкадан санок олиш хатоси 0,01 мм ни ташкил қилади. Компенсаторли нивелирлардан фойдаланишда трубанинг визир ўқи компенсатор ёрдамида автоматик равишда ўзи горизонтал ҳолатга келади. Шунинг учун бу ҳолатда $m_{қараиш}$ хатоси (14.1) формуладагига қараганда фақат иккита ташкил қилувчилардан иборат бўлади, яъни

$$m_{қараиш.}^2 = m_{қар.}^2 + m_{сан.}^2. \quad (14.3)$$

Геометрик нивелирлашда қаратишни систематик хатолари, масалан, станцияда битта рейкани штрихлари қуёш нурлари билан ёритилган, иккинчи рейка штрихлари эса сояда бўлса, келиб чиқади. Бу хатоликлар қиймати бўйича кичик ва етарли даражада тадқиқ этилмаган.

14.2. Геометрик нивелирлашда асбоб хатоликлари

Асбобнинг жиддий хатолари қаторига қараш трубаси визир ўқини контактли адилак ўқи билан параллел эмаслик хатосини киритиш мумкин. Фараз қилайлик бу ўқлар орасидаги i бурчак вертикал текисликда доимий қийматга эга бўлсин ($i = \text{const}$); O'_p ва O'_l $i \neq 0$ даги орқадаги ва олдинги рейкалардан саноклар, O_p ва O_l эса $i = 0$ бўлгандаги тегишли саноклар бўлсин (14.1-шакл).



14.1-шакл. Рейкадан олинган санокларга i бурчак таъсирининг схемаси

Бу ҳолда

$$O_p = O'_p - d_{O_p} \operatorname{tg} i; \quad O_l = O'_l - d_{O_l} \operatorname{tg} i$$

ва шунинг учун i бурчагини ўзгариши хатосидан станциядаги озод h қиймати қуйидагига тенг бўлади

$$h = (O_p - O_l) = (O'_p - O'_l) - \operatorname{tg} i (d_{O_p} - d_{O_l}). \quad (14.4)$$

Реперлар орасидаги нисбий баландлик ΔH ни қуйидаги йиғинди кўринишида топамиз

$$\Delta H = \sum h = \sum (O'_p - O'_l) - \operatorname{tg} i \sum (d_{O_p} - d_{O_l}). \quad (14.5)$$

Бу формуладаги иккинчи ҳад i бурчагининг таъсири учун нисбий баландликка тузатмадан иборат. Масофалар бир хил (тенг) бўлганда, $d_{O_p} = d_{O_l}$, бу тузатма керак бўлмайди. Шунинг учун нивелирлаш ўртадан туриб бажарилади ва нивелирдан рейкаларгача масофалар

фарқи ($d_{O_p} = d_{O_n}$) ҳар бир станцияда ва уларни йиғиндиси қўшни реперлар орасида белгиланган чеклардан ошмаслиги таъминланиши керак. Масалан, 1-класс нивелирлашда ҳар бир станцияда ($d_{O_p} - d_{O_n}$) $\leq 0,5$ м, секцияда (икки қўшни реперлар орасида) бу айирмаларни йиғиндиси 1 м дан ошмасилиги керак. Бурчак i қиймати $10''$ дан ошмаслиги керак.

Нивелирлаш жараёнида ҳаво ҳароратини ўзгариши билан i бурчагининг қиймати ўзгариб боради. Шунинг учун ҳатто ўртадан нивелирлашда ўлчаш натижаларини i бурчаги ўзгаришининг таъсиридан тўла озод қилиб бўлмайди. Шунинг учун станциядаги кузатишларни вақт бўйича қатъий симметрик дастур асосида бажариш керак бўлади:

$O_p O_n O_n O_p$ ва $O_n O_p O_p O_n$ (бу ерда O_p ва O_n орқадаги ва олдинги рейкалардан саноклар); тўғри ва тескари йўлларни нивелирлашда бирини эрталаб, иккинчисини эса кечқурун бажариш керак, яъни ҳаво ҳарорати ўзгариши қийматларини қарама-қарши ишораларида, демак, кузатишлар i бурчаги қийматини суткадаги ўша соатлар давомида турли ишора билан ўзгаришда бажарилган бўлади; нивелир қуёш нуридан зонт ёрдамида сақланиши керак; ҳар сафар кузатишларни бошлашдан аввал нивелир сояда шатативда 45 дақиқа давомида сақланиши керак, бунда нивелир ҳарорати атроф муҳит ҳароратига тенглашади.

Оптик микрометрни бўш юриши (мёртвый ход) ясси параллел пластинка билан соноқ шкаласи ричаги бирлашган жойида жуда кичик бўлмаса ҳам зазор (тирқиш) бўлган тақдирда пайдо бўлади. Бундай бўш юриш борлигини аниқлаш учун ҳаракатсиз турган шкалага микрометр биссекторини бир штрихга қаратишда микрометр бурчагига (галовкасини) “ичкарисини” ва “ташқарисини” бураш орқали олинган саноклар фарқи бир бўлишини кўрсатади.

13.2 жадвалда келтирилган мисолда ичкарига ва ташқарига бурашдаги саноклар фарқининг ишораси бар хил-мусбат бўлиб, ўртача фарқи санок бўлагини 0,4 га тенг. Демак бу нивелирни микрометрида бўш юриш (м.х) бор, у вақт ўтиши билан ясси параллел

пластинка билан санок олиш шкаласи ричаги бирлашган жойда ишқаланиш натижасида ейилиши оқибатида модуль бўйича ортиб бараверади.

Яссипараллел пластинкаси бўлган барча нивелирларда бўш юришини тадқиқ этиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Бу ишни бажариш дастури қуйидагича бўлиши мумкин: микрометр шкаласини 10, 30, 50, 70, ва 90 бўлақлар қўйиб, микрометр галовкасини (бурагичини) бураб биссекторни 10 мартадан 5-10 метр масофагача ўрнатилган яхшим кўринадиган шкала штрихига қаратамиз. Сўнгра ичкарига ва ташқарига бурашлар фарқини ўртача қийматни топсак бу бўш юриш катталики ва ишорасини кўрсатади. Бўш юриш микрометр санок шкаласи бўлагини ярмига тенг ёки ундан катта бўлса, у холда рейкадан санок олишда биссектори рейка штрихига тўғирлангандан сўнг микрометр галовкасини (бурчагини) “ичкарига” бураб сўнгра санок олиш зарур. Микрометр бўш юриши бор ёки йўқлигидан қаттиқ назар микрометрдан санок олишда бу қоидага амал қилиш мақсадга мувофиқ, акс холда нивелирларда бўш юриш натижасидаги хатолик мавжуд бўлади.

Нивелирни горизонтал ҳолга келтиришда адилак пуфакчаси мuddатдан олдин тўхтаб қолишидан содир бўладиган хатолик. Бу хатолик адилак найшишасининг ички деворларига уни тўлдирувчи суюқликни ёпишиб қолишидан келиб чиқади. Бу хатолик миқдори кичик, лекин у систематик равишда таъсир этади. Унинг таъсирини камайтириш учун адилак пуфакчаси учларининг тасвирини ҳар доим бир хил усулда туташтирилиши, элевация винти головкасининг охириги ҳаракатида фақат ичкарига қараб (киришга) буралиши керак. Шунда станцияда ҳисобланган нисбий баландлик қиймати ушбу хатоликдан озод бўлади.

Оптик микрометрни бўш юришдан (мертвий ход) содир бўладиган хатолик. Агарда оптик микрометрда бўш юриш йўл мавжуд бўлса унинг головкасини ичкарига (киришга) ва ташқарига (чиқишга) бураб биссекторни рейканинг битта штрихига туташтириб микрометр шкаласидан олинган саноклар бир-бирига тенг бўлмайди. Бу хатолик таъсирини йўқотиш учун биссекторни рейка штрихига

туташтиришдаги охирги ҳаракат микрометр головкасини ичкарига қараб бураш билан якунланиши керак. Шунда орқадаги ва олдинги рейкалардан олинган саноклар айирмаси орқали топилган нисбий баландлик бу хатодан озод бўлади.

Микрометр санок олиш шкаласининг амалдаги бўлак қийматини унинг лойиҳа (номинал) қийматидан фарқ қилишидан содир бўладиган хатолик. Бу шкала бўлагининг лойиҳа қиймати $\mu=0,05$ мм га тенг бўлади. Нивелирлаш бўйича Йўриқномага асосан шкала бўлагининг амалдаги қиймати билан лойиҳа қиймати орасидаги фарқ $\Delta\mu=0,0025$ мм гача йўл қўйилади. Нивелирлашда шундай ҳолатлар ҳам учрайдики, унда биссекторни орқадаги ва олдинги рейкаларга қаратиб микрометр шкаласидан олинган саноклар айирмаси бу шкалани 99 бўлагини ташкил қилиши мумкин. Бу эса $\Delta\mu_{\max}=0,0025$ мм бўлганда нисбий баландликда максимал хатолик $\Delta h_{\max}=99\times 0,0025=0,25$ мм ни бериши мумкин. Бу хатоликни ҳар бир станциядаги ўртача қиймати 2-3 баробар кам бўлади. ва уни тасодифий характерга эга бўлишига қарамай таъсирини ҳисобга олмасдан бўлмайди. Микрометр бўлак қийматини аниқ қийматини топиб, ўлчаш жараёнида уни ўзгаришини инобатга олиб бориш зарур ёки бўлмасам микрометр шкаласи бўлак қийматини завод шароитида синчиклаб тўғрилаб олиш керак.

Нивелир асбобининг конструктив камчиликларидан келиб чиқадиган хатолар. Айрим нивелирларда трубани горизонтал айланиш ўқи (элевация винтини бураб труба бу ўқ атрофида верткал текислик бўйича айлантрилади) нивелирни вертикал ўқидан l масофада жойлашган бўлади. Нивелир верткал ўқини шовун чизигига нисбатан β бурчакка оғишидан (доиравий адилакни созлашдаги аниқсизлик ва адилак пуфакчасини марказга келтириш хатоси таъсирида) орқадаги ва олдинги рейкаларни кузатишдаги визир нурнинг баландлиги қуйидаги қийматга ўзгаради

$$\Delta h = 2l \sin \beta. \quad (14.6)$$

β бурчагининг қиймати доиравий адилак бўлак қиймати τ га боғлиқ ва уни энг ками билан $\beta_1=0,2\tau$ ва энг кўпи билан $\beta_2=\tau$ га

тенг деб приёмқилиш мумкин. Масалан N_i 004 нивелирда $l = 60$ мм ва $\tau = 2'$. Шунда нивелир ўқини вертикал ўрнатишни юқорида олинган иккита қийматлари ($\beta_1 = 0,4'$ ва $\beta_2 = 2'$) учун станцияда нисбий баландликни аниқлаш хатоси тегишлича $\Delta h_1 = 0,01$ мм ва $\Delta h_2 = 0,05$ мм га тенг бўлади. Бу хатолик қийматини камайтириш учун нивелир вертикал ўқини вертикал ҳолатга $\beta = 0,5'$ дан ошмайдиган хатолик билан келтириш зарур ($l = 50 - 60$ мм учун).

Куёш томонга адилак пуфакчасини синиши тасиридаги хатолик. Зонт билан ҳимояланмаган нивелирни куёш томонга бураганда куёшли томондаги кўтаргич вақт узаяди, натижада кўриш трубаси оғади, адилак пуфакчаси куёш томонга силжийди. Бунинг тасирида систематик хатолик келиб чиқади, бу хатоликни ишораси куёш йўналиши билан нивелир йўли йўналиши орасидаги бурчакка боғлиқ. Бу хатоликни нивелирлашга тасирини камайтириш учун станцияда ва станциядан-станциягача ўтишда нивелирни куёш нурларини тушишидан ҳимоялаш керак.

Компенсаторли нивелирлар учун қуйидаги асбоб хатолари тегишли бўлади:

Визир нуруни ўз-ўзидан битта ҳолатга келиш хатоси m_k . Бу хато тасодифий характерга эга бўлиб унинг қиймати компенсаторни сезгирлигига боғлиқ. Юқори аниқ нивелирларда бу хатонинг қиймати $0,2''$ дан ошмаслиги керак.

Компенсаторни ишлаши систематик хатоси σ_k . Бу хато нивелир ўқини вертикал ҳолатдан оғишини систематик равишда компенсация-маслиги ёки компенсациядан ошириб юбориши мумкин. Натижада нивелир трубасининг визир ўқи горизонтал ҳолатга қисман систематик хато билан келтирилади. Юқори аниқ нивелирларда компенсаторни ишлаши систематик хатоси нивелир ўқини вертикалликдан $1'$ га оғишида $0,05''$ дан ошмаслиги керак.

Визир нуруни (горизонтал ҳолга келтиришни) горизонталлаш систематик хатоси m_r . Ушбу хато компенсаторли нивелирлар билан нивелирлаш аниқлигини чегаралаб қўяди. Компенсатор ишлашини

систематик хатоси σ_k маълум бўлганда m_r қиймати қуйидаги формула бўйича топилади

$$m_r = \alpha \sigma_k, \quad (14.7)$$

бу ерда α - нивелир айланиши ўқини бўйлама қиялиги (минутда). Бу хатони битта станциядаги нисбий баландликка таъсири (мм да) иккига ошади ва у қуйидагича топилади

$$m_h = \frac{2\alpha\sigma_k}{\rho''} S, \quad (14.8)$$

бу ерда $\rho'' = 206265''$; S - нивелирдан рейкагача масофа (мм). Қуйидаги қийматларни: $S = 50$ м ва $\sigma_k = 0,05''$ қабул қилиб (14.8) формуладан нивелир ўқини вертикалдан турли α бурчакларга оғишида ҳар бир станцияда нисбий баландликни ўлчаш систематик хатоси m_h ни қуйидаги 29-жадвалдаги қийматларини топамиз:

29-жадвал

α , минут	m_h , мм	α , минут	m_h , мм
0	0,00	4	0,10
1	0,02	5	0,12
2	0,05	6	0,15
3	0,08	7	0,18

Ҳар бир станцияда нисбий баландликни аниқлашни m_h систематик хатоси қиймати 0,005 мм дан ёки 1 км нивелир йўли учун 0,05 мм дан ошмаслиги талаб қилинади. Бунинг учун нивелир вертикал ўқини вертикал ҳолатга келтириш хатоси $\alpha \leq 0,02'$ шартини таъминлаш керак. Лекин бу шартни амалга ошириш имкони бўлмайди, чунки ҳозирги замон компенсаторли нивелирлар бўлак қиймати $\tau = 8'$ тенг сезгирлиги паст адилакларга эга. Амалда адилакни созлашни қолдиқ хатоси уни 0,2 бўлак қийматини, худди шунча қийматни адилак пуфакчасини ўртага келтириш хатоси ташкил қилса, уларни қўшма таъсирида нивелир ўқини вертикал ҳолатга келтириш хатоси $\alpha = 0,4\tau$ га тенг, ёки $\tau = 8'$ учун хатолик $\alpha = 3'$ бўлади. Бундан кўринишича агар $\alpha = 3'$, $S = 50$ м ва $\sigma_k = 0,05''$ бўлганда бу систематик хато қиймати станцияда $m_h = 0,08$ мм ёки 1 км нивелир йўли учун 0,8 мм ни ташкил қилиши мумкин.

Нисбий баландликларни ўлчаш аниқлигига визир нуруни горизонтал ҳолга келтириш систематик хатоси таъсирини камайтириш учун компенсатор ишлашини систематик хатоси σ_k чекини камайтириб, $\sigma_k \leq 0,03''$ ($\sigma_k \leq 0,05''$ ўрнига) билан чегаралаш керак, ҳамда компенсаторли нивелирларга бўлак қиймати $\tau \leq 2-3'$ бўлган доиравий адилаклар ўрнатиш керак.

Компенсаторли нивелирларда иссиқлик таъсиридан келиб чиқадиган хатолик адилакли нивелирларга қараганда анча кичик, шунинг учун айрим ҳолларда улар билан зонтсиз ишлаш мумкин.

14.3. Инвар рейка хатоларининг таъсири

Инвар рейкалар бўлакларининг хатоси. Инвар рейкалар шкалаларидаги штрихлар махсус тайёрланган намуна шкалалардан фотографик нусха олиш йўли ёки синчиклаб тайёрланган шкалаларни қоғоздаги трафарети ёрдамида туширилади. Ҳар иккала бу усуллар бир хил камчиликка эга: штрихларни имкон қадар юқори аниқликда туширишни таъминлай олмайди. Йўриқнома [6] талабига биноан рейка энг кичик бўлагининг (5 мм) хатоси 0,05 мм, рейка метр бўлагининг хатоси эса 0,10 мм дан ошмаслиги керак.

Рейка шкаласи i номерли штрихининг аниқ ўрни уни нол бўлаги билан ушбу штрих орасидаги l_i масофа билан белгиланади. Штрихнинг амалдаги ўрни l'_i масофа билан белгиланади. Қуйидаги фарқ $\Delta_i = l_i - l'_i$ штрихни тушириш хатосига тузатма ҳисобланади. Амалда l_i қиймати маълум бўлиб l'_i қийматини компенсаторда аниқлаб рейкани ҳар бир штрихи учун тузатма Δ_i ни олиш мумкин. Рейкани иккала шкалаларидаги штрихлар ҳар 5 мм дан туширилган. Рейкани умумий узунлиги 3000 мм бўлгани учун штрихлар сони 600 тага тенг. Демак рейкани асосий ва қўшимча шкалалари учун компараторда ўлчаш орқали 1200 та тузатма Δ_i ни аниқлашга тўғри келади, бу эса анча қийин масала. Шунинг учун рейка шкалаларини ҳар бир i штрихи учун тузатма Δ_i ҳисобланмайди ҳамда уларни нисбий баландликларни аниқлашда ҳисобга олинмайди.

Рейка штрихларини тушириш хатоси учун нисбий баландликларни тузатиш тақрибий равишда ечилади. Бу мақсадда рейкани ҳар бир шкаласида бир бирига туташган метрга тенг ораликлар компараторда ўлчанади ва биринчи рейка метр бўлагининг ўртача қиймати l'_1 ҳисобланади. Айнан шу йўл билан иккинчи рейка метр бўлагининг ўртача қиймати l'_2 аниқланади. Кейин рейкалар комплекти метр бўлагининг ўртача қиймати $l' = \frac{1}{2}(l'_1 + l'_2)$ ва тузатма $\varepsilon = l - l'$, номинал метр қиймати ($l = 1000$ мм) билан метр бўлагининг амалдаги ўртача қиймати l' фарқи топилади.

Тузатма ε (мм да) реперлар орасида ўлчанган нисбий баландлик қийматини ҳар бир метрига тўғри келади. Шунинг учун рейкалар метр бўлаги ўртача қийматини уни номинал қийматидан фарқи учун нисбий баландлик h (м да) га тузатма қуйидагича топилади

$$\delta h_{(мм)} = \varepsilon h. \quad (14.9)$$

Тузатма δh ни аниқлашни ўрта квадратик хатоси қуйидаги формуладан аниқланади

$$m_{\delta h} = \sqrt{m_{\varepsilon}^2 h^2 + m_h^2 \varepsilon^2}. \quad (14.10)$$

Ушбу формулага асосан айтиш мумкинки 1 класс нивелирлашда рейкалар комплекти ўртача метрига тузатма ε ни 4-5 мкм ўрта квадратик хато билан эталонлашдан аниқлаш керак бўлади. Ҳозирда инвар рейкаларни эталонлаш МК-1 типдаги компараторда $m_{\varepsilon} = 0,01 - 0,02$ мм га тенг ўрта квадратик хато билан амалга оширилади, бу эса керакли аниқликдан 2-4 маротаба пастдир. Шунинг учун рейкаларни эталонлашни интерференцияни принципидаги компараторда бажариш керак бўлади.

Рейкалар ноли баландлигини тенг эмаслиги ва асосий шкалалар нолини рейкалар товони текислиги билан тўғри келмаслиги хатоси. Агарда нивелирлашда реперлар орасидаги станциялар сони жуфт бўлса, бу хатолар таъсири тўла тугатилади. Бунда бошланғич ва охириги реперларда бир рейка ўрнатилади ва нисбий баландлик ҳисоблашда саноклар айирмаси $O_p - O_n$ дан бу хатолар қисқариб кетади.

Рейка товонини мукаммал тайёрланмаганлиги хатоси. Агар товон сирти текисликни ташкил қилмаса ёки инвар полосаси текислигига перпендикуляр бўлмаса рейкалар ноллари баландлиги тенг эмаслиги хатосига ўхшаш хатолик пайдо бўлади. Бундай пайтда рейкаларга махсус товон таклиги кийдирилади, қўшни нивелирнаётган реперлар орасидаги станциялар сонини жуфт қилиб олинади.

Рейкани вертикал ҳолатда ўрнатиш хатоси. Костилда (металл қозоқ) ўрнатилган рейкани бўлак қиймати $\tau=10'$ га тенг доиравий адилак ёрдамида вертикал ҳолатга келтирилади ва шу ҳолатда иккита суянчиқлар тиргагич ёрдамида ушлаб турилади. Рейка вертикал ҳолатидан α бурчакка оғганида ундан олинadиган санок хатоси ε қийматини ҳисоблаймиз. Бунда $\alpha = \tau/2$ бўлсин

$$\varepsilon = l - l \cos \alpha \approx \frac{1}{2} l \alpha^2, \quad (14.11)$$

бу ерда бурчак α радиан қийматида олинади; l - рейкадан олинadиган максимал санок. $l_{\max} = 3000$ мм ва $\alpha = 5'/\rho'$ деб олиб $\varepsilon_{\max} = 0,004$ мм ни топамиз.

Рейкани эгилиши хатоси. Рейкани эгилиши уни ёғочдан ясалган танасидаги намликни кўп ўзгаришидан ёки рейкани нотўғри сақлашдан келиб чиқади ва унинг таъсирида рейка узунлиги ўзгаради. Рейкани эгилиши стреласи $f = 3$ мм бўлганда унинг узунлиги 0,01 м га, $f = 5$ мм да -0,02 м га қисқаради. Рейкани тўғрилаш (ёзиш) ва шу билан эгилиш стреласи хатосини камайтириш мақсадида дала шароитида систематик равишда эгилиш стреласининг қиймати аниқлаб борилади ва бу қиймат $f = 5$ мм тенг бўлганда рейкани учлари таянчларга шундай қўйиладики ўз оғирлиги таъсирида эгилиши йўқолсин.

Ҳарорат таъсирининг хатоси. Агарда рейка эталонланган бўлса, яъни унинг метр бўлаклари T_0 ҳароратда аниқланган бўлса, нивелирлаш эса T_n ҳароратда бажарилган бўлса станцияда ўлчанган нисбий баландлик қуйидаги тузатма билан тузатилиши керак

$$\delta_t = \alpha_1(T'_H - T_3)O_p - \alpha_2(T''_H - T_3)O_l, \quad (14.12)$$

бу ерда α_1 ва α_2 орқадаги ва олдинги рейкалар инвар полосаларини чизикли кенгайиши коэффиценти; T'_H ва T''_H - станцияда нисбий баландликни аниқлаш вақтидаги улар ҳарорати; O_p ва O_l орқадаги ва олдинги рейкалардан тегишли саноклар (м). Рейкаларнинг инвар полосалари ҳарорати махсус термодатчиклар ёрдамида ўлчаниши керак, чунки қуёшли кунда ҳаво ҳарорати билан рейка инвар полосаси ҳарорати орасидаги фарқ $10-15^\circ$ гача етади.

Қўшни реперлар орасида ўлчанган нисбий баландлик h га кузатиш давомида ҳароратни ўзгариши учун тузатма қийматини тақрибий ҳисоблашда қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин

$$\delta_{ht} = \alpha(t_H - t_3)h, \quad (14.13)$$

бу ерда α - бир жуфт рейкалар учун чизикли кенгайишни ўртача қиймати; t_H - бутун секцияни нивелирлашда рейкаларни ўртача ҳарорати; h - секциядаги нисбий баландлик (м). Агарда $\alpha = 2 \times 10^{-6}$; $t_H - t_3 = +8^\circ \text{ C}$; $h = 200 \text{ м}$ бўлса (14.13) формуладан топамиз $\delta h_t = +3,2 \text{ мм}$. Бу эса рейкаларни ҳарорати ўзгаришидан келиб чиқадиган хатолик қиймати, айниқса тоғли ҳудудлар учун, у ҳисобга олинмаса натижалар анча катта хатоликда келиб чиқиши мумкин.

Рейка инвар лентасини тортиш кучлари турлича бўлишидан келиб чиқадиган хатоликлар. Инвар лентани тортиш кучини ўзгариши уни узунлигини ўзгаришига олиб келади, бу эса ўз навбатида систематик хатони келтириб чиқаради. Бу хатоликни келиб чиқмаслиги учун ҳар йили дала ишларини бошлашдан олдин динометр ёрдамида инвар лентани тортилганини текшириб туриш ва уни $P = 20 \text{ кг} \pm 1 \text{ кг}$ ҳолатда бўлишини таъминлаш зарур. Лентани тортилганлик ҳолатини рейка орқасидаги тузатиш гайкаси ёрдамида таъминланади.

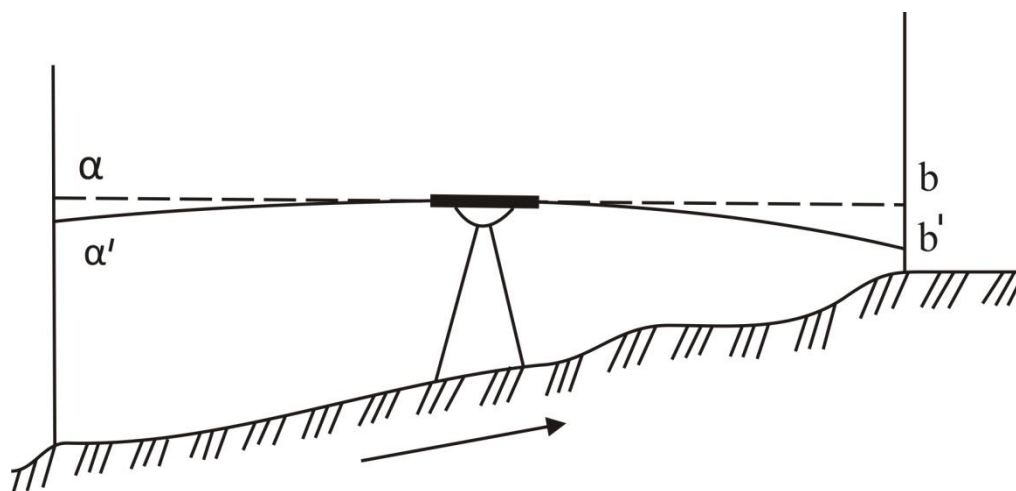
14.4. Ташқи муҳит таъсири. Нивелир рефракцияси

Ташқи муҳит таъсири сабабли келиб чиқадиган хатолар гуруҳига қуйидагилар киради: нивелир рефракцияси, костил (темир қозик) ва штативни вертикал бўйича силжиши, ер сиртини гидротермик

ҳаракати, ер пустлоғининг оқим ҳаракати, ер қобиғини аста-секин кўтарилиши ёки пасайиши, реперларни бўртиб чиқиши ёки чўкишидан келиб чиқадиган хатолар.

Нивелир рефракцияси. Геометрик нивелирлаш жараёни атмосферани энг пастки, 3 метрли қатламида ўтади, бу қатламда эса кузатишларга қараганда ҳарорат тез ўзгариш хусусиятига эга. Визир нурининг йўлида баландлик бўйича ҳарорат градиенти қанча катта бўлса, бошқа шарт-шароитларни бир хил бўлишидан қатъий назар рефракция таъсири шунча каттадир.

Вертикал рефракциянинг таъсирида визирлаш нури эгилади (14.2-шакл) ва рейкалардан a ва b саноклар ўрнига a' ва b' саноклари олинади. Нивелир рефракциясидан озод нисбий баландлик h қуйидагига тенг



14.2-шакл. Рейкадан олинган санокга нивелирлаш рефракциясининг таъсир схемаси

$$h = a - b = (a' - b') + (aa' - bb') = h' + \delta h, \quad (14.14)$$

бу ерда $h' = a' - b'$ - ўлчанган нисбий баландлик; $\delta h = aa' - bb'$ - рефракция учун тузатма. Қуёшли иссиқ кунда визир нурини тупроқ қатлами устидан яқин ўтганида ва нивелирдан рейкаларгача масофа нисбатан катта бўлганда, нивелир рефракцияси нивелирлаш натижасини кескин ўзгартиради, айниқса катта чўзиқ қияликларда. Шунинг учун амалиётда рефракция таъсиридан хатоликни аниқлаш ва уни ўлчанган натижадан чиқариб ташлаш аҳамияти катта.

Ҳозирги кунда нивелир рефракцияси учун нисбий баландликка тузатма ҳисоблашни, нивелир ва рейка атрофидаги метеорологик элементлар ҳамда улар градиентларини ўлчаш натижаларидан фодаланиб, жуда кўп формулалари мавжуд. Лекин бу формулалар ишончли бирон-бир натижани олиш имконини бермайди, чунки нивелирлаш ишлари жуда хилма-хил физик-географик ҳамда иқлим шароитларда бажарилади. Кўпчилик формулаларда қатнашадиган кўпайтирувчи ҳад $P/T^2 \approx 0,009$ амалда нурни бутун йўлида ҳар бир белгиланган вақт учун доимий. Шунинг учун босим P ва ҳарорат $T = 273,16 + T^\circ\text{C}$ ни нур баландлигида нивелир трубази яқинида ўлчанса кифоя. Энг қийини рейкалардан санок олиш дақиқасида нурнинг бутун йўлидаги ҳаво ҳарорати градиентларини аниқлашдир. Улар ноаниқ бўлади, чунки уларни ўлчашни имкони йўқ. Бу қийматларни нурни бутун йўлида билмай туриб рефракция учун тузатмани аниқ ҳисоблаб бўлмайди.

Масалани мураккаблашиши яна шундаки ҳавони 3 метрли қуйи қатламида, нивелирлаш бажариладиган қатламда, ҳарорат градиенти фазовий ва вақтга боғлиқ ҳолда узлуксиз ўзгариб туради.

Физикадан маълумки ҳаво қатлами ер сиртига қанча яқин бўлса ҳароратни вертикал градиенти қиймати шунча катта ўтади. Қиялик бўйича нивелирлашда орқадаги ва олдинги рейкалардан нивелиргача бораётган нурлар ер сиртидан турли баландликда ўтади. Ҳарорат градиенти ўзининг модули бўйича ердан баландроқда, пастроққа қараганда кичик бўлиши учун қиялик бўйича нивелирлашда визир нури ердан баланд ўтган рейкадан нур ерга яқин ўтган рейкага ўтишда ҳарорат градиенти модули ошиб боради. Демак, нисбатан пастдан ўтаётган нур баландроқдан ўтаётган нурга қараганда ҳар доим кўпроқ эгилади. Бошқача қилиб айтганда қиялик бўйича нивелирлашда рефракцияни таъсири систематик хато характериға эга бўлади. Бунда рефракция хатоси нивелирдан юқорида жойлашган рейка бўйича олинган санокқа кўпроқ таъсир қилади.

Нивелирлаш текис жойда бажарилса рефракцияни хатоси тасодифий бўлади. Бажарилган кўпгина тадқиқотларнинг натижалари бўйича аниқланишича нивелирдан рейкагача масофа 50 м ва нурни ер

сиртидан баландлиги 0,3 м бўлганда рефракция учун нисбий баландликка тузатма δh модули бўйича 0,75 мм, нур баландлиги 0,5 м бўлганда 0,25 мм ва баландлик 0,8 м да эса модул атиги 0,06 мм га тенг бўлган.

Нивелир рефракцияси хатолиги сутка давомида ўзгарувчан бўлади. Бу хатолик куннинг ярми атрофида энг катта қийматга, эрталабки ва кечқурунги изотермия вақтида эса энг кичик, ёки нолга яқин қийматга эга бўлади. Бошқа шартлар бир хил бўлишида рефракция хатоси визир нурунинг узунлигига боғлиқ: нур қанча узун бўлса рефракция хатоси шунча катта ва аксинча.

Рефракция назариясига ҳамда амалиёт тажрибалари натижаларига асосланиб юқори аниқ нивелирлаш натижаларига рефракция хатоси таъсирини камайтириш учун қуйидаги кўрсатмаларни тавсия этиш мумкин.

1. Нивелирдан рейкаларгача визир нури нормал узунлигини меҳнат унумдорлигини таъминлайдиган даражагача қисқартиш. Нивелирлашдаги ҳамма омилларни ҳисобга олиб I класс нивелирлашда визир нурунинг нормал узунлиги 50 м, II класс нивелирлаш учун 65 м қабул қилинган.

2. Визирлаш нурунинг тупроқ қопламаси сиртидан баландлиги 0,8 м дан кам бўлмаслиги керак, акс ҳолда нивелирлашни ҳатто қулай вақти учун, рефракция хатоси $S = 50$ м да 0,5 мм ва $S = 65$ м да 0,8 мм ташқил қилади.

3. Рефракция систематик хатосининг қиймати нивелирлаш вақтига ва ҳаво шароитига боғлиқ. Юқори аниқ нивелирлашни кузатишлар учун энг қулай вақтда, ҳаво ҳароратининг градиенти, шу билан бирга нивелир рефракцияси нол ёки унга яқин бўлганда бажариш керак. Эрталаб кузатишларни Қуёш чиққандан кейин ярим соат ўтиб, кечқурун эса тақрибан маҳаллий соат 17 ларда (ёз кунлари учун) бошлаш керак. Эрталабки ҳамда кечқурунги кузатишлар тасвири хиралашиб тебрана бошлашида тўхтатилиши керак. Булутли ва салқин ҳавода ҳаво ҳароратининг вертикал градиенти кичик бўлади, шунинг учун рефракция таъсири ҳам кам, демак нивелирлаш вақтининг давомийлиги ошади.

4. Нивелирлашни тўғри ва тескари йўллари суткани турли вақтларида ўтказилиши керак (масалан, биринчиси эрталаб, иккинчиси кечқурун). Бунда бир хил нуқталар орасидаги нисбий баландликлар тўғри ва тескари нивелирлашда турли вақтларда (эрталаб ва кечқурун) нивелирланиши зарур.

14.5. Костиллар ҳамда штативни вертикал силжиши

Юқори аниқ нивелирлаш тажрибасидан маълумки нивелир рейкалари ўрнатиладиган бащмоқлар ва костиллар, ҳамда штатив грунтда вертикал силжиши хусусиятига эга, бунинг оқибатида нивелирлаш натижаларида систематик хатолар келиб чиқади.

Махсус бажарилган тадқиқот ишларининг натижалари қуйидаги хулосаларга асос бўлди.

1. Нивелир костиллари ўз оғирлиги таъсирида ҳар доим чўкади, бунга костил устига қўйиладиган рейка массаси ҳамда уни рейка тутувчини босиши ҳам сабаб бўлади.

2. Костилни тез ва интенсив чўкиши унга рейка қўйилгандан сўнг дастлабки 10-20 секунд давомида содир бўлади; кейин чўкиш секинлашади, лекин 1-2 дақиқа давомида сезиларли қолади. Костилни ҳолати 4-5 дақиқадан кейин барқарор ҳолатга келади.

3. Рейка олингандан кейин костил грунтдан сиқиб чиқарилади. Зич грунтларда у тўла дастлабки ҳолатга қайтади.

4. Рейка қайта қўйилганда костил биринчи мартага қараганда 2-3 маротаба камроқ чўкади. Кейинги рейка қўйилганда костил ўз ҳолатини ўзгартирмайди.

5. Штатив, одатда, нивелир билан ишлаш даврида грунтдан сиқиб чиқарилади, бунда унинг оёқлари грунтга қанчалик қаттиқ босиб киритилган бўлса улар шунча сиқиб чиқарилади. Бу ҳодисага штатив яқинида кузатувчини кўп юриши ҳам сабаб бўлади.

6. Биринчи 5 минут давомида штативни вертикал силжиши вақтга пропорционал равишда содир бўлади, кейин у секинлашади ва 10-15 минутдан кейин тўхтади.

Костил ва штативнинг вертикал силжиши юқори аниқ нивелирлашда систематик хатолар манбааларидан бири ҳисобланади.

Бу хатолар таъсирини камайтириш мақсадида қуйидаги тавсияларни амалга ошириш керак бўлади.

1. Нивелирлаш трассасини шундай танлаш керакки, мумкин қадар у ўрта зичликдаги грунтлардан (автомобил шоссеси ёки темир йўл четидан, яхши грунт йўллари ва ҳ.к.) ўтсин.

2. Нивелирлашнинг тўғри ва тескари йўллари бир жойдан ва мумкин қадар бир хил ўтиш нуқталари бўйича ўтиши керак. Тўғри ва тескари йўлларида станциялар сони жуфт ва бир-бирига тенг бўлиши керак.

3. Чап ва ўнг нивелирлаш чизиқларининг костиллари бир-бирига 0,5 м дан яқин ўрнатилмаслиги керак. Штатив оёқларини грунтга қаттиқ босиб киритмаслик керак. Костил ва штативни 0,5 м дан кам бўлмаган масофадан айланиб ўтиш керак.

4. Ҳар бир станцияда кузатишларни қатъий симметрик дастур бўйича бажарилиши керак, тоқ станцияларда кузатишни орқадаги рейкадан бошлаб, жуфтларда эса олдинги рейкадан бошлаб бажариш керак ёки аксинча.

5. Рейкадан санокни уни костилга ўрнатгандан 0,5 минутдан кейин олиш керак. Рейка ва костилга қаттиқ босиш керак эмас.

6. Юқори аниқ нивелирлашда бошмоқни костил ўрнига ишлатиш мумкин эмас, чунки у грунтда костилга нисбататан кўпроқ силжийди.

14.6. Ер сиртининг гидротермик ҳаракати

Йилнинг қиш фаслида грунт максимум чуқурликда музлайди, ер ости сувлари сатҳи эса мумкин қадар пастга тушади. Баҳорда қорларни интенсив эришидан кейин сув тошқинлари даврида ер ости сувлари сатҳи кўтарилади. Баҳор тугаб қор эриши ва сув тошқинлари тўхтайдди, ер ости сувларининг сатҳи пастга туша бошлайди. Грунт зичланиб аста-секин чўка бошлайди. Ёз яқинлашиши билан ер сирти интенсив қизий бошлайди, гидротермик ҳаракат аста-секин камайдди ва ёзнинг бошларида улар тўла тухтайди. Кузнинг охирида интенсив ёғингарчиликдан сўнг ер ости сувлари сатҳи яна кўтарилади. Совуқ тушгандан сўнг ер сирти музлай бошлайди ва аста-секин остки қатламга ўтиб грунтни кўтарилиши содир бўлади.

Шундай қилиб ер сиртининг гидротермик ҳаракати мавсумий характерга эга. Нивелир реперлари грунтнинг юқори қатламида ўрнатилиши сабабли улар ҳам гидротермик ҳаракатга берилиб баландлик бўйича мавсумий ўзгариб боради. Гидротермик ҳаракатларнинг катталиклари турли жойда турлича бўлади.

Гидротермик ҳаракатни юқори аниқ нивелирлашга таъсирини камайтириш учун: нивелир реперларини баланд жойларда ўрнатиш; нивелирлашни гидротермик ҳаракатни энг кучайган даврида (баҳор ва кузда) бажармаслик; нивелирлаш тўғри ва тескари йўллари «саккизлик» шаклида ўтказишни таъминлаш керак, бунда гидротермик ҳаракатнинг таъсири тасодиқий характерга эга бўлади.

Қуёш ва ой таъсирида нисбий баландликни ўзгариши. Γ масофада жойлашган M массага эга бўлган самовий жойни тортиш кучи таъсирида Ер сатҳида шовунни оғишига олиб келади, бу таъсир қуйидаги формула билан ифодаланади

$$U = \frac{3a^2 M}{2\Gamma^3 E} \sin 2z,$$

Бу ерда a -радиуси, E -унинг массаси, F -самовий жисм зенит масофаси. Шовунни оғишига Ерга энг яқин бўлган самовий жисимлардан Ой ва Қуёшнинг таъсири катта. a , M , Γ ва E ларнинг мос қийматларини қўйиб Ой ва Қуёшнинг таъсирида шовуннинг абёамот оғишини (секунд бурчак) топамиз

$$U_{\odot} = 0,0166 \sin 2z_{\odot};$$

$$U_{\ominus} = 0,0078 \sin 2z_{\ominus}.$$

Ой ва қуёш таъсирида ер қобиғини кўтаришни шовун оғишини 1,188 марта камайтиради, шу сабабли уни амалдаги катталиги қуйидагича тенг бўлади

$$\begin{aligned} \delta h_{\odot} &= 0,068 \sin 27_{\odot} \cos(A_{\odot} - A)_{\text{мм/км}}; \delta h_{\ominus} \\ &= 0,032 \sin 27_{\ominus} \cos(A_{\ominus} - A)_{\text{мм/км}}, \end{aligned}$$

Бу ерда $A_{\odot}$ ва $A_{\ominus}$ - Ой ва Қуёш азимутлари сферик астрономия формулалардан фойдаланиб Ой ва Қуёш зенит масофалари ва азимутлари аниқланади.

Ой ва Қуёш зенит масофаси ва азимутдаги сутка ва йил давомида тўхтовсиз ўзгариб туради, ўз навбатида нисбий баландликка киритиладиган δh ҳам ўзгариб туради. Тузатмалар йиғиндиси $0,1$ мм/км дан катта бўлмайди. Шу сабабли бу тузатма алоҳида ҳолатларда, жуда катта аниқлик талаб этиладиган ишларда мисол учун ер қобиғини ҳаракати ўрганиладиган геодинамик полигонларда ва бошқа ҳолларда ҳисобга олинади.

14.7. Юқори аниқликда нивелирлаш натижаларига тектоник ва бошқа ҳодисалар таъсири

Ер пўстлоғининг тектоник секин кўтарилиши ва пасайиши деярли уни ҳамма қисмларида бўлиб туради, бунда унинг тезлиги турли жойларда турлича. Масалан, Шарқий Европада бу тезлик $\pm 1-4$ мм/йилига, Кавказда $15-20$ мм/йилига етиб боради. Тўғри ва тескари нивелирлаш натижаларига бу ҳаракат деярли таъсир этмайди, чунки нивелирлаш қисқа вақт давом этади.

Лекин тектоник ҳаракатлар қиймати кичик бўлишига қарамай орадан кўп вақт ўтиши билан нивелир тармоғи реперларининг баландлигини ўзгаришига олиб келади. Масалан, иккита қўшни регионда ер қобиғининг кўтарилиш (пасайиши) турли қийматларни $+0,8$ мм/йилига ва $+3,5$ мм/йилига ташкил қилса орада 20 йил ўтгандан кейин бу ердаги нивелирлаш реперларининг баландлиги бир-бирига нисбатан 54 мм га ўзгариши мумкин. Бу ҳаракатлар нивелир полигонларидаги хатоликларга ҳам таъсир этади. Шунинг учун нивелир тармоғи аниқлигини ҳар бир ўлчаш даври талаби даражасида таъминлаш учун ушбу тармоқда нивелирлашни қайта, масалан, ҳар 25 йилда такрорлаб туриш керак бўлади.

Ернинг сатҳий юзаси эгрилигини ўзгаришидан нисбий баландликларни ўзгариши. Ернинг сатҳий юзаси унинг турли қисмларида қисман деформацияланиши мумкин. Бунга сабаб Ернинг ички қисмида катта массаларни сурилиши; кутилмаганда катта миқдордаги ёғингарчилик бўлиб ўтиши ва шу сабабли йирик сув ҳавзаларини тўлиши, ҳамда атмосфера босимини ўзгаршидан бўлиши мумкин.

Бу омиллар ҳар бири конкрет ҳудудда гравитация майдонини ва шу билан бирга сатҳий юза эгрилигини ўзгаришига олиб келади. Натижада шовун чизиклари йўналиши ушбу жойларда ўз йўналишини ўзгартиради, демак нисбий баландликлар ҳам буларга боғлиқ ҳолда ўзгаради. Нисбий баландлик кам миқдорда ўзгарса ҳам юқори аниқ нивелирлашда уни таъсирини ҳисобга олиш керак бўлади.

Нивелир реперларини кўпчиши ва ўтириши. Айрим вақтларда, реперларни ўрнатиш чуқурлигини танлашда хатога йўл қўйилса, уларни ўрнатиш технологияси бузилса реперлар йилдан йилга аста-секин музлашни кўпчиш кучи таъсирида кўтарила бошлайди ёки камдан-кам ҳолатларда бўш грунтларда озроқ чўкиши рўй бериши мумкин. Бундай таъсирга учраган реперлар қайта нивелирлаш натижасида аниқланади, уларни баландлиги қушни реперларга қараганда кўпроқ ўзгарган бўлади. Улар аниқланиб нивелирлаш тармоғидан чиқарилиши ва ўрнига ҳамма қоида ва талабларга риоя қилиб янги реперлар ўрнатилиши керак.

Сейсмик ҳудудларда реперлар баландлигини бир зумда ўзгариши. Шундай ҳудудларда ер zilзиласидан кейин кўпчилик реперларнинг баландлиги бир зумда ўзгаради, бунда унинг қиймати бир неча миллиметрдан бир неча метрга етиши мумкин (ер сирти чўкиши ёки кўтарилиши мумкин). Газли шахрида бўлган zilзилада реперлар баландлиги ± 1 метргача ўзгарган.

Бундай ҳолатларда нафақат zilзила бўлиб ўтган ҳудудда балким унга яқин атрофда қўшни реперлар орасидаги нисбий баландликларга таъсири нольга тенг бўлган ҳудудда ҳам қайта нивелирлаш бажарилади.

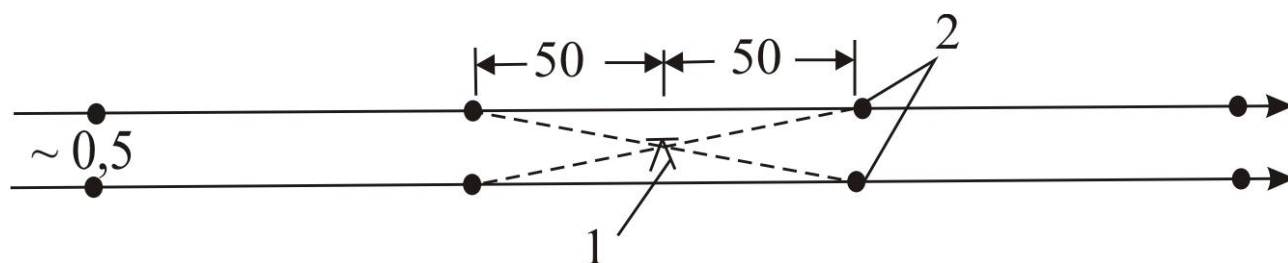
15 – боб. Юқори аниқликда нивелирлаш усуллари. Ўлчаш натижаларини ишлаб чиқиш

15. I класс нивелирлаш усули ва дастури

Юқори аниқ нивелирлар ясси параллел пластинкали оптик микрометрга эга бўлиб, у рейкалардан санок олишда туташтириш усулини қўллаш имконини беради. Микрометр ясси паралл пластинкасини бураб трубанинг иплар тўри бессекторини нивелир рейкасининг унга яқин штрихи билан туташтирилади ва шу тарзда рейка бўлагининг 0,01 мм қийматигача ўлчаб уни рейка штрихи бўйича санокқа қўшиб ёзилади.

Рейкадан ҳар бир санок олишдан олдин адилак пуфакчаси қарама- қарши учларининг тасвири синчиклаб туташтирлади, компенсаторли нивелирни қўллашда эса визирлаш чизиғининг ҳолати стабил бўлиши кузатиб борилади.

1 класс нивелирлашда қабул қилинган дастурга асосан бир вақтда бир-биридан 0,5 метр ораликда ўтадиган иккита нивелирлаш чизиклари ўтказишни кўзда тутилади (15.1-шакл).



15.1-шакл. 1-синф нивелирлашда станцияда ўлчаш схемаси:

1-нивелир; 2-нивелирлаш костиллари

Йўл бўйича ўнг томондаги чизик ўнг чизик, чап томондагиси чап чизик дейилади. Юқори аниқликда нивелирлашни бажариш учун юқори аниқ нивелир, бир жуфт инвар рейкалари, нивелир рейкаларини ўрнатиш учун 4 - 5 жуфт дан кам бўлмаган нивелир костиллари (темир қозик) топографик зонт ва ҳаво ҳароратини ўлчаб бориш учун термометр керак бўлади.

Костиллар грунтга жуфтликда, бир биридан 0,5 м дан кам бўлмаган ораликда қоқилади, (15.1-шакл). Қўшни жуфт костиллар орасидаги нивелирлаш йўли бўйича масофа текис жойда 100 м гача олинади. Тик қия жойларда бу масофа бир мунча қисқаради.

Нивелирлаш йўли бўйича олдиндан ерга бир қанча жуфт костиллар қоқиб чиқилса нивелирлаш ишини унимдорлиги ошади, чунки костилларни ерда ўрнатиш нивелир станциясидаги ишлардан олдин олиб борилади.

Бундан ташқари, бундай дастур ҳар бир станцияда нивелирлашни ишончли назоратини таъминлайди, агарда эҳтиётсизликдан бирорта костил ўрнидан силжитиб юборилса орқага фақат битта станцияга қайтиш керак бўлади, орқадаги бир жуфт костилларни қузғалмай турганига ишонч ҳосил қилиш ва ишни давом эттириш имконини беради. Нивелирлаш йўллари тўғри ва тескари йуналишларда ўтқазилади, унда битта трасса бўйича ва бир хил типдаги ўтиш нукталаридан ўтилади.

Қўшни реперлар орасидаги секцияда тўғри ва тескари нивелирлаш йўлларида станциялар сони бир хил ва албатта жуфт олинishi зарур, шунда рейкалар товонларининг ноллари тенг эмаслик хатосидан озод бўлинади.

Станцияларда штатив тик ўрнатилади, унинг иккита оёғи нивелир йўли бўйича, учинчисини эса бир сафар ўнг томондан кейин эса чап томондан кетма-кетликда ўрнатиб борилади.

Штатив оёқларини грунтга қаттиқ ботириб киритиш тафсия этилмайди, маҳкамлаш винтлари эса қаттиқ тортилмаслиги керак, акс холда штатив ўлчаш жараёнида грунтдан сиқилиб чиқади. Визир нурунинг нормал узунлиги 50 м ни ташкил этади. Нивелир ўрнатилган жойдан рейкалар ўрнатиладиган костилларгача масофа металл тросча билан ўлчанади. Нивелирдан рейкаларгача масофаларни (елкаларни) тенг эмаслиги станцияда 0,5 м дан ошмаслиги керак.

Бу масофалар фарқини нивелирлаш секциясида йиғилиб бориши иш давомида тўғрилаб борилади ва унинг қиймати репердан - репергача 1 м дан ошмаслиги керак. Нивелирлаш нурунинг ер сирти

қопламасидан баладлиги 0,8 м дан кам бўлмаслиги керак. Айрим холларда нурнинг узунлиги 25 м дан ошмаганда уни баландлигини 0,5 м гача камайтиришга рухсат этилади.

1 класс нивелирлашда станциядаги кузатишлар бирга қўшиш (туташтириш) усули билан бажарилади, бунда тоқ номерли станциядан жуфт номерли станцияга, ҳамда тўғри йўлдан тескари йўлга ўтишда симметрик ўлчашлар принципига амал қилинади.

O_a^p ва O_k^p лар билан орқадаги рейкани асосий ва қўшимча шкалалари бўйича санокларни, O_a^l ва O_k^l билан эса олдинги рейкани асосий ва қўшимча шкалалари бўйича санокларни белгилаймиз.

Тўғри ниверлирлаш йўлининг тоқ номерли станцияларида кузатишлар орқадаги рейкадан санок олиш билан бошланади, жуфт станцияларда эса – олдинги рейкадан бошланади ва ишлар қуйидаги дастур бўйича амалга оширилади

Станция:	ниверлаш ўнг чизиғи	ниверлаш чап чизиғи
тоқ	$O_a^p \ O_a^l \ O_k^l \ O_k^p$	$O_a^p \ O_a^l \ O_k^l \ O_k^p$
жуфт	$O_a^l \ O_a^p \ O_k^p \ O_k^l$	$O_a^l \ O_a^p \ O_k^p \ O_k^l$

Тескари ниверлаш йўлида тоқ станцияларда кузатишни олдинги рейкадан бошланади, жуфтларида орқадагидан. Тўғри нивелирлаш йўлидан тескарига ўтишда рейкаларнинг ўринлари алмаштирилади.

Ҳар бир станцияда нивелирлашни аввал ўнг чизиқ бўйича бажарилади, кейин эса чап чизиқ бўйича. Мўлжалланган жойда штатив билан нивелир ўрнатилиб, ишчи ҳолатга келтирилади. Кейин кузатувчининг кўрсатмасига асосан рейкачилар эҳтиёкорлик билан рейкаларни ўнг йўлдаги костилларга қўйишади ва доиравий адилак ёрдамида уларни вертикал ҳолатга келтиришади. Шу билан станциядаги ўлчашларга тайёргарлик ишлари якунланади. Кузатишлар қуйидаги тартибда бажарилади:

1) доиравий адилак ва кўтаргич винтлар ёрдамида нивелир вертикал ўқи вертикал ҳолатга келтирилади;

2) нивелир трубаси орқадаги ўнг костилда турган рейканинг асосий шкаласига қаратилади; нивелир оптик микрометрини 50

санокқа қўйилади; элевация винтини бураб пуфакчанинг учлари тасвири тақрибий туташтирилади ва учта иплар бўйича далномер саноклари олинади;

3) элевация винти ёрдамида труба қияланади ва адилак пуфакчасининг учлари тасвири аниқ туташтирилади; микрометр биссектори яқин жойлашган рейка асосий шкаласининг штрихига қаратилади ва рейкадан ҳамда микрометр шкаласидан саноклар олинади;

4) труба ўнг костилда турган бошқа рейканинг асосий шкаласига қаратилади ва юқоридаги 2 ва 3 бандларда кўрсатилган амаллар бажарилади;

5) трубани йўналтирувчи винти ёрдамида ушбу рейкани қўшимча шкаласига қаратилади ва элевация винтини чорак айланишга бураб труба озроқ қияланади, кейин адилак пуфакчасининг учлари тасвири аниқ туташтирилиб рейка шкаласи ва микрометр шкаласи бўйича саноклар олинади;

6) кейин нивелир ўз вертикал ўқи атрофида айлантирилиб аввалгидай ўнг костилда турган олдинги рейкани қўшимча шкаласига қаратилади ва рейка ҳамда микрометр шкалалари бўйича саноклар олинади; шу билан нивелирлаш ўнг чизигида ишлар якунланади;

7) рейкалар чап костилларга олиб ўрнатилади ва ўлчашлар нивелирлаш айнан ўнг чизигида бажарилган нивелирлаш кетма-кетлигида амалга оширилади; шу билан станциядаги кузатишлар якунланади;

8) керакли ҳисоблашлар бажарилиб ва ҳамма қўйим (допуск)ларга риоя қилинганига ишонч ҳосил қилиб навбатдаги станцияга ўтилади. Навбатдаги станцияга кузатувчини нивелир билан ўтиш даврида олдинги рейка костилдан олиб қўйилади, орқадаги рейка эса кейинги костилга олиб ўтилади.

Рейка бўйича санок рейкани костилга қўйилганидан бошлаб 0,5 дақиқа ўтгандан кейин ва контактли адилак тўла мувозанатга келгандан сўнг олинади.

Нивелир “саккизлик” схема асосида, 25-30 км дан бўлакларга бўлиниб бажарилади. Яъни бўлак биринчи ярим қисмининг

секциялари дастлаб тўғри йўналишда ўтилади, иккинчи қисми – тескари йўналишда, кейин эса аксинча. Ҳар бир секцияда қўшни реперлар орасидаги тўғри йўлда нивелирлаш эрталаб (кечқурун), орқага қараб нивелирлашда аксинча, кечқурун (эрталаб) бажарилиши керак.

Кузда ва булутли кунларда бу талабларга қатъийлик қисман бўшаштирилади.

Кузатишларни бошлашдан аввал штативда ўрнатилган нивелир сояда энг камида 45 дақиқа сақланади. Станциядаги кузатишлар давомида нивелир оқ астарли зонт билан бир станциядан иккинчисига ўтишда эса – оқ материалдан қилинган ғилоф ёрдамида сақланади қуёш нурларидан. Ҳар икки станциядан кейин праш термометри ёрдамида нивелир баландлигидаги ҳаво ҳарорати ўлчаб борилади.

Ҳар бир станциядаги ўлчашлар вақтини ёзиб бориш тавсия этилади. Эрталаб нивелирлаш қуёш чиққанидан сўнг ярим соатдан кейин бошланиб, 3 соат давом этади, бунда агар рейка штрихлари тасвирининг тебраниши (силжиши) кичик ва микрометр биссекторини штрихга ишончили қаратиш мумкин бўлса. Кечки кузатишларни қуёш ботишидан чамаси 5 соат чамасидан олдин бошлаб, ботишга 0,5 соат қолганда якунланади. Эрталабки ва кечки кузатишларни ҳаво изотермияси дақиқасига нисбатан симмекрик жойлаштиришга эришиш керак.

Қуйидаги ҳолатларда нивелирлашга рухсат этилмайди.

1) рейка штрихига микрометр биссекторини аниқ қаратишни қийинлаштирувчи тасвирни тебранишларида ва тасвирни “сузувчи” ҳолатларида;

2) кучли ва шиддатли шимол эсаётганда;

3) қисқа вақт ичида ҳаво ҳароратини кескин ўзгариб бориши даврида.

1-класс нивелирлашда ҳар бир станциядаги ўлчашлар натижаси қуйидаги талабларга жавоб беришини ҳам кузатиб бориш талаб қилинади:

- нивелирлашни алоҳида ўнг ва чап чизиклари учун рейкаларни асосий ва қўшимча шкалалари бўйича ўлчашлардан аниқланган нисбий баландликлар фарқи 0,5 мм дан ошмаслиги керак;

- орқадаги (олдинги) бир жуфт костиллар орасидаги, орқадаги ва олдинги станциялардаги кузатишлардан олинган, нисбий баландликлар фарқи 0,7 мм дан ошмаслиги керак. 1 класс нивелирлашни дастури ва услуби турли хатоликлар манбаалари таъсирини камайтириш ва энг аниқ натижаларга эришишини таъминлаш мақсадида ишлаб чиқилган.

15.2. II класс нивелирлаш усули ва дастури

II класс нивелирлашни бажариш учун айнан I класс нивелирлаш учун керак бўлган нивелир ва инвар рейкалари ишлатилади. Рейканинг метрли шкаласи ва бутун шкаласининг хатоси 0,20 мм дан ошмаслиги, тоғли ҳудудларда ишлашда 0,1 мм дан ошмаслиги керак. Ишга жўнаб кетишдан аввал ниверлир ва рейкалар синашлардан ўтказилиб ишга яроқлилиги аниқланади.

II класс нивелирлаш тўғри ва тескари йуналишларда битта чизик бўйича I класс нивелирлаш услубида бажарилади.

Визир нурунинг нормал узунлиги 65 метрни ташкил қилади. Қия жойлар бўйлаб нивелирлашда ва реперларга етиб келинганда нур узунлиги камайиши мумкин. Қараш трубасининг катталаштириши 44^x дан паст бўлмаган нивелирлар билан ишлашда кузатиш қулай шароитларида нур узунлигини 75 метргача етказиш мумкин. *Ni007* ниверлирини ишлатишда нур узунлиги 40 м дан ошмаслиги керак. Нивелирдан рейкаларгача масофалар фарқи битта станцияда 1 м дан, бу фарқларни секция бўйича йиғилиб борган қиймати 2 метрдар ошмаслиги керак. Визирлаш нуруни ер сиртидан баландлиги 0,5 м дан кам бўлмаслиги, айрим вақтларда нур узунлиги 30 м дан ошмаганда 0,3м гача йўл қўйилиши мумкин.

Кузатишлар тартиби қўйидагича: тўғри йўлнинг тоқ станциясида: орқадаги рейканинг асосий шкаласидан санок; олдинги рейканинг асосий шкаласидан санок; олдинги рейканинг қўшимча шкаласидан санок; орқадаги рейканинг қўшимча шкаласидан санок.

Тўғри йўлнинг жуфт станциясида: олдинги рейканинг асосий шкаласидан санок; орқадаги рейканинг асосий шкаласидан санок; орқадаги рейканинг қўшимча шкаласидан санок; олдинги рейканинг қўшимча шкаласидан санок. Тескари йўлда, аксинча, тоқ станцияларда кузатиш олдинги рейкадан бошланади, жуфтларда эса – орқадаги рейкадан. Кузатишларни бундай тартиби нивелирлаш сисистематик хатоларини сезиларли камайитиришни таъминлайди.

Тўғри йўлни тоқ станциясида бажариладиган ишлар мазмуни ва кетма-кетлиги, ҳамда дала журналини тўлдириш ва уни ишлаб чиқишни қуйидаги мисолда [2] кўриб чиқамиз (30-жадвалда журнални тўлдириш тартиби қавслардаги рақамлар билан кўрсатилган).

30-жадвал

II класс нивелирлаш

журналида ёзиш намунаси

914-грунт репердан 948-

грунт репергача йўл

Иш шароити; грунт –
қумлоқ, темир йўл чети

Сана 15.05.07; иш бошланиши

7с. 40 дақиқа, тугаши 9 с. 30

дақиқа

Тасвир аниқ ва тинч

Штат ив N, рейка лар N	Боғла ш чизм аси	Далномер иплари бўйича саноклар (0,5 дм)			Биссектор ипларидан саноклар (0,5 дм)				Назо рат
					Асосий шкала		Қўшимча шкала		
		O_P/u	O_n/d		Р	Б	Р	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 1-2 $t=+17^\circ$	914- грунт репер	12,75	27,72(5)	O_P	14,2	43(4)	73,4	99(12)	59,25
		(1)	30,59(6)	O_n	(3)	31(8)	(11)	86(10)	6
		15,60	287(22)	O_P-	29,2	+12	88,4	+13	59,25
		(2)	-2/-	O_n	(7)	(14)	(9)	(17)	5
		285	2(23)	u	-15,0		-15,0		-1/-
		(21)			(13)		(16)		1(19)
		-14,98			-14,988(15)		-14,987(18)		
		(24)							
2 2-1		15,95	35,32	O_P	21,0	0	80,2	54	59,25
		25,96	45,32	O_n	40,3	73	99,6	24	4
		1001	1000	O_P-	-19,3	-73	-19,4	+30	

		19,36	+1/-1	$O_{\text{л}}$ u	-19,373		-19,370		59,25 1 -3/-4
3 1-2		18,40 30,35 1195 -7,06	25,46 37,42 1196 -1/-2	O_P $O_{\text{л}}$ O_P- $O_{\text{л}}$ u	24,4 31,4 -7,0 -7,067	22 89 -67	83,6 90,7 -7,1 -7,069	72 41 +31	59,25 0 59,25 2 +2/-2
4 2-1		26,01 34,31 830 +6,53	19,48 27,78 830 0/-2	O_P $O_{\text{л}}$ O_P- $O_{\text{л}}$ u	30,2 23,6 +6,6 +6,527	20 93 -73	89,4 82,9 +6,5 +6,529	71 42 +29	59,25 1 59,24 9 -2/-4
5 1-2		36,32 49,37 1305 +18,73	17,60 30,63 1303 +2/0	O_P $O_{\text{л}}$ O_P- $O_{\text{л}}$ u	42,8 24,1 +18,7	87 56 +31	102,1 83,4 +18,7	40 06 +34	59,25 3 59,25 0 -3/-7
6 2-1 $t=+18$ °	948- грунт репер	39,01 51,28 1227 -13,28	52,31 64,55 1224 +3/+3	O_P $O_{\text{л}}$ O_P- $O_{\text{л}}$ u	45,2 58,4 -13,2 -13,288	03 91 -88	104,4 117,7 -13,3 -13,289	47 36 +11	59,24 4 59,24 5 +1/-6
914-грунт репердан 948 репергача ҳисоблаш									
		5843(Σ 21)	5840(Σ2 2)+ +3	ΣO P $\Sigma O_{\text{л}}$ ΣO_P $-O_{\text{л}}$ Σu	177,8(Σ3) 207,0(Σ7) - 29,2(1 3) -29,453(Σ15)	175(Σ4) 433(Σ8) - 258(1 4) -29,452(Σ18)	533(Σ 4II) 562,7(Σ9) - 29,6(1 6) -29,452(Σ18)	383(Σ1 2) 235(Σ1 0) +148(Σ 17)	-6

$(\Sigma 21) + (\Sigma 22) = 11683 (\frac{1}{2} \text{ мм}) = 5841,5 \text{ мм}$ $h_{\text{ўр}} = -29,455 (\frac{1}{2} \text{ дм})$

Далномер коэффициент = 100 ўлчанган нисбий баландлик

$h' = -29,455 (\frac{1}{2} \text{ дм}) =$

$$L=0.6 \text{ км}; n=6$$

$$=-14,7275 \text{ дм} = -1,4728 \text{ м.}$$

$$t_{\text{ўр}} = +17,8^{\circ}$$

Рейкалар жуфтнинг ўртача узунлигига

$$\text{тузатма } \delta_h = +0,1 \text{ мм.}$$

$$\text{Тузатилган нисбий баландлик } h = -1.4727 \text{ м.}$$

Нивелир асбобини рейкалар орасида бир хил масофада ўрнатиб, қараш трубаи горизонтал ҳолга келтирилади, микрометр барабани 50 саноғига қўйилади ва элевация винти бураб адилак пуфакчасининг учлари тасвири туташтирилади. Орқадаги рейка асосий шкаласидан юқоридаги далномер ипи бўйича санок олинади ва у дала журнаliga ёзилади (1); пастки далномер ипи бўйича санок олинади (2). Элевация винтини бураб пуфакчанинг учлари тасвири яна аниқ туташтирилади ва санок барабанини бураб биссектор рейка асосий шкаласининг яқин штрихига қаратилади. Рейкадан санок журнални Р графасига ёзилади (3), барабандан санок эса – В графасига ёзилади (4). Кейин труба олдинги рейкани асосий шкаласига қаратилади ва далномер ипидан санок (5), пастки ипдан санок (6) олиниб, журналга ёзилади. Адилак пуфакчасининг ҳолати аниқлаб олиниб биссектор асосий шкаланинг яқин штрихи билан туташтирилиб рейкадан санок (7) ва барабандан санок (8) олиниб ёзилади; труба олдинги рейка қўшимча шкаласига қаратилади ва рейкадан санок (9), барабандан санок (10) олиниб ёзилади; шундан кейин орқадаги рейкани қўшимча шкаласига труба қаратилиб рейкадан санок (11) ва барабандан санок (12) олиниб журналга ёзилади. Шу билан кузатиш станцияда тугатилади ва ҳисоблашларга ўтилади. Асосий шкалалардан далномер иплари бўйича олинган саноклар айирмаси ҳисобланади, яъни нивелирдан орқадаги рейкагача ва олдинги рейкагача масофалар ҳисобланади: $(21)=(2)-(1)$; $(22)=(6)-(5)$. Бу масофалар фарқи ҳисобланади $(23)=(21)-(22)$. II класс нивелирлашда станцияда масофалар фарқи 1 м гача йўл қўйилади, уларни секциядаги йиғиндиси тўрланиши 2 м гача рухсат этилади.

Назорат нисбий баландлик ўртачаси, далномер иплари бўйича ҳисобланган нисбий баландликлардан топилди: $(24) = \{[(1)-(5)] + [(2)-(6)]\} : 2$.

Станциядаги нисбий баландликни ҳисоблаш учун аввал орқадаги ва олдинги рейкаларнинг асосий шкалалари бўйича саноклар айирмаси $(13) = (3) - (7)$ ва барабан бўйича саноклар айирмаси $(14) = (4) - (8)$ топилади. Кейин рейкаларни қўшимча шкалалари бўйича станциядаги нисбий баландлик топилади: $(16) = (11) - (9)$ ва барабан бўйича: $(17) = (21) - (10)$. Нисбий баландликни тўла қиймати барабан саноклари айирмаларини рейка бўйича саноклар айирмасига ишораларини ҳисобга олиб қўшиб ёки айириб топилади: $(15) = (13)$ ва (14) ; $(18) = (16)$ ва (17) . Станцияда рейкаларни асосий ва қўшимча шкалалари бўйича олинган нисбий баландликлар иккала қийматлари орасидаги фарқ кузатишлар ва ҳисоблашлар назорати бўлиб хизмат қилади: $(19) = (15) - (18)$. Бу фарқ 0,7 мм (санок барабаннинг 14 та бўлаги)дан ошмаслиги керак. Нисбий баландликлар фарқининг йиғиндиси “назорат” графасига ёзилади. Худди шу графага рейкаларнинг асосий ва қўшимча шкалалари товонларининг фарқи ёзилади. Масалан, $59,256 = 73,499 - 14,243$ ва $59,255 = 88,486 - 29,231$. Улар орасидаги фарқ рейкаларнинг асосий ва қўшимча шкалалари бўйича олинган нисбий баландликлар фарқига тўғри келиши керак. Бундан ташқари станцияда ҳисобланган ноллар баландлигининг фарқи билан рейкани синашда аниқланган фарқлар бир-бирига тенг ёки 0,7 мм дан ошмаслиги керак.

Дала журналида назорат ҳисоблаш ўнталик станциялар бўйича бажарилади ва у қуйидагидан иборат: журнал чап қисмида рейкаларгача бўлган далномер масофалари йиғиндиси топилади: $\Sigma(21)$ ва $\Sigma(22)$ ва улардан секция узунлиги ҳисобланади; ўнг қисмида орқадаги ва олдинги рейкаларнинг асосий ва қўшимча шкалалари бўйича саноклар йиғиндиси, бу саноклар айирмаларининг йиғиндиси ва ҳамма нисбий баландликлар йиғиндиси олинади: $\Sigma(3)$, $\Sigma(4)$, $\Sigma(11)$, $\Sigma(12)$, $\Sigma(7)$, $\Sigma(8)$, $\Sigma(9)$, $\Sigma(10)$, $\Sigma(13)$, $\Sigma(14)$, $\Sigma(16)$, $\Sigma(17)$, $\Sigma(15)$ ва $\Sigma(18)$. Бу суммалар бўйича ўртача нисбий баландликни ҳисоблаш назорат қилинади. Рейкаларни асосий ва қўшимча шкалалари бўйича

секциядаги топилган нисбий баландликнинг тўла қиймати қуйидагича топилади: ўнталик станциялар бўйича бажарилган ҳисоблашлар суммаси чиқарилади ва ўлчанган умумий нисбий баландлик қиймати $\frac{1}{2} \delta m$ да чиқарилади. Уни mm га ўтказилади ва рейкалар жуфти ўртача метри учун тузатма киритилади ва тузатилган умумий нисбий баландлик h олинади. Секция узунлиги L ($км$) ва штативлар сони n ҳисобланади.

15.3. Тоғли ҳудудларда ва йирик шаҳарларда юқори аниқликдаги нивелирлашнинг хусусиятлари

Тоғли ҳудудларда ниверлашнинг хусусиятлари. Тоғли ҳудудларда нукталар орасидаги нисбий баландликлар қийматларини катталиги, демак нивелирдан рейкаларгача масофаларни қисқалиги, ҳамда нивелирдан орқадаги ва олдинги рейкаларгача борадиган нурлар баландлигининг кескин фарқи нивелирлашнинг характерли хусусиятлари ҳисобланади. Нивелирлашни бундай шароитида нивелир йўлининг 1 км узунлигидаги станциялар сони қатъий ошади; рефракция хатоси тоғдан тушишда ва унга чиқишда систематик хато тусини олади. Рейкалар метрининг ўртача қийматини аниқлаш хатоси сезиларли таъсир этади.

Тоғли ҳудудларда ишлашда рейкаларни синаш ва эталонлаш стационар компараторда дала ишларидан олдин, ишлар ўртасида ва охирида бажарилиши керак. Дала ишларининг мавсуми давомида ҳар ойда бир маротаба рейкалар метр бўлақларини узунлиги назорат чизғичи ёрдамида аниқлаб борилиши керак. Иш жараёнида рейкалар комплекти метрли бўлагининг ўртача қиймати 0,05 мм дан ортиққа ўзгарса, рейкалар стационар компараторда қўшимча эталонланиши керак. Йўриқнома [6] талабига асосан рейкалар комплекти метр бўлагининг ўртача қиймати ва рейкаларнинг алоҳида метр бўлақлари қиймати тоғли ҳудудларда ишлаш учун ўзини номинал қийматларидан 0,05 мм ва 0,1 мм дан (тегишлича I ва II класс нивелирлашда) ошмаслиги керак.

Ўлчанган нисбий баландликлар учун оёқлари рейкалар метри узунлигини ўзгариши ва рейкалар инвар полосасининг ўлчашдаги ва

компорлашдаги, ҳароратлари фарқи учун тузатмалар киритиш керак бўлади. Бунинг учун ҳар бир рейка инвар полосасини чизикли кенгайишини аниқлаш керак ва рейкалар ҳароратини кузатишлар даврида ўлчаб бориш учун уларда термодатчиклар ўрнатилиши керак.

1 км йўлда станциялар сонини камайтириш учун оёқлари узайтирилган штативлар (1,7 -1,8 м) қўллаш тавсия этилади ва ҳар бир станцияда мумкин қадар катта нисбий баландликларни ўлчаб бориш керак, бунда ер юзидан нур баландлигини белгиланган қийматидан кам бўлмаслигини таъминланиши шарти билан.

Тоғда нивелирлаш трассасини шундай танлаш керакки, бунда нишаблиги 0,05 дан ошадиган секциялар сони максимал камайсин. Нивелир йўлларини тоғда маҳкамлашда қоя реперларга кўпроқ аҳамият берилади. Қулай ҳолатларда қоя реперлар ҳар 1–2 км да ўрнатилади, грунт реперлар ҳар 3-4 км, фундаментал реперлар эса ҳар 30-40 км да ўрнатилади. Ернинг чуқур ёриқлари яқинида, ёриқларни икки томонида камида 2-3 тадан реперлар ҳар 0,5-1,5 км да ўрнатилади.

Йирик шаҳарларда геометрик нивелирлашнинг хусусиятлари. Майдони $P > 1000 \text{ км}^2$ бўлган йирик шаҳарлар ҳудудида геодезик баландлик асоси I, II, III ва IV класс нивелирлаш тармоғи кўринишида қурилади. Майдони $400 \leq P \leq 1000 \text{ км}^2$ бўлган шаҳарларда II-IV класс ниверлир тармоқлари кўринишда ва $P < 400 \text{ км}^2$ бўлганда III ва IV класс нивелирлаш тармоғи кўринишида қурилади.

I класс нивелирш тармоғи одатда 8 – 15 та ёпиқ полигонлардан ташкил топувчи тармоқ сифатида қўрилиб шаҳарни қурилган ва қурилишдан бўш қисмларини эгаллайди. II класс нивелирлаш тармоғи I класс полигонлари ичида ривожлантирилади. II класс нивелир тармоқларидаги тугун нуқталар орасидаги энг катта масофа қурилган ҳудудда 15 км дан, очик ҳудудда 20 км дан ошмаслиги керак; II класс полигонлари ичида III класс нивелир тармоқлари ривожлантирилади ва улардаги тугун нуқталар орасидаги масофа қурилган ҳудудларда 10 км гача, очик жойларда 15 км гача йўл қўйилади; полигонлар периметри тегишлича 25 ва 40 км гача.

Нивелир тармоқларини янада зичлаш IV класс нивелир йўлларини ўтказиш йўли билан амалга оширилади. Юқори класс реперлари орасидаги йўллар узунлиги қурилган ҳудудларда 2 км гача, очик жойларда 4 км гача йўл қўйилади. IV класс тармоғидаги полигонлар периметри қурилган ҳудудларда 8 км гача, очик жойларда 12 км гача йўл қўйилади.

Шаҳар ҳудудида қуриладиган нивелир тармоқларини характерли хусусияти улардаги нивелир белгиларини ер майдони бирлигига нисбатан зичлигидан иборат. Бу ҳақдаги маълумот 31-жадвалда берилган.

31-жадвал

Нивелир класслари	Реперлар орасидаги катта масофа, км		
	Шаҳарнинг марказий қисмида	Шаҳарнинг чет қисмида	Шаҳарнинг қурилмаган қисмида
I – II	2	2	3
III - IV	0,2 – 0,3	0,8	0,5 – 2

Турли класслардаги нивелир йўлларини маҳкамлаш учун ҳар хил типдаги нивелир белгилари қўлланади: деворий маркалар, қоя реперлар ва грунт реперлари. Шаҳарни қурилган қисмида нивелирлашдан 5-7 йил илгари қурилган пишиқ ғишт, бетон, темир бетондан бўлган мустаҳкам бино ва иншоотларда ўрнатиладиган деворий маркалар кўпроқ ишлатилади. Геодезик ишлар ҳудудида ўрнатилган нивелир белгилари, уларни турига қарамасдан, шаҳарнинг ҳар хил жойларида ҳар хил қийматга ўз баландлигини ўзгартиради. Буни сабаблари кўп. Улар каторида ер ости сувлари сатҳининг ўзгариши, ер ости ишларини олиб борилиши ва бошқаларни кўрсатиш мумкин. Шаҳарнинг бутун ер ости хўжалиги баландлиги бўйича бошланғич даврда нивелирланган нивелир тармоғига киради. Шунинг учун такрор нивелирлашда бошланғич нивелир белгиларининг баландлиги ўзгарган бўлишига қарамай биринчи нивелирланган даврдаги ўртача баландлик системасига яқин келадиган қийматни сақлашга ҳаракат қилинади. Бунинг учун

бошланғич сатх сифатида I-II класс давлат нивелир тармоғининг шаҳарни қурилган қисмидан узоқроқда жойлашган 4 - 5 та реперларини ўртача баландлигини қабул қилиш мақсадга мувофиқ бўлади.

15.4. Нивелирлаш баландлик системалари ҳақида тушунча

Фараз қилайлик бошланғич O нуқтасига нисбатан B нуқтаси баландлигини геометрик нивелирлаш усулида аниқлаш керак бўлсин (15.2-шакл), O нуқтаси бунда геоид сиртида олинган бўлсин. O ва B нуқталари орасида ўтадиган нивелир трубасининг вазир ўқи нивелир ўрнатилган нуқтадан ўтадиган шовун чизиғига перпендикуляр сатҳий юзага ўринма билан туташтирилади ва ўлчашлар орқали нисбий баландлик Δh топилади. OB нивелир йўли бўйича аниқланган Δh қийматлар йиғиндисини олиб O нуқтасига нисбатан B нуқтасининг баландлиги H_B аниқланади, яъни

$$H_B = \sum_0^B \Delta h, \quad (15.1)$$

ёки Δh ни элементар қийматлар dh лардан иборат деб қабул қилиб ёзамиз

$$H_B = \int_{(OB)} dh. \quad (15.2)$$

Юқори аниқликда нисбий баландликларни ўлчашда баландлик H_B қиймати танланган нивелир йўлига боғлиқ бўлади. Ҳақиқатда, OC чизиғи оғирлик кучининг потенциали W_0 га тенг, баландлик ҳисоблашни боши O нуқтасидан ўтувчи геоид сирти бўлсин. Оғирлик кучининг потенциали W_B га тенг B нуқтасидан AB сатҳий юзани ўтказамиз. Кейин O ва B нуқталаридан OC ва AB сиртларга перпендикуляр бўлган куч чизиқларини ўтказамиз.

Ортометрик баландликлар. B нуқтасининг ортометрик баландлиги (15.2-шакл) $H_B^g = CB$ деб ушбу нуқтадан ўтувчи куч чизиғи бўйича геоиддан берилган нуқтагача бўлган масофага айтилади.

Ортометрик баландлик қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$H_B^g = \frac{1}{g_m} \int_0^B g dh, \quad (15.3)$$

бу ерда g_m - ер сирти билан геоид орасидаги CB куч чизиғи бўйича оғирлик кучининг ўртача реал қиймати; g - нивелир чизиғи (йўли) нуқталарида ўлчанган оғирлик кучи қийматлари; dh - нивелир йўли нуқталари орасидаги элементар нисбий баландликлар.

Геоид сирти ва B нуқтасидаги оғирлик кучининг тегишли потенциаллари W_0 ва W_B орасидаги фарқ

$$\int_0^B g dh = W_0 - W_B \quad (15.4)$$

қийматига ушбу нуқтанинг (B) геопотенциал сони (қиймати) дейилади. Геопотенциал сон (потенциаллар фарқи) нуқталар орасидаги масофага боғлиқ эмаслиги сабабли ортометрик баландликлар ҳам (15.3) нивелирлаш йўлига боғлиқ бўлмайди.

Ўтган асрнинг тахминан 40 йилларигача собиқ Иттифокда ортометрик баландликлар системаси қўллаб келинган. Кейин эса М.С.Молоденский таклифига биноан у томонидан ишлаб чиқилган наормал баландликлар системаси қабул қилинган.

Нормал баландликлар. М.С.Молоденский Ер сирти билан геоид сирти орасидаги кўч чизиғининг нуқталарида оғирлик кучини реал қиймати номаълум эканлиги сабабли (15.3) формула бўйича ортометрик баландлик аниқ қийматини ҳисоблаш имкони йўқлигини исботлаб берди. Бу камчиликни тузатиш учун М.С.Молоденский нормал баландликлар системасини қўллашни таклиф этди ва бунда ихтиёрий B нуқтасининг нормал баландлиги қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$H_B^v = \frac{1}{v_m} \int_0^B g dh, \quad (15.5)$$

бу ерда v_m - эллипсоиддан $H = (1/2)H_B^v$ баландликдаги нормал оғирлик кучининг қиймати бўлиб, у (1.15), (1.18) формулар бўйича топилади.

Кўрсатилган (1.15) формула бўйича нормал оғирлик кучининг қиймати v_0 ни эллипсоид сиртида топиш учун Гельмертни қуйидаги формуласи қабул қилинган

$$v_0 = 987030(1 + 0,005302 \sin^2 B - 0,000007 \sin^2 2B) \text{ мГал.}$$

Бу формула 1909 йилда сиқилиш коэффиценти $\alpha = 1:298,2$ га тенг эллипсоид учун топилган бўлиб, Красовский эллипсоиди сиқилиши коэффиценти қийматидан жуда камга фарқ қилади.

Ортометрик баландликларга нисбатан нормал баландликлар назарий жиҳатдан ишончли аниқланади, чунки (15.5) формуладаги нормал оғирлик кучининг қиймати v_m амалда хатосиз ҳисобланиши мумкин, (15.3) формуладаги g_m ни ҳисоблашда эса турли гипотезалардан фойдаланишга тўғри келади.

Топографик – геодезик ва картографик ишлар амалиётида (15.5) формула бўйича ҳисобланадиган нормал баландликлар қабул қилинган бўлиб, улар баландлиги аниқланадиган нуқталарда эллипсоидга нормал чизиқлар бўйича квазигеоид сиртидан бошлаб ўлчанади.

Динамик баландликлар. Битта сатҳий юзада ётган нуқталар учун $W_B = \text{const}$, геопотенциал қиймат $W_0 - W_B = \int_0^B g dh$, яъни (15.3) ва (15.5) формулалардаги каср сурати модули бўйича ўзгармасдир. Экватордан қутбларга ўтишда реал g ва нормал v оғирлик кучлари ўзгаради, яъни (15.3) ва (15.5) формулалардаги каср махражилари ўзгаради. Бу дегани кенглик бўйича чўзилган катта кўллар ва сув омборларининг тинч ҳолатдаги суви сатҳи ўзининг шимолий ва жанубий қисмларида ҳар хил қийматдаги ҳам нормал ва ҳам ортометрик баландликлар эга бўлади. Масалан, Рыбинск сув омборининг шимолий ва жанубий қисмдаги сув сатҳини нормал

баландликларининг фарқи 8 мм, Севан кўли – 77 мм, Байкал кўлида эса – 165 мм ни ташкил қилади. Бу эса гидротехник ва гидромелиоратив қурилиш ишларида ноқулайликларга олиб келади. Бундай вақтда нивелир баландлиги шундай системаси қабул қилиниши керакки, унда сув сатхининг, тинч ҳолатидаги баландлиги кўлнинг ҳар хил кенгликдаги қисми учун, ўзгармай қолсин. Баландликлар бундай системасини (15.5) формуладаги каср махражини нормал оғирлик кучига тенг доимий қийматга келтирилса масалан, v_{45° -45° ўрта кенгликда. Шунда қуйидаги формула бўйича ҳисобланадиган динамик баландлик системаси олинади

$$H_B^d = \frac{1}{v_{45^\circ}} \int_0^B g \, dh. \quad (15.6)$$

Конкрет минтақада олиб борилаётган ишларда динамик баландлик нормал баландликдан катта фарқ қилмаслиги учун (15.6) формуладаги v_{45° ўрнига минтақа (худуд) кенглиги φ га мос бўлган v_φ олиниши керак.

15.5. Юқори аниқликда нивелирлаш натижаларини ишлаб чиқишда дастлабки ҳисоблашлар

Нивелирлаш натижаларини математик ишлаб чиқиш икки босқичга бўлинади: дастлабки ҳисоблашлар ва нивелир тармоғини унда келиб чиқадиган геометрик шартлар учун тенглаш. Дастлабки ҳисоблашлар ўз ичига қуйидагиларни олади:

- берилган масштабда нивелир тармоғи чизмасини тузиш ва унда бошланғич ҳамда аниқланадиган реперлар ўрни, уларни боғланиши ва бошқа маълумотларни кўрсатиш;

- нивелир ва рейкаларни тадқиқ қилиш материалларини қайтадан ҳисоблаб текшириш;

- нивелир журналларида бажарилган ҳисоблашларни назорат ведомостини тузиш;

- рейкалар ўртача метр бўлагини уни номинал (лойиха) қийматидан фарқи учун, ҳамда рейкалар хароратини станциялардаги фарқи учун тузатмаларни ҳисоблаш ва бу тузатмалар билан алоҳида

ўнг ва чап нивелирлаш чизиқларини тўғри ва тескари йўлларида ўлчанган нисбий баландликларга тузатмалар киритиш;

- нормал баландликлар системасига ўтиш учун ўлчанган нисбий баландликларга тузатмалар ҳисоблаш;

- рейкалар метри ўртача узунлигини уни номинал узунлигидан фарқи учун, нормал баландликлар системасига ўтиш учун тузатмалар билан тузатилган реперлар орасидаги ўлчанган нисбий баландликлар якуний ведомостини тузиш;

- нивелирлаш натижалари учун белгиланган хатолик чегарасини назорат қилиш;

- нивелирлаш аниқлигини баҳолаш билан бирга, бир километр нивелирлаш йўли учун тасодифий ва систематик хатоларни ҳисоблаш.

Рейкалар ўртача метри фарқи учун нисбий баландликларга тузатмалар. Ҳар бир инвар рейкани компараторда эталонлашда асосий шкаласи 10 - 30, 30 – 50 ва қўшимча шкаласи 70 – 90, 90 – 110 штрихлари орасини ўлчашдан бир метр узунлиги l_i ни тўрттадан қиймати топилади. Комплектга кирадиган бир жуфт рейкалар учун саккизта узунлик қийматлари олинади ва ўртача метр узунлиги қуйидагича топилади

$$l_{\text{э}} = \frac{1}{n} \sum l_i, \quad (15.7)$$

бу ерда n - l_i қийматлар сони, кейин эса рейка метри ўртача узунлигини номинал қийматдан фарқи қуйидагича аниқланади

$$\Delta l_{\text{э}} = l_{\text{э}} - 1000,00 \text{ мм.} \quad (15.8)$$

Инвар рейкалар дала мавсумидан олдин ва мавсум ўткандан кейин эталонланади, тоғ ҳудудларида нивелирлашда мавсум ўртасида ҳам текширилади. Агарда рейка метрининг ўртача узунлиги биринчи эталонлаш билан кейинги эталонлаш орасида 0,02 ёки 0,03 мм дан, тегишлича I ва II класс нивелирлаш учун ортиқча фарқ қилмаса, иккала эталонлашда олинган узунликлар қийматидан $l_{\text{э}}$ ва $\Delta l_{\text{э}}$ ўртачаси олинади. Агарда фарқлари юқорида келтирилган

қийматлардан ошса фарқ Δl_{ϑ} нивелирлашни ўртача вақтига интерполяция қилинади.

Рейка метри ўртача узунлигининг фарқи учун ўлчанган нисбий баландликка тузатма δh_{ϑ} (мм) қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$\delta h_{\vartheta} = \Delta l_{\vartheta} \cdot h', \quad (15.9)$$

бу ерда тузатма Δl_{ϑ} мм да ифодаланган, ўлчанган нисбий баландлик h' эса м да. Тузатилган нисбий баландлик қуйидаги формуладан аниқланади

$$h = h' + \delta h_{\vartheta}. \quad (15.10)$$

Инвар рейкалари ҳарорати учун тузатма. Юқори аниқликдаги нивелирлаш ишлари ҳаво ҳарорати -20 дан $+50^{\circ}\text{C}$ оралиғида бўлганда бажарилади. Очiq ҳавода рейкалардан бирини инвар полосаси Қуёш билан ёритилган бўлса, иккинчиси соя бўлса, улар ҳароратининг фарқи 5°C ва ундан ҳам ошиши мумкин. Рейкани метрли бўлаклари узунлиги ва тула (3 м) узунлиги компараторда t_{ϑ} ҳароратда ўлчанади; станциядаги нисбий баландлик эса бошқа ҳарорат t_n да ўлчанади.

Шу сабабли ўлчанган нисбий баландликларни рейкаларни эталонлашдаги ва нивелирлашдаги ҳароратлари фарқи учун тузатишга тўғри келади. Қуйидаги белгиларни қабул қиламиз: α' ва α'' - чизиқли кенгайиш коэффициенти, t'_n ва t''_n - станцияда ниверлашда тегишлича орқадаги ва олдинги рейкалар инвар полосаларининг ҳарорати. Шунда станцияда ўлчанган нисбий баландлик $h' = O_p - O_n$ учун тузатма қуйидаги га тенг

$$\delta h_t = \alpha'(t'_n - t_{\vartheta})O_p - \alpha''(t''_n - t'_{\vartheta})O_n, \quad (15.11)$$

бу ерда O_p ва O_n - орқадаги ва олдинги рейкалардан саноклар (м).

Турли рейкаларда инвар полосаларининг чизиқли кенгайиш коэффициенти анча катта қийматга ўзгариди - $+0,5 \cdot 10^{-6}$ дан $+3,5 \cdot 10^{-6}$ гача. Шунини ҳисобга олиб конкрет ҳар бир рейка учун чизиқли кенгайиш коэффициенти аниқланиши ва уни нисбий баландликка тузатма ҳисоблашда фойдаланиши керак. Рейкалар инвар полосаларининг ҳароратини уларда ўрнатиладиган датчиклар билан ўлчаш керак. Чунки ҳаво ҳарорати билан қуёш нури ёритиб турган

инвар полосаси ҳарорати орасидаги фарқ $10 \div 15^\circ\text{C}$ гача етади, шунинг учун рейка ҳароратини ўлчашда термометр – прашдан фойдаланиш тавсия этилмайди.

Ҳарорат учун тузатмани тоғли ҳудудларда, ҳамда нишоблиги 0,01 дан ортиқ бўлган трассалар бўйича нивелирлашда ҳисобга олиш керак бўлади.

Тўғри ва тескари йўлларда ўлчанган нисбий баландликлар учун δh_s ва δh_t тузатмаларни ҳисобга олган ҳолда нисбий баландлик қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$h = h' + \delta h_s + \delta h_t. \quad (15.12)$$

Нормал баландликлар фарқига ўтиш учун тузатмалар. Тажрибалар шуни кўрсатадики амалда нормал баландликлар тўла қийматини (15.5) формула бўйича ҳисоблаш ўрнига улар ортирмаларни ҳисоблаш қулайроқдир. Шу сабабли ҳар бир i ва k пунктлари орасида ўлчанган нисбий баландлик $h_{ik} = H_k - H_i$ нормал баландлик фарқига ўтиш тузатмаси f_{ik} билан тузатилади, у қуйидаги формуладан топилади

$$f_{ik} = -\frac{1}{v_m}(v_{0k} - v_{0i})H_m + \frac{1}{v_m}(g - v)_m h_{ik}, \quad (15.13)$$

бу ерда v_m - МДХ бутун ҳудуди учун қабул қилинган нормал оғирлик кучининг қиймати бўлиб, у 980000 мГал га тенг; v_{0i} ва v_{0k} - қабул қилинган эллипсоид сиртидаги i ва k нуқталарда нормал оғирлик кучининг қийматлари; H_m - i ва k пунктларининг нормал баландликлари ўртача қиймати; g - ўлчанган оғирлик кучи; v - нормал оғирлик кучи; $(g - v)_m$ - i ва k пунктларлардаги оғирлик кучи аномиялари ўртачаси; h_{ik} - i ва k пунктлари орасида ўлчанган нисбий баландлик. Тузатма f тўғри ва тескари йўллар ўртача нисбий баландлигига киритилади.

Ҳамма тузатмалар билан тузатилган нисбий баландликлар якуний қийматлари қуйидагича топилади

$$h = h' + \delta h_s + \delta h_t + f. \quad (15.14)$$

Нивелирлаш натижаларини назорат қилиш. Нивелир тармоғини тенглашга ўтишдан аввал дастлабки ҳисоблашлар стадиясида нивелирлаш натижалари учун белгиланган қўйимлар (допуск)ни текшириб чиқиш керак. Бунда $h = h' + \delta h_s + \delta h_t$ бўйича ҳисобланган нисбий баландликдан фойдаланади.

I класс нивелирлашда ўлчашлар тўғрилигини назорат қилиш учун нисбий баландликларни қуйидаги фарқлари ҳисобланади:

тўғри йўлни ўнг ва чап нивелирлаш

$$d_1 = (h_{\text{ўнг}} - h_{\text{чап}})_{\text{тўғри}} ;$$

тескари йўлни ўнг ва чап нивелирлаш

$$d_2 = (h_{\text{ўнг}} - h_{\text{чап}})_{\text{тес.}} ;$$

ўнг нивелирлашни тўғри ва тескари йўллари

$$d_3 = (h_{\text{туз.}} - h_{\text{тес.}})_{\text{ўнг}} ;$$

чап нивелирлашни тўғри ва тескари йўллари

$$d_4 = (h_{\text{туз.}} - h_{\text{тес.}})_{\text{чап}} ;$$

чап ва ўнг нивелирлашни ўртача натижалари

$$d_5 = \frac{1}{2} (h_{\text{туз.}} + h_{\text{тес.}})_{\text{ўнг}} - \frac{1}{2} (h_{\text{туз.}} + h_{\text{тес.}})_{\text{чап}} ;$$

тўғри ва тескари йўлларни ўртача қийматлари

$$d_6 = \frac{1}{2} (h_{\text{ўнг}} + h_{\text{чап.}})_{\text{туз.}} - \frac{1}{2} (h_{\text{ўнг.}} + h_{\text{чап.}})_{\text{тес.}} .$$

Айирмалар d_1 , d_2 ва d_6 ҳар бирининг қиймати қуйидагидан ошмаслиги керак

$$d_i \leq 3_{\text{мм}} \sqrt{L} \quad (15.15)$$

бир километр нивелир йўлида станциялар сони $n < 15$ бўлганда ва $4 \text{ мм} \sqrt{L}$ $n > 15$ бўлганда, бу ерда L км да олинади. Фарқлар d_i ни ҳисоблашда $h_{\text{тес.}}$ ишорасини айнан $h_{\text{туз.}}$ ишорасига ўхшаш олинади.

Ҳамма фарқлар d_i қийматини ҳар бир секцияда ҳисоблашни қуйидаги формула бўйича назорат қилиб борилади

$$d_5 = \frac{1}{2} (d_1 - d_2); \quad d_6 = \frac{1}{2} (d_3 + d_4).$$

Яхлитлаш хатоси таъсиридан 0,1 мм гача фарқ бўлиши мумкин. II класс нивелирлашда тўғри ва тескари йўналиш бўйича нисбий баландликлар фарқи қуйидагидан ошмаслиги керак $d = 5 \text{ мм} \sqrt{L}$, бир километр йўлда станциялар сони $n < 15$, $d = 6 \text{ мм} \sqrt{L}$ $n > 15$ бўлганда; L км да.

Дала журналларида ҳисоблашларни текширишда визирлаш нури узунлиги ва нурни ер сиртидан баландлигини қўйими (допуск) текшириб борилади; бундан ташқари нивелирлаш елкалари тенглиги ҳам ҳар бир станция ва секция учун текширилади. Дастлабки ҳисоблашларни якунловчи босқичи нивелирлаш натижалари аниқлигини баҳолашдан иборат.

15.6. Юқори аниқликдаги нивелирлаш натижаларининг аниқлигини баҳолаш

Юқори аниқликдаги нивелирлаш натижаларининг аниқлигини баҳолаш масалаларига кўпчилик олимларнинг илмий ишлари бағишланган. Бу масалада француз олими Лаллеманни 1912 йили эълон қилган формулари кенг қўлланиб келинган. Узунлиги L (км) бўлган бошланғич ва охириги пунктлар орасида ўтказилган нивелир йўли нисбий баландлигини ўрта квадратик хатоси қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин

$$m^2 = \eta^2 L + \sigma^2 L, \quad (15.16)$$

бу ерда η ва σ - 1 км иккиланган нивелир йўли учун тасодифий ва систематик ўрта квадратик хатолар.

Ўзунлиги L км га тенг икки қўшни реперлар орасидаги нивелир йўли n та ҳар бири r км ли секциялардан иборат бўлсин ва d_i ҳар бир секциядаги тўғри ва тескари йўллар нисбий баландликларининг айирмаси бўлсин.

Шунда (15.16) формулага асосан ёзамиз

$$\left. \begin{aligned} \eta^2 r_1 &= \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 - \sigma^2 r^2; \\ \eta^2 r_2 &= \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 - \sigma^2 r^2; \\ \dots & \quad \dots \quad \dots \\ \eta^2 r_n &= \left(\frac{d_n}{2}\right)^2 - \sigma^2 r^2. \end{aligned} \right\} \quad (15.17)$$

Систематик хатолари бир-бирига ўхшаш ошиб боровчи катта узунликдаги L_i тўғри ва тескари нивелир йўлларидаги нисбий баландликлар фарқини s_i билан белгилаймиз. Бу йўлларнинг бош ва охириги пунктлари орасидаги нисбий баландликлари фарқига систематик хато тасодифий хатоларга нисбатан кўпроқ таъсир этади. Шу сабабли тасодифий хатоларни ҳисобга олмасак ҳар бир йўл L_i учун қуйидагиларни ёзиш мумкин

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{s_1}{2}\right)^2 &= \sigma_1^2 L_1^2; \quad \sigma_1^2 = \frac{s_1^2}{4L_1^2}; \\ \left(\frac{s_2}{2}\right)^2 &= \sigma_2^2 L_2^2; \quad \sigma_2^2 = \frac{s_2^2}{4L_2^2}; \\ \dots & \quad \dots \quad \dots \\ \left(\frac{s_n}{2}\right)^2 &= \sigma_n^2 L_n^2; \quad \sigma_n^2 = \frac{s_n^2}{4L_n^2}. \end{aligned} \right\} \quad (15.18)$$

Шу йўл билан L_i участкалар учун олинган σ_i хатоликлар улар узунликларига пропорционал бўлган турли вазнларга эга бўлади. Умумий нивелир йўл $L = \sum L_i$ учун бу хатоликни вазнли ўрта қиймати қуйидагига тенг

$$\sigma^2 = \frac{1}{4 \sum L} \sum \frac{s^2}{L}. \quad (15.19)$$

σ^2 қийматини (15.17) формулага қўйиб N та нивелир чизикларини ҳар бир r секцияси учун ёзиб, ҳамда умумий нивелир тармоғи учун $\sum r = \sum L$ эканлигини ҳисобга олиб Лаллеман формуласини келтириб чиқарамиз

$$\eta^2 = \frac{1}{4} \left[\frac{\sum d^2}{\sum L} - \frac{\sum r^2}{(\sum L)^2} \sum \frac{s^2}{L} \right]. \quad (15.20)$$

10 тадан кам бўлмаган ёпиқ полигонлардан иборат тармоқдаги систематик хато σ ни ҳисоблаш учун Лаллеман яна қуйидаги формулани таклиф қилди

$$\sigma_R = \frac{1}{\sum L^2} \left[\frac{1}{2} \sum W^2 - \eta^2 \sum L \right], \quad (15.21)$$

бу ерда W - полигонлардаги боғланмаслик (сатҳий юзаларни параллел эмаслиги учун ортометрик тузатмаларни ҳисобга олган ҳолда), $\sum W$ га тенг тармоқни ўз ичига олувчи ташқи полигон боғланмаслигини бирга қўшиб.

Лаллеман формуласи айрим камчиликларга эга, у σ ва η хатоликларни камайтирилган қийматини беради, (15.16) формула эса катта узунликдаги нивелир йўлларида хатолар жамланиши қонунларини ҳисобга олмайди ва шу сабабли нивелирлашни реал аниқликни тавсифламайди.

Лаллеман формулаларидан ташқари яна кўпгина формулалар мавжуд. Лекин улар ҳам амалда Лаллеман формулалари берадиган натижаларни беради, чунки улар ҳаммаси бир хил бошланғич маълумотдан, яъни тўғри ва тескари йўллар нисбий баландликлари фарқидан фойдаланади.

I класс нивелирлашда йўриқнома талабига асосан нивелирлашни 1 км узунликдаги йўли учун ўртача нисбий баландликни тасодифий ўрта квадратик хатоси қуйидаги формулалар бўйича ҳисобланади

$$\eta^2 = \frac{1}{4n} \left[\frac{d_5^2}{r} \right] \quad (15.22)$$

ва

$$\eta^2 = \frac{1}{4n} \left[\frac{d_6^2}{r} \right], \quad (15.23)$$

II класс нивелирлашда эса:

$$\eta^2 = \frac{1}{8n} \left[\frac{d^2}{r} \right], \quad (15.24)$$

юқоридаги формулаларда n - ҳар бирининг узунлиги r км тенг бўлган секциялар сони; d_5 ва d_6 фарқлар юқорида келтирилган формулалар бўйича топилади, $d = h_{\text{мүз.}} - h_{\text{меч.}}$.

I ва II класс нивелирлашни 1 км йўли учун ўртача нисбий баландликни систематик ўрта квадратик хатоси σ қуйидаги формуладан топилади

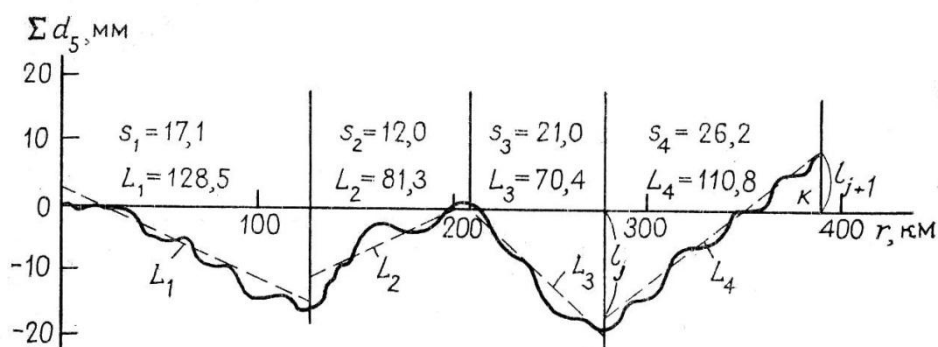
$$\sigma^2 = \frac{1}{4[L]} \left[\frac{s_i^2}{L_i} \right], \quad (15.25)$$

бу ерда $[L]$ - тармоқдаги барча нивелир йўллари узунлиги йиғиндиси; s_i ва L_i қуйидаги тартибда тузиладиган график бўйича аниқланади. Абцисса ўқи бўйича танланган масштабда $L = \sum r_i = OK$ узунликни ташкил қилувчи нивелир йўлидаги секциялар узунлиги r_i (15.3-шакл), ордината бўйича эса – секциялар бўйича d_5 (d_6) фарқларни йиғиндиси, яъни

$$\Delta_1 = d_5^{(1)}; \Delta_2 = d_5^{(1)} + d_5^{(2)}; \Delta_3 = d_5^{(1)} + d_5^{(2)} + d_5^{(3)} + \dots,$$

$$\Delta_i = \sum_1^i d_5^i, (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

қуйилади.



15.3-шакл. Юқори аниқликда нивелирлашда систематик хатоларни тўпланиш графиги.

Графикда ҳосил бўлган эгри (тўлқинсимон) чизикни айирмалар d_5 (d_6) бир хил йиғилиши бўйича бўлакларга бўлиб чиқилади ва ҳар бўлакдаги эгри чизикларни тўғри синик чизиклар $L_1, L_2, \dots, L_n$ билан алмаштирилади (аппроксимация қилинади), 15.3-шаклдаги узик чизиклар. Бу графикдан фойдаланиб айрималар d_5 (d_6) бир хил йиғилган бўлаклар узунлиги L_i , ҳамда бу чизиклар учлари ординаталарининг l айирмалари $s_i = l_{i+1} - l_i$ топилади ва улар (15.25) формулани ечишда фойдаланади.

Мисол сифатида (15.22) ва (15.23) формулалар бўйича 1 км нивелир йўли учун тасодифий хатолар η ва (15.25) формула бўйича систематик σ хатоларни ҳисоблаб чиқамиз (бунда 15.3-шаклдан ҳам фойдаланади). Ҳисоблаш [18] дан олинган қуйидаги 32-жадвал бажарилган. I класс нивелирлаш тармоғида нисбий баландликларни аниқлиги қуйидаги ўрта квадратик хатолар билан тавсифланади: $\eta \cong 0,5 \text{ мм/км}$; $\sigma \cong 0,05 \text{ мм/км}$.

II класс учун эса $\eta \cong 1,2 \text{ мм/км}$; $\sigma \cong 0,2 \text{ мм/км}$.

32-жадвал

d	n	$\frac{1}{4n}$	$\frac{1}{4[L]}$	$\left[\frac{d^2}{r} \right]$	$\left[\frac{s^2}{L} \right]$	$\eta, \text{ мм}$	$\sigma, \text{ мм}$
d_5	132	$\frac{1}{528}$	$\frac{1}{1995}$	70,94	8,27	0,38	0,06
d_6	132	$\frac{1}{528}$	$\frac{1}{1995}$	131,88	41,57	0,50	0,04

1 км нивелир йўли учун тасодикий ва систематик хатоларни қўшма таъсири қийматини ёпиқ полигонлардаги боғланмасликлар бўйича қуйидаги формуладан топиш мумкин

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{W^2}{P} \right]}, \quad (15.26)$$

бу ерда N - полигонлар сони (тармоқдаги); W - полигонлардаги боғланмасликлар қиймати; P - полигонлар периметри, км да. I – II класс нивелир тармоқларида полигонлар боғланмаслиги бўйича μ қиймати қуйидагича олинган $\mu = 1,4 \div 1,8$ мм/км.

Ташқи кўринишдан (15.26) формула бўйича ҳисобланган хатолик нивелирлаш аниқлигини баҳолашда ишончли натижани беради, чунки W боғланмасликлар нивелирлашдаги барча хатолар манбааларини таъсиридан келиб чиққан бўлади. Бу амалда тўғри бўлиши мумкин, агарда полигон томонларини нивелирлаб чиқиш учун қисқа вақт сарфланиб, бошланғич репер баландлиги нивелирлаш даврида ўзгармай қолса.

Якка нивелир йўлларида (секцияда) йўл узунлиги r км бўлиб у тўғри ва тескари йўналишларда нивелирланган бўлса 1 км йўл учун тасодикий ўрта квадратик хато $\eta_{\text{км}}$ қуйидаги формуладан топилиши мумкин

$$\eta_{\text{км}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\left[\frac{d^2}{r} \right]}{n}},$$

бу ерда d - тўғри ва тескари нивелирлашдаги нисбий баландликлар айирмаси; n - секциялар сони.

15.7. I – II класс нивелирлаш тармоқларини нормал баландликлар системасида тенглаш

Ўлчашларда хатолик муқаррарлиги сабабли нивелир тармоқларида геометрик боғланмаслик келиб чиқади ва уларни тенглаш талаб қилинади.

I- II класс нивелирлашни ҳар бир k пункти учун нивелирлаш давомида ўлчанган оғирлик кучи g орқали геопотенциал сонлари

$$W_0 - W_k = \int_0^k g \, dh, \quad (15.27)$$

аниқланади ва уларни энг кичик квадратлар усулида тенглашдан, улар вазнини ҳисобга олган ҳолда, тузатмалар ҳисоблаш керак бўлади. Нивелир пунктларининг тенгланган геопотенциал сонларини топиб, уларни нормал ёки динамик баландликларини тегишли (15.5) ва (15.6) формулалар бўйича ҳисоблаш қийин эмас. Бунинг учун ҳар бир пункт учун нормал оғирлик кучининг қиймати v_m ёки v_{45° аниқланиб ушбу формулаларга қўйилиши керак бўлади.

I – II класс нивелирлаш тармоқларини тенглаш нормал баландликлар системасида бажарилади, бунда бевосита ўлчанган қийматлар учун ўлчанган нисбий баландликлар (15.14) олинади.

Бошланғич маълумотларни тайёрлаш. Нивелир тармоғини тенглашга киришишдан аввал тармоқ чизмасини тузиб унда бошланғич ва тугун пунктлари кўрсатилади; бошланғич пунктлар баландлиги ва (15.14) формула бўйича ҳисобланган нисбий баландликлар, ҳамда нивелир йўллари узунлиги ёки станциялар сони кўрсатилган ведомостни тузиш керак бўлади.

Ўлчанган нисбий баландликлар вазнини аниқлаш. Аслида ҳар бир нивелир йўли L учун ўлчанган нисбий баландлик вазни қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши керак

$$P = \frac{c}{m_L^2}, \quad (15.28)$$

бу ерда c - нивелир тармоғи учун доимий қиймат, m_L^2 - ўлчанган нисбий баландлик эмпирик дисперсияси (ўрта квадратик хато). Лекин ҳар бир нивелир йўли учун систематик хато таъсирини аниқлаш имкони йўқлиги учун m ишончли қийматини ҳам топиб бўлмайди.

Шуни ҳисобга олиб ўлчанган нисбий баландлик вазни қуйидаги тақрибий формуладан топилади

$$p = \frac{c}{L} \text{ ёки } p = \frac{c}{n}. \quad (15.29)$$

бу ерда L - нивелир йўлининг узунлиги, км; n - нивелир йўлидаги станциялар сони.

I – II класс нивелир тармоқларини биргаликда тенглашда ўлчанган нисбий баландликлар тегишли вазнларининг аниқ нисбатларини белгилаш керак бўлади, бунда йўл узунлиги ёки ундаги станциялар сонидан фойдаланмаслик керак. Бунинг учун қуйидагича иш тутиш мумкин.

I ва II класс нивелир йўлларидаги нисбий баландликларнинг вазни (15.29) формула бўйича ҳисобланади, лекин II класс йўл узунлиги ёки ундаги станциялари сонини I класс йўлини эквивалент узунлиги ёки станциялар сони билан алмаштирилади, яъни

$$L_{\text{э}} = \alpha L_{\text{II}} \text{ ёки } n_{\text{э}} = \alpha n_{\text{II}}, \quad (15.30)$$

бу ерда α - эквивалентлик коэффиценти, у қуйидагига тенг

$$\alpha = V_{\text{чек. II}}^2 / V_{\text{чек. I}}^2, \quad (15.31)$$

бу ерда $V_{\text{чек. I}}$ ва $V_{\text{чек. II}}$ - тенг узунликдаги I ва II класс нивелирлаш йўлларидаги чекли хатолар.

$$V_{\text{чек. I}} = 3 \text{ мм } \sqrt{L} \text{ ва } V_{\text{чек. II}} = 5 \text{ мм } \sqrt{L}$$

бўлганда $a \approx 3$ топамиз.

Келтирилган (15.30) формуладаги эквивалиентлик коэффиценти α ни аниқроқ ҳисоблашни қуйидагича бажариш мумкин. Битта ҳудудда жойлашган фақат I ёки II класс полигонлари боғланмасликлари W_I ва W_{II} ни фойдаланиб 1 км йўл учун ўрта квадратик хатолар тегишли қиймати топилади

$$\mu_I = \sqrt{\frac{1}{N_I} \left[\frac{W_I^2}{p_I} \right]}, \quad \mu_{II} = \sqrt{\frac{1}{N_{II}} \left[\frac{W_{II}^2}{p_{II}} \right]}, \quad (15.32)$$

бу ерда p_I ва p_{II} - I ва II класс полигонларининг параметри, км. Ҳар бир класс полигонларини сони $N=15-20$ дан кам бўлмаслиги мақсадга мувофиқ. μ_I ва μ_{II} лардан фойдаланиб пропорционаллик коэффиценти аниқлаймиз

$$\alpha = \frac{p_I}{p_{II}} = \frac{\mu_I}{\mu_{II}}. \quad (15.33)$$

Нивелир тармоқларини параметрик усулда тенглаш.
Компьютерда нивелир тармоғини тенглашда параметрик усулни

қўллаш мақсадга мувофиқ бўлди. Бунда ҳисоблаш ишлари қўйидаги тартибда бажарилади.

Тугун пунктлар тарқирийбий баландликларини ҳисоблаш. Тузатмалар тенгламаларидаги озод ҳадлар сони мумкин қадар камроқ бўлиши учун тугун пунктларнинг тақрибий баландлигини мумкин қадар аниқроқ топилиши талаб қилинади. Хар бир тугун пунктнинг тақрибий баландлиги унинг ҳамма қийматларидан вазнли арифметик ўрта H'_k сифатида баландлиги маълум пунктлардан баландликни узатиш билан ҳисобланади, яъни

$$H_k^0 = \frac{pH'_k}{\sum p}, \quad (15.34)$$

бу ерда

$$H'_k = H'_i + h'_{ik}, \quad (15.35)$$

p - i ва k пунктлари орасидаги нивелир йўлининг нисбий баландлиги h_{ik} вазни.

Тузатмалар тенгламаларини тузиш. i ва k қўшни тугун пунктлар орасида ўлчанган нисбий баландлик h'_{ik} бўлсин; $v_{ik} = \sum p v^2 = \min$ шартига асосан тармоқни тенглашдан топиладиган шу нисбий баландликка тузатма; H_i^0 ва H_k^0 - ушбу пунктларнинг тақрибий баландликлари; x_i ва x_k - тенглашдан улар учун тузатмалар. i ва k пунктлари баландликлари фарқи учун юқоридаги белгиларни ҳисобга олиб ёзамиз

$$h'_{ik} + v_{ik} = (H_k^0 + x_k) - (H_i^0 + x_i) \quad (15.36)$$

бундан

$$v_{ik} = -x_i + x_k + (H_k^0 - H_i^0) - h'_{ik}, \quad (15.37)$$

Тенглама озод ҳадини l_{ik} билан белгилаб

$$l_{ik} = (H_k^0 - H_i^0) - h'_{ik}, \quad (15.38)$$

(15.37) тенгламани якуний кўринишга келтирамиз

$$v_{ik} = -x_i + x_k + l_{ik} + \dots + p_{ik} \text{ вазни билан.}$$

(15.39)

(15.39) тузатмалар тенгламаси нивелир тармоғини ташкил қилувчи ҳамма йўллар учун тузилади. Бундай тенгламалар сони нисбий баландлиги h'_{ik} ўлчанган чизиқлар (йўллар) сонига тенг.

Тузатмалар тенгламаси v_{ik} ни матрица кўринишида ёзамиз

$$V = AX + l, \quad (15.40)$$

бу ерда V - ўлчанган нисбий баландликларга тузатмалар v_{ik} вектор – устуни; X - тугун пунктлар тақрибий баландликлари H_k^0 га тузатмалар x_k - вектор – устуни; A - (15.39) тузатмалар тенгламаси коэффицентлари матрицаси; l - озод ҳадлар l_{ik} вектор – устуни. P билан V тузатмалар тенгламасининг диагонал матрицаси вазнларини белгилаймиз.

Нормал тенгламаларни тузиш. Яқуний баландликларни ҳисоблаш. V тузатмалар тенгламаларидан улар вазни P ни ҳисобга олиб нормал тенгламалар системасига ўтамыз

$$NX + L = 0, \quad (15.41)$$

бу ерда

$$N = A^T P A; \quad (15.42)$$

$$L = A^T P l, \quad (15.43)$$

бу ерда N - нормал тенгламалар симметрик матрицаси коэффицентлари; X - тақрибий баландликлар учун аниқланадиган тузатмалар вектор – устуни; A^T - тузатмалар тенгламаларини транспонирланган матрица коэффицентлари; L - нормал тенгламалар озод ҳадларининг вектор – устуни. Нормал тенгламаларнинг сони тармоқни тенглашдан баландликлари аниқланадиган тугун пунктлари сонига тенг. (15.41) тенглама ҳар иккала қисмини чапдан нормал тенгламалар коэффиценти N матрицасига тескари N^{-1} матрицага кўпайтириб тугун пунктлар баландлигига номаълум бўлган тузатмалар x_k вектори X ни топамиз

$$X = -N^{-1}L = -QL, \quad (15.44)$$

бу ерда $Q = N^{-1}$ вазнли коэффицентлар матрицаси

$$N^{-1} = Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \dots & Q_{nn} \end{pmatrix}, \quad (15.45)$$

бу ерда n - тармоқдаги тугун нуқталар сони.

Тармоқни тенглашдан тугун пунктларнинг якуний баландликлари қуйидаги формуладан аниқланди

$$H_k = H_k^0 + x_k, \quad (15.46)$$

бу ерда H_k^0 - пунктнинг тақрибий баландлиги; x_k - тенглашдан аниқланган тузатма.

Назорат мақсадида тугун пунктлар якуний баландликларини яна бир мартаба бошқа йўлда аниқлаш керак. Бу мақсадда (15.39) формула бўйича ўлчанган нисбий баландликларга тузатмалар v_{ik} ҳисобланади, кейин эса тенгланган нисбий баландлик қуйидагича топилади

$$h_{ik} = h'_{ik} + v_{ik}. \quad (15.47)$$

Тенгланган нисбий баландликлардан фойдаланиб тугун пунктларнинг тенгланган баландликларини иккинчи марта топилади

$$H_k = H_i + h_{ik}. \quad (15.48)$$

Битта пунктнинг (15.46) ва (15.48) формулалар бўйича аниқланган баландлигининг фарқи яхлитлашлар хатосидан ошмаслиги керак. H_i ва H_k тенгланган баландликка эга i ва k тугун пунктлари орасидаги оралиқ пунктларининг тенгланган баландлиги H_j қуйидагича топилади

$$H_j = H_i - \frac{s_{ij}}{s} \omega \quad (15.49)$$

ёки

$$H_j = H_i - \frac{n_{ij}}{n} \omega, \quad (15.50)$$

бу ерда s - тугун пунктлар орасидаги нивелир йўли узунлиги; n - йўлдаги санциялар сони; s_{ij} ва n_{ij} - баландлиги топиладиган j

пунктни тугун пункт i дан мсофаси ва станциялар сони;
 $\omega = \sum h' - (H_k - H_i)$ - нивелир йўлидаги боғланмаслик.

Тугун пунктларнинг тенгланган баландликлари аниқлигини баҳолаш. Тармоқни тенглашдан олинадиган вазн бирлигининг ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum P v_{ik}^2}{n - k}}, \quad (15.51)$$

бу ерда v_{ik} - P вазнга эга ўлчанган нисбий баландликлар h'_{ik} га тузатма; n - тармоқдаги нивелир йўллари сонига тенг тузатмалар сони; k - баландлиги аниқланадиган тугун пунктлар сони.

Исталган i тугун пункти тенгланган баландлиги H_i нинг тескари вазни вазн матричасини тегишли диагонал элементиغا тенг, яъни

$$\frac{1}{P_i} = Q_{ii}. \quad (15.52)$$

Тугун пунктлар тенгланган H_i баландлигининг ўрта квадратик хатоси қуйидаги тенг

$$m_{H_i} = \mu \sqrt{Q_{ii}}. \quad (15.53)$$

i ва k тугун пунктларининг тенглаштирилган баландликлари фарқини топиш ўрта квадратик хатолиги қуйидаги формуладан топилади

$$m_{h_{ik}} = \mu \sqrt{Q_{ii} - 2Q_{ik} + Q_{kk}} \quad (15.54)$$

16-боб. Тригонометрик нивелирлаш

16.1. Умумий маълумотлар

Текис ва қисман нотекис жойлардаги геодезик пунктларнинг баландлиги геометрик нивелирлашдан аниқланади. Тоғ ва тоғ олди ҳудудларда эса тригонометрик нивелирлаш кенг қўлланади; бунда пунктлар баландликларининг фарқи улар орасидаги масофалар ва ўлчанган зенит масофалар Z ёки оғиш бурчаклари $\nu=90^\circ-Z$ дан фойланиб ҳисобланади.

Тригонометрик нивелирлаш усули кўп вақтлардан буён маълум. Бу усул меҳнат унумдорлиги бўйича устун ҳисобланади. Лекин ўлчашлар натижаларининг аниқлиги бўйича геометрик нивелирлашдан пастда туради. Аниқлик бўйича бу усулни салбий томони, унга вертикал рефракция ҳамда геодезик пунктларда шовун чизиг'нинг оғиши хатоларини таъсиридадир, улар айниқса тоғли ҳудудларда катта қийматларга эга бўлади. Пунктлар орасидаги масофалар қанча катта бўлса рефракциянинг таъсири шунча ошиб боради; шуни ҳисобга олиб қониқарли натижаларни олиш учун нисбий баландликларни мумкин қадар калтароқ томонлар бўйича аниқлаш тавсия этилади ($s \leq 10$ км).

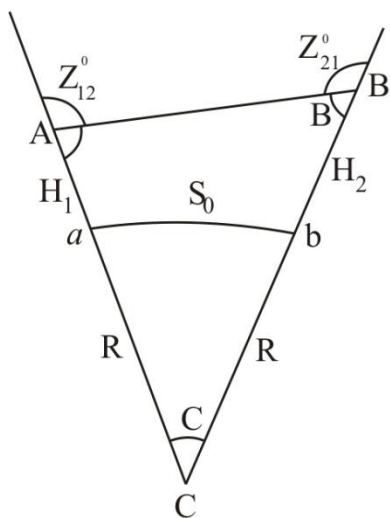
Пунктларнинг геодезик баландликлари айирмасини ҳисоблаш учун рефракция ва шовун чизиг'ининг оғиши таъсирини нолга тенг деб қабул қилиб дастлабки формулаларни топамиз.

Қуйидаги белгиларни киритамиз: $H_1 = aA$ ва $H_2 = bB - ab$ эллипсоиди сиртидан AC ва BC нормаллар бўйича ҳисобланадиган A ва B нуқталарнинг геодезик баландлиги (16.1-шакл);

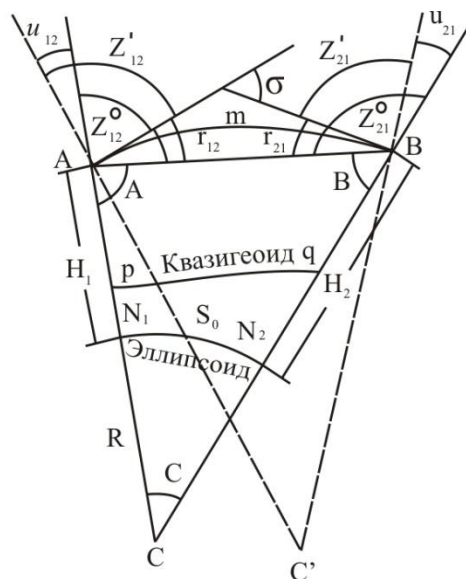
$S_0 = ab$ - A нуқтада эллипсоид AB нормал қирқимининг ёй узунлиги; R - ушбу қирқимнинг эгрилик радиуси; z_{12}^0 ва z_{21}^0 - A нуқтасидаги AC ва B нуқтасидаги BC нормалларга тегишли B ва A нуқталарининг назарий (геодезик) зенит масофалари.

ABC учбурчагининг бурчакларини A , B , C билан белгилаб тангенслар теоремасига асосан ёзамиз

$$\frac{BC - AC}{BC + AC} = \operatorname{tg} \frac{A - B}{2} \operatorname{ctg} \frac{A + B}{2}. \quad (16.1)$$



16.1-шакл. Пунктларнинг геодезик баландликлари ва ўзаро тескари назарий зенит масофалар



16.2-шакл. Шовун чизиғининг оғиши рефракция ва квазигеоид нисбий баландлиги таъсирини ҳисобга олган ҳолда икки томонлама тригонометрик нивелирлаш схемаси

Масофа $s \leq 20$ км бўлганда ab нормал қирқим ёй узунлигини катта аниқлик билан ўрта радиуси R бўлган айлана ёй узунлигига тенг деб қабул қилиш мумкин. Шунда қуйидагиларни ёзиш мумкин

$$aC = bC = R; \quad AC = R + H_1;$$

$$BC = R + H_2; \quad A + B = 180^\circ - C.$$

Бу қийматларни (16.1) формулага қўйиб топамиз

$$\frac{H_2 - H_1}{2R + (H_1 + H_2)} = \operatorname{tg} \frac{A - B}{2} \operatorname{tg} \frac{C}{2}$$

бундан

$$H_2 - H_1 = 2R \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) \operatorname{tg} \frac{C}{2} \operatorname{tg} \frac{A - B}{2}. \quad (16.2)$$

Эллипсоид қирқими ab ни R радиусга эга айлана ёйи билан аппроксимация қилиб эллипсоид нормаллари орасидаги марказий бурчакни топамиз

$$C = \frac{s_0}{R} \rho \quad (16.3)$$

C бурчаги кичиклигини ҳисобга олиб қуйидагини ёзиш мумкин

$$tg \frac{C}{2} = \frac{C}{2} + \frac{C^3}{24} = \frac{s_0}{2R} + \frac{s_0^3}{24R^3}$$

Бунда $s_0 \leq 20$ км бўлса юқоридаги $\frac{s_0^3}{24R^3}$ ҳадни кичик бўлганлиги учун ҳисобга олмаслик мумкин ва шунда

$$tg \frac{C}{2} = \frac{s_0}{2R} \quad (16.4)$$

(16.4) ифодани (16.2) формулага қуйиб $s_0 \leq 20$ км учун нуқталар геодезик баландликлари фарқи учун бошланғич формулаларни оламиз

$$H_2 - H_1 = s_0 \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R}\right) tg \frac{A - B}{2}$$

ёки

$$H_2 - H_1 = stg \frac{A - B}{2} \quad (16.5)$$

бу ерда

$$s = s_0 \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R}\right) \quad (16.6)$$

Юқоридаги (16.5) формулада s - A ва B нуқталар орасидаги эллипсоид сиртидан ўртача баландликка келтирилган масофа.

A ва B бурчакларни ҳам геодезик (назарий) зенит масофалар z_{12}^0 ва z_{21}^0 сингари ўлчаш имкони йўқ. Шу сабабли уларни бевосита жойда ўлчанган зенит масофа z орқали ифодалаш керак бўлади. Бунда иккита муҳим ҳолат эътиборга олинishi керак. Биринчидан, жойда зенит масофаларни ўлчашда теодолит вертикал ўқи AC (BC) эллипсоид сиртига нормал чизик билан эмас, балким шовун чизиғи AC' (BC') билан туташади (16.2-шакл). Келтирилган (16.5) формулага асосан теодолит ўқи нормал чизик AC (BC) билан туташган бўлиши керак. Иккинчидан, A ва B нуқталари орасидаги ёруғлик нури атмосфера зичлигини ҳар хил бўлишидан AB тўғри чизик бўйича эмас, балким мураккаб эгри AmB бўйича ўтиб, ушбу нуқталарда ватар AmB ва унга ўринмалар орасидаги вертикал рефракция бурчаклари r_{12} ва r_{21} ни ҳосил қилади.

Ихтиёрий A ва B нуқталари орасидаги нисбий баландликни аниқлашда бир томонли ёки икки томонли тригонометрик нивелирлаш қўлланади. Биринчисида зенит масофа z_{ik} томонни

(чизиқни) фақат бир учиди ўлчанади, яъни A ёки B нуқтасида; иккинчисида A ва B нуқталарида бир-бирига тескари зенит масофалар z_{ik} ва z_{ki} ўлчанади, бунда улар одатда турли кунларда ўлчанади.

Қуйидаги белгиларни қабул қиламиз: u_{12} ва u_{21} - A ва B нуқталаридан ўтувчи вертикал текисликда ўтувчи ва шу нуқталардаги шовун чизиғини оғиши; z'_{12} ва z'_{21} - пунктлар марказига келтирилган A ва B нуқталардаги ёруғлик нурига ўринмалар ва шовун чизиқлари орасидаги тўғри ва тескари зенит масофалар; r_{12} ва r_{21} - ушбу нуқталардаги вертикал рефракция бурчаклари.

Шовун чизиғининг $i - k$ йўналишидаги оғиш қиймати қуйидаги формула бўйича аниқланади

$$u_{ik} = \xi_i \cos A_{ik} + \eta_i \sin A_{ik}, \quad (16.7)$$

бу ерда ξ ва η - пунктдаги меридиан текислиги ва биринчи вертикалдаги шовун чизиғи оғишини тўла қиймати $u = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$; A_{ik} - $i - k$ йўналиши азимути.

Вертикал рефракция бурчакларининг тақрибий қиймати қуйидаги формуладан топилади

$$r = \frac{C}{2}k = \frac{S_0 \rho}{2R}k, \quad (16.8)$$

бу ерда $C - A$ ва B нуқталардаги эллипсоидга нормалар орасидаги бурчак; k - ернинг синдириш коэффициенти бўлиб, уни ер эллипсоиди радиуси R ни ёруғлик нурининг эгрилик радиуси M га нисбати деб тушинилади, бунда нурнинг вертикал текисликдаги траекторияси айлана ёйи деб олинади (тақрибий).

16.2. Бир томонлама тригонометрик нивелирлашда геодезик баландликлар фарқини ҳисоблаш

Масалан, зенит масофа z_{12} фақат A пунктида ўлчанган бўлсин, B пунктда эса ўлчанмаган бўлсин (16.2-шакл). Шаклга асосан ABC учбурчакдан геодезик баландликлар айирмасини ҳисоблаш формуласи учун ёзамиз

$$\left. \begin{aligned} A &= 180^\circ - z_{12}^0; \\ B &= 180^\circ - (A + C) = z_{12}^0 - C, \end{aligned} \right\} \quad (16.9)$$

бу ерда

$$z_{12}^0 = z'_{12} + r_{12} - u_{12}. \quad (16.10)$$

Зенит масофа z_{12} ни ўлчашда теодолит вертикал доирасининг маркази A пунктининг марказидан “асбоб баландлиги”да (i_1) жойлашади, қараш трубаси эса B пунктига, уни марказидан l_2 баландликда жойлашган нишонга қаратилади. Шунинг учун пункт марказига келтирилган зенит масофа қуйидагига тенг бўлади

$$z'_{12} = z_{12} + \frac{l_2 - i_1}{s} \rho \quad (16.11)$$

бу ерда z_{12} - бевосита ўлчанган зенит масофа; s – A ва B пунктлари орасидаги масофа; $\rho'' = 206265''$.

Юқоридаги (16.10) ифодани (16.3), (16.8) ва (16.11) формуларни ҳисобга олиб қуйидагича ёзамиз

$$z_{12}^0 = z_{12} + \frac{sk_{12}}{2R} \rho - u_{12} + \frac{l_2 - i_1}{s} \rho \quad (16.12)$$

Навбатда (16.12) формулани (16.9) формулаларга қўйиб ва (16.3) формулани ҳисобга олиб топамиз

$$\begin{aligned} A &= 180^\circ - z_{12} - \frac{sk_{12}}{2R} \rho + u_{12} - \frac{l_2 - i_1}{s} \rho \\ B &= z_{12} + \frac{sk_{12}}{2R} \rho - \frac{s}{R} \rho - u_{12} + \frac{l_2 - i_1}{s} \rho \end{aligned} \quad (16.13)$$

(16.3) формуладаги $s_0 = s$ деб қабул қилинса, бунда ҳатто $(H_1 + H_2)/2 = 2$ км ва $s = 10$ км бўлганда ҳам, B бурчагини ҳисоблаш хатоси $0,10''$ дан ошмайди. Бундай кичик қийматни ҳисобга олмай (16.3) формулалар асосида ёзамиз

$$\frac{A-B}{2} = 90^\circ - z_{12} + s \frac{1-k_{12}}{2R} \rho + u_{12} - \frac{l_2 - i_1}{s} \rho \quad (16.14)$$

бундан топамиз

$$tg \frac{A-B}{2} = ctg(z_{12} - \frac{1-k_{12}}{2R} s - \frac{u_{12}}{\rho} + \frac{l_2 - i_1}{s}) \quad (16.15)$$

Бу формуладаги тузатмалар ҳадларини жуда кичиклигини ҳисобга олиб ёзамиз

$$tg \frac{A-B}{2} = ctgz_{12} + (\frac{1-k_{12}}{2R} s + \frac{u_{12}}{\rho} - \frac{l_2 - i_1}{s}) cosec^2 z_{12} \quad (16.16)$$

бу формулани s га кўпайтириб геодезик баландликлар фарқини ҳисоблаш формуласини оламиз

$$H_2 - H_1 = sctgz_{12} + \left(\frac{1-k_{12}}{2R} s^2 + \frac{u_{12}}{c} s - l_2 + i_1\right) cosec^2 z_{12} \quad (16.17)$$

Геодезик тармоқларда зенит масофалар 90° дан анчага фарқ қилади. Агар $87^\circ \leq z \leq 93^\circ$ бўлса етарли аниқликда $cosecz=1$ га деб қабул қилиб бу ҳол учун юқоридаги формуладан ёзамиз

$$H_2 - H_1 = sctgz_{12} + \frac{1-k_{12}}{2R} s^2 + \frac{u_{12}}{c} s - (l_2 - i_1) \quad (16.18)$$

Бу формуладаги иккинчи ҳадни қуйидагича белгилаймиз

$$v = \frac{1-k_{12}}{2R} s^2 = \varepsilon_R + \varepsilon_r \quad (16.19)$$

бу нисбий баландликка йиғма тузатма бўлиб Ер эгрилиги учун

$$\varepsilon_R = s^2/2R \quad (16.20)$$

ва рефракция учун

$$\varepsilon_R = -k_{12}s^2/2R \quad (16.21)$$

Юқоридаги (16.18) формуладаги учунчи ҳадни

$$\varepsilon_u = u_{12}s/\rho \quad (16.22)$$

билан белгилаймиз ва у A пунктидаги шовун чизиги оғиши учун тузатмани ифодалайди.

Тескари нисбий баландлик, яъни баландликлар фарқи $H_1 - H_2$ қуйидаги формула бўйича топилади

$$H_1 - H_2 = sctgz_{21} + \frac{1-k_{21}}{2R} s^2 + \frac{u_{21}}{\rho} s - (l_2 - i_1) \quad (16.23)$$

Визир нурининг баландлиги 6 м ва ундан юқори бўлганда ернинг синдириш коэффиценти қиймати ёзда, масалан, ўртача $k=0,13$; эрталабки ва кечқурунги ҳаво изотермиясида уни ўртача қиймати $k=0,22$ ни ташкил қилганда нисбий баландликка ер эгрилиги ва рефракция учун тузатмалар ε_R ва ε_r қийматлари турли масофалар учун қуйидаги 33-жадвалда келтирилган

33-жадвал

Тузатмалар, м	Томонлар узунлиги s , км					
	1	3	5	10	15	20
ε_R	0,08	0,71	1,96	7,8	17,6	31,4
ε_r						
$k = 0,13$ да	0,01	0,09	0,25	1,0	2,3	4,1
$k = 0,22$ да	0,02	0,15	0,42	1,7	3,9	6,9

Тригонометрик нивелирлашга пунктлардаги шовун чизиғи оғиш бурчагининг ўзгариши ҳам катта таъсир этади. Бир томонга нивелирлашда бундай хатоликларни турли масофалар учун қиймати қуйидаги 34-жадвалда берилган

34-жадвал

Тузатмалар, ε_u Оғиш, и м	Томонлар узунлиги, км					
	1	3	5	10	15	20
3"	0,01	0,04	0,07	0,15	0,22	0,29
5	0,02	0,07	0,12	0,24	0,36	0,48
15	0,07	0,22	0,36	0,73	1,09	1,45
30	0,15	0,44	0,73	1,45	2,18	2,91

Юқоридаги жадваллар маълумотларидан кўринишича ер эгрилиги, рефракция ва шовун чизиғининг оғиши тригонометрик нивелирлаш аниқлигига жиддий таъсир этади. Шунинг учун ҳисобга олиб аниқ тригонометрик нивелирлашда, айниқса томон узунлиги s катта бўлганда, рефракция ва шовун чизиғини оғиши синчиклаб аниқланиши ва улар ҳисобга олиниши зарур.

16.3. Бир томонлама тригонометрик нивелирлашда нормал баландликлар фарқини ҳисоблаш

Эллипсоид сиртига нисбатан аниқланадиган нуқталар геодезик баландлиги геодезияни кўпчилик масалаларини ечиш учун

қўлланади. Лекин топографик – геодезик, картографик ва бошқа кўпгина ишларни кундалик амалиётида квазигеоид сиртидан геометрик нивелирлаш усулида аниқланадиган нуқталар баландлиги қўлланади. Улар нормал баландликлар дейилиб олдин берилган (15.5) формула бўйича ҳисобланади.

Нуқталар нормал баландликлари фарқини тригонометрик нивелирлашдан ҳам аниқлаш мумкин. A ва B нуқталар нормал баландликларининг фарқи тегишлича $H_1^v = pA$ ва $H_2^v = qB$ бўлсин (16.2-шакл). Квазигеоид сирти анча мураккаб, тўлқинсимон шаклга эга бўлиб ер эллипсоиди сиртига параллел эмас. Шунинг учун A ва B нуқталарида тегишлича $N_1 = ap$ ва $N_2 = bq$ билан белгиланган квазигеоидни эллипсоид сиртидан баландликлари қийматлари бўйича ўзаро тенг эмас ($N_1 \neq N_2$).

М.С.Молоденскийнинг назариясига асосан ҳар қандай нуқтанинг геодезик баландлиги H , унинг нормал баландлиги H^v га баландлик аномалияси ξ ни қўшиб қўйилганига тенг. Квазигеоид баландлиги N миқдоран баландлик аномалияси ξ га тенг. Шунинг учун A ва B нуқталарнинг геодезик баландликлари учун ёзамиз

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= H_1^v + N_1; \\ H_2 &= H_2^v + N_2. \end{aligned} \right\} \quad (16.24)$$

Бундан нормал баландликлар фарқи қуйидагига тенг бўлади

$$H_2^v - H_1^v = H_2 - H_1 - (N_2 - N_1), \quad (16.25)$$

бу ерда $(N_2 - N_1)$ – A ва B нуқталари орасида квазигеоид баландликларининг фарқи.

Юқоридаги (16.25) ифодага (16.18) формуладан топиладиган $H_2 - H_1$ қийматни қўйиб $87^\circ \leq z \leq 93^\circ$ қийматлар учун бир томонга нивелирлашдаги нормал баландликлар фарқи $H_2^v - H_1^v$ ни ҳисоблаш формуласини топамиз

$$H_2^v - H_1^v = sctgz_{12} + \frac{1-k_{12}}{2R} s^2 + \frac{u_{12}}{c} s - (N_2 - N_1) - (l_2 - l_1) \quad (16.26)$$

Триангуляцияни хоҳлаган s томонининг бош ва охириги нуқталари орасидаги квазигеоид нисбий баландлиги $N_2 - N_1$, масалан,

астрономо-гравиметрик нивелирлаш усулидан қуйидаги формула бўйича топилиши мумкин

$$N_2 - N_1 = u_m s - \Delta E, \quad (16.27)$$

бу ерда u_m - s чизиғи ёқалаб шовун чизиғининг ўрта интеграл қийматлари; ΔE - рельеф таъсири учун тузатма, у қуйидагига тенг

$$\Delta E = \int_{AB} \frac{g - \nu}{\nu} dH - \frac{0,0052}{\rho''} (H_2 - H_1)(B_2 - B_1) \sin 2B_m, \quad (16.28)$$

бу ерда $g - \nu$ - AB чизиғининг нуқталарида оғирлик кучи аномалияси; dH - элементар нисбий баландлик; B_1 ва B_2 - A ва B нуқталарининг геодезик кенгликлари; $B_m = (B_1 + B_2)/2$. ΔE тузатмаси ва u_m қийматларини ҳисоблаш учун жойни гравиметрик съёмкасини бажаришга, ҳамда айрим пунктларда астрономик кенглик ва узоқликларни аниқлашга тўғри келади.

Юқоридаги (16.27) ва (16.28) формулаларни ҳисобга олиб (16.26) формулани қуйидагича ёзиш мумкин

$$H_2^\nu - H_1^\nu = sctgz_{12} + \frac{1-k_{12}}{2R} s^2 + \frac{u_{12}-u_m}{c} s - \Delta E - (l_2 - l_1) \quad (16.29)$$

А.А.Изотов ва Л.П.Пеллиненларни баҳолашича $(u_{12} - u_m)s/\rho$ коэффиценти текис ва тоғ ҳудудларида томонлар узунлиги $s=10$ км бўлганда тегишлича 0,08 ва 0,98 м, тузатма ΔE эса 0,01 ва 0,30 м га тенг. Бу тўғрида тўлароқ маълумот қуйидаги 35-жадвалда берилади

35-жадвал

Т/б N	Тузатмалар	Текис ҳудуд-ларда (м)	Тоғ ҳудуд- ларида (м)
1	$\frac{u_{12} - u_{21}}{2\rho}$	0,06	0,70
2	$(\frac{u_{12} - u_{21}}{2} - u_m) \frac{s}{\rho}$	0,02	0,28
3	$\frac{u_{12} - u_m}{\rho} s$	0,08	0,98
4	ΔE	0,01	0,30

Нормал баландликлар системасида тескари нисбий баландликлар $h_{21} = H_1^v - H_2^v$ қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$H_2^v - H_1^v = s \operatorname{ctg} z_{12} + \frac{1-k_{21}}{2R} s^2 - \frac{u_{21}}{\rho} s - (N_1 - N_2) - (l_1 - i_2) \quad (16.30)$$

Бир томонлама нивелирлаш формулалари бўйича ҳисобланган тўғри ва тескари нисбий баландликлар бир-биридан мутлоқ қиймати бўйича ўзаро фарқ қилади. Тоғли ҳудудларда тригонометрик нивелирлаш чизиқлари ёқалаб тўғри ва тескари нисбий баландликлар орасидаги сезиларли фарқ биринчи навбатда ҳисобга олинмаган шовун чизигининг оғиш ҳамда ер синдириш коэффицентини ҳисоблашда қисман йўл қўйилган хатолик ҳисобига келиб чиқади.

16.4. Икки томонлама тригонометрик нивелирлашда геодезик баландликлар фарқини ҳисоблаш

Икки томонлама тригонометрик нивелирлашда триангуляция томонининг ҳар иккала учларида қарама-қарши зенит масофалар z_{12} ва z_{21} ўлчанади. A ва B нуқталарининг геодезик баландликлари фарқи ҳисоблаш формулаларини топамиз ABC учбурчакда (16.2-шакл) A ва B бурчаклар учун ёзамиз

$$A = 180^\circ - z_{12}^0; \quad B = 180^\circ - z_{21}^0, \quad (16.31)$$

бу ерда назарий зенит масофалар z_{12}^0 ва z_{21}^0 тегишлича қуйидагиларга тенг

$$\begin{aligned} z_{12}^0 &= z'_{12} + r_{12} - u_{12}; \\ z_{21}^0 &= z'_{21} + r_{21} + u_{21}. \end{aligned} \quad (16.32)$$

Белгилар марказига келтирилган зенит масофалар z'_1 ва z'_2 уларни бевосита ўлчанган қийматлари z_{12} ва z_{21} орқали ифодаalayмиз:

$$\begin{aligned} z'_{12} &= z_{12} + \frac{l_2 - i_1}{s} \rho; \\ z'_{21} &= z_{21} + \frac{l_1 - i_2}{s} \rho. \end{aligned} \quad (16.33)$$

бу ерда i_1 ва l_1 - A пункти марказига нисбатан теодолит ва визирлаш нишонинг баландлиги; i_2 ва l_2 - B пункти марказига нисбатан ўша қийматлар; s - пунктлар орасидаги масофа; $\rho = 206265''$.

(16.8) формулага асосан рефракция бурчаклари r_{12} ва r_{21} ни ер синдириш тегишли коэффициенти орқали ифодалаймиз. s_0 ва s орасидаги кичик фарқни ҳисобга олмай етарли аниқликда ёзамиз

$$\begin{aligned} r''_{12} &= sk_{12}\rho/2R \\ r''_{21} &= sk_{21}\rho/2R \end{aligned} \quad (16.34)$$

AB томоннинг учларида шовун чизиғи оғиш бурчаклари u_{12} ва u_{21} ни (16.7) формула бўйича ҳисоблаш мумкин, агарда ξ ва η қийматлари маълум бўлса. (16.28-16.32) ифодаларни ҳисобга олиб бурчаклар фарқини топамиз

$$A - B = (z_{21} - z_{12}) + \frac{k_{21} - k_{12}}{2R} s\rho + (u_{12} + u_{21}) + \left(\frac{l_1 + i_1}{s} - \frac{l_2 + i_2}{s}\right)\rho, \quad (16.35)$$

кейин бурчаклар фарқи ярми тангенсини

$$tg \frac{A-B}{2} = tg \left(\frac{z_{21} - z_{12}}{2} + \frac{k_{21} - k_{12}}{4R} s + \frac{u_{12} + u_{21}}{2\rho} + \frac{l_1 + i_1}{2s} - \frac{l_2 + i_2}{2s} \right) \quad (16.36)$$

Қавсдаги қўшилувчилар, зенит масофалар айирмасининг ярмидан ташқари, жуда кичик қийматларини ташкил қилади. Тангенсни қаторга ёйиб биринчи даражали кичик қийматлар билан чегараланиб, $s \leq 20$ км бўлганда амалий ишлар учун етарли, натижани s га кўпайтириб икки томонлама тригонометрик нивелирлашда нуқталар геодезик баландликларининг фарқини ҳисоблаш қуйидаги формуласини топамиз

$$H_2 - H_1 = stg \frac{z_{21} - z_{12}}{2} + \left(\frac{k_{21} - k_{12}}{4R} s^2 + \frac{u_{12} + u_{21}}{2\rho} s + \frac{l_1 + i_1}{2} - \frac{l_2 + i_2}{2} \right) \cdot sec^2 \frac{z_{21} - z_{12}}{2}. \quad (16.37)$$

Геодезик тармоқларда қарама-қарши зенит масофалар айирмасининг ярим қиймати нисбатан кичик бўлади. $z_{21} - z_{12} \leq 6^\circ$

бўлганда қуйидагини қабул қилиш мумкин $sec^2 \frac{z_{21} - z_{12}}{2} = 1$ ва шу шарт билан қуйидагини ёзиш мумкин

$$H_2 - H_1 = Stg \frac{z_{21} - z_{12}}{2} + \frac{k_{21} - k_{12}}{4R} s^2 + \frac{u_{12} + u_{21}}{2\rho} s + \frac{l_1 + i_1}{2} - \frac{l_2 + i_2}{2}. \quad (16.38)$$

16.5. Икки томонлама тригонометрик нивелирлашда нормал баландликлар фарқини ҳисоблаш

(16.35) формулани (16.23) га қуйиб икки томонлама нивелирлашда нормал баландликлар фарқини ҳисоблаш формуласини оламиз

$$H_2^v - H_1^v = stg \frac{z_{21} - z_{12}}{2} + \frac{k_{21} - k_{12}}{4R} s^2 + \frac{u_{12} + u_{21}}{2\rho} s - (N_2 - N_1) + \frac{l_1 + i_1}{2} - \frac{l_2 + i_2}{2}. \quad (16.39)$$

$N_2 - N_1$ фарқни ўрнига (16.25) формуладан топиладиган ун қийматини қўйиб юқоридаги формулани бошқа шаклда ёзамиз

$$H_2^v - H_1^v = stg \frac{z_{21} - z_{12}}{2} + \frac{k_{21} - k_{12}}{4R} s^2 + \left(\frac{u_{12} + u_{21}}{2} - u_m \right) \frac{s}{\rho} + \Delta E + \frac{l_1 + i_1}{2} - \frac{l_2 + i_2}{2}. \quad (16.40)$$

(16.37) формулада тузатма

$$\left[(u_{12} + u_{21}) / 2 - u_m \right] \frac{s}{\rho}$$

пунктлар орасида шовун чизиғи оғишини бир текис бўлмаслигини ҳисобга олади ва астрономик нивелирлашга гравиметрик тузатма номига эга.

Икки томонлама тригонометрик нивелирлашда, айниқса қарама-қарши йўналишлар бўйича зенит масофани бир вақтда ўлчаганда рефракцияни нисбий баландликка таъсири бир томонлама нивелирлашга қараганда анча кам, буни (16.37) ва (16.27) формулаларни солиштириб кўриш мумкин.

Шунинг учун нисбий баландликларни мумкин қадар аниқроқ олиш учун ишлаб чиқаришда икки томонлама тригонометрик нивелирлашни қўллаш керак бўлади.

16.6. Ернинг синдириш коэффицентини аниқлаш усуллари

Ернинг синдириш коэффицентини аниқлашни турли усуллари мавжуд. Биринчи яқинлашишида унинг қиймати метеорологик ўлчашлар натижалари бўйича аниқланиши мумкин. Коэффицентни аниқроқ қийматини тригонометрик нивелирлаш натижаларини ишлаб чиқиб аниқланади. Бу ҳолатда ўлчанган зенит масофалардан ташқари, қўшимча қандай ўлчашлар маълумотлари борлигига қараб ернинг синдириш коэффицентини турли қийматларини аниқлаш мумкин, масалан, унинг қийматини пунктдаги ҳар бир йўналиш учун,

трангуляция ҳар бир томони учун ўртача коэффициентни топиш ва ҳ.к.

Метереологик маълумотлар бўйича коэффициент k ни аниқлаш. Бу метод зенит масофаларни ўлчаш дақиқаларида визир нурунинг йўлининг ҳаво қатламида синдириш кўрсаткичини градиенти майдони бир хиллигига асосланган. Бу вақтда вертикал рефракция бурчаклари қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин

$$r'' = 11,42 \frac{P}{T^2} \left(0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) s \sin z .$$

r ни ер синдириши коэффициентни орқали ифодалаб ёзамиз

$$r'' = \frac{C''}{2} k = \frac{s_0 \rho}{2R} k .$$

Бу формулалардаги чап ва ўнг томон қисмларини тенглаштириб ва $R = 6371$ км, $\sin z = 1$ деб, топамиз

$$k = 705 \frac{P}{T^2} \left(0,0342 + \frac{\partial T}{\partial H} \right) . \quad (16.41)$$

Босимни ўртача қиймати $P = 750$ мм сим.уст. ва ҳарорат $T = 288^\circ\text{K}$ бўлганда ёз кунлари учун қуйидагини топамиз

$$k = 0,22 + 6,37 \frac{\partial T}{\partial H} . \quad (16.42)$$

(16.38) ва (16.39) формулаларда визир нурунинг баландлигидаги ҳароратни вертикал градиенти град/м ифодаланган.

Ёзда, кунни ўрта соатларида нуруни тупроқдан 2 м баландлигида кўп йиллик ўртача қиймат $\partial T / \partial H \approx 0,0098$ град/м; эрталабки ва кечкурунги ҳаво изотермиясида $\partial T / \partial H = 0$; тун яримга яқин $\partial T / \partial H \approx 0,0080$ град/м аниқланган. Бу қийматларни ҳисобга олиб қуйидаги ўртача коэффициентлар олинади; куннинг ярми учун $k_n = 0,16$, изотермия вақтлари учун $k_0 = 0,22$, ярим тун - $k_H = 0,27$.

Нуқталар нормал баландликларининг фарқи, шовун чизиқлари оғиши ва квазигеоидни нисбий баландликлар маълум бўлганда k коэффициентини аниқлаш. A ва B пунктларидаги вертикал рефракция бурчаклари r_{12} ва r_{21} , 16.2-шаклга асосан тегишлича қуйидагиларга тенг

$$\left. \begin{aligned} r_{12} &= z_{12}^0 - z'_{12} + u_{12}; \\ r_{21} &= z_{21}^0 - z'_{21} - u_{21}. \end{aligned} \right\} \quad (16.43)$$

Таърифига кўра

$$r_{12} = (s_0 \rho / 2R) k_{12};$$

$$r_{21} = (s_0 \rho / 2R) k_{21},$$

бўлганини ҳисобга олиб қуйидагини оламиз

$$\left. \begin{aligned} k_{12} &= \frac{2R}{s_0 \rho} (z_{12}^0 - z'_{12} + u_{12}); \\ k_{21} &= \frac{2R}{s_0 \rho} (z_{21}^0 - z'_{21} - u_{21}). \end{aligned} \right\} \quad (16.44)$$

Назарий зенит масофалар z_{12}^0 ва z_{21}^0 ни ҳисоблаймиз. (16.24) формулага асосан ёзамиз

$$H_2 - H_1 = (H_2^v - H_1^v) + (N_2 - N_1). \quad (16.45)$$

(16.5) ифодага (16.9) ва (16.42) қийматларини қўйиб топамиз

$$(H_2^v - H_1^v) + (N_2 - N_1) = \text{sctg}(z_{12}^0 - C/2).$$

Бундан етарли даражадаги аниқлик билан қуйидагини ёзамиз

$$z_{12}^0 = \text{arccctg} \left(\frac{H_2^v - H_1^v}{s} + \frac{N_2 - N_1}{s} - \frac{s}{2R \sin^2 z_{12}^0} \right) \quad (16.46)$$

ёки $87^\circ \leq z^0 \leq 93^\circ$ бўлганда

$$z_{12}^0 = 90^\circ + \left(\frac{s_0}{2R} - \frac{H_2^v - H_1^v}{s} - \frac{N_2 - N_1}{s} \right) \rho, \quad (16.47)$$

бу ерда $(H_1 + H_2)/2 \geq 2$ км бўлганда s қиймати (16.6) формула бўйича ҳисобланади.

ABC учбурчакдан, 16.1-шакл, ёзамиз

$$z_{21}^0 = 180^\circ - z_{12}^0 + s_0 \rho / 2R. \quad (16.48)$$

(16.41) ва (16.45) формулаларидаги масофа S ва томон учун эллипсоидни ўртача эгрилик радиуси R қийматларини, $m_s = 1$ м ва $m_R = 1$ км аниқликда олинганда (бу аниқликни таъминлаш қийинлик туғдирмайди), амалда хатосиз деб ҳисоблаш мумкин. Бундай ҳолда k коэффицентини ушбу формулалар орқали аниқлашни ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг бўлади

$$m_k = \frac{2R}{s_0 \rho} \sqrt{m_{z^0}^2 + m_{z^1}^2 + m_u^2}, \quad (16.49)$$

назарий зенит масофани аниқлашни ўрта квадратик хатоси эса (эллипсоид нормалига нисбатан)

$$m_{z^0} = \frac{\rho}{s} \sqrt{m_h^2 + m_{\Delta N}^2}, \quad (16.50)$$

бу ерда m_h ва $m_{\Delta N}$ - нивелир нисбий баландлиги $h = H^0 - H_1^v$ ни ва квазигеоид нисбий баландлиги $\Delta N = (N_2 - N_1)$ ни аниқлашни ўрта квадратик хатоси.

Нивелир нисбий баландлигини аниқлашни ўра квадратик хатоси етарли аниқликда қуйидаги формула бўйича топилиши мумкин

$$m_h = \mu \sqrt{L}, \quad (16.51)$$

бу ерда μ - 1 км нивелирлаш йўлини ўрта квадратик хатоси; L - нивелир йўлининг узунлиги (км). IV класс нивелирлаш текис ва паст-тепалик жойларда бажарилганда $\mu = 8$ мм/км, $L \approx 1,2$ s, тоғли ҳудудлар учун $\mu = 12$ мм/км, $L \approx 1,2$ s қабул қилиш мумкин, бу ерда s - пунктлар орасидаги томон узунлиги.

Шовун чизикларини оғиши u ва квазигеоидни нисбий баландлиги ΔN нивелирлашда одатда номаълум бўлади. Бу ҳолатда $m_u = u$ ўр ва $\Delta N = \Delta N$ ўр деб қабул қилиш мумкин; бу ерда u ўр ва ΔN ўр – геодезик тармоқ жойлашган ҳудуд учун шовун чизикларини ўртача оғиши ва квазигеоидни ўртача нисбий баландлиги қийматлари. Етарли асосда шовун чизигини ўртача оғиши қийматини қуйидагича қабул қилиш мумкин: текис жойларда u ўр $\approx 3''$, паст-тепа жойларда u ўр $\approx 6''$ ва тоғли жойларда u ўр $\approx 15''$. Квазигеоид нисбий баландлиги $s = 10$ км тенг бўлса текис жойларда ΔN ўр $\approx 0,1$ м, паст – баланд жойларда ΔN ўр $\approx 1,3$ м олиниши мумкин.

Ернинг синдириш коэффиценти хатоси m_k нинг таъсиридан нисбий баландликлардаги хатолар қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$m_{\Delta H(k)} = \frac{s^2}{2R} m_k. \quad (16.52)$$

(16.41) формула бўйича ҳисобланган ернинг синдириш коэффиценти k текис ва нотекис жойларда, шовун чизиги оғиши ва квазигеоид нисбий баландлигини ҳисобга олмаганда, $s = 10$ км ва u

$\ddot{\gamma}_p=3-6''$ учун $m_k \approx 0,02 - 0,05$ ўрта квадратик хато билан аниқланади, бу эса нисбий баландликларда 0,16-0,39 м хатоликка олиб келади. Тоғли жой учун $u_{\ddot{\gamma}_p} \approx 15''$ бўлганда k коэффицентини ҳисоблаш аниқлиги етарли бўлмайди. Аниқ тригонометрик нивелирлашларни бажаришда k коэффицентини аниқлаш хатосини бир пунктдаги йўналишлар учун қуйидаги даражадан оширмай таъминлаш керак $m_k \leq 0,005$; бу эса ҳозирча ҳал этилмаган масаладир.

Ўзаро қарама-қарши зенит масофалар бўйича томон учун ўртача коэффицент k ни аниқлаш. Триангуляция томонининг ҳар иккала учларида ўзаро қарама-қарши зенит масофалар z_{12} ва z_{21} ўлчанган бўлса, ушбу томон учун ўртача коэффицент $\bar{k} = (k_{12} + k_{21})/2$, агарда $k_{12} = k_{21}$ деб олинса (амалда бундай ҳолат бўлмайди), ҳисобланиши мумкин.

(16.8) формулани ҳисобга олиб рефракция бурчаклари учун (16.2-шакл) ёзамиз

$$\left. \begin{aligned} r_{12} &= z_{12}^0 - z'_{12} + u_{12} = k_{12} C/2; \\ r_{21} &= z_{21}^0 - z'_{21} - u_{21} = k_{21} C/2. \end{aligned} \right\} \quad (16.53)$$

Ушбу тенгламаларни ҳадма-ҳад қўшиб ва $z_{12}^0 + z_{21}^0 = 180^\circ + C$ ни ҳисобга олиб триангуляция томони учун тўла рефракция бурчаги σ ни топамиз

$$\sigma = r_{12} + r_{21} = 180^\circ + C - (z'_{12} + z'_{21}) + (u_{12} - u_{21}), \quad (16.54)$$

ёки

$$\sigma = (k_{12} + k_{21}) C/2. \quad (16.55)$$

$C = s_0 \rho / R$ бўлгани учун топамиз

$$\bar{k} = \frac{k_{12} + k_{21}}{2} = 1 - \frac{R}{s_0 \rho} [(z'_{12} + z'_{21}) + (u_{21} - u_{12}) - 180^\circ]. \quad (16.56)$$

z'_{12} ва z'_{21} ларни бевосита ўлчанган зенит масофалар z_{12} ва z_{21} билан алмаштириб (16.31) формулалар асосида якуний топамиз

$$\begin{aligned} \bar{k} &= 1 - \frac{R}{s_0 \rho} [(z_{12} + z_{21}) + (u_{21} - u_{12}) - 180^\circ] - \\ &\quad - \frac{R}{s^2} [(l_1 + l_2) - (i_1 + i_2)]. \end{aligned} \quad (16.57)$$

Тригонометрик нивелирлашда R , s , l ва i қийматлари етарли аниқликда топилиши мумкин. Шунинг учун (16.54) формула бўйича томон учун ўртача ерни синдириш коэффициентни $\bar{k}$ ни ҳисоблашда улар хатосини нол деб қабул қилиш мумкин. Бу ҳолатда қарама-қарши зенит масофаларни бир вақтда ўлчашда томон учун ўртача $\bar{k}$ коэффициентни аниқлашни ўрта квадратик хатоси қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин

$$m_{\bar{k}} = \frac{R}{s_0 \rho} \sqrt{2m_z^2 + m_{\Delta u}^2}. \quad (16.58)$$

$m_z = 1''$ ва $m_{\Delta u} = 0 \div 15''$, пунктлар орасидаги масофалар 5 ва 10 км учун хатолик қуйидаги қийматларини оламиз:

$m_{\Delta u}$	0	1	3	5	10	15
$s=5$ км, $m_{\bar{k}}$	0,009	0,011	0,020	0,032	0,062	0,093
$s=10$ км, $m_{\bar{k}}$	0,004	0,005	0,010	0,016	0,032	0,046

Шундай қилиб (16.54) формула бўйича ўртача коэффициент $\bar{k}$ ни $m_{\bar{k}} \leq 0,01$ ўрта квадратик хато билан аниқлаш учун масофалар $S=5-10$ км бўлганда шовун чизиқларини ўзаро қарама-қарши оғишлари фарқи Δu 1-3'' дан катта бўлмаган хатолик билан аниқланиши керак бўлади, бунда $m_z = 1''$ деб қабул қилинади.

Рефракция ва шовун чизиқлари оғишини баландлик тармоғини тенглашдан қўшма аниқлаш. Тригонометрик нивелирлашда жойда бевосита ўлчанган қийматлар бўлиб кузатилган нишонларни зенит масофалари хизмат қилади. Шунинг учун баландлик тармоғини $\sum p v^2 = \min$ шарти билан тенглаш зарур, бу ерда v - p вазнлар билан ўлчанган зенит масофалар учун тузатмалар.

Қуйидаги белгиларни қабул қиламиз: n - тармоқдаги пунктлар сони; t - берилган баландликка эга бошланғич пунктлар сони; p - ҳар иккала учларида ўзаро қарама – қарши зенит масофалари ўлчанган тармоқдаги томонлар сони; m - шовун чизиқларининг оғиш бурчаклари маълум пунктлар сони. Тармоқни тенглашдан топиладиган номаълум қийматлар сони q ни қуйидаги формуладан аниқлаш мумкин

$$q = (3n + p) - (2m + t). \quad (16.59)$$

Икки томонлама нивелирлашдаги тузатмалар тенгламалари сони N ўлчанган зенит масофалар сонига тенг, у ўз навбатида тармоқдаги томонлар сонини иккиланганига тенг, яъни $N = 2P$. Тармоқда ортиқча ўлчашлар сони қуйидагича топилади

$$S = N - q = 2m + t + p - 3n. \quad (16.60)$$

Бу формулалар бўйича бажарилган ҳисоблашларни кўрсатишича кам миқдордаги учбурчаклардан ташкил топган тармоқларда номаълум қийматларни умумий сони q ўлчанган қийматалар умумий сони N дан кўп. Демак тармоқни $\sum pv^2 = \min$ шарти билан тенглашни ечими йўқ.

16.7. Нормал рефракция вақти

Геодезик тармоқларда зенит масофалар пунктларда, горизонтал йўналишларга ўхшаш, бирин-кетин ўлчанади. Шу сабабли триангуляция ҳар бир томонини ўзаро қарама-қарши зенит масофалари нафақат суткани турли соатларида, балким ҳар хил кунларда ўлчаниши мумкин. Умуман олганда уларни бир вақтни ўзида ўлчаш имкони йўқ. Натижада битта томонни иккала учларидаги рефракция бурчаклари r_{12} ва r_{21} ўз қийматлари бўйича бир-биридан катта фарқ қилади.

(16.35) формула бўйича тўғри ва тескари нисбий баландликлар ўртачасини ҳисоблаб рефракция таъсирида қуйидаги қийматга фарқ қилувчи натижани оламиз

$$\delta h = \frac{k_{21} - k_{12}}{4R} s^2 = \frac{r_{21} - r_{12}}{2\rho} s, \quad (16.61)$$

чунки рефракция бурчакларининг фарқи $\Delta r = r_{21} - r_{12}$ номаълум ва у ҳисобга олинмайди. Умуман олганда $r_{12} \neq r_{21} \neq 0$. Шунинг учун ўлчаш натижаларига рефракция таъсирини камайтириш мақсадида ўзаро қарама-қарши зенит масофалар бир вақтни ўзида ўлчаниши керак (амалда бу бажарилмайди), ёки триангуляция томонлари бўйича рефракция бурчакларининг фарқи Δr ўзгармас бўлган сутка соатларида бажарилиши керак.

Рефракцияни сутка давомида ўзгаришида вертикал рефракция энг кичик қийматга кунни ярмида, энг катта қийматга эса ярим тунда эга бўлади.

Рефракция бурчаклари ва уларнинг фарқи Δr ни доимийлиги турли оби ҳавода, ҳамда ҳар хил кунларда эрталабки ва кечқурунги ҳаво изотермияси вақтида кузатилади. Шу сабабли ушбу вақтлар геодезик тармоқда зенит масофаларни ўлчашни энг қўлай вақти ҳисобланади. Ушбу хулоса 1837 йилда машҳур рус астрономи ва геодезисти В.Я.Струве томонидан катта ҳажмидаги бажарилган амалий ишлар якуни бўйича чиқарилган эди.

Визир нури бир хил қайтариш хусусиятига эга текис жойдан ўтишида ва уни бутун йўли бўйича ҳавони изотермияси тушганда, $\partial T / \partial H = 0$, (8.16) формулага асосан нормал рефракция қуйидагига тенг бўлади

$$r_0 = 0,39 \frac{P}{T^2} s \sin z. \quad (16.62)$$

Ёз ойлари учун $P = 750$ мм см.ст., $T = 288^\circ\text{K}$ ва масофа S ни кмда ифодаланиб нормал рефракцияни тақрибий ҳисоблашни соддароқ формуласини оламиз

$$r_0 = 3,53 s \sin z. \quad (16.63)$$

Келтирилган (16.58) формулани вертикал рефракцияни аниқ ҳисоблаш учун ишлатиб бўлмайди, чунки визир нури ўзини бутун давомида турли ер қопламалари ҳаво изотермияси бир вақтни ўзида тушмайди. Таниқли рус олимлари В.Я.Струве, Н.Я.Цинигер ва И.И.Померанцевлар геодезик тармоқларда зенит масофаларни «нормал» рефракция вақтида, нурни бутун давомида ҳавони изотермиясига яқин ҳолат, ўлчаш зарурлиги ҳақидаги тавсия беришган.

Юқорида номлари келтирилган олимлар тавсиялари қанчалик тўғрилигини конкрет иккита пунктларда олиб борилган кузатишлар натижаси мисолида кўриш мумкин. Йўриқнома кўра “Становое” пунктида зенит масофа r_{12} , масалан, кечқурун соат 17,35 да, бунда рефракция бурчаги $r_{12} = 44,4''$ ташкил қилади, “Петровское” пунктида

эса зенит масова z_{21} соат 11,27 да, рефракция бурчаги $r_{21}=16,4''$ тенг бўлади, ўлчаш мумкин. Бу ўлчашлар натижаларини ишлаб чиқиб топилган тўғри ва тескари нисбий баландликлар ўртача қиймати рефракция таъсиридан қуйидаги хатолик билан топилган бўлади

$$\delta h = \frac{r_{21} - r_{12}}{2\rho} s = \frac{16,4 - 44,4}{2\rho} \cdot 11918 = -0,81\text{м.}$$

Энди шу пунктларда зенит масофаларни ҳаво изотермияси вақтида кузатилганда нисбий баландликни рефракция таъсирида қанча хатоликка эга бўлишини ҳисоблаб топса бўлади. Кузатишлар куни 16 август учун эрталабки t_0^s ва кечқурунги t_0^k ҳаво изотермияси вақтларини тақрибий формулалар бўйича ҳисоблаб топамиз

$$t_0^s = t_{\text{чик.}} + x'_0 = 5,03 + 1,50 = 6,53 \text{ соат};$$

$$t_0^k = t_{\text{бот.}} + x'_0 = 20,08 - 1,50 = 18,58 \text{ соат.}$$

Бунда Қуёшни чиқиши ва ботиш вақтлари “Астрономик йилнома”дан, x'_0 қийматлари эса махсус тузилган графикдан олинishi мумкин.

Ўлчашлар натижаларидан фойдаланиб чизиқли интерполяция орқали рефракция нормал бурчаклари r_{12} ва r_{21} топамиз. “Становое” пунктида $t_0^s=6,53$ учун топамиз $r_{12}^0=57,1''$, кечқурун соат $t_0^k=18,58$ учун - $r_{12(k)}^0=53,1''$

Шундай қилиб ҳавони изотермияси вақтида бажарилган кузатишлар натижаси бўйича тўғри ва тескари нисбий баландликлар ўртачаси учун рефракция хатосининг таъсири қуйидагига тенг бўлди

$$\delta h_0 = \frac{r_{12}^0 - r_{21}^0}{2\rho} s = \frac{57,1 - 53,1}{2\rho} \cdot 11918 = +0,12 \text{ м.}$$

Юқорида олнган натижадар $\delta h = -0,81\text{м}$ ва $\delta h_0 = +0,12\text{м}$ ни ўзаро солиштириб ишонч ҳосил қилиш мумкинки зенит масофаларни нормал рефракция вақтида (Струве бўйича) кузатилса натижалар сўзсиз аниқроқ бўлар экан. Трогонометрик нивелирлашдан нисбий баландликларни тармоқнинг ҳама пунктларида ҳавонинг изотермияси вақтида кузатиш керак бўлади.

Тоғли ҳудудлардаги кузатишларда визир нуруни ер сиртидан эквивалент баландлиги учун тузатма ε_h ни ҳисобга олиш керак

бўлади, уни кечкурунги кузатишлар учун (8.58) формладан аниқлаш мумкин.

16.8. Тригонометрик нивелирлаш натижаларини ишлаб чиқариш

Ўлчанган нисбий баландликлар аниқлигини баҳолаш формулалари. Бир томонлама нивелирлашда (16.24) формула бўйича ҳисобланадиган нисбий баландлик $\Delta = H_2^v - H_1^v$ ни ўрта квадратик хатоси қуйидаги формуладан ҳисобланиши мумкин

$$m_{\Delta H}^2 = m_s^2 \operatorname{ctg}^2 z + m_z^2 s^2 / \rho^2 + m_k^2 s^4 / 4R^2 + m_u^2 s^2 / \rho^2 + m_{\Delta N}^2 + m_i^2 + m_l^2. \quad (16.64)$$

Икки томонлама тригонометрик нивелирлашда (16.36) формула бўйича ҳисобланадиган тўғри ва тескари нисбий баландликлар ўртача ΔH ни ўрта квадратик хатоси агарда тўғри ва тескари зенит масофалар бир вақтни ўзида ўлчанган бўлса, қуйидагига тенг

$$m_{\Delta H}^2 = m_s^2 \operatorname{tg}^2 \frac{z_{21} - z_{12}}{2} + m_z^2 s^2 / \rho^2 + m_k^2 s^4 / 8R^2 + m_u^2 s^2 / 2\rho^2 + m_{\Delta N}^2 + (m_i^2 + m_l^2) / 2. \quad (16.65)$$

Юқоридаги формулаларда: m_s - пунктлар орасидаги масофаларни (s) аниқлаш ўрта квадратик хатоси; m_z - ер синдириш коэффициенти k ни аниқлашни ўрта квадратик хатоси; m_u - шовун чизиклари оғиш бурчаклари u ни аниқлашни ўрта хатоси; $m_{\Delta N}$ - пунктлар орасидаги квазигеоид нисбий баландлигини ($\Delta N = N_2 - N_1$) аниқлаш хатоси; m_i ва m_l - теодолит баландлигини ва кузатиш нишонини пункт марказидан баландлигини аниқлаш хатолари.

(16.61) ва (16.62) формулаларга кирувчи хатолар қийматини қабул қилиб нисбий баландлик ΔH ни кутиладиган ўрта квадратик хатоси қийматини ёки аксинча, нисбий баландлик хатоси қиймати $m_{\Delta H}$ қабул қилиб бошқа хатолар йўл қўйяри чекини аниқлаш мумкин.

Тригонометрик нивелирлаш натижаларини ишлаб чиқиш. Тригонометрик нивелирлаш натижаларини ишлаб чиқиш ўлчаш журналларини текшириш ва ўлчанган зенит масофаларни ҳисоблашдан бошланади; баландлиги ва визирлаш нишони

баландликларини ўлчаш ёки ҳисоблашни текшириш, ҳамда пунктлар орасидаги масофалар s ни ҳисоблаш текширилади.

Кейин тўғри ва тескари зенит масофалар қийматидан фойдаланиб ўзаро ўхшаш ер қопламаси устидан ўтувчи энг узун 10-15 та томонлар бўйича ер синдириш коэффиценти аниқланади ва улар ўртачаси чиқарилади.

Ушбу коэффицент билан бир томонлама нисбий баландлик ҳисобланади, агарда шовун чизиғи оғиш бурчаги ва квазигеоид баландлиги маълум бўлса.

Икки томонлама нисбий баландликлар вазни қуйидаги формула бўйича аниқланади

$$P = \frac{100}{s_{\text{км}}^2}. \quad (16.66)$$

Бир томонлама нисбий баландлик вазни учун тегишли икки томонлама нисбий баландликлар вазнини ярими олинади. Тенглашни қулайлиги учун ҳар бир пунктда нисбий баландликларни бирга келтирилган вазни P' аниқланади

$$P' = P/[P], \quad (16.67)$$

бу ерда $[P]$ - пунктдаги нисбий баландликлар (16.63) вазндарининг йиғиндиси; бунда қуйидаги назорат бажарилиши керак $[P']=1$.

Пунктлар баландликларини тенглаш кетма-кет яқинлашиш усулида бажарилади. Биринчи яқинлашишида баландликлари берилган энг кўп бошланғич пунктлар билан боғланган пунктдан бошланади.

Атрофдаги пунктларга нисбатан аниқланган пункт баландлигини ўрта квадратик хатоси қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$m = \sqrt{\frac{[P'\delta^2]}{n-1}}, \quad (16.68)$$

бу ерда n -ушбу пункт баландлигини аниқлашда фойдаланилган пунктлар сони.

Пункт баландлигини бутун ҳудуд бўйича аниқлашни ўрта квадратик хатоси қуйидаги формуладан топилади

$$M = \sqrt{\frac{\sum m^2}{k}}, \quad (16.69)$$

бу ерда k - тармоқни тенглашдан баландликлари топилган пунктлар сони.

V-бўлим. Текисликда геодезик тармоқларни тенглаш
17-боб. Геодезик тармоқларда дастлабки ҳисоблашлар

17.1. Дастлабки ҳисоблашлар вазифаси. Ўлчанган қийматларни пунктлар маказига келтириш

Дастлабки ҳисоблашларни якуний мақсади геодезик тармоқда ўлчанган, пунктлар марказига келтирилган, қабул қилинган референц – эллипсоид сиртига, ҳамда текисликка Гаусс – Крюгер проекциясида редукцияланган ҳамма қийматлар жамловчи жадвалларини тузишдан иборат. Булардан ташқари, яна энг муҳим вазифаларидан бири, бу ўлчашлар натижаларини ҳар томонлама таҳлил қилиш ва уларни мустақил ва боғлиқли шартли тенгламалар озод ҳадлари бўйича назорат қилишдир. Бунда уларга қўйилган техник талаблардан чекланиш аниқланса тенглашни бошлашдан аввал улар бартараф этилиши керак. Дастлабки ҳисоблашларни биринчи босқичида геодезик тармоқнинг ишчи чизмасини тузиш, дала журналларидаги ҳисоблашларни текшириш, станцияда ўлчанган ва тенгланган қийматлар жамламаси (сводка) ни тузиш, учбурчакларни дастлабки ечиш ва уларни сферик ортиқчаларини ҳисоблаш, марказлаш ва редукция учун тузатмаларни ҳисоблаш, тармоқда ўлчанган қийматларни пунктлар марказига келтириш жамлама жадвалларини тузиш ишлари кўзда тутилади. Булардан ташқари бошланғич пунктлар координаталари ва баландликлари жадваллари, Лаплас пунктларида шовун чизиғини оғиши жадваллари, пунктлар нормал ва геодезик баландликлари жадваллари, Лаплас азимутлари ва базис томонлари узунлиги жадваллари тузилади.

Ер сиртидан эллипсоид сиртига ўлчанган йўналишлар, азимутлар ва томонлар узунлигини редукциялаш эллипсоид сиртига нормал бўйича амалга оширилади. Ўлчанган йўналишлар ва азимутларга қуйидаги тузатмалар киритилади: шовун чизиғини оғиши учун; кузатилган нишонларни референц – эллипсоиддан баландлиги учун (1 - 2 класс триангуляциясида); эллипсоид нормал кесимидан геодезик чизиққа ўтиш учун (фақат 1 класс триангуляциясида). Ўлчанган

томонларни проекциялашда уларни референц – эллипсоиддан баландлиги учун тузатма ҳисобланади.

Референц – эллипсоид сиртидан текисликка Гаусс – Крюгер проекциясида бурчаклар ва чизиклар элементларини редукциялашда, йўналишлар ва азимутларга геодезик чизиклар эгрилигини текисликда тасвирлаш учун тузатмалар, ўлчанган томонлар масштабидаги хатолик учун тузатмалар ҳисобланади.

Учбурчакларни дастлабки ечиш ва сферик ортиқликни ҳисоблаш. Триангуляцияда учбурчакларни дастлабки ечиш марказлаш ва редукция хатолари учун тузатмаларни ҳисоблаш, ҳамда сферик ортиқчалар ва триангуляция пунктларининг дастлабки координаталарини ҳисоблаш учун томонлар узунлигини аниқлаш мақсадида бажарилади. Учбурчаклар синуслар теоремаси бўйича ечилади

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{c}{\sin C} = \frac{b}{\sin B} = q,$$

бундан a томонни бошланғич деб қабул қилиб, топилади

$$b = q \sin B, \quad c = q \sin C.$$

Бошланғич томон учун базис ёки чиқиш томонлари, ҳамда юқори класс триангуляция томони ёки олдинги тенгланган тармоқ томони қабул қилинади. Учбурчаклар ҳар бири 1" гача яхлитланган бурчаклар қиймати бўйича ечилади.

Бир вақтда сферик оортиқчалар ҳам қуйидаги формулаларни бири бўйича ечилади

$$\varepsilon'' = f a b \sin C = f a c \sin B = f b c \sin A,$$

бу ерда $f = \rho / 2R_m^2$; R_m - геодезик тармоқ кенглигидаги эллипсоид ўртача эгрилик радиуси. 2 – 4 класс триангуляциясидаги ҳисоблашларда $s \leq 30$ км учун f қиймати ўртача 0,00253, агарда учбурчаклар томонлари ва R_m қийматлари км да ифодаланган бўлса. Трилатерацияда ҳар бир учбурчакни бурчаклари ҳисобланиши керак. ABC учбурчакда ўлчанган a , b ва c томонлар узунлиги орқали уларга қарши жойлашган бурчакларни қийматлари қуйидаги формулалардан топилиши мумкин

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc};$$

$$\cos B = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac};$$

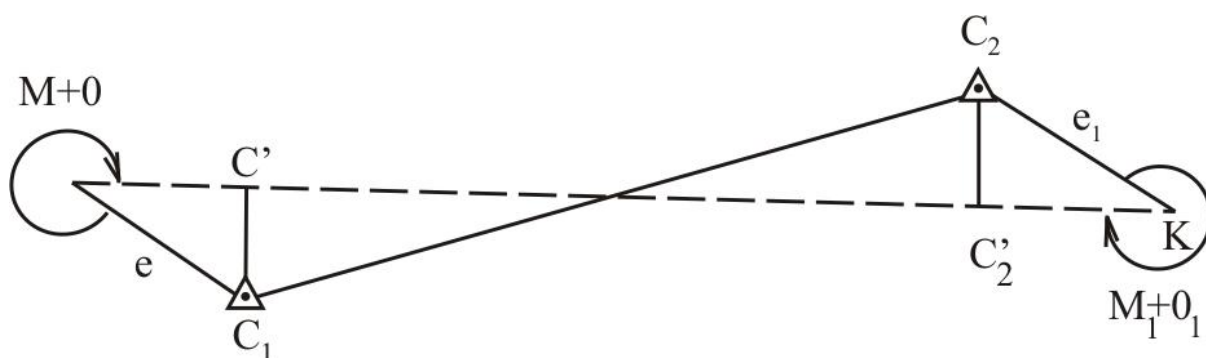
$$\cos C = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}.$$

Йўналишларга марказлаш ва редукция учун тузатмаларни ҳисоблаш. i пунктда ўлчанган M_{ik} йўналишига теодолитни марказлаш хатоси учун тузатма c''_{ik} ва ушбу пунктнинг визирлаш нишони редукцияси учун тузатма r''_{ki} олдин келтирилган (9.42) ва (9.43) формулалар бўйича ҳисобланади. Уларни қўшимча индекс билан қуйидагича ёзамиз

$$\left. \begin{aligned} c''_{ik} &= \frac{e \sin(M_{ik} + \theta)}{s} \rho''; \\ r''_{ki} &= \frac{e_1 \sin(M'_{ik} + \theta_1)}{s} \rho'', \end{aligned} \right\} \quad (17.1)$$

бу ерда (e, θ) ва (e_1, θ_1) - i пунктдаги марказлаш ва редукция элементлари; $M_{ik} \cong M'_{ik}$ - ушбу пунктда ўлчанган йўналишлар; s - i ва k пунктлари орасидаги масофа. Ҳисоблашларда хатоликка йўл қўймаслик мақсадида яна бир маротаба таъкидлаш жоизки, марказлаш учун тузатма c''_{ik} ни i пунктида ўлчанган йўналишлар M_{ik} га, ушбу пункт визирлаш нишони редукцияси учун тузатма r''_{ki} ни эса ўз ишоралари билан бошқа пунктларда ўлчанган тескари йўналишлар M_{ki} га киритилади.

Электрон далномерлар билан ўлчанган чизикларни пунктлар марказига келтириш. Ҳар бир ўлчанган томонни $D' = ik$ ҳар иккала учларида қабул қилувчи ва узатувчи блок (бошқарувчи станция) марказлаш элементлари (e, θ) ва қайтаргич (бошқариладиган станция) редукция элементлари (e_1, θ_1) ни c_1 ва c_2 пунктлар марказларига нисбатан аниқланади (17.1-шакл).



17.1-шакл. Ўлчанган масофаларни пунктлар марказига келтириш схемаси

Марказлаш хатоси учун тузатма $\delta c = ic'_1$ ва редукция учун тузатма $\delta r = c'_2 k$ ни e ва $e_1 > 1$ м бўлганда қуйидаги формулалар бўйича ҳисобланади

$$\left. \begin{aligned} \delta c &= -e \cos(M + \theta) + \frac{e^2 \sin^2(M + \theta)}{2D'_H - e \cos(M + \theta)}; \\ \delta r &= -e_1 \cos(M_1 + \theta_1) + \frac{e_1^2 \sin^2(M_1 + \theta_1)}{2D'_H - e_1 \cos(M_1 + \theta_1)}. \end{aligned} \right\} \quad (17.2)$$

Агар e ва $e_1 < 1$ м бўлса тузатмалар қуйидаги оддийроқ формулалар бўйича ҳисобланади

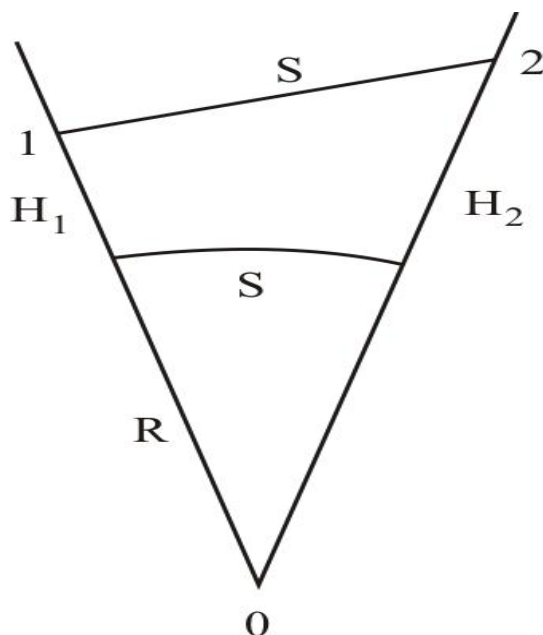
$$\left. \begin{aligned} \delta c &= -e \cos(M + \theta); \\ \delta r &= -e_1 \cos(M_1 + \theta_1). \end{aligned} \right\} \quad (17.3)$$

Пунктлар марказига келтирилган томонлар узунлигини қуйидаги формула бўйича аниқланади

$$D_H = D'_H + \delta c + \delta r. \quad (17.4)$$

17.2. Ўлчанган қийматларни ер юзасидан референц – эллипсоид юзасига редукциялаш

Ўлчанган масофаларни редукциялаш. Ер юзасидаги нуқталарни референц – эллипсоид юзасига унга нормаллар бўйича проекцияланади. Денгиз сатҳидан 2 км баландликда жойлашган 1 ва 2 нуқталар орасидаги $s \leq 100$ км масофа электрон далномер билан ўлчанган бўлса (17.2-шакл),



17.2-шакл. Ўлчанган масофаларни референц-эллипсоидга
редукциялаш схемаси

уни референц – эллипсоид сиртига редукциялагандан кейин қуйидаги формула бўйича ҳисобланадиган S_0 қийматга эга бўлади

$$S_0 = \sqrt{S^2 - \Delta H^2} \left(1 - \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) + \frac{S^3}{24R^2}, \quad (17.5)$$

бу ерда H_1 ва H_2 - ўлчанган S чизик учларининг баландликлари ($\Delta H = H_2 - H_1$); R - ушбу чизикни ўртача B_m кенгликдаги нуқтасида эллипсоид эгрилиги ўрта радиуси:

$$R = a \left(1 - \frac{1}{2} e^2 \cos 2B_m \right), \quad (17.6)$$

бу ерда a - референц эллипсоид катта ярим ўқи; e - эллипсоид меридиан қирқими эксцентриситети; Красовский эллипсоиди учун $a = 6378245$ м, $e^2 = 0,006693422$.

Горизонтал йўналишларни редукциялаш. 1. Шовун чизигининг оғиши учун тузатмалар. Нуқтада ўрнатилган теодолит асбобини вертикал ўқи шовун чизиги бўйича йўналтирилади, ушбу шовун чизиги худди шу нуқтадан ўтувчи нормал чизик билан устма-уст тушмайди. Шунинг учун ўлчанган йўналишлар ва Лаплас азимутларига $A = \alpha - (\lambda - L) \sin \varphi$ шовун чизигининг оғиши учун тузатма δ_1 киритилади

$$\delta_1 = -(\xi \sin A_{ik} - \eta_i \cos A_{ik}) \operatorname{ctg} z_{ik}, \quad (17.7)$$

бу ерда ξ_i ва η_i - тегишлича меридиан ва биринчи вертикал текисликларидаги шовун чизигини оғиши; A_{ik} - тузатма ҳисобланадиган йўналишнинг геодезик азимути; z_{ik} - кузатилаётган нишоннинг зенит масофаси. Тузатма δ_1 ўлчанаётган йўналишни оғиш бурчаги 1° ёки ундан ортиқ бўлса, ҳамда шовун чизиги тўла оғишининг қиймати $u = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ $3''$ дан кам бўлмаса ҳисобланади. Текис жойларда ($z = 90^\circ \pm 1^\circ$) бу тузатмалар деярли нолга тенг. Катта узунликдаги 1 класс триангуляцияси қатори учун бу тузатмалар йўналишларни оғиш бурчаги кичик бўлганда ҳам ҳисобга олиниши керак, чунки давлат ҳудудида геоид (квазигеоид)ни катта тўлқинлари жойлашса, тузатмалар систематик характерга эга бўлади ва уларни таъсири натижасида триангуляция тармоғи деформацияланади. Тоғли ҳудудларда шовун чизигларини оғиш қиймати $30-40''$ гача етиб боради, зенит масофалар эса $84-96^\circ$ ташкил этади. Шунда мисол учун $u=30''$, $A=90^\circ$, $Z=84^\circ$ ($\operatorname{ctg} 84^\circ=0,105$) деб қабул қилиб тузатма $\delta_1=3,15''$ ни топамиз. Шу сабабли тоғли ҳудудларда шовун чизигини оғиш бурчаги учун тузатмаларни нафақат 1-2 класс пунктлари, балким 3-4 класс пунктларида ҳам ўлчанган йўналишларга киритиш керак бўлади.

Кузатиладиган пунктлар баландлиги учун тузатмалар. Ушбу тузатма эллипсоид сиртидан H_2 баландликда жойлашган 1-нуқтадан ўтувчи трубанинг визир текислиги (17.3-шакл) шу нуқтани нормал чизиги орқали эллипс сиртига туширилган проекцияси билан устма-уст туташмаслиги (тўғри келмаслиги)дан келиб чиқади ва у қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$\delta_2 = \rho \frac{H_2}{M_m} \frac{e^2}{2} \cos^2 B_2 \sin 2A_{12}, \quad (17.8)$$

бу ерда $\rho'' = 206265''$, $H_2 = N + H_m^v$ - кузатилаётган 2-нуқтанинг референц – эллипсоид сиртига нисбатан геодезик баландлиги; M - 1 ва 2 нуқталар ўртача кенглигида $B_m = (B_1 + B_2)/2$ меридиан эллипси

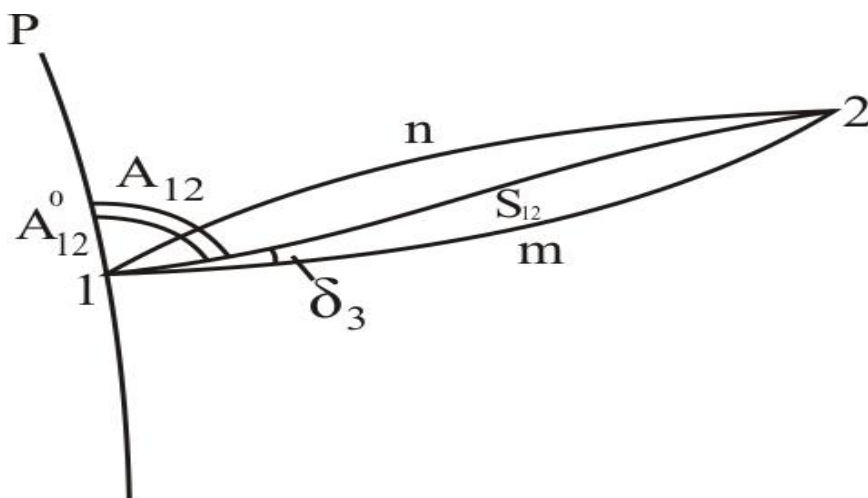
эгрилик радиуси; e - меридиан эллипсининг эксцентриситети; A_{12} - B_2 кенгликдаги 2 – нуқтага қараб ўтувчи йўналиш азимути.

Красовский эллипсоиди учун (17.8) формула қуйидаги кўринишда бўлади

$$\delta_2 = 0,108'' H_2 \cos^2 B_2 \sin 2A_{12}. \quad (17.9)$$

$B = 45^\circ$, $\sin 2A_{12} = 1$ ва $H'_2 = 200$ м, $H''_2 = 1000$ м баландликларга эга нуқталарни қабул қилиб, ушбу нуқталарга бўлган йўналишларга тузатмалар δ_2 ни қуйидаги қийматларини топамиз $\delta'_2 = 0,008''$ ва $\delta''_2 = 0,05''$. тоғли ҳудудларда δ_2 тузатмалари 1 ва 2 класс геодезик тармоқларни қуришда ҳисобга олинади.

Эллипсоид нормал қирқими азимутидан геодезик чизик азимутига ўтиш учун тузатмалар. Эллипсоид сиртда геодезик масалаларни ечишда тўғри ва тескари нормал қирқимлар ўрнига 1 ва 2 нуқталарни энг калта масофа бўйича туташтирувчи геодезик чизик s_{12} фойдаланади (17.3-шакл).



17.3-шакл. Эллипсоид нормал қирқими азимутидан геодезик чизик азимутига ўтиш учун тузатмалар

Бунда нормал қирқим $1m2$ азимути A_{12}^0 дан геодезик чизик s_{12} азимутига ўтиш эҳтиёжи туғилади $A_{12} = A_{12}^0 - \delta_3$, бу ерда δ_3 қуйидаги формула орқали ҳисобланади

$$\delta_3 = -\rho \frac{e^2 s^2}{12 N_m^2} \cos^2 B_m \sin 2A_{12}, \quad (17.10)$$

бу ерда e - референц - эллипсоид меридиан эллипсининг эксцентриситети; s - геодезик чизик узунлиги (км); N_m - 1 ва 2 нукталар ўртача кенглиги $B_m = (B_1 + B_2)/2$ да биринчи вертикал эгрилик радиуси (км); A_{12}° - тўғри нормал қирқим азимути.

Красовский эллипсоиди учун (17.10) формула қуйидаги кўринишда бўлади

$$\delta_3 = -2,82'' \cdot 10^{-6} s^2 \cos B_m \sin A_{12}. \quad (17.11)$$

Бу тазатмалар жуда кичик. Масалан, $s=30$ км, $B=45^\circ$ ва $\sin 2A_{12}^\circ = 1$ деб қабул қилиб (17.11) формуладан топамиз $\delta_3 = 0,001''$. Шунга кўра бу тазатмалар фақат 1 класс тармоқларида ҳисобга олинади.

2 - 4 класс трангуляциясида, агар у текис ҳудудларда қурилса ($Z = 90^\circ \pm 1^\circ$) ва пунктлар геодезик баландлиги $H \leq 1$ км бўлганда δ_1 , δ_2 ва δ_3 тазатмалар бурчакларни ўлчаш аниқлиги $m_\beta = 1 \div 2''$ га қараганда анча кичик шунга кўра уларни ҳисобга олмаслик мумкин.

17.3. Ўлчанган қийматларни эллипсоиддан текисликка редукциялаш

Масофаларни редукциялаш. Эллипсоид сиртидаги триангуляция томони узунлиги S бўлсин. Ушбу томонни Гаус – Крюгер проекциясида горизонтал текисликдаги узунлиги s , агарда $S \leq 30$ км бўлса, етарли аниқликда қуйидаги формулани қавс ичидаги бўйича ҳисобланиши мумкин

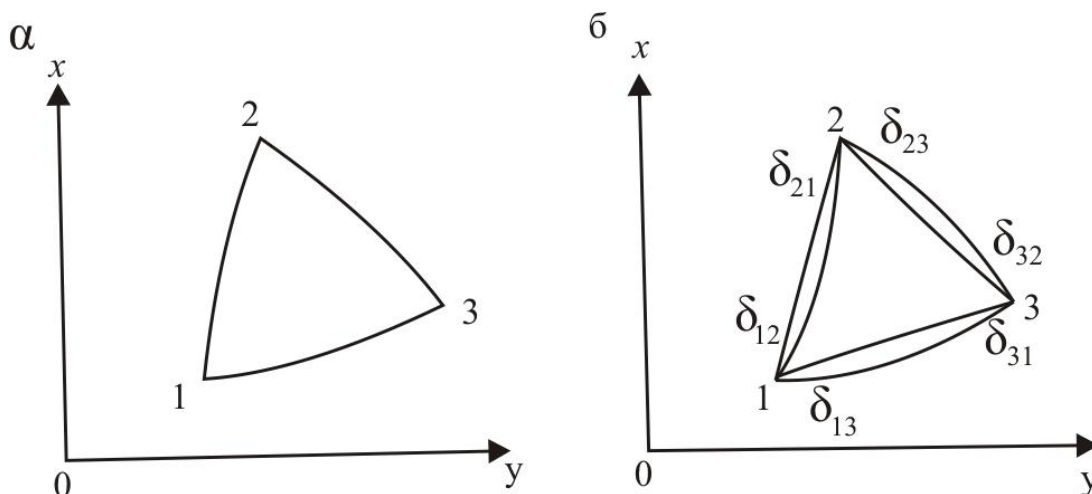
$$s = S + \Delta S = S + f' s (y_m^2 + \frac{\Delta y^2}{12}), \quad (17.12)$$

бу ерда $f' = \frac{1}{2R_m^2}$; $y_m = (y_1 + y_2)/2$; $\Delta y = y_2 - y_1$. Агарда $30 \leq S \leq 60$ км

бўлса янада аниқроқ ҳисоблаш формуласи ишлатилади; агарда $S \leq 10$ км бўлса юқоридаги (17.12) формула иккинчи ҳадисиз ишлатилади.

Гаусс – Крюгер текисликдаги проекциясида геодезик чизик эгрилигини тасвирлаш хатоси учун йўналишларга тазатмалар. Гаусс – Крюгер проекциясида учбурчаклар томонлари текисликда эллипсоид сиртига ўхшаш эгри чизиклар билан тасвирланади (17.4-шакл). Текисликдаги томонлари эгри чизиклардан иборат

учбурчакларни ечиш анча мураккаб. Шунинг учун ҳисобга олиб бундай учбурчаклар учлари тўғри чизиклар билан туташтирилиб аналитик геометрия формулаларидан фойдаланиб ечилади. Бунда эгри чизиклар орасидаги бурчаклардан улар учларини туташтирувчи ватарлар орасидаги бурчакларга ўтиш керак бўлади. Бунинг учун ҳар бир



17.4-шакл. Эллипсоиддаги (а) ва Гаусс-Крюгер проекцияси текислигидаги (б) учбурчак

ўлчанган йўналиш N_{ik} га Гаусс – Крюгер проекциясида геодезик чизикни текисликда тасвирлаш хатоси учун тузатма δ_{ik} билан тузатилади.

2 - 4 класс триангуляциясида тўғри ва тескари йўналишларга тузатмалар қуйидаги формулалар бўйича ҳисобланади

$$\left. \begin{aligned} \delta_{12} &= \frac{1}{3} f(x_1 - x_2)(2y_1 + y_2); \\ \delta_{21} &= -\frac{1}{3} f(x_1 - x_2)(2y_2 + y_1), \end{aligned} \right\} \quad (17.12)$$

бу ерда $f = \rho/2R^2$; x, y - пунктларнинг тақрибий координаталари (км). Ординаталар y_1 ва y_2 проекцияни ўқ меридианидан бошлаб ҳисобланади[5].

1 класс триангуляциясида булардан аниқроқ формулалардан фойдаланади. Бурчак учини нуқталари 1, 2, 3 бўлган учбурчакда (17.4^б-шакл) бурчаклар учун тузатмалар δ_i қуйидаги айирмалар бўйича топилади

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \delta_{13} - \delta_{12}; \\ \delta_2 &= \delta_{23} - \delta_{21}; \\ \delta_3 &= \delta_{32} - \delta_{31}. \end{aligned} \right\} \quad (17.13)$$

Йуналишлар учун тузатмалар δ_{ik} ни ҳисоблаш назорати бўлиб қуйидаги ҳисобланади: $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = -\varepsilon$, бу ерда ε - учбурчакдаги сферик ортиқча.

Геодезик азимутлардан дирекцион бурчакларга ўтиш. Текисикдаги 1 ва 2 нуқталарни туташтирувчи S_{12} ватарни дирекцион бурчаги α_{12} эллипс сиртидаги ушбу нуқталар орасидаги геодезик чизиқни берилган A_{12} азимутидан фойдаланиб қуйидагича ҳисобланади

$$\alpha_{12} = A_{12} - \gamma_1 + \delta_{12}, \quad (17.14)$$

бу ерда γ_1 - текисликдаги 1 нуқтада меридианлар яқинлашиш бурчаги; δ_{12} - геодезик эгри чизиқни текисликда тасвирлаш учун тузатма.

γ қийматини $0,01''$ аниқликда қуйидаги формула бўйича ҳисоблаш мумкин

$$\gamma = l \sin B + \frac{l^3}{3\rho^2} \sin B \cos^2 B (1 + 3\eta^2), \quad (17.15)$$

бу ерда l - Гаусс – Крюгер проекциясидаги зона ўқ меридиани узоқлиги L_0 билан 1 нуқта геодезик узоқлиги L_1 фарқи; B - 1 нуқтанинг геодезик кенглиги; $\eta^2 = e'^2 \cos^2 B$; e' - эллипсоиднинг иккинчи эксцентриситети (Красовский эллипсоиди учун $e'^2 = 0.006738525415$).

γ қийматини $0,01''$ аниқликда қуйидаги формула бўйича ҳисоблаш мумкин

$$\gamma = l \sin B + \frac{l^3}{3\rho^2} \sin B \cos^2 B, \quad (17.16)$$

$0,1'$ аниқликгача эса қуйидаги формуладан топилади

$$\gamma = l \sin B.$$

Шуни айтиш керакки γ олдидаги ишора узоқликлар айирмасининг ишорасига $l = L - L_0$ тўғри келади.

Дастлабки ҳисоблашларни якуний босқичи. Юқорида айтилгандек дастлабки ҳисоблашларни якуний мақсади геодезик тармоқни тенглаш учун бошланғич геодезик ўлчаш натижаларини тайёрлашдир. Дастлаб масштабда геодезик тармоқ чизмаси чизилиб унда бошланғич пунктлар ва ҳамма ўлчанган йўналишлар, азимутлар, томонлар узунлиги ва бошқалар кўрсатилади. Кейин бошланғич пунктларнинг координаталари каталоги тузилади. Ҳамда референц – эллипсоид сиртига ва Гаусс – Крюгер проекциясида текисликка редукцияланган ва пунктлар марказига келтирилган йўналишлар, томонлар узунлиги, Лаплас азимутлари жадваллари тузилади. Дастлабки ҳисоблашлар босқичида қуйидагилар аниқланган бўлиши керак: пунктларнинг геодезик ва нормал баландликлари, редукциялаш тузатмаларини ҳисоблаш учун керакли шовун чизиғи оғишини ташкил қилувчилари ξ ва η .

Дастлабки ҳисоблашларни асосий вазифаларидан бири тармоқда бажарилган геодезик ўлчашлар натижалари техник талабларни қаноатлантиришини текширишдан иборат. Бунинг учун тармоқда ҳосил бўладиган боғлиқ бўлмаган ва боғлиқ шартли тенгламалар озод ҳадлари ҳисобланади ва улар қийматлари белгиланган чекли қийматлардан ошмаслиги керак. Кейин ўлчанган қийматларни ўрта квадратик хатоси, ҳамма шартли тенгламалар озод ҳадлари қийматларидан фойдаланиб, аниқланади ва улар белгиланган чекли қийматлар билан солиштирилади.

Дастлабки ҳисобларнинг якуний мақсади қабул килинган референц эллипсоид юзасига ва Гаусс-Крюгер проекцияси юзасига редукцияланган ва пунктлар марказига келтирилган геодезик тармоқда барча ўлчанган микдорларнинг маълумотлар жадвалини тузишдан иборат. Бундан ташқари муҳим масалалардан бири ўлчаш натижаларини таҳлил қилиш ва барча мустақил, ҳамда мустақил булмаган шартли тенгламаларнинг озод ҳадлари бўйича уларни назорат қилиш ҳисобланади. Уларга қўйилган талаблардан топилган

четлашишларни тенглаштириш ҳисобларини бошлашдан олдин тузатиш керак бўлади.

Дастлабки ҳисоблар геодезик тармоқнинг ишчи схемасини тузиш, дала журналларидаги ҳисоблашларни текшириш, станцияда ўлчанган ва тенглаштирилган микдорлар масштабини тузиш, учбурчакларни дастлабки ечиш ва уларнинг сферик ортиқчасини ҳисоблаш, асбобни марказлаштириш тузатмасини ҳисоблаш ва визир нишонни редукциялаш, тармоқда ўлчанган микдорларнинг пунктлар марказига келтирилган маълумотлар жадвалини тузиш кузда тутилади. Ҳамда бошлангич пунктлар координаталари ва баландлик жадвалини, Лаплас ва бошқа пунктларда шовун чизигини оғиши жадвали, Лаплас азимутлари ва томон узунлиги жадвали, нормал ва геодезик баландликлар жадваллари тузилади.

Ер юзасидан эллипсоид юзасига ўлчанган йўналишлар, азимутлар ва томонлар узунлигини редукциялаш унгла нормаллар бўйича бажарилади. Ўлчанган йўналиш ва азимутларга тузатмалар киритилади: шовун чизигининг оғиши учун, референц-эллипсоиддан (1-2 класс триангуляциясида) кузатиладиган нишонлар баландлиги учун, эллипсоид нормал кесимидан геодезик чизиқга ўтиш учун (фақат 1-класс триангуляциясида). Ўлчанган томонларни лойиҳалашда референц-эллипсоиддан уларнинг баландлиги учун тузатма ҳисобланади.

Бурчакли ва чизиқли элементларни референц-эллипсоид юзасидан Гаусс-Крюгер проекцияси юзасига редукциялашда йўналиш ва азимутларга геодезик чизиқни текисликда тасвирлашда эгрилик учун, ўлчанган томонлар масштабини бузилиши учун тузатма ҳисобланади.

18-боб. Геодезик тармоқларни коррелат усулида тенглаштириш

18.1. Умумий ҳолат

Геодезик тармоқларни барпо этишда янгидан аниқланадиган пунктларнинг координаталарини ҳисоблаш учун бошланғич пунктлар координаталари, томонлар узунлиги ва азимутлари, ҳамда учбурчакларнинг ўлчанган бурчаклари ва томон узунлигининг зарурий сони (ҳар бир учбурчакда иккита бурчак ва иккита томон) маълум бўлиши лозим. Бу ҳолатда пунктлар координаталар назоратсиз, катта ҳатолик билан аниқланади. Бунда ҳатоликларни аниқлаш, тузаташ ҳамда тармоқнинг у ёки бу элементини аниқлигини баҳолашнинг имкони бўлмайди. Бу камчиликларни тузатиш ҳамда тармоқни барпо этиш аниқлигини ошириш учун унда горизонтал бурчакларни, томонлар узунлигини ва томон азимутларини ортиқча ўлчаш деб аталувчи катта ҳажмдаги ўлчаш ишлари бажарилади.

Юқори классдаги тармоқ паст классдаги билан зичлаштирилганда (тўлдирилганда) бурчак, томон узунликлари ва томон азимутларини ортиқча ўлчашдан ташқари зичлаштириш тармоғини тенглаштирганда ўзгартириши мумкин бўлмайдиган ортиқча бошланғич маълумотлар ҳам пайдо бўлади. Бунга юқори класс тармоғи пунктларининг координаталари, томонлар узунлиги ва дирекцион бурчаклари киради.

Геодезик тармоқларда ортиқча ўлчанган миқдорлар ва ортиқча бошланғич маълумотлар бўлганда уларда пайдо бўладиган геометрик шартлар бўйича тенглаштириш зарурати туғилади. Геодезик тармоқларни одатда энг кичик квадратлар усули бўйича тенглаштирилади, бунда:

- 1) тармоқдаги ўлчанган барча миқдорлар (йўналишлар, азимутлар, томонлар узунлиги ва ҳ.к.) мустақил ҳисобланади;
- 2) ўлчаш натижалари систематик ҳатолардан озод бўлади;
- 3) ўлчашдаги тасодифий ҳатоларни математик кутилиши нолга тенг бўлиб, нормал тақсимот қонунига бўйсинади.

Ҳар бир пунктда бурчак ўлчаш натижаларининг мустақиллиги, ҳамда приёмлардаги азимутал аниқлашлар, аниқ дастур бўйича, приёмлар орасида лимбни қайта ўрнатиш билан таъминланади. Қолган иккита талаб тўлиқ ўлчамда бажарилмайди. Шунинг учун геодезик тармоқларни тенглаштириш математик нуқтаи назардан мукамал бўлиши учун дала ишлари босқичидаёқ иккинчи ва учинчи талабларни бажаришга қаратилган барча чораларни кўриш лозим. Акс ҳолда геодезик тармоқни тенглаштиришда энг кичик квадратлар усули формал фойдаланилган бўлади.

Геодезик тармоқларни энг кичик квадратлар усули билан тенглаштиришининг иккита классик усули мавжуд: коррелата ва параметрик. Математик нуқтаий назардан бу усуллар эквивалент бўлиб, тармоқни тенглаштирилган элементларнинг бир хил қийматларини беради. Аммо техник-иктисодий нуқтаси назардан бу усуллар муайян шароитга боғлиқ ҳолда бир хил ҳисоблаш воситаларидан фойдаланганда ҳам барабар бўлмаслиги мумкин.

Масалан, ўлчами бўйича катта тармоқлар ёки бошланғич пунктлари ва диагональ йўналишлари кўп бўлган кичик тармоқларни ЭҲМда коррелата усулига қараганда параметрик усулда тенглаштириш мақсадга мувофиқ бўлади, чунки биринчи ҳолатда тенглаштириш алгоритми иккинчи ҳолатга қараганда оддийдир, ҳисоблаш операциялари эса бир хил, бу эса ЭҲМда ишлашда жуда муҳим.

Коррелата усулида кўплаб мантиқий (логик) операциялар мавжуд (шартли тенгламаларнинг турлари) улар сезирарли даражада ЭҲМ учун дастур тузишни мураккаблаштиради ва тенглаштиришда катта вақт ва меҳнатни талаб этади. Шунинг учун ҳар бир муайян ҳолатда геодезик тармоқларни тенглаштириш усулин танлашда геодезик тармоқ ўлчами ва мураккаблиги, ҳамда мавжуд ҳисоблаш воситаларини ҳисобга олган ҳолда ижодий ёндашилади.

18.2. Триангуляцияда шартли тенгламалар сони

Триангуляция тармоқлари йўналишлар ва бурчаклар бўйича тенглаштирилади. Энг кичик квадратлар принципига мувофиқ

тенглаштиришдан барча ўлчанган миқдорларга тузатмалар аниқлаш лозим. Юқорида таъкидланганидек триангуляцияда пунктларда кузатиш натижалари йўналишлар қатори кўринишида бўлади. Шунинг учун триангуляция ва полигонометрия тармоқлари йўналишлар бўйича тенглаштирилади. Айрим ҳолларда йўналишлар ўрнига бурчаклар тенглаштирилади, улар йўналишлар фарқидан топилади ва шунинг учун мустақил бўлмаган миқдорлар ҳисобланади. Тенглаштириш ҳисоблари жараёнида бу боғлиқлик ҳисобга олинмайди, бунинг натижасида тармоқни тенглаштирилган элементларида айрим бузилишлар пайдо бўлади, айниқса аниқликни баҳолашда. Бу ҳолатни юқори аниқ геодезик тармоқларни барпо этишда ҳисобга олиш лозим.

Геодезик тармоқларни коррелата усули билан тенглаштиришида мустақил шартли тенгламалар сонини ва турини беҳато аниқлаш катта аҳамиятга эга. Бирорта ҳам мустақил шартли тенглама ўтказиб юборилмаслиги керак, ортиқчалари эса киритилмаслиги керак.

Умумий ҳолда геодезик тармоқларда мустақил бўлмаган шартли тенгламалар сони ундаги ортиқча ўлчашлар сони билан бошланғич пунктлар координаталари ёки улар бўйича ҳисобланган бошланғич (қаттиқ) томонларнинг узунликлари ва дирекцион бурчаклари кўринишида берилган ортиқча бошланғич (қаттиқ) элементлар сони йиғиндисига тенг.

Геодезик тармоқ фақат битта бошланғич пунктга эга бўлиб, керакли миқдорда базис томонлар, азимутлар, горизонтал йўналишлар ёки тармоқни барча томонлари узунликлари ўлчанган бўлса, уни *нол-озод геодезик тармоқ* деб аташ қабул қилинган.

Озод триангуляция тармоғини $\sum p v^2 = \min$ шarti остида тенглаштирилганда тўла бажарилиши лозим бўлган қуйидаги геометрик шартлар пайдо бўлиши мумкин: шакллар шarti (учбурчаклар ёки кўп бурчаклар), горизонт (бурчаклар тенглаштирилганда), кутб, проекция, базис ва азимутлар (дирекцион бурчак) шартлари.

Амалиётда янгидан барпо этилаётган паст классда тармоғи юқори классдаги тармоқнинг томонига ёки пунктларига таянади. Бу ҳолда

юқори классдаги тармоқ бошланғич пунктларнинг координаталари, бошланғич томонлар узунлиги ва дирекцион бурчаклари, янгидан барпо этилаётган тармоқни тенглаштирганда ўзгармас бошланғич маълумотлар сифатида қабул қилинади.

Шундай *озод бўлмаган триангуляция тармоғида* ундаги ўзгармас деб қабул қилинадиган элементлар билан бирга (пунктлар координатаси, юқори класс тармоғи томонинг узунлиги ва дирекцион бурчаги) озод тармоқдаги каби шартли тенгламаларнинг турлари пайдо бўлишидан ташқари, координатлар (абсцисса ва ордината) шarti пайдо бўлиши мумкин.

Геодезик тармоқларни $\sum p v^2 = \min$ шarti остида тенглаштирганда тармоқни барча бевосита ўлчанган миқдорларига: горизонтал йўналишлар, томонлар узунлиги азимутлари ва х.қ.ларга, ҳар бир ўлчанган миқдорнинг вазни ҳисобга олиниб тузатмалар аниқланади. Озод бўлмаган тармоқларда бошланғич координаталарга, узунликларга ва дирекцион бурчакларга тузатмани нолга тенг деб қабул қилинади, яъни у аниқланмайди.

Озод ва озод бўлмаган триангуляция тармоқларида пайдо бўладиган шартли тенгламаларни қуйида кўриб чиқилади.

Шакл шarti. Ёпиқ шаклда, унинг барча бурчаклари ўлчанган бўлса, бу бурчакларнинг тенглаштирилган назарий қийматлари йиғиндиси қуйидагига тенг бўлиши лозим

$$\sum \beta = (n - 2)180^0, \quad (18.1)$$

бу ерда n - ёпиқ шаклни ҳосил қилувчи, томонлар сони.

Триангуляцияни тенглаштиришни иккита ҳолатини фарқлаймиз: биринчи ҳолатда, тармоқ бурчаклар бўйича тенглаштирилади, бунга бурчаклар мустақил деб ҳисобланади, ва иккинчи ҳолатда тармоқ йўналишлар бўйича тенглаштирилади.

Учлари 1,2 ва 3 бўлган учбурчакни (18.1-шакл) тенглаштирилган бурчакларини римча *I, II, III* рақамлар билан, уларнинг ўлчанган қийматларини эса 1,2,3 рақамлар билан белгилаймиз, тенглаштиришдан бурчакларга тузатмаларни қавсга олинган араб рақамлари билан белгилаймиз, яъни бурчакларни тенглаштиришда ёзамиз

$$\begin{aligned}
 I &= 1 + (1); \\
 II &= 2 + (2); \\
 III &= 3 + (3).
 \end{aligned}
 \tag{18.2}$$

Ҳар бир учбурчакда иккита бурчак зарурий миқдор ҳисобланади, учинчиси эса ортиқча. Тармоқни бурчаклар бўйича тенглаштиришда $I + II + III = 180^\circ$ бўлганлиги сабабли шартли тенгламалар учбурчак учун қуйидаги кўринишда ёзилади

$$(1) + (2) + (3) + \omega = 0, \tag{18.3}$$

бу ерда озод ҳад

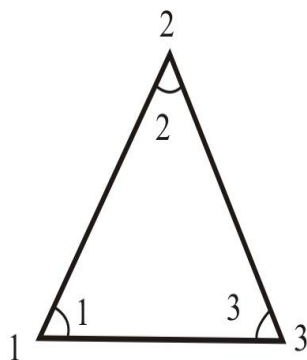
$$\omega = 1 + 2 + 3 - 180^\circ. \tag{18.4}$$

Агар бурчаклар эллипсоид юзасида берилган бўлса

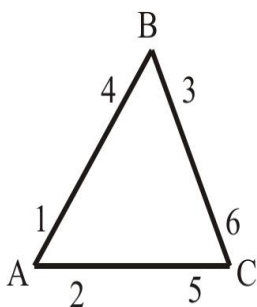
$$\omega = 1 + 2 + 3 - (180^\circ + \varepsilon), \tag{18.5}$$

бу ерда ε - учбурчакнинг сферик ортиқчаси

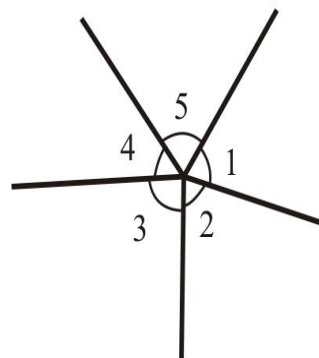
Йўналишларни ўлчашда ва тенглаштиришда ҳар бир бурчакни тегишли йўналишлар фарқи билан ифодалаш лозим.



18.1-шакл. Бурчаклари ўлчанган учбурчак



18.2-шакл. Йўналишлари ўлчанган учбурчак



18.3-шакл. Горизонт шартини ҳосил қилувчи бурчаклар

Ҳар бир пунктда йўналишларни соат мили йўналиши бўйича номерлаш қабул қилинган.

ABC учбурчакда йўналишларни ўлчаб уларни тенглаштириш учун шакл шартли тенграмаси (18.2-шакл) қуйидаги кўринишда ёзилади

$$-(1) + (2) - (3) + (4) - (5) + (6) + \omega = 0, \tag{18.6}$$

бу ерда

$$\omega = [2 - 1] + [4 - 3] + [6 - 5] - 180^\circ. \tag{18.7}$$

Горизонт шарти. Агар пунктда, масалан, марказий система кутбида (18.3-шакл) барча ёнма-ён жойлашган йўналишлар орасидаги бурчаклар ўлчанган бўлса, уларни тенглаштирилган қийматларининг йиғиндиси 360^0 га тенг бўлиш лозим. Горизонт шарти триангуляцияни фақат бурчаклар бўйича тенглаштиришда пайдо бўлади.

Бу ҳолда горизонт шарти қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$(1)+(2)+(3)+(4)+(5)+\omega=0, \quad (18.8)$$

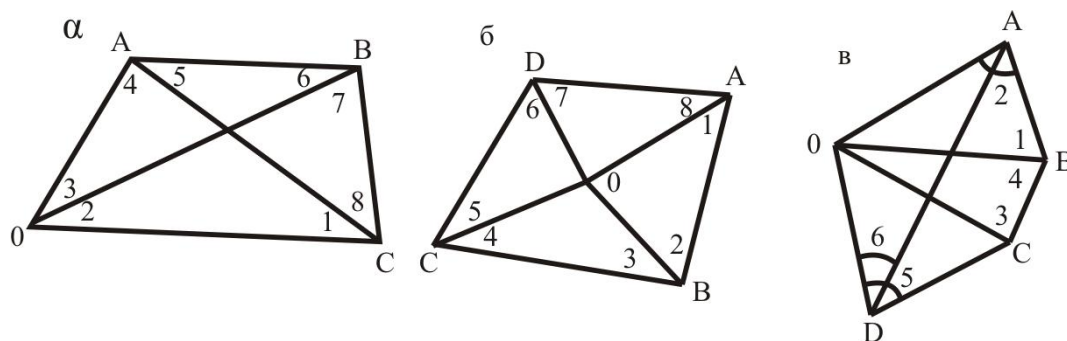
бу ерда

$$\omega=1+2+3+4+5-360^0. \quad (18.9)$$

Триангуляцияни йўналишлар бўйича тенглаштиришда горизонт шарти пайдо бўлмайди ва у тенглаштиришга киритилмайди, чунки бу ҳолда горизонт шартини озод ҳадлари ҳамма вақт нолга тенг.

Бироқ пунктларда йўналишлар ўлчаниб, тармоқ бурчаклар бўйича тенглаштирилса, тенгламалар озод ҳадларининг нол бўлишига қарамасдан горизонт шартини тузиш ва ҳисобга олиш зарур. Акс ҳолда пунктда тенглаштирилган бурчаклар йиғиндиси 360^0 га тенг бўлмайди.

Қутб шарти. Геодезик тўртбурчакда ва марказий системада битта томон ортиқча ҳисобланади. Шунинг учун бундай шаклларда қутб шарти пайдо бўлади, унинг моҳияти қуйидагича бўлади.



18.4-шакл. геодезик тўртбурчак (а) ва ўлчанган бурчаклари билан марказий системалар (б), (в)

Марказий система (геодезик тўртбурчак) O кутбида шартли равишда бошланғич деб қабул қилинган, масалан, OA томон узунлигига учбурчакларни тенгланган бурчаклари (йўналишлари)

бўйича кетма-кет ечиш натижасида иккинчи марта ҳисоблаб топилган натижа тенг чиқиши лозим.

Бу талаб учбурчак томонларнинг нисбати орқали ифодаланиши мумкин. Геодезик тўртбурчакда (18.4,а-шакл) қутб сифатида O нуқтани қабул қиламиз. Бунда қутб шарти қуйидаги тенглик кўринишида ёзилади

$$\frac{OA \cdot OB \cdot OC}{OB \cdot OC \cdot OA} = 1 . \quad (18.10)$$

Томонлар нисбатини учбурчакни қарама-қарши бурчаклари синуслари нисбати билан алмаштириб (18.10) тенглама ўрнига ёзамиз

$$\frac{\sin VI \sin(I + VIII) \sin IV}{\sin(IV + V) \sin VII \sin I} . \quad (18.11)$$

Марказий система учун (18.4,б-шакл) қутб сифатида O нуқтани қабул қиламиз ва қутб шартини олдин учбурчак томонларини нисбати кўринишида ёзамиз

$$\frac{OA \cdot OB \cdot OC \cdot OD}{OB \cdot OC \cdot OD \cdot OA} = 1 ,$$

сўнгра қарама-қарши бурчакларни синусларининг нисбати кўринишида ёзамиз

$$\frac{\sin II \sin IV \sin VI \sin VIII}{\sin I \sin III \sin V \sin VII} = 1. \quad (18.12)$$

Олдингига ўхшаш тенглаштирилган X_i қийматларни ўлчанган x_i миқдорлар ва v_i тузатмалар йиғиндисидан топамиз

$$X_i = x_i + v_i . \quad (18.13)$$

$X_1, X_2, \dots, X_n$ — миқдорларни боғловчи шартли тенгламасини умумий кўринишда ёзамиз

$$F = (X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 . \quad (18.14)$$

X_i миқдорларни x_i ва v_i йиғиндилари билан алмаштирамиз. Шунда

$$F = (x_1, x_2, \dots, x_n) + \omega = 0 , \quad (18.15)$$

бу ерда ω -шартли тенглама боғланмаслиги (озод ҳади).

(18.14) ифодани (18.13)ни ҳисобга олган ҳолда Тейлор қаторига ёйиб биринчи тартибли кичиклар билан чегараланамиз. Натижада оламиз

$$F = (x_1 + v_1, x_2 + v_2, \dots, x_n + v_n) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) + \frac{\partial F}{\partial x_1} v_1 + \frac{\partial F}{\partial x_2} v_2 + \dots + \frac{\partial F}{\partial x_n} v_n = 0$$

ёки

$$\sum \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right) v_i + \omega = 0 \quad (18.16)$$

бу ерда

$$\omega = F(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (18.17)$$

(18.16) ифода геодезик тармоқларни тенглаштиришда қабул қилинган каби, чизикли кўринишига келтирилган шартли тенгламаларнинг умумий кўринишидан иборат бўлади.

Геодезик тўртбурчакда (18.4а-шаклга қаранг) (18.11) кутб шартли тенграмасини чизикли кўринишига келтириш учун белгилаймиз

$$F = \frac{\sin VI \sin(I + VIII) \sin IV}{\sin(IV + V) \sin VII \sin I}.$$

(18.16) ифодага мувофиқ ҳар бир ўлчанган β бурчак бўйича F дан хусусий ҳосила оламиз, сўнгра ҳар бир ҳосилани $\sin \beta$ га кўпайтирамиз ва бўламиз. Натижада тармоқни бурчаклар бўйича тенглаштириш ҳолати учун оламиз

$$\begin{aligned} & \text{ctg } 6(6) + \text{ctg } (1+8)(1) + \text{ctg } (1+8)(8) + \text{ctg } 4(4) - \text{ctg } (4+5)(4) - \\ & - \text{ctg } (4+5)(5) - \text{ctg } 7(7) - \text{ctg } 1(1) + \omega = 0, \end{aligned} \quad (18.18)$$

бу ерда тенграманинг озод ҳади қуйидагига тенг

$$\omega = \left(\frac{\sin 6 \sin(1+8) \sin 4}{\sin(4+5) \sin 7 \sin 1} - 1 \right) \rho'' = \left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2} - 1 \right) \rho = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_2} \rho'' . \quad (18.19)$$

Ушбу ҳолда Π_1 ва Π_2 -бурчак синусини сурат ва махражга кўпайтмаси.

(18.18) ифодада бир хил тузатмаларда ўхшаш ҳадларни келтиришни бажариб, геодезик тўртбурчакда кутб шартли тенграмасини якуний курунишида ёзамиз

$$\begin{aligned} & [\text{ctg } (1+8) - \text{ctg } 1](1) + [\text{ctg } 4 - \text{ctg } (4+5)](4) - \\ & - \text{ctg } (4+5)(5) + \text{ctg } 6(6) - \text{ctg } 7(7) + \text{ctg } (1+8)(8) + \omega = 0 \end{aligned} \quad (18.20)$$

Марказий система учун (18.4,б-шаклга қаранг) кутб шартли тенграмаси (18.12) уни бурчаклар бўйича тенглаштирилганда қуйидаги кўринишида ёзилади

$$\begin{aligned} & - \text{ctg } 1(1) + \text{ctg } 2(2) - \text{ctg } 3(3) + \text{ctg } 4(4) - \text{ctg } 5(5) + \\ & + \text{ctg } 6(6) - \text{ctg } 7(7) + \text{ctg } 8(8) + \omega = 0, \end{aligned} \quad (18.21)$$

бу ерда

$$\omega = \left(\frac{\sin 2 \sin 4 \sin 6 \sin 8}{\sin 1 \sin 3 \sin 5 \sin 7} - 1 \right) \rho = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_2} \rho'' . \quad (18.22)$$

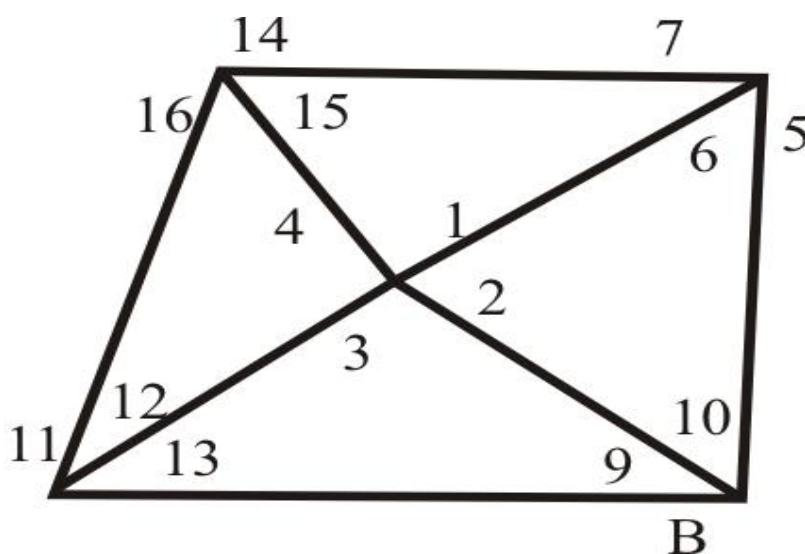
Қутб шартли тенгламалари (18.18) ва (18.21) триангуляцияни бурчаклар бўйича тенглаштириш ҳолатига тўғри келади. Йўналишлар бўйича тенглаштирганда бурчакларга тузатмаларни ўлчанган йўналишларнинг тузатмаси орқали ифодалаш лозим. Масалан, агар β бурчак 2 ва 1 йўналишлар фарқига тенг бўлса, яъни агар $\beta = 2-1$, унда тармоқни бурчаклар бўйича тенглаштиришда ёзамиз: $ctg \beta(\beta)$, тармоқни йўналишлар бўйича тенглаштиришда - $ctg(2-1)(1) + ctg(2-1)(2)$

Марказий системани (18.5-расм.) йўналишлар бўйича тенглаштирганда бир хил тузатмаларда ўхшаш ҳадларни келтирилгандан сўнг қутб шартли тенгламаси қуйидаги кўринишида ёзилади.

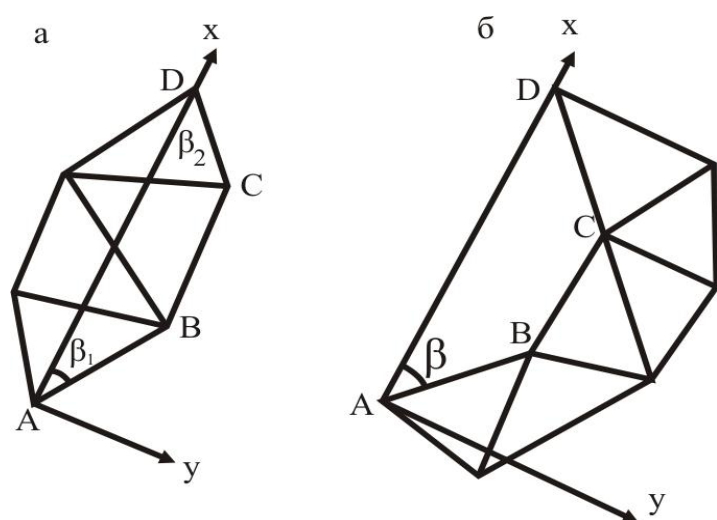
$$\begin{aligned} & ctg(6-5)(5) - [ctg(6-5) + ctg(7-6)](6) + ctg(7-6)(7) + ctg(9-8)(8) + \\ & [+ctg(10-9) - ctg(9-8)](9) - ctg(10-9)(10) + ctg(12-11)(11) - [ctg(13-12) \\ & + ctg(12-11)](12) + ctg(13-12)(13) + ctg(15-14)(14) - [ctg(15-14) + \\ & ctg(16-15)](15) + ctg(16-15)(16) + \omega = 0 , \end{aligned} \quad (18.23)$$

бу ерда

$$\omega = \left(\frac{\sin(10-9) \sin(13-12) \sin(16-15) \sin(7-6)}{\sin(6-5) \sin(9-8) \sin(12-11) \sin(15-14)} - 1 \right) \rho'' = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_2} \rho'' \quad (18.24)$$



18.5-шакл. Йўналишлари ўлчанган марказий система



18.6-шакл. Проекция шарти келиб чиқадиган триангуляция тармоқлари

Шуни таъкидлаш керакки, тармоқни йўналишлар бўйича тенглаштиришда ҳоҳлаган шартли тенгламадаги тузатмалардаги коэффициентлар йиғиндиси нолга тенг бўлиши лозим, чунки бурчаклар тузатмасини йўналиш тузатмасига алмаштиришдан сўнг уларнинг коэффициентлари бир марта мусбат, иккинчи марта эса маънфий ишорага эга бўлади. Йўналишларни тенглаштирганда ҳисоблашларни оралиқ назорат қилишда бу талабдан фойдаланилади.

Проекция шарти. Улар тармоқда, ёнма-ён жойлашмаган учбурчаклар учларини бирлаштирувчи узун диагонал бўлганда ва унда битта ёки иккита ортикча бурчак ўлчанганда пайдо бўлади (18.6-шакл).

Боши A нуқтада бўлган ёрдамчи координаталар системасини киритамиз; абсцисса ўқини AD диагонали бўйлаб, ордината ўқини эса унга перпендикуляр йўналтирамиз. Проекция шартининг моҳияти шундан иборатки $ABCD$ ёпиқ контурда уни томонлари узунлигини ҳоҳлаган йўналишга проекциясининг йиғиндиси нолга тенг бўлиши лозим. AD диагонал узунлиги номаълум бўлгани учун, томонлар узунлиги проекцияланадиган y йўналиш A нуқтада AD томонга перпендикуляр билан бирлаштирилади. Олдин умумий кўринишда проекция шартини ёзамиз

$$\sum(\Delta y) + \omega = 0, \quad (18.25)$$

бу ерда

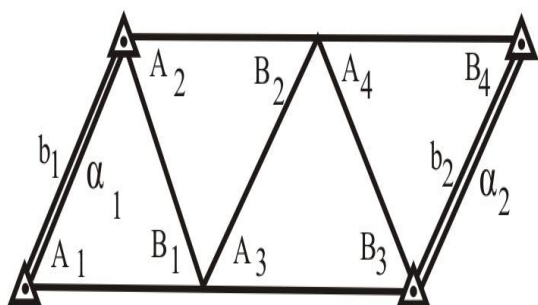
$$\omega = \Delta y'_{AB} + \Delta y'_{BC} + \Delta y'_{CD} + \Delta y'_{DA} = \sum \Delta y' \quad (18.26)$$

(18.25) ифодадаги (Δy) – бош нуқта A билан x, y шартли координата системасида ҳисобланган $\Delta y'$ орттирмага топилган тузатма. Тузатма Δy ўлчанган йўналишларга (бурчакларга) тузатма орқали ифодалаб шартли тенглама якуний кўринишда олинади.

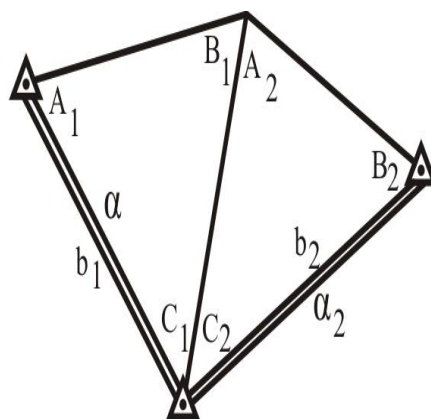
Проекция шарти тармоқ аниқлигини оширишга олиб келмайди; у фақат тенглаштириш ҳисоблари жараёнини мураккаблаштиради. Шунинг учун геодезик тармоқларни лойиҳалашда уларда проекция шартини пайдо бўлмаслигига эришиш керак.

$ABCD$ шаклда (18.6,а-шакл) иккита қўшимча β бурчаклар ўлчанган. Шунинг учун унда иккита қўшимча шартлар пайдо бўлади: проекция ва шакл шарти. Худди шундай шаклда (18.6,б -шакл) битта қўшимча β бурчак ўлчанганда фақат қўшимча проекция шарти пайдо бўлади.

Базис шарти. Тармоқда ортиқча бошланғич томонлар (бевосита ўлчанган ёки бошланғич пунктлар координаталари бўйича ҳисобланилган) бўлганда бу шарт пайдо бўлади. Базис шартини тузаётганда қисқа йўл бўйича энг яқин бошланғич томонлар b_1 ва b_2 ни бирлаштирувчи тармоқдаги учбурчаклар занжири белгиланади.



18.7-шакл. Координаталари берилган пунктлар орасидаги учбурчаклар занжири



18.8-шакл. Учта бошланғич пунктлар координаталари билан берилган мустахкам бурчакка пункт ўрнатиш

Бошланғич томон b_1 дан учбурчакларнинг тенглаштирилган бурчаклари орқали ҳисоблаган b_2 бошланғич томон узунлиги унинг берилган қийматига тенг бўлиши лозим. Масалан, бошланғич пункт

координаталари бўйича ҳисобланилган иккита бошланғич (мустаҳкам) b_1 ва b_2 томонлар орасидаги (18.7-шакл) учбурчаклар занжирида базис шартли пайдо бўлади ва у қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$b_1 = \frac{\sin A_1 \sin A_2 \sin A_3 \sin A_4}{\sin B_1 \sin B_2 \sin B_3 \sin B_4} - b_2 = 0. \quad (18.27)$$

Айтайлиқ $A=A'+(A)$ ва $B=B'+(B)$, бу ерда (A) ва (B) - A' ва B' ўлчанган бурчакларга тенглаштиришдан топилган тузатма (18.27) тенгламани чизикли кўринишига келтириб, ҳосил қиламиз

$$\begin{aligned} & \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} A'_1(A_1) + \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} A'_2(A_2) + \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} A'_3(A_3) + \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} A'_4(A_4) - \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} B'_1(B_1) \\ & - \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} B'_2(B_2) - \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} B'_3(B_3) - \frac{b'_2}{\rho} \operatorname{ctg} B'_4(B_4) + \omega = 0, \end{aligned} \quad (18.28)$$

бу ерда

$$\omega = b'_2 - b_2,$$

$$\begin{aligned} b'_2 &= b_1 \\ &= \frac{\sin A'_1 \sin A'_2 \sin A'_3 \sin A'_4}{\sin B'_1 \sin B'_2 \sin B'_3 \sin B'_4} b_1 \frac{\Pi_1}{\Pi_2} \end{aligned} \quad (18.29)$$

Тузатмалардаги коэффициентлар бирга яқин қиймат бўлиши учун b_1 ва b_2 томон узунликлари ва ω озод ҳад дециметрда ифодаланади, сўнг (18.28) ифоданинг иккала қисми $\frac{\rho}{b_2}$ га кўпайтирилади. Шунда базис шартли тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$\begin{aligned} & \operatorname{ctg} A'_1(A_1) + \operatorname{ctg} A'_2(A_2) + \operatorname{ctg} A'_3(A_3) + \operatorname{ctg} A'_4(A_4) - \operatorname{ctg} B'_1(B_1) \\ & - \operatorname{ctg} B'_2(B_2) - \operatorname{ctg} B'_3(B_3) - \operatorname{ctg} B'_4(B_4) + \frac{\rho}{b'_2} \omega = 0. \end{aligned} \quad (18.30)$$

Пунктга мустаҳкам бурчак қуйилганда, учта бошланғич пунктларни берилган координаталари билан (18.8-шакл) қуйидаги базис шартини (томон шартли) оламиз

$$b_1 = \frac{\sin A_1 \sin A_2}{\sin B_1 \sin B_2} - b_2 = 0, \quad (18.31)$$

уни (18.30) тенгламага ўхшашлиги учун қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\operatorname{ctg} A'_1(A_1) + \operatorname{ctg} A'_2(A_2) - \operatorname{ctg} B'_1(B_1) - \operatorname{ctg} B'_2(B_2) + \frac{\rho}{b'_2} \omega = 0, \quad (18.32)$$

бу ерда

$$\begin{aligned} \omega &= b'_2 - b_2; \\ b'_2 &= b_1 \\ &= \frac{\sin A'_1 \sin A'_2}{\sin B'_1 \sin B'_2} b_1 \frac{\Pi_1}{\Pi_2}. \end{aligned} \quad (18.33)$$

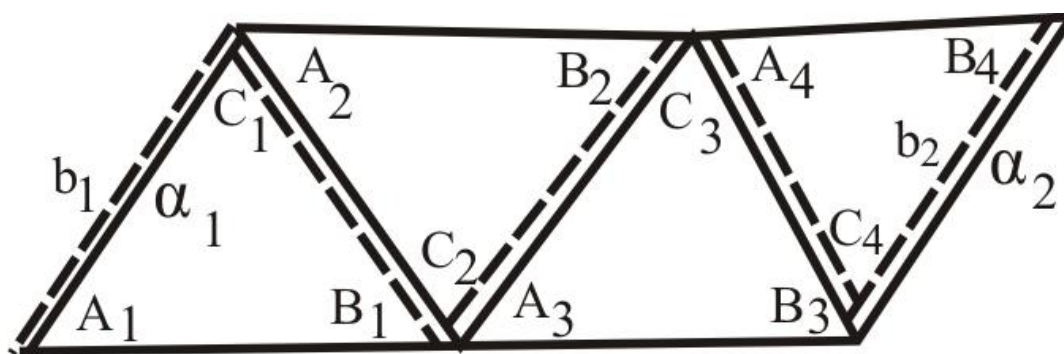
Бу ҳолда битта ёки иккита бошланғич томонлар b_1 ва b_2 бевосита ўлчанган бўлса уларнинг узунлигига тенглаштиришдан тузатмалар (b_1) ва (b_2) аниқланади, базис шартли тенгламаси (18.30) ни уларга тегишли бўлган коэффициентлар ва бу тузатмалар билан тўлдириш лозим. Унда иккита ўлчанган базис b_1 ва b_2 томонларга эга тармоқ учун (18.9-шакл,) (18.30) ўрнига қуйидаги кўринишдаги базис шартли тенгламасини ҳосил қиламиз

$$\begin{aligned} &ctg A'_1 (A_1) + ctg A'_2 (A_2) + ctg A'_3 (A_3) + ctg A'_4 (A_4) - ctg B'_1 (B_1) \\ &- ctg B'_2 (B_2) - ctg B'_3 (B_3) - ctg B'_4 (B_4) + \frac{\rho}{b'_1} (b_1) - \frac{\rho}{b'_2} (b_2) + \frac{\rho}{b'_2} \omega = 0, \end{aligned} \quad (18.34)$$

бу ерда ошод ҳад ω (18.29) формулага мувофиқ ҳисобланади. Триангуляцияни йўналишлар бўйича тенглаштирганда бурчакларга тузатмалар йўналишлар тузатмаси орқали ифодаланади.

Дирекцион бурчак шарти тармоқда ортиқча бошланғич дирекцион бурчаклар (бевосита ўлчанган ва бошланғич пунктлар координаталари бўйича ҳисобланилган) бўлганда пайдо бўлади. Дирекцион бурчак шартини тузаётган пайтда энг қисқа йўл бўйича α_1 ва α_2 бошланғич дирекцион бурчакларни бирлаштирувчи (18.7 ва 18.9-шакллар) тармоқдаги учбурчаклар занжири белгиланади.

Учбурчакларнинг тенглаштирилган бурчаклари бўйича α_1 дирекцион бурчакга нисбатан ҳисобланган α_2 дирекцион бурчак унинг берилган қийматига тенг бўлиши лозим. У ҳолда α_1 ва α_2 дирекцион бурчаклар бошланғич пунктларнинг координаталари билган берилган бўлса (18.7-шакл) уларнинг (α_1) ва (α_2) тузатмаси нолга тенг бўлиши керак, яъни ушбу тенглик бажарилиши лозим



18.9-шакл. Ўлчанган базис ва азимутлар орасидаги учбурчаклар занжири

$$\alpha_2 = \alpha_1 - C_1 + C_2 - C_3 + C_4 \pm (n-1)180^\circ, \quad (18.35)$$

бу ерда n - оралик бурчаклар учи орқали ўтувчи, узатиш чизиклари (18.9-шакл пунктир чизик) бўйича дирекцион бурчакни узатишда қатнашувчи оралик бурчаклар C сони.

Айтайлик $C = C' + (C)$, бу ерда (C) - ўлчанган C' бурчакларга тузатмалар. Бу ифодани (18.35) тенгламага қўйиб кўриляётган (18.7-шакл) тармоқ учун қуйидаги дирекцион бурчаклар шартли тенгламасини ҳосил қиламиз

$$-(C_1) + (C_2) - (C_3) + (C_4) + \omega = 0, \quad (18.36)$$

бу ерда

$$\omega = \alpha'_2 - \alpha_2 \text{ ва}$$

$$\alpha'_2 = \alpha_1 - C'_1 + C'_2 - C'_3 + C'_4 \pm (n-1)180^\circ. \quad (18.37)$$

Мустаҳкам бурчакга пункт қўйганда (18.8-шакл) дирекцион бурчак шarti (бурчак йиғиндиси) қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$(C_1) + (C_2) + \omega = 0, \quad (18.38)$$

бу ерда

$$\omega = C'_1 + C'_2 - (\alpha_2 - \alpha_1). \quad (18.39)$$

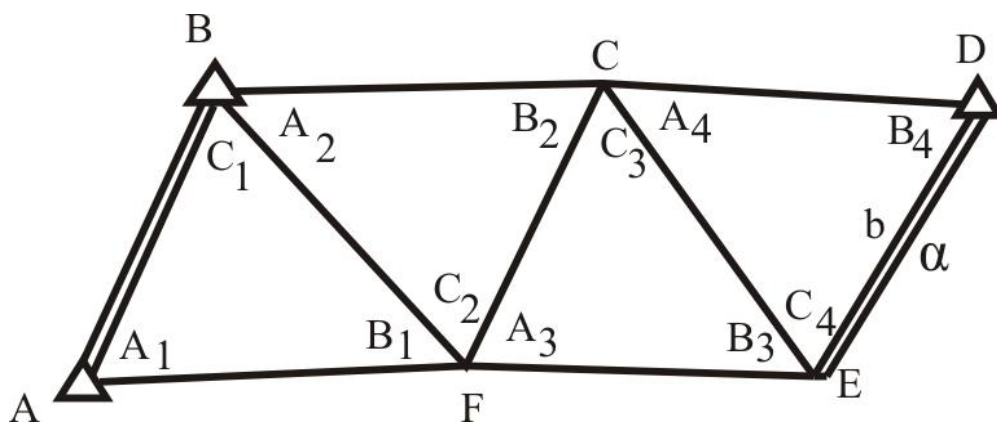
Агар α_1 ва α_2 дирекцион бурчаклар учбурчаклар занжири боши ва охирида бевосита ўлчашдан олинган бўлса, уларнинг қийматига (α_1) ва (α_2) тузатмалар тармоқни тенглаштиришдан аниқланса, дирекцион бурчак шarti қуйидагича бўлади

$$-(C_1) + (C_2) - (C_3) + (C_4) + (\alpha_1) - (\alpha_2) + \omega = 0, \quad (18.40)$$

бу ерда ω озод ҳад (18.37) формула бўйича ҳисобланади.

Триангуляцияни йўналишлар бўйича тенглаштиришда бурчакларга тузатмаларни йўналиш тузатмалари орқали ифодалаш лозим.

Абсциссалар ва ординаталар шартли тенгламалари. Координаталар (абсцисса ва ордината) шартли тенгламалари агар триангуляция тармоғи бир-биридан камида иккита аниқланувчи томонлар оралаб жойлашган бошланғич пунктлар алоҳида гуруҳлари бўлса, пайдо бўлади. Алоҳида гуруҳдаги бошланғич пунктлар битта шундай пунктдан еки бир неча ёнма-ён жойлашган пунктлардан ташкил топган бўлиши мумкин. Масалан битта гуруҳдаги бошланғич пунктларга A ва B иккита ёнма-ён жойлашган пунктлар, бошқасига эса биринчидан иккита аниқланувчи BC ва CD томонларга узокда жойлашган - битта D бошланғич пункт (18.10-шакл) киради.



18.10-шакл. Учта бошланғич пунктлар, ўлчанган томон ва азимут орасидаги учбурчаклар занжири

Тармоқ координаталар шартини тузишда учбурчаклар оралиқ бурчаклари учидан ўтувчи узатувчи чизик белгиланади ва турли гуруҳдаги бошланғич пунктларнинг яқин пунктларини бирлаштирувчи учбурчалар занжири белгиланади. Тенглаштирилган тармоқ қуйидаги тенгликларга риоя қилиниши лозим

$$x_D = x_B + \sum_B^D \Delta x; \quad y_D = y_B + \sum_B^D \Delta y. \quad (18.41)$$

$BFCED$ узатувчи чизик бўйича узатиладиган координаталар тенглаштирилган Δx ва Δy ортирмалари қийматини йиғинди каби фараз қиламиз

$$\Delta x = \Delta x' + (\Delta x); \quad \Delta y = \Delta y' + (\Delta y). \quad (18.42)$$

бу ерда $\Delta x'$ ва $\Delta y'$ - A', B', C' учбурчакдаги ўлчанган бурчаклардан фойдаланиб ҳисобланган координаталар ортирмалари, (Δx) , (Δy) - тармоқни тенглаштиришдан уларнинг қийматига топилган тузатмалар.

Координаталар шартини якуний кўринишда олиш учун координаталар ортирмалари (Δx) ва (Δy) тузатмасини учбурчакда ўлчанган бурчакларнинг (A) , (B) , (C) тузатмаси орқали ифодалаш лозим. Бу ўзгартиришни бажариб, триангуляцияни бурчаклар бўйича тенглаштириш ҳолати учун қуйидагини ҳосил қиламиз:

абсцисса шартли тенгламаси

$$\sum (x_n - x) \operatorname{ctg} A'(A) - \sum (x_n - x) \operatorname{ctg} B'(B) - \sum (y_n - y)(\pm C) + 206,265 \omega_x = 0; \quad (18.43)$$

ордината шартли тенгламаси

$$\sum (y_n - y) \operatorname{ctg} A'(A) - \sum (y_n - y) \operatorname{ctg} B'(B) + \sum (x_n - x)(\pm C) + 206,265 \omega_y = 0, \quad (18.44)$$

бу ерда

$$\omega_x = x'_n - x_n; \quad \omega_y = y'_n - y_n. \quad (18.45)$$

Бу тенгламаларда : $x_n - x$ ва $y_n - y$ - узатувчи чизик охиридаги D пункт координаталари билан (км-да), бу чизик бошидаги B бошланғич пунктни, ҳамда узатувчи чизикдаги жорий пунктлар координаталарининг фарқи; (A) ва (B) - учбурчакнинг боғловчи A ва B бурчакларига тузатмалар, бунда ўлчанган B бурчак бошланғич томон қаршисида ётади, A бурчак эса-учбурчакни аниқловчи томони қаршисида ётади; (C) - оралик бурчак C га тузатма; бунда (C) тузатма, агар C бурчак узатиш чизигидан чап томонда жойлашса мусбат қийматга $(+C)$ ва ундан ўнг томонда жойлашган маънфий қиймат $(-C)$ эга бўлади, агарда B пунктдан охириги D пунктга бу чизик бўйича юрилса.

ω_x ва ω_y (метрда) озод ҳадлар (18.45) формула бўйича ўлчанган бурчаклар орқали ҳисобланган координаталар x'_n , y'_n билан узатувчи чизик охириги D пунктнинг берилган x , y координаталарининг фарқлари сифатида топилади.

18.3. Триангуляцияда мустақил шартли тенгламаларнинг сони

Триангуляцияни бурчаклар бўйича тенглаштиришда номаълум k пунктни аниқлаш учун $2k$ зарурий бурчакларни ўлчаш зарур. Триангуляцияни йўналишлар бўйича тенглаштиришда эса $(2k+t)$ зарурий йўналишларни ўлчаш лозим, бу ерда t -бурчаклар ўлчанган пунктлар сони. Бунда $t \leq n$, бу ерда n -тармоқдаги барча пунктлар сони (бошланғич ва аниқланадиган).

Геодезик тармоқдаги мустақил шартли тенгламаларнинг умумий сони s ундаги ортиқча ўлчашлар сонига тенг, яъни тармоқдаги барча ўлчашлар сони ва барча аниқланувчи пунктлар координаталарини ҳисоблаш учун зарур бўлган минимал ўлчашлар сонинг фарқига тенг бўлади. Мустақил шартли тенгламаларнинг сони s қуйидаги формулалар билан топилади:

триангуляцияни йўналишлар бўйича тенглаштирганда

$$S_H = D + k_s + k_\alpha - (2k + t), \quad (18.46)$$

триангуляцияни бурчаклар бўйича тенглаштирганда

$$S_y = N + k_s + k_\alpha - 2k, \quad (18.47)$$

бу ерда D - ўлчанган йўналишлар сони, k_s ва k_α - бевосита ўлчанилган базис томонлар (координаталар бўйича ҳисобланмаган) ва томонлар азимутининг сони; k -аниқланувчи пунктлар сони; t - бурчак ўлчаш амалга оширилган пунктлар сони; N - тармоқдаги ўлчанган бурчаклар сони. Агар тармоқда базис томон ва томон азимути бевосита ўлчанмаган бўлса, унда (18.7- шаклга қаранг) $k_s = k_\alpha = 0$ деб қабул қилинади.

Шартли тенгламаларнинг сони турлари бўйича қуйидаги тарзда аниқланади.

Триангуляция бурчаклар бўйича тенглаштирилганда горизонт шартининг сони бурчак ўлчаш бажарилган марказий системадаги q кутблар сонига тенг бўлади

$$q = N + t - D \quad (18.48)$$

Триангуляция йўналишлар бўйича тенглаштирилганда горизонт шarti пайдо бўлмайди.

Тармоқ йўналишлар бўйича тенглаштирилганда мустақил шакл f шартининг сони қуйидаги формула бўйича топилади

$$f = D - t - p + 1, \quad (18.49)$$

Тармоқ бурчаклар бўйича тенглаштирилганда эса

$$f = N - p - q + 1, \quad (18.50)$$

бу ерда p -тармоқдаги барча томонлар сони (бошланғич ва аниқланувчи).

Шакл шартининг сони тармоқ бурчаклар ёки йўналишлар бўйича тенглаштирилишига боғлиқ бўлмайди. Шунинг учун (18.49) ва (18.50) формулалар бир хил натижа беради, бу эса ҳисоблашларни назорат учун хизмат қилади.

Қутб шартли тенгламасининг сони тармоқдаги ортиқча томонлар сонига тенг. У қуйидаги формула бўйича аниқланади

$$c = p - 2n + 3 \quad (18.51)$$

бу ерда p - тармоқдаги барча томонлар сони; n - ундаги барча пунктлар (бошланғич ва аниқланувчи) сони. Агар тармоқда проекция шарти пайдо бўлса, у p сонига киради.

Базис шартининг r_δ сони бошланғич томонлар k_δ^* умумий сонидан биттага кам бўлади, яъни у бевосита ўлчанган базис томонларнинг k_s сони ва башланғич пунктлар координатаси бўйича ҳисобланилган бошланғич k_b томонлар сонининг йиғиндисига тенг, яъни $k_\delta^* = k_s + k_b$, бўлганда қуйидагича эга бўламиз

$$r_\delta = k_\delta^* - 1 \quad (18.52)$$

Дирекцион бурчаклар шартининг сони бошланғич дирекцион бурчакларнинг умумий сонидан k_δ^* биттага кам бўлади, яъни у бевосита ўлчанган азимутлар k_α сони ва бошланғич пунктлар координаталари бўйича ҳисобланган томонлар дирекцион бурчакларнинг k_g сонининг йиғиндисига тенг бўлади яъни $k_g^* = k_\alpha + k_g$ бўлганда қуйидагини ҳосил қиламиз

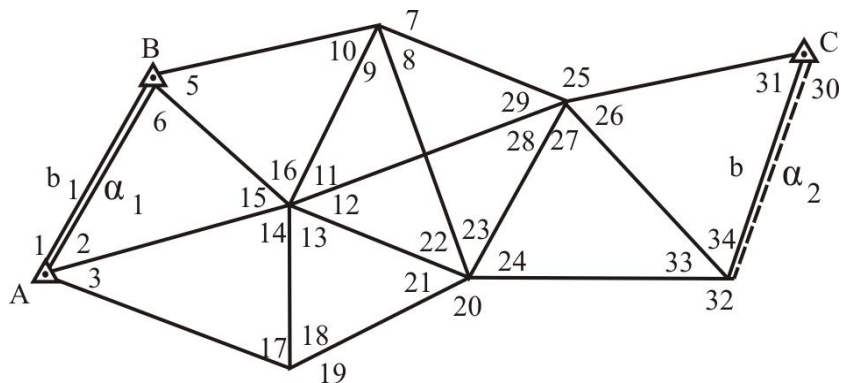
$$r_g = k_g^* - 1. \quad (18.53)$$

Абсцисса ва ординатлар шартининг $r_{x,y}$ сони қуйидаги формула бўйича ҳисобланилади

$$r_{x,y} = 2(k_{x,y} - 1), \quad (18.54)$$

бу ерда $k_{x,y}$ - триангуляцияни тенглаштиришдан аниқланувчи камида иккита тамонга бир-биридан узокда турувчи бошланғич пунктлар алоҳида гуруҳларнинг сони.

Мисол тариқасида озод бўлмаган триангуляция тармоғида пайдо бўладиган мустақил шатрли тенгламалар сонини аниқлаймиз (18.11-шакл.) Бу тармоқда барча пунктлар сони $n=9$; аниқланадиган пунктлар сони $k=6$; барча томонлар сони $p=17$; бурчак ўлчаш амалга оширилган пунктлар сони, $t=9$; ўлчанган йўналишлар $D=34$, базис томонлар $k_s=1(b_2)$, азимутлар $K_\alpha=1(\alpha_2)$; координаталар бўйича ҳисобланган бошланғич томонлар сони $K_q=1(\alpha_1)$; алоҳида гуруҳдаги пунктлар сони $K_{x,y}=2$ (биринчи гуруҳга бошланғич томон билан бир-бири ўзаро боғланган, ёнма-ён жойлашган A ва B пунктлар киради, иккинчи гуруҳга эса - C пункт киради).



18.11-шакл. Триангуляция схемаси

Ушбу триангуляция тармоғида қуйидаги мустақил шартли тенгламалар пайдо бўлади, тармоқни йўналишлар бўйича тенглаштирганда уларнинг сони қуйидагига тенг бўлади:

жами

$$S_H = D + k_s + k_\alpha - (2k + t) = 34 + 1 + 1 - (2 \cdot 6 + 9) = 15$$

Шакл тенгламалари

$$f = D - t - p + 1 = 34 - 9 - 17 + 1 = 9 ;$$

Қутб тенгламалари

$$c = p - 2n + 3 = 17 - 2 \cdot 9 + 3 = 2 ;$$

базис тенгламалари

$$r_{\delta} = k_{\delta}^* - 1 = 1 + 1 - 1 = 1;$$

дирекцион бурчак тенгламалари

$$r_g = k_g^* - 1 = 1 + 1 - 1 = 1;$$

абцисса ва ординат тенгламалари

$$r_{x,y} = 2(k_{x,y} - 1) = 2(2 - 1) = 2.$$

Ҳар бир геодезик тўртбурчакда унинг барча учларида бурчаклари ёки йўналишлари ўлчанган бўлса, унда тўртта мустақил шарт пайдо бўлади: учта шакл шarti ва битта қутб. Марказий системада қутб шarti, горизонт шarti (бурчак бўйича тенглаштирганда) ва шакл шarti пайдо бўлади.

Ушбу тармоқда (18.11-шакл) мустақил шакл шarti пайдо бўлади: 3 та геодезик тўртбурчакда ва биттадан қолган бта устма-уст тушмайдиган учбурчакларда.

Қутб шarti марказий система ва геодезик тўрт бурчакда биттадан пайдо бўлади. Базис шarti A ва B пунктларнинг координаталари бўйича ҳисобланувчи b_1 бошланғич томон ва ўлчанган b_2 базис томон орасида пайдо бўлади. Дирекцион бўрчак шarti бошланғич b_1 томоннинг берилган α_1 дирекцион бурчаги ва b_2 базис томоннинг ўлчанган α_2 дирекцион бурчаклари орасида пайдо бўлади. Координаталар шarti B ва C бошланғич пунктлар орасида пайдо бўлади.

Озод триангуляция тармоғида бошланғич пункт координаталари ўзгармас деб қабул қилинади ва аниқланувчи пунктлар сонига кирмайди, буни мустақил шартли тенгламаларнинг умумий сонини аниқлашда ҳисобга олиш зарур. Озод бўлмаган триангуляция тармоғи ҳар доим геодезик координаталари берилган (ўзгармас) битта ортик бошланғич пунктга эга бўлади.

Ушбу триангуляция (18.11-шакл) тармоғини бурчаклар бўйича тенглаштирганда шартли тенгламалар сонини (18.47) формулага биноан топамиз. Бунда қуйидагига эга бўламиз: $N = 26, k_s = 1, k_{\alpha} = 1, k = 6$. Бу маълумотларни (18.47) формулага қўямиз ва қуйидагини ҳосил қиламиз $S_y = 26 + 1 + 1 - 12 = 16$. Триангуляцияни бўрчаклар бўйича тенглаштирганда мустақил шартли тенгламалар сони уни

йўналишлар бўйича тенглаштирганга қараганда кўп бўлади, айнан горизонт шартининг сониға. Олинган тармоқда горизонт шартининг сони $q = N + t - D = 26 + 9 - 34 = 1$. У марказий система қутбида пайдо бўлади. Қолган шартлар тармоқни йўналишлар бўйича тенглаштиргандагидек бўлади.

18.4 Трилатерацияда шартли тенгламалар сони

Озод ва озод бўлмаган трилатерация тармоқларида мустақил шартли тенгламаларнинг умумий сони, унда томонлар узунлиги ва томонлар қаторининг азимутлари ўлчанган бўлса, қуйидаги формула бўйича ҳисобланиши мумкин

$$S = N + k_{\alpha} - 2k, \quad (18.55)$$

бу ерда N – ўлчанган томонлар сони, k_{α} – ўлчанган азимутлар сони (ўлчанган, бошланғич пунктлар координаталари бўйича ҳисобланмаган); k – янгитдан аниқланувчи пунктлар сони. Шунитакки керак, озод трилатерация тармоғидаги координаталари маълум бўлган бошланғич пункт аниқланувчи пунктларга тегишли бўлмайди.

Трилатерация тармоғида фақат биттадан шартли тенглама пайдо бўладиган энг оддий геометрик шакл бу геодезик тўртбурчак ва марказий система ҳисобланади; томонлари ўлчанган учбурчакда шартли тенглама пайдо бўлмайди, агар томонлар узунлиги кўпол хатолик билан ўлчанган бўлса ҳам, масалан, томонни чорак узунлигига тенг хатоликда ўлчанганда ҳам, учбурчак ҳосил бўлади ва унда ҳисобланган бурчаклар йиғиндиси 180^0 га тенг бўлади.

Трилатерация тармоғида мустақил шартли тенгламалар сони айнан шу тармоқ схемасига ўхшаш триангуляция тармоғига қараганда кам бўлади, чунки трилатерацияда ортиқча ўлчанган миқдорлар сони триангуляцияга қараганда анча кам. Масалан, бурчаклари ўлчанган геодезик тўртбурчакда тўртта мустақил шартли тенгламалар пайдо бўлади, ўлчанган томонларда эса битта шартли тенглама пайдо бўлади.

Мустақил шартли тенгламаларнинг турлари. Битта бошланғич пунктга, учбурчак томонларининг узунлиги ва уларнинг

айримларини азимутлари ўлчанган озод трилатерация тармоғида 3 турдаги шартли тенгламалар пайдо бўлиши мумкин: геодезик тўртбурчак шarti, марказий система шarti ва азимутлар (дирекцион бурчак) шarti.

Озод бўлмаган трилатерация тармоғида озод трилатерациядаги каби шартли тенгламалар пайдо бўлиши мумкин: ундан ташқари берилган координаталари билан ортиқча бошланғич пунктлар бўлганда координаталар (абсцисса ва ордината) шарлarti пайдо бўлиши мумкин.

Трилатерация тўрида шартли тенгламаларни дастлаб бурчак шаклида (триангуляциядаги каби) ёзилади, сўнгра бурчаклар тузатмаси (18.59) дифференциал формуладан фойдаланиб томонлар тузатмаси орқали ифодаланади; сўнгра томонларни бир хил тузатмаларига ўхшаш хадларни келтириш бажарилади ва шартли тенгламаларнинг якуний кўриниши ҳосил қилинади. Бунда бошланғич томонлар узунлигини ўзгармас деб қабул қилиб уларга тузатмаларни нолга тенг деб олинади.

Томонлар узунлиги ўлчанган геодезик тўртбурчакда шартли тенгламалар. Бу шартнинг моҳияти шундан иборатки, 1,2,3,4 учларга эга геодезик тўртбурчакда (18.12-шакл) 1 2 3 ва 1 3 4 учбурчакларнинг тенглаштирилган томонларидан фойдаланиб 1 учда ҳисобланилган α_1 ва α_2 бурчаклар йиғиндиси учунчи 1 2 4учбурчакни тенглаштирилган томонлари бўйича ҳисобланилган α_3 бурчакга тенг бўлиши лозим, яъни қуйидаги шартга риоя қилиниши лозим

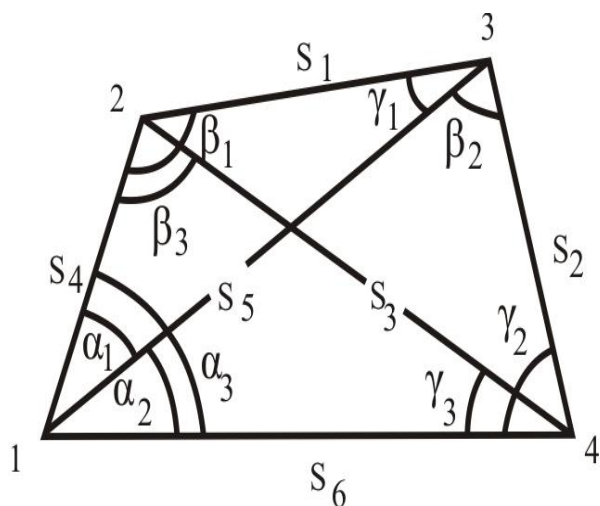
$$\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 = 0 . \quad (18.56)$$

Айтайлик α_1' - ўлчанган томонлар узунлигидан фойдаланиб ҳисобланган бурчаклар, (α) -эса тармоқни тенглаштиришдан уларнинг қийматларига топилган тузатма. Шунда (18.56) шарт қуйидаги кўринишида ёзилади

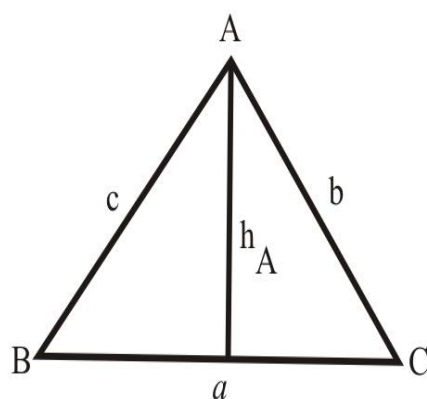
$$(\alpha_1) + (\alpha_2) - (\alpha_3) + \omega = 0 , \quad (18.57)$$

бу ерда

$$\omega = \alpha_1' + \alpha_2' - \alpha_3' . \quad (18.58)$$



18.12-шакл. Томонлари ўлчанган
геодезик тўртбурчак



18.13-шакл. Томонлари узунлиги
ўлчанган учбурчак

Томонлари a, b, c ўлчанган ABC учбурчакда (18.13-шакл.) A, B, C бурчакларни косинуслар теоремасидан фойдаланиб ҳисоблашмиз мумкин, унга мувофиқ, масалан, a томон учун қуйидагига эга бўламиз

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A ,$$

бундан

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} .$$

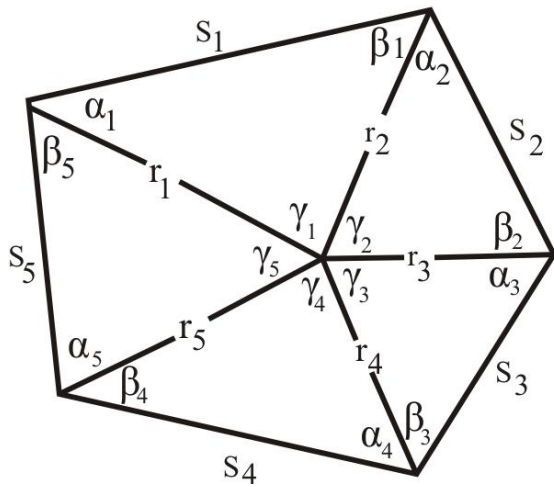
Ушбу теоремага асосан бурчакларга тузатмалар $(A), (B), (C)$ ва учбурчакнинг қарама-қарши томонлари узунлигига тузатмалар $(a), (b), (c)$ орасидаги боғлиқликни ўрнатувчи формулаларни олиш мумкин

$$\begin{aligned} (A'') &= \frac{\rho''}{h_A} [(a) - (b) \cos C - (c) \cos B] ; \\ (B'') &= \frac{\rho''}{h_B} [(b) - (a) \cos C - (c) \cos A] ; \\ (C'') &= \frac{\rho''}{h_C} [(c) - (a) \cos B - (b) \cos A] , \end{aligned} \quad (18.59)$$

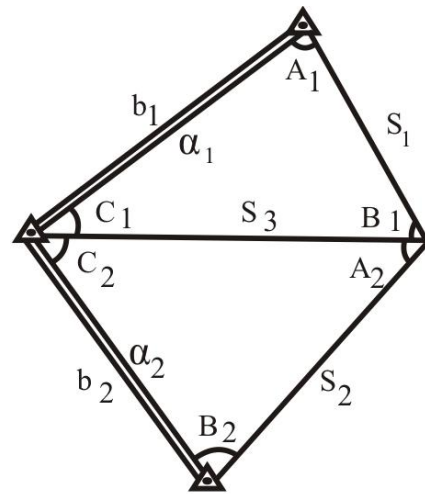
бу ерда $\rho'' = 206265; h_j - j$ бурчак учидан уни қарши томонига туширилган ва унга тузатма аниқланадиган, учбурчак баландлиги ($j = A, B, C$),.

ABC учбурчак баландликлари (18.13-шакл) унинг учларида қуйидаги формулага асосан ҳисобланади:

$$\begin{aligned}
 h_A &= c \sin A = b \sin C; \\
 h_B &= a \sin C = c \sin A; \\
 h_C &= a \sin B = b \sin A.
 \end{aligned}
 \tag{18.60}$$



18.14-шакл. Томонлари ўлчанган
марказий система



18.15-шакл. Чизиқли
кесиштириш схемаси

Бурчаклар ва томонларни 18.12-шаклдаги белгиларидан фойдаланиб геодезик тўртбурчакни (18.57) шартли тенгламасини (18.59) формулалар бўйича бурчаклар тузатмаларини томонлар узунликлари тузатмалари билан алмаштиргандан сўнг ўхшаш хадларни келтиргандан сўнг якуний кўринишга келади

$$\lambda_1(s_1) + \lambda_2(s_2) + \lambda_3(s_3) + \lambda_4(s_4) + \lambda_5(s_5) + \lambda_6(s_6) + \omega = 0, \tag{18.61}$$

бу ерда

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 &= \frac{\rho''}{h_{\alpha_1}}; & \lambda_2 &= \frac{\rho''}{h_{\alpha_2}}; & \lambda_3 &= \frac{\rho''}{h_{\alpha_3}}; \\
 \lambda_4 &= + \left(\frac{\rho''}{h_{\alpha_3}} \cos \beta'_3 - \frac{\rho''}{h_{\alpha_1}} \cos \beta'_1 \right); \\
 \lambda_5 &= - \left(\frac{\rho''}{h_{\alpha_1}} \cos \gamma'_1 + \frac{\rho''}{h_{\alpha_2}} \cos \beta'_2 \right); \\
 \lambda_6 &= \left(\frac{\rho''}{h_{\alpha_3}} \cos \gamma'_3 - \frac{\rho''}{h_{\alpha_2}} \cos \gamma'_2 \right).
 \end{aligned}$$

Томонлари ўлчанган марказий система шартли тенгламалари.

Бу шартнинг моҳияти шундан иборатки, учбурчак томонининг тенглаштирилган узунлигидан фойдаланиб, марказий система

кутбида ҳисобланган бурчаклар йиғиндиси 360^0 га тенг бўлиши лозим.

Марказий система учун (18.14-шакл.) бу шартни олдин бурчак шаклида ёзамиз

$$(\gamma_1) + (\gamma_2) + (\gamma_3) + (\gamma_4) + (\gamma_5) + \omega = 0, \quad (18.62)$$

бу ерда

$$\omega = \sum \gamma_i - 360^0.$$

Бурчаклар γ' - учбурчакни ўлчанган томонларидан фойдаланиб ҳисобланади.

18.13-шаклда қабул қилинган белгиларни ҳисобга олган ҳолда (18.62) марказий система шарти (18.59) формула бўйича бурчаклар тузатмасини томонлар тузатмаси билан алмаштиргандан сўнг якуний кўриниш олади

$$\lambda_1^0(s_1) + \lambda_2^0(s_2) + \lambda_3^0(s_3) + \lambda_4^0(s_4) + \lambda_5^0(s_5) + \lambda_1(r_1) + \lambda_2(r_2) + \lambda_3(r_3) + \lambda_4(r_4) + \lambda_5(r_5) + \omega = 0, \quad (18.63)$$

бу ерда

$$\lambda_i^0 = \frac{\rho''}{h_{\gamma_i}}; \quad \lambda_i = - \left(\frac{\cos \alpha_i}{h_{\gamma_i}} + \frac{\cos \beta_{i-1}}{h_{\gamma_{i-1}}} \right).$$

$i=1$ бўлганда

$$\lambda_i = - \left(\frac{\cos \alpha_1}{h_{\gamma_1}} + \frac{\cos \beta_n}{h_{\gamma_n}} \right),$$

бу ерда n - марказий системадаги охирги учбурчакнинг тартиб рақами (ушбу ҳолатда $n=5$).

Дирекцион бурчак шарти. Бу шарт тармоқда ортиқча дирекцион бурчаклар, шу жумладан бевосита ўлчанган ва бошланғич пунктлар координаталари бўйича ҳисобланган, бўлганда ҳосил бўлади.

Дирекцион бурчак шартли тенгламаси олдин бурчак шаклида ёзилади, яъни триангуляциядаги каби. Сўнггра (18.59) формула бўйича бурчаклар тузатмасини томонлар тузатмаси билан алмаштирилади, бир хил тузатмалардаги ўхшаш ҳадларни келтириш бажарилади ва якуний кўринишдаги шартли тенглама ҳосил қилинади.

Мисол тариқасида α_1 ва α_2 дирекцион бурчаклари берилган тармоқда (18.15-шакл) дирекцион бурчак шартли тенгламасини тузамиз.

Бурчак шаклида бу шарт қуйидаги кўриниш олади

$$(C_1) + (C_2) + \omega = 0, \quad (18.64)$$

бу ерда

$$\omega = C_1' + C_2' - (\alpha_2 - \alpha_1),$$

(C_1) ва (C_2) - C_1' ва C_2' бурчаклар тузатмалари, улар учбурчакнинг ўлчанган томонларидан фойдаланиб ҳисобланади.

(18.64) даги (C) бурчаклар тузатмаларини (18.59) формулалар бўйича (s) томонлар тузатмалари билан алмаштириб, ҳамда b_1 ва b_2 бошланғич томонлар (b_1) ва (b_2) тузатмаларини нолга тенглигини инобатга олган ҳолда дирекцион бурчак шартли тенгламасини якуний кўринишда ҳосил қиламиз

$$\frac{\rho''}{h_{c_1}}(S_1) + \frac{\rho''}{h_{c_2}}(S_2) - \left(\frac{\rho''}{h_{c_3}} \cos B_1 + \frac{\rho''}{h_{c_2}} \cos A_2 \right) (S_3) + \omega = 0 \quad (18.65)$$

Базис шарти трилатерация тармоқларида пайдо бўлмайди, чунки учбурчакнинг барча бевосита ўлчанган томонларига тузатма тенглаштиришдан аниқланади, натижада ушбу шарт автоматик равишда бажарилади.

Координатлар шарти (абсциссалар ва ординаталар) триангуляциядаги каби, бир-биридан камида ўлчанган иккита томонлардан узоқда бўлган алоҳида гуруҳ бошланғич пунктларга эга бўлган ҳолларда пайдо бўлади. Координатлар шарти олдин бурчак шаклида (триангуляцияга ўхшаб бурчаклар бўйича) ёзилади, сўнгра эса учбурчак бурчакларини тузатмалари томон узунликлари тузатмалари орқали ифодаланади ва бу тенгламаларни якуний кўринишда олинади.

Мустақил шартли тенгламалар сони. Трилатерация тармоқларида мустақил шартли тенгламаларни умумий сони s (18.55) формула бўйича топилади:

$$S = N + k_{\alpha} - 2k.$$

Геодезик тўртбурчак ва марказий система шартли тенгламаларнинг s сони биргаликда олганда тўрдаги ортикча томонлар сонига тенг

$$c = p - 2n + 3,$$

бу ерда p - барча томонлар сони (бошланғич ва ўлчанган), n - тармоқдаги барча пунктлар сони (бошланғич ва аниқланувчи).

Дирекцион бурчаклар r_g - шартли сони қуйидаги формула бўйича аниқланади

$$r_g = k_g^* - 1,$$

бу ерда $k_g^* = k_{\alpha} + k_g$ бевосита ўлчанган азимутлар k_{α} сони ва бошланғич пунктлар координаталари бўйича ҳисобланган томон дирекцион бурчаклар k_g сонининг йиғиндисига тенг.

Абсциссалар ва ординаталар шартининг сони $r_{x,y}$ қуйидагига тенг

$$r_{x,y} = 2(k_{x,y} - 1),$$

бу ерда $k_{x,y}$ - бир-биридан камида иккита ўлчанган (координаталар бўйича ҳисобланмаган) томонларга узоқликда бўлган алоҳида гуруҳ бошланғич пунктлар сони.

18.5. Шартли тенгламалар озод ҳадларининг чекли қийматларини аниқлаш

Геодезик тармоқларни тенглаштиришга киришишдан олдин (триагуляция, трилатерация, чизиқли-бурчакли ва ҳ.к.) улардаги ўлчашларни сифатли бажарилганлигига ва аниқлиги бўйича уларга қўйилаган талабларни қаноатлантиришига ишонч ҳосил қилиш зарур. Бунинг учун барча шартли тенгламаларнинг (мустақил ва мутақил бўлмаган) озод ҳадлари ҳисобланади ва уларнинг қиймати ўрнатилган чекли миқдорлар билан таққосланади.

Ҳоҳлаган кўринишдаги шартли тенгламани умумий кўринишда ёзамиз

$$a_1\vartheta_1 + a_2\vartheta_2 + \dots + a_n\vartheta_n + \omega = 0. \quad (18.66)$$

Коррелат нормал тенгламасини тузамиз

$$[aa]k + \omega = 0,$$

бу ердан топамиз

$$k = -\frac{\omega}{[aa]}.$$

Тузатмалар ϑ_i ($i=1,2,\dots,n$) қуйидагига тенг бўлади

$$\nu_i = a_i k = -\frac{\omega}{[aa]} a_i.$$

Вазн бирлигининг ўрта квадратик хатосини қуйидаги формула бўйича топамиз

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum p \vartheta^2}{r}},$$

бу ерда r - шартли тенгламалар сони.

Ўлчанган миқдорлар вазнини $p=1$ деб қабул қилиб ва ушбу ҳолда $r=1$ эканлигини ҳисобга олиб ёзамиз

$$\mu^2 = \sum \nu_i^2 = \frac{\omega^2}{[aa]^2} (a_1 a_2 + a_2 a_2 + \dots + a_n a_n) = \frac{\omega^2}{[aa]},$$

бу ердан ўрта квадратик миқдorni топамиз

$$\omega = \mu \sqrt{[aa]}.$$

Чекли қийматга ўтиб, изланаётган формулани ҳосил қиламиз

$$\omega_{\text{чекли}} = t \mu \sqrt{[aa]}, \quad (18.67)$$

бу ерда t параметр ишончлилиқ эҳтимолига боғлиқ бўлади демак n ўлчашлар сонига (тармоқдаги бир хил шартли тенгламаларнинг ω боғланмасликлари сони); μ хатолик тармоқдаги ҳар бир ўлчаш тури учун ҳамда уни классига боғлиқ ҳолда амалдаги йўриқномаларга мувофиқ ўрнатилади.

t параметрни баҳоловчи ўлчаш қаторлари миқдори бўйича турлича бўлиши мумкин. Масалан, боғланмасликларнинг чекли миқдори, белгиланган учбурчаклар сони, битта тармоқда 10-15, бошқасида эса 200 ва ундан кўп бўлиши мумкин. t параметри n бундай қийматларида Шовенэнинг тақрибий мезонига мувофиқ 2,0-3,0 оралиқда жойлашади (36-жадвал).

36-жадвал

n	t	n	t	n	t	N	t
11	2.00	17	2.17	30	2.39	75	2.71
13	2.07	20	2.24	40	2.49	100	2.81

15	2.13	25	2.33	50	2.58	200	3.02

Давлат геодезик тармоқларини барпо этиш бўйича амалдаги йўриқномаларда t қиймати ўртача $t=2,5$ деб қабул қилинган.

Муайян шартли тенгламаларнинг озод ҳадларини чекли қийматларини ҳисоблаш учун қуйида формулалар келтирилган.

Триангуляция тармоғлари

1. Шакл ва горизонт шarti

$$\omega_{\text{чекли}} = 2,5m'' \sqrt{n} . \quad (18.68)$$

2. Қутб шarti

$$\omega_{\text{чекли}} = 2,5m'' \sqrt{\sum \text{ctg}^2 \beta} . \quad (18.69)$$

3. Базис шarti (метрда)

$$\omega_{\text{чекли}} = 2,5 \sqrt{\left(\frac{m''}{\rho''} b_2\right)^2 \sum \text{ctg}^2 \beta + m_{b_1}^2 + m_{b_2}^2} . \quad (18.70)$$

4. Дирекцион бурчаклар шartлари

$$\omega_{\text{чекли}} = 2,5 \sqrt{nm''^2 + m_{a_1}^2 + m_{a_2}^2} . \quad (18.71)$$

5. Абсциссалар ва ординаталар шartлари (метрда)

$$\omega_{x(\text{чекли})} = 2,5 \sqrt{(m''/\rho'')^2 \cdot 10^6 [a_x a_x] + m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2} . \quad (18.72)$$

$$\omega_{y(\text{чекли})} = 2,5 \sqrt{(m''/\rho'')^2 \cdot 10^6 [a_y a_y] + m_{y_1}^2 + m_{y_2}^2} . \quad (18.73)$$

(18.68-18.73) формулаларда қуйидаги белгилашлар қабул қилинган: m'' -бурчак ўлчаш ўрта квадратик хатоси; n - шартли тенгламалар сони; $\sum \text{ctg}^2 \beta$ - шартли тенгламалардаги боғловчи бурчаклар котангенслари квадратларининг йиғиндиси; b_1 ва b_2 -шартли тенгламадаги бошланғич ва охирги базис (бошланғич) томонлар узунлиги; m_{b_1} ва m_{b_2} эса - уларнинг ўрта квадратик

хатолари; m_{a_1} ва m_{a_2} -шартли тенгламадаги α_1 ва α_2 дирекцион бурчаклар ўрта квадратик хатолари; $p'' = 206265''$; $[a_x a_x]$ ва $[a_y a_y]$ - абсцисса ва ординат a шартли тенгламаларидаги (A) , (B) , (C) бурчаклар тузатмаларидаги коэффициентлар квадратларининг йиғиндиси; m_x ва m_y - бошланғич пунктлар абсцисса ва ординаталарининг ўрта квадратик хатолари.

Трилатерация тармоғи

1. Геодезик тўрт бурчаклар ва марказий системалар шартлари:

$$\omega_{чекли} = 2,5m_{\bar{s}} \sqrt{\sum \lambda^2}, \quad (18.74)$$

бу ерда $m_{\bar{s}}$ - томон узунлигини ўлчаш ўрта квадратик хатоси; $\sum \lambda^2$ - шартли тенгламадаги ўлчанган томонлар узунликларига тузатмалар (s) олдидаги коэффициентлар квадратларининг йиғиндиси.

Трилатерация тармоғида томонларни ўлчаш ўрта квадратик хатоларининг ўртача миқдори $m_{\bar{s}}$ қуйидагига тенг:

$$m_{\bar{s}} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{\omega_i^2}{(\sum \lambda^2)_i}}$$

бу ерда k -марказий система ва геодезик тўрт бурчакларнинг биргаликдаги шартли тенгламаларининг сони; ω_i - шартли тенгламаларнинг озод ҳадлари; $(\sum \lambda^2)$ - бу тенгламаларда ўлчанган томонлар узунлигига тузатмалар (s) олдидаги коэффициентлар квадратларининг йиғиндиси; шуни такидлаш керакки, $m_{\bar{s}}$ хатолик томонларнинг ўртача узунлигига тегишли, яъни

$$\bar{S} = \sum s/n.$$

2. Дирекцион бурчаклар шarti:

$$\omega_{чекли} = 2.5 \sqrt{[\lambda\lambda] m_{\bar{s}}^2 + m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2} \quad (18.75)$$

бу ерда $[\lambda\lambda]$ - (18.65) шартли тенгламадаги ўлчанган томонлар узунлигига тузатмалар (s) олдидаги коэффициентлар квадратларининг йиғиндиси; $m_{\bar{s}}$ - трилатерация тармоғида ўлчанган

томонлар ўрта квадратик хатоларининг ўртача миқдори; m_{α_1} ва m_{α_2} - α_1 ва α_2 бошланғич дирекцион бурчакларнинг ўрта квадратик хатолари.

3. Абсциссалар ва ординаталар шарти

$$\omega_{x(\text{чекли})} = 2.5 \sqrt{[a_x a_x] m_s^2 + m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2}, \quad (18.76)$$

$$\omega_{y(\text{чекли})} (= 2.5 \sqrt{[a_y a_y] m_s^2 + m_{y_1}^2 + m_{y_2}^2}, \quad (18.77)$$

бу ерда $[a_x a_x]$ ва $[a_y a_y]$ - абсцисса ва ординаталар шартли тенгламаларидаги учбурчаклар томонлари узунликларига тузатмалар (s) олдидаги коэффициентлар квадратларининг йиғиндиси; $m_{x_{1,2}}$ ва $m_{y_{1,2}}$ - бошланғич пунктлар координаталарининг ўрта квадратик хатолари. Агар қандайдир шартли тенгламанинг озод ҳадлари ўрнатилган чекдан ошса, уни сабабини аниқлаш ва уларни тузатиш лозим.

18.6. Тенглаштириш ҳисоблашларининг кетма-кетлиги.

Аниқликни баҳолаш

Геодезик тармоқда пайдо бўладиган барча мустақил шартли тенгламаларни тузиб, уларни матрица шаклида ёзамиз

$$AV + W = 0, \quad (18.78)$$

$$\text{бу ерда } A(r \times n) = \begin{pmatrix} a_{11} a_{12} \dots a_{1n} \\ a_{21} a_{22} \dots a_{2n} \\ \dots \dots \dots \\ a_{r1} a_{r2} \dots a_{rn} \end{pmatrix}; V = \begin{pmatrix} V \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ W_d \end{pmatrix}$$

A -шартли тенгламалар коэффициентларининг тўғри бурчакли матрицаси, уларнинг сони r га тенг; V - P вазнлари билан ўлчанган миқдорлар тузатмаларининг вектор-устуни; уларнинг сони n га тенг; W - шартли тенгламалар озод ҳадларнинг вектор-устуни.

(18.78) шартли тенгламадан коррелата нормал тенгламасига ўтамиз

$$ACA^T K + W = 0, \quad (18.79)$$

бу ерда C - ўлчанган миқдорлар тескари $q = \frac{1}{p}$ вазнларининг диагонал матрицаси; A^T -шартли тенгламалар коэффициентларининг A транспонирланган матрицаси; K -коррелата нормал тенгламасининг вектор-устуни; қолган белгилашлар қуйида берилган.

(18.79) нормал тенгламани қуйидаги кўринишда қайта ёзамиз

$$NK + W = 0, \quad (18.80)$$

бу ерда нормал тенгламалар коэффициентларининг матрицаси қуйдагига тенг

$$N = ACA^T.$$

(18.80) тенгламани чап қисмини $N^{-1} = Q$ тескари матрицага кўпайтириб, изланаётган коррелата K векторини ҳосил қиламиз

$$K = -QW, \quad (18.81)$$

бу ерда Q – вазн коэффициентларининг матрицаси:

$$Q = N^{-1} = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1r} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{22} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{r1} & Q_{r2} & \dots & Q_{rr} \end{pmatrix}. \quad (18.82)$$

Ўлчанган миқдорлар тузатмасининг векторини қуйидаги формула бўйича топамиз

$$V = CA^T K. \quad (18.83)$$

Ўлчанган миқдорларга (18.83) формула бўйича топилаган v тузатмаларни киритиб, уларнинг тенглаштирилган қийматларини оламиз ва улардан фойдаланиб учбурчакларни якуний ечамиз, координаталарнинг тенглаштирилган орттирмаларини ҳисоблаймиз ва аниқланувчи пунктларнинг якуний координаталарини қуйидаги формула бўйича ҳисоблаймиз

$$x_3 = x_1 + s_{13} \cos \alpha_{13} = x_2 + s_{23} \cos \alpha_{23},$$

$$y_3 = y_1 + s_{13} \sin \alpha_{13} = y_2 + s_{23} \sin \alpha_{23}.$$

Тенглаштирилган элементлар функциясининг аниқлигини баҳолаш. Геодезик тармоқнинг қандайдир F тенглаштирилган элементининг ўрта квадратик хатосини ҳисоблаш талаб қилинса, масалан, дирекцион бурчак α хатосини ёки қандайдир томоннинг

узушлиги s хатосини, дастлаб бу элементни тенглаштирилган миқдор F функцияси деб фараз қилиш лозим. Сўнгра баҳоланадиган элемент учун ΔF орттирмани олиш керак, яъни вазнли функцияни тузиш керак. ($\Delta F = f_a; \Delta F = f_s$). Сўнгра $f_a(f_s)$ вазн функциясини шартли тенгламалар системасига бирлаштирилади ва уни ҳисобга олган ҳолда нормал тенглама тузилади. Уларни Гаусс схемаси бўйича ечишда баҳоланаётган элементнинг тескари вазни қуйидаги формула бўйича ҳисобланади

$$\frac{1}{P_F} = \left[\frac{ff}{P} \right] - \frac{\left[\frac{af}{p} \right]^2}{\left[\frac{aa}{p} \right]} - \frac{\left[\frac{bf \cdot 1}{p} \right]}{\left[\frac{bb \cdot 1}{p} \right]} - \dots - \frac{\left[\frac{vf \cdot r - 1}{p} \right]^2}{\left[\frac{vv \cdot r - 1}{p} \right]},$$

бу ерда f – ҳар бир мустақил ўлчанган аргумент бўйича F функциядан олинган хусусий ҳосила; p – ўлчанган миқдорлар вазни; $a, b, \dots, v$ – шартли тенгламаларнинг коэффицентлари; r – тармоқдаги шартли тенгламалар сони.

Тескари вазн коэффицентларнинг тескари матрицасидан (18.82) фойдаланиб ҳам ҳисобланиши мумкин.

Ҳоҳлаган тенлаштирилган элементнинг ўрта квадратик хатоси қуйидагига тенг

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}},$$

бу ерда вазн бирлигининг ўрта квадратик хатоси

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum p g^2}{r}},$$

$g - p$ вазн билан ўлчанган миқдорларга тенглаштиришдан топилган тузатмалар; r – тармоқдаги ортиқча ўлчашлар сонига тенг бўлган шартли тенгламалар сони.

19- Боб. Геодезик тармоқларни параметрик усулда тенглаштириш

19.1. Тенглаштириш ҳисобларининг кетма- кетлиги. Ўлчанган миқдорлар вазнларининг мувофиқлиги

Геодезик ишлаб чиқаришга ЭХМ ларни кенг жорий қилиниши туфайли геодезик тармоқларни параметрик усулда билан тенглаштириш энг қулай бўлади, чунки геодезик тармоқ пунтларида тузиладиган тузатмалар чизиқли тенгламалари бир хил кўринишга эга бўлади. Бу эса геодезик тармоқларни шу жумладан, триангуляция трилатерация, чизиқли-бурчакли, комбинациялашган ва шунга ўхшаш. ЭХМ да тенглаштиришнинг универсал дастурини тузиш имконини беради. Параметрик усулда тенглаштириш масаласи ҳудди шундай коррелат усулидаги каби $\sum pv^2 = \min$ шарти остида ечилади.

Параметрик усулда тенглаштириш учун ҳисоблаш ишларини қуйидаги кетма-кетликда бажариш ўринлидир. Олдин имкони бор аниқликда учбурчаклар ечилади, бунда триангуляция тармоғида томонлар узунлиги, трилатерацияда эса учбурчакларнинг бурчаклари топилади. Сўнгра, ҳудди шундай имкони бор аниқликда, барча аниқланувчи пунктларнинг координаталари ҳисобланади. Кейин олинган координаталардан фойдаланиб, тармоқнинг барча томонлари бўйича тескари геодезик масала ечилади ва юқори аниқликда томонлар узунлиги ва дирекцион бурчаклари топилади, бунда бошланғич пунктлар координаталаридан ҳам фойдаланилади. Ҳисоблашнинг кейинги босқичида бевосита ўлчанган миқдорлар учун тузатмалар тенгламалари тузилади: горизонтал йўналишлар, ўлчанган азимутлар (дирекцион бурчаклар), пунктлар орасидаги ўлчанган масафалар. Ҳар бир ўлчанган элементнинг вазнини умумий ҳолатда $p = \frac{c}{m^2}$ га тенг деб қабул қилинади. Вазнларни ҳисобга олган ҳолда тузатмалар тенгламасидан нормал тенгламалар системасига ўтилади, уларни ечиш орқали аниқланувчи пунктларнинг тақрибий координаталарига тузатмалар топилади. Сўнгра пунктларнинг тенглаштирилган координаталари ҳисобланади ва тенглиштириш

натижасида олинган тузатмалар билан дастлаб ўлчанган миқдорлар тўғрилиб, назорат ҳисоблари бажарилади.

Турли хил ўлчамларга эга бўлган геодезик тармоқларни тенглаштиришда (бурчак, азимутлар, томонлар узунлиги ва ҳ.к.) энг муҳим ва мураккаб масалаларни бири тармоқдаги барча ўлчанган миқдорлар вазнларининг боғланишини аниқ ўрнатишдир. Умумий ҳолда ўлчанган миқдорларнинг вазнлари қўйидаги ифода билан ҳисобланади:

$$p = \frac{c}{m_j^2} = \frac{\mu^2}{m_j^2},$$

бу ерда μ -вазн бирлигининг ўртача квадратик хатолиги: m_j - j -номерли миқдорни ўлчашнинг ўртача квадратик хатолиги. Доимий $c = \mu^2$ ни танлаш маълум даражада ихтиёрийдир ва ҳисоблашнинг қулайлиги билан аниқланади.

$$\mu^2 = m_N^2 = \text{const}$$

деб қабул қиламиз, бу ерда m_N -ўлчанган йўналишнинг ўртача квадратик хатолиги, ўлчанган йўналишлар N , азимутлар α ва томонлар s ларнинг вазнларини ҳисоблаш учун қўйидаги ифодани оламиз:

$$p_N = 1; \quad p_\alpha = \frac{m_N^2}{m_\alpha^2}; \quad p = \frac{m_N^2}{m_s^2}.$$

Геодезик тармоқларни тенглаштириш натижаларнинг ишончлилиги эмпирик дисперсиялар m_N^2, m_α^2 ва m_s^2 нисбатини қай даражада ишончли ўрнатилишга боғлиқдир. Бунда қуйдагини иноботга олиш зарурки, ўртача квадратик хатолар m , приёмдаги ўлчаш натижаларининг ички тўғри келиши бўйича эмас, балки тасодикий ва систематик хатоларнинг биргаликдаги таъсирини ҳисобга олган ҳолда аниқланиши керак. Хатоларнинг янада ҳам ишончли баҳолаш шартли тенгламаларнинг озод хадлари бўйича олинади. Триангуляция тармоқларида ўлчанган йўналишларнинг ўрта квадратик хатосини катта сонли n боғланмасликлари ω бўйича ҳисоблаш мумкин

$$m_N = \frac{m}{\sqrt{2}}, \text{ бу ерда } m = \sqrt{\frac{\sum \omega^2}{3n}}.$$

Трилатирация тармоғида томонларни ўлчаш ўрта квадратик хатосининг ўрта миқдори, марказий система ва геодезик тўртбурчаклар катта миқдордаги шартли тенгламаларининг озод хадлари бўйича аниқланилади,

$$m_s = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{\omega_i^2}{(\sum \lambda^2)_i}},$$

бу ерда ω_i ва $(\sum \lambda^2)$ - марказий система ва геодезик тўртбурчак шартли тенгламалар коэффициентлари квадратларининг йиғиндиси ва тегишли озод хадлар; k - ω_i озод хадларининг сони.

Астрономо-геодезик ишларининг амалиёти кўрсатишича, Лаплас пунктида азимутларни аниқлаш ўрта квадратик хатоси, ўзаро тескари азимутларнинг катта сонлари бўйича ҳисобланадиган реал миқдорига етарли равишда яқиндир. Такидлаш зарурки, геодезик тармоқларни тенглаштиришда тузатмаларни барча бевосита ўлчанган миқдорларга аниқлаш зарур: йўналишлар азимутлар ва томонлар узунлигига. Шу билан бирга уларнинг ҳақиқий вазнларини аниқлашга жуда жиддий эътибор бериш зарур.

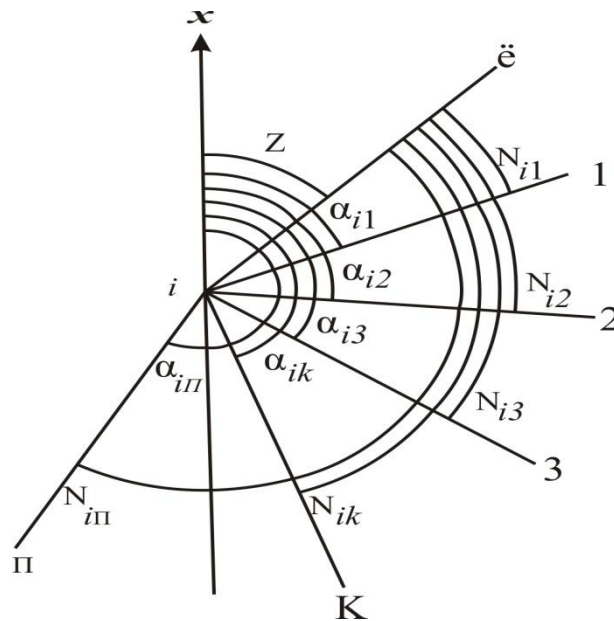
19.2. Ўлчанган миқдорлар тузатмалар тенгламаси

Йўналишлар шартли тенгламаси. Фараз қилайлик, геодезик тармоқларда юқорида келтирилган тавсияларга мувофиқ (19.1-қаралсин) барча аниқланувчи пунктларни тақрибий координаталари x^0 , y^0 ҳисобланган ва тескари геодезик масалаларни ечишдан дирекцион бурчаклар α_{ik}^0 ва барча томонлар узунлиги s_{ik}^0 аниқланган.

$$\operatorname{tg} \alpha_{ik}^0 = \frac{y_k^0 - y_i^0}{x_k^0 - x_i^0}; \quad s_{ik}^0 = \frac{x_k^0 - x_i^0}{\cos \alpha_{ik}^0} = \frac{y_k^0 - y_i^0}{\sin \alpha_{ik}^0}. \quad (19.1)$$

Айтайлик, i рақамли пунктда 1, 2, 3, ... n пунктларга йўналишлар ўлчанган (19.1-шакл). i нукта орқали Гаусс-Крюгер зонали проекцияси ўқ меридианига параллел равишда i х, йўналишни ўтказамиз, бу ўққа нисбатан дирекцион бурчак ҳисобланади. Лимб

ноли диаметрига мос тушувчи iO , йўналиш ўтказамиз унга нисбатан пунктдаги ўлчанган йўналишлар қийматилар саналади. Лимбнинг ноли диаметри йўналиши iO ва i х йўналиши орасидаги бурчакни z деб белгилаймиз.



19.1-шакл. Гаусс-Крюгерни зонали проекцияси ўқ меридианига нисбатан пунктда ўлчанган йўналишларни ориентирлаш схемаси

z бурчакни ориентирлаш бурчаги деб атаймиз, чунки у Гаусс-Крюгер зонали проекцияси ўқ меридианига нисбатан пунктда ўлчанган йўналишларни ориентирлайди.

Пунктда ўлчанган исталган ik йўналиш учун қўйдаги белгилаш киритамиз:

α_{ik}^0 -пунктларнинг координалари бўйича ҳисобланган дирекцион бурчакнинг тақрибий қиймати;

$\Delta\alpha_{ik}$ - тенглаштириш натижасидан дирекцион бурчакга топилган тузатма;

$\alpha_{ik} = \alpha_{ik}^0 + \Delta\alpha_{ik}$ -тенглаштирилган дирекцион бурчак;

N_{ik}' -ўлчанган йўналишлар, лимб нолинчи диаметридан ҳисобланади;

v_{ik} -тенглаштиришдан йўналишга топилган тузатма;

$N_{ik} = N_{ik}' + v_{ik}$ -тенглаштирилилган йўналиш;

Пунктда ўрта арифметик қийматдан оғишилар йиғиндиси $\sum l_{ik} = 0$ ҳамда $\sum v_{ik} = 0$, тенгликка риоя қилиниши керак, бу ҳисоблашни назорат қилишга хизмат қилади. i ва k пунктлари тақрибий координаталари x^0, y^0 га тузатма $\Delta\alpha_{ik}$ тузатмалар δx ва δy орқали ифодалаймиз

$$\operatorname{tg} \alpha_{ik}$$

Ҳамма ўзгарувчилар бўйича дифференциаллаб ва кейин дифференциаллардан якуний орттормаларга ўтиб, қуйидагини оламиз

$$\frac{\Delta \alpha_{ik}}{\rho \cos^2 \alpha_{ik}} = \frac{(x_k - x_i)(\delta y_k - \delta y_i) - (y_k - y_i)(\delta x_k - \delta x_i)}{(x_k - x_i)}.$$

Қуйидагиларни

$$(x_k - x_i) = s \cos \alpha_{ik}; \quad (y_k - y_i) = s \sin \alpha_{ik};$$

ҳисобга олиб, ёзамиз

$$\Delta \alpha_{ik} = -\rho \frac{\sin \alpha_{ik}}{s} \delta x_k + \rho \frac{\cos \alpha_{ik}}{s} \delta y_k + \rho \frac{\sin \alpha_{ik}}{s} \delta x_i - \rho \frac{\cos \alpha_{ik}}{s} \delta y_i$$

$\Delta \alpha_{ik}$ ни (19.7) ифодага қўйиб, i - k йўналиш учун тузатмалар тенгламасини оламиз:

$$v_{ik} = -\delta z_0 + \rho \frac{\sin \alpha_{ik}^0}{s} \delta x_i - \rho \frac{\cos \alpha_{ik}^0}{s} \delta y_i - \rho \frac{\sin \alpha_{ik}^0}{s} \delta x_k + \rho \frac{\cos \alpha_{ik}^0}{s} \delta y_k + l_{ik} \quad (19.8)$$

(19.8) тузатмалар тенгламасини қисқа кўринишда ёзамиз:

$$v_{ik} = -\delta z_0 - a_{ik} \xi_i - b_{ik} \eta_i + a_{ik} \xi_k + b_{ik} \eta_k + \ell_{ik} \quad (19.9)$$

бу ерда, δz_0 - i чи пунктдаги z_0 ориентирлаш бурчагига тузатма; $\xi_i, \eta_i, \xi_k, \eta_k$ - i ва k пунктларнинг $x_i^0, y_i^0, x_k^0, y_k^0$ тақрибий координаталарига топилган тузатма (дециметрда), яъни

$$\xi = 10 \delta x; \quad \eta = 10 \delta y; \quad (19.10)$$

δx ва δy - тузатмалар, метрда; a_{ik} ва b_{ik} - коэффициентлар; ℓ_{ik} - тузатмалар тенгламасининг озод ҳади.

a_{ik} , ва b_{ik} коэффициентлар қуйидаги ифодалар бўйича ҳисобланилади

$$a_{ik} = -20,6265 \frac{\sin \alpha_{ik}^0}{s_{ik}}; \quad b_{ik} = 20,6265 \frac{\cos \alpha_{ik}^0}{s_{ik}}, \quad (19.11)$$

бу ерда, α_{ik}^0 - дирекцион бурчак, s_{ik} - i k томон узунлиги, км. Ҳисоблашлар ЭХМ ларда бажарилганда йўналишларнинг тузатмалар тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$v_{ik} = -\delta z_0 - 20626,5 \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \xi_k - 20626,5 \frac{\Delta x_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \eta_i + 20626,5 \frac{\Delta y_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \xi_i + 20626,5 \frac{\Delta x_{ik}}{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} \eta_k + l_{ik}, \quad (19.12)$$

бу ерда $\Delta x_{ik} = x_i^0 - x_k^0$ ва $\Delta y_{ik} = y_k^0 - y_i^0$ -координаталар орттирмаси m ; ξ ва η -тузатма, дм.

Тузатмалар тенгламасининг озод хади l_{ik} куйидаги ифода буйича ҳисобланилади.

$$l_{ik} = z_{ik} - z_0 \quad \text{ёки} \quad l_{ik} = \alpha_{ik}^0 - R_{ik}^0, \quad (19.13)$$

бу ерда α_{ik}^0 - дирекцион бурчак, тақрибий координаталар буйича ҳисобланган; R_{ik}^0 - тақрибий ориентирланган йўналиш:

$$R_{ik}^0 = N'_{ik} + z_0 \quad (19.14)$$

N'_{ik} - ўлчанган йўналиш қиймати; z_0 - i пунктдаги ориентирлаш бурчаги ўртачаси.

Тескари йўналиш k - i учун тузатма тенгламаси, яъни k аниқланувчи пунктдан i аниқланувчи пунктга куйидаги кўринишга эга бўлади

$$v_{ik} = -\delta z_0 - \alpha_{ki}\xi_k - b_{ki}\eta_k + \alpha_{ki}\xi_i + b_{ki}\eta_i + l_{ki}. \quad (19.15)$$

(19.9) ва (19.15) тузатмалар тенгламаларида, ўзаро тескари йўналишлар учун тузилган, бир ҳил номаълумларда ξ ва η коэффицентлар ишораси ва миқдори буйича жуфтликда бир ҳил, яъни $a_{ik} = a_{ki}$ ва $b_{ik} = b_{ki}$, Бу эса ҳисобларни назорат қилиш учун хизмат қилади.

Хусусий ҳолда, томон учларида битта ёки иккита пункт бошланғич бўлса (ξ ва η тузатмалар нолга тенг), (19.9) тузатма тенгламаси оддий кўринишда бўлади.

Агар йўналиш ўлчанган бўлса:

бошланғич пункт i дан аниқланувчи пункт k га

$$v_{ik} = -\delta z_0 + \alpha_{ik}\xi_k + b_{ik}\eta_k + l_{ik}; \quad (19.16)$$

аниқланувчи i пунктдан k бошланғич пункт га

$$v_{ik} = -\delta z_0 + \alpha_{ik}\xi_i - b_{ik}\eta_i + l_{ik}; \quad (19.17)$$

аниқланувчи i пунктидан k бошланғич пункт га.

$$v_{ik} = -\delta z_0 + l_{ik}. \quad (19.18)$$

Тузатмалар тенгламаси тармоқдаги ҳамма ўлчанган йўналишлар учун тузилади. Тузатмалар тенгламасини тузиш – тенглаштиришда ҳисоблашнинг энг муҳим қисмидир. Тенгламаларни тузишда йўл қўйилган хатолар триангуляцияни ҳисоблаш якунида маълум бўлади,

шунинг учун a_{ik} ва b_{ik} коэффицентлар ва l_{ik} озод хадларни аниқлаш ва назорат ҳисоблашлар билан текширилиши зарур.

Дирекцион бурчаклар тузатмалар тенгламаси Гаусс-Крюгер проекцияси текисликда геодезик тармоқларни тенглаштиришда Лаплас азимутларидан йўналишларининг дирекцион бурчакларига ўтилади ва уларни мустақил ўлчанган микдор сифатида қабул қилиб уларга тармоқларни тенглаштиришдан ўлчанган йўналишларга ўхшаш тузатмалари топилади.

Дирекцион бурчак шартли тенгламаси йўналишлар шартли тенгламасидан шуниси билан фарқ қиладики уларда ориентирлаш бурчагига тузатма топилмайди. У қуйидаги кўринишда ёзилади

$$v_{ik} = -a_{ik}\xi_i - b_{ik}\eta_i + a_{ik}\xi_k + b_{ik}\eta_k + l_{ik}. \quad (19.19)$$

a_{ik} ва b_{ik} коэффицентлар (19.11) ифодалар бўйича ҳисобланади, озод хад эса айирмадан топилади:

$$l_{ik} = \alpha_{ik}^0 - \alpha'_{ik}, \quad (19.20)$$

бу ерда α_{ik}^0 - тақрибий координаталар бўйича ҳисобланган, α'_{ik} - эса дирекцион бурчакнинг ўлчанган қиймати.

Ўлчанган томонлар тузатмалари тенгламаси.

Геодезик тармоқларда базислар (оширилган аниқликда) ва бошқа томонлар ўлчаниши мумкин, масалан трилатерация тармоғи ва полигонометрияда. Текисликка редукцияланган ҳамма томонлар тенглаштиришдан тузатмалар аниқланади, бунда барча ўлчашлар вазнларини ҳисобга олиб, ўлчанган томонлар ва бурчаклардан фойдаланиб, учбурчаклар ечилади ва сўнгра имкони борида юқори аниқликда пунктларнинг тақрибий координаталари ҳисобланилади. Тескари масалани ечишдан бу координаталарга мувофиқ келувчи ҳамма ўлчанган томонларнинг узунлиги s_{ik}^0 топилади

$$s_{ik}^0 = \sqrt{\Delta x_{ik}^2 + \Delta y_{ik}^2} = \frac{\Delta x_{ik}}{\cos \alpha_{ik}^0} = \frac{\Delta y_{ik}}{\sin \alpha_{ik}^0}.$$

Гаусс-Крюгер проекцияси текислигига редукцияланган ва ўлчашдан олинган томонлар узунлиги s'_{ik} бўлсин, v_{ik} - тенглаштиришдан олинган тузатма; s_{ik}^0 - пунктларнинг тақрибий координаталари бўйича ҳисобланган шу томон узунлиги, δs_{ik} - унинг

қийматига тенглаштиришдан топилган тузатма. Бу ҳолда тармоқни тенглаштириш натижасида олинган s_{ik} - томонлар узунлиги, икки марта аниқланиши мумкин:

$$s_{ik} = s'_{ik} + v_{ik} = s_{ik}^0 + \delta s_{ik}. \quad (19.21)$$

(19.21) тенгликдан ўлчанган томонлар тузатмаларининг бошланғич тенгламаси келиб чиқади.

$$v_{ik} = \delta s_{ik} + s_{ik}^0 - s'_{ik}, \quad (19.22)$$

ёки

$$v_{ik} = \delta s_{ik} + l_{ik}, \quad (19.23)$$

бу ерда тузатмалар тенгламасининг озод хади қуйидагига тенг

$$l_{ik} = s_{ik}^0 - s'_{ik} \quad (19.24)$$

δs_{ik} Тузатмани пунктлар орасидаги ўлчанган томон x^0 ; y^0 тақрибий координаталари тузатмалар δx , δy орқали ифодаalayмиз.

$$s_{ik}^{0^2} = (x_k^0 - x_i^0)^2 + (y_k^0 - y_i^0)^2.$$

Бу тенгламанинг чап ва ўнг томонларини ҳамма ўзгарувчилари бўйича дефференциаллаб, қуйидагини оламиз

$$2s_{ik}^0 ds_{ik} = 2(x_k^0 - x_i^0)(dx_k - dx_i) + 2(y_k^0 - y_i^0)(dy_k - dy_i).$$

Тенглама икки томонларини $2s_{ik}^0$ га бўлиб ва охирги орттирмаларга ўтиб қуйидагини оламиз

$$\delta s_{ik} = -\frac{x_k^0 - x_i^0}{s_{ik}^0} \delta x_i - \frac{y_k^0 - y_i^0}{s_{ik}^0} \delta y_i + \frac{x_k^0 - x_i^0}{s_{ik}^0} \delta x_k + \frac{y_k^0 - y_i^0}{s_{ik}^0} \delta y_k. \quad (19.25)$$

Белгилаймиз

$$c_{ik} = \frac{x_k^0 - x_i^0}{s_{ik}^0} = \cos \alpha_k^0; \quad d_{ik} = \frac{y_k^0 - y_i^0}{s_{ik}^0} = \sin \alpha_{ik}^0 \quad (19.26)$$

(19.25) ифодани (19.23) га қўйиб, (19.26) да қабул қилинган белгилашни инобатга олиб томонлар тузатмаларини тенгламасини қуйидагича ёзамиз

$$v_{ik} = -c_{ik}\delta x_i - d_{ik}\delta y_i + c_{ik}\delta x_k + d_{ik}\delta y_k + l_{ik}. \quad (19.27)$$

Тузатмаларни ҳисоблаш қулайлиги учун координаталар дециметрда ифодаланади, яъни қуйидагига тенг қабул қилинади

$$\xi = 10\delta x ; \eta = 10\delta y \quad (19.28)$$

бу ерда δx , δy -х,у координаталарга топилган тузатмалар (метрда). озода ҳад l_{ik} у ҳам дециметрда ифодаланади.

(19.28) тузатмалар тенгламасини ҳисобга олиб, (19.27) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин

$$v_{ik} = -c_{ik}\xi_i - d_{ik}\eta_i + c_{ik}\xi_k + d_{ik}\eta_k + l_{ik} \quad (19.29)$$

(19.29) тузатмалар тенгламаси умумий ҳолга мувофиқ бўлади, агарда s томон аниқланувчи пунктлар орасида ўлчанган бўлса. Хусусий ҳолларда (19.29) тенглама оддий кўринишга келади, масалан агар томон бошланғич пункт i ($\xi_i = \eta_i = 0$) ва аниқланаётган пункт k орасида ўлчанган бўлса

$$v_{ik} = c_{ik}\xi_k + d_{ik}\eta_k + l_{ik}; \quad (19.30)$$

аниқланувчи i пункт ва бошланғич k пункт орасида

$$v_{ik} = -c_{ik}\xi_i - d_{ik}\eta_i + l_{ik}; \quad (19.31)$$

i ва k бошланғич пунктлар орасида

$$v_{ik} = l_{ik}. \quad (19.32)$$

19.3. Триангуляция ва полигонометрия пунктларида редукцияланган нормал тенгламаларни тузиш

Тармоқларни йўналишлар бўйича тенглаштирганда ҳар бир пунктдаги ўлчанган йўналишлар v_{ik} тузатмаларининг йиғиндиси нолга тенг ($[v]=0$), бўлгани учун редукцияланган нормал тенгламалар тузиш мумкинки уларда ориентирлаш z_0 бурчагига топилган δz_0 тузатмалар тушириб қолдирилади. Бу ҳолда тармоқдаги нормал тенгламанинг умумий сони йўналишлари ўлчанган пунктлар сонига камаёди, бу эса нормал тенгламаларни ечиш вақтини сезиларли даражада камайтиради. Редукцияланган нормал тенгламалар тузиш

методикасини кўрамиз. Айтайлик i станцияда n та йўналиш ўлчанган бўлсин. Уларга мос бўлган тузатмалар тенгламасини ёзамиз

$$\begin{aligned} v_{i1} &= -\delta \mathbf{z}_0 - a_{i1} \xi_i - b_{i1} \eta_i + a_{i1} \xi_1 + b_{i1} \eta_1 + l_{i1}; \\ v_{i2} &= -\delta \mathbf{z}_0 - a_{i2} \xi_i - b_{i2} \eta_i + a_{i2} \xi_2 + b_{i2} \eta_2 + l_{i2}; \\ &\vdots \\ v_{in} &= -\delta \mathbf{z}_0 - a_{in} \xi_i - b_{in} \eta_i + a_{in} \xi_n + b_{in} \eta_n + l_{in}. \end{aligned} \quad (19.33)$$

Яққолик учун охирги ифодага қўйидаги белгилаш киритамиз:

$$a_1 = -a_{i1}, b_1 = -b_{i1}, \dots, a_k = -a_{ik}, b_k = -b_{ik};$$

$$c_1 = a_{i1}, \quad d_1 = b_{i1}, \quad c_2 = a_{i2}, \quad d_2 = b_{i2} \text{ Ba XK.O.}$$

Энди (19.33) ифодани ўрнига ёзамиз.

$$\begin{aligned} v_{i1} &= -\delta \mathbf{z}_0 + a_1 \xi_i + b_1 \eta_i + c_1 \xi_1 + d_1 \eta_1 + l_{i1}; \\ v_{i2} &= -\delta \mathbf{z}_0 + a_2 \xi_i + b_2 \eta_i + c_2 \xi_2 + d_2 \eta_2 + l_{i2}; \\ &\vdots \\ v_{in} &= -\delta \mathbf{z}_0 + a_n \xi_i + b_n \eta_i + c_n \xi_n + d_n \eta_n + l_{in}. \end{aligned} \quad (19.34)$$

Бу тузатмаларлар тенглама системасига қуйидаги нормал тенгламалар системаси тўғри келади, аниқроғи шу пунктда тузилган, уларнинг қисмларига:

$$\begin{aligned} n\delta z_0 - [a]_{\xi_i}^{\xi} - [b]\eta_i - \cdots - [l] &= [v] = 0 \\ -[a]\delta z_0 + [aa]_{\xi_i}^{\xi} + [ab]\eta_i + \cdots + [al] &= [av] \neq 0 \\ -[b]\delta z_0 + [ab]_{\xi_i}^{\xi} + [bb]\eta_i + \cdots + [bl] &= [bv] \neq 0 \end{aligned} \quad (19.35)$$

Бу нормал тенгламалардан биринчиси тузатмалар тенгламасининг (19.34) йиғиндиси кўринишида бўлади, бунда $[v]=[l]=0$. Бу йиғинди тенгламасидан ориентирлаш бурчагига δz_0 тузатма топамиз

$$\delta z_0 = \frac{1}{n}([a]\xi_i + [b]\eta_i + c_1\xi_1 + d_1\eta_1 + \cdots + c_n\xi_n + d_n\eta_n). \quad (19.36)$$

ва (19.35) тенгламалар системасига қўямиз. Натижада, ушбу пунктда қуйида редукцияланган қуйидаги нормал тенгламалар системасини оламиз:

$$\begin{aligned} & \left([aa] - \frac{[a][a]}{n} \right) \xi_i + \left([ab] - \frac{[a][b]}{n} \right) \eta_i + \cdots + [al] \neq 0; \\ & \left([ab] - \frac{[a][b]}{n} \right) \xi_i + \left([bb] - \frac{[b][b]}{n} \right) \eta_i + \cdots + [bl] \neq 0; \end{aligned} \quad (19.37)$$

буларда δ_0 тузатмалар чиқариб юборилади.

(19.37) тенгламани бошқа, қисқа усулда олишимиз мумкин. Бунинг учун:

1) (19.33) бошланғич тенгламада вазн $p=1$ берилади;

2) пунктда (19.33) тенгламалар йиғиндисига тенг йиғинди тенгламасини тузиш керак.

$$n\delta_0 - [a]\xi_i - [b]\eta_i + [a]\xi_1 + [b]\eta_1 + \dots + [l] = [v] = 0; \quad (19.38)$$

3) бу тенгламани $p = -1/n$ сохта вазнга эга бўлган бошланғич (19.33) тенглама системасига бирлаштирилади, бу ерда n пунктдаги йўналишлар сони;

4) яъни (19.33) ва (19.38) тенгламаларда δ_0 тузатма шартли равишда йўқ деб, кейин бундай редукцияланган тузатмалар тенгламасидан (δ_0 тузатмасиз) уларнинг $p = 1$ ва $p = 1/n$ вазинларни ҳисобга олиб нормал тенгламаларга ўтамиз. Натижада (19.37) редукцияланган нормал тенглама олинади. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун, биринчи ξ_i номаълум квадратик коэффицентини ҳисоблаймиз:

$$a_{i1}a_{i1} + a_{i2}a_{i2} + \dots + a_{in}a_{in} - \frac{1}{n} [a] [a] = [aa] - \frac{[a] [a]}{n}.$$

Кўриниб турибдики, (19.37) тенгламалардаги натижага келинди. Шундай қилиб амалиётда ҳар бир пунктнинг тегишли редукцияланган нормал тенгламаларининг қисмлари тузилади. Кейин номаълум тузатмалар ξ_i ва η_i тузатмалар олдидаги хадлар келтириб, умумий тармоқ учун редукцияланган нормал тенгламалар системаси тузилади. Тармоқдаги редукцияланган нормал тенгламаларнинг сони аниқланувчи пунктларнинг иккиланган кўпайган сонига тенгдир.

19.4. Тармоқ тенглаштирилган элементларини ҳисоблаш.

Аниқликни баҳолаш

Фараз қиламиз, ҳисоблашнинг олдинги босқичда тармоқдаги барча ўлчанган миқдорлар учун тузатмалар тенгламаси тузилган: горизонтал йўналишлар, дирекцион бурчаклар, томонлар узунлиги ва ҳар бир i - тенглама вазни p_i (ўлчанган миқдорларни) маълум.

Айтайлик A -тузатмалар тенгламалари коэффициентларининг тўғри бурчакли матрицаси, пунктларда ўлчанган бурчаклар йиғинди тенгламалари билан бирга; X -аниқланувчи пунктларнинг тақрибий координаталарига ξ_i ва η_i тузатмаларнинг вектор устуни; l -тузатмалар тенгламалари, -озод хадлари l_i вектор устуни; P -тузатмалар тенгламалари P_i -вазнлар диагонал матрицаси. Бу белгилашлардан фойдаланиб, барча тузатмалар тенгламаларини матрица шаклида ёзамиз

$$AX + l = V. \quad (19.39)$$

(19.39) тузатма тенгламасидан, уларни вазнларини ҳисобга олиб нормал тенгламалар системасига ўтамыз

$$NX + L = 0, \quad (19.40)$$

бу ерда

$$N = A^T P A, \quad (19.41)$$

$$L = A^T P l. \quad (19.42)$$

N - нормал тенгламалар коэффициентларнинг симметрик матрицаси; A^T – A транспортланган матрицаси; P -тузатмалар тенгламалари вазнларининг диагонал матрицаси; L – нормал тенгламалар озод хадларининг вектор устуни.

(19.40) тенглама чап томони ҳар бир қўшилувчисини нормал тенгламалар коэффициентлари матрицаси N га тескари N^{-1} матрицасига кўпайтириб координаталарни изланаётган тузатмалари вектори X ни топамиз

$$X = -N^{-1}L = -QL \quad (19.43)$$

бу ерда Q – вазн коэффициентларининг матрицаси:

$$N^{-1} = Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1m} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{m1} & Q_{m2} & \dots & Q_{mm} \end{pmatrix}, \quad (19.44)$$

бунда m -аниқланувчи пунктларининг иккиланган сонига тенг бўлган, координаталарга топилган, ξ_i , η_i тузатмалар сони.

Нормал тенгламалар системасида ечиб ξ_i ва η_i (дм да) тузатмаларири топиб, аниқланаётган пунктни тенглаштирилган координатга қийматларини ҳисоблаймиз.

$$x_i = x'_i + \delta x_i = x'_i + 0.10 \xi_i;$$

$$y_i = y'_i + \delta y_i = y'_i + 0.10 \eta_i. \quad (19.45)$$

(19.45) формула бўйича ҳисобланилган пунктларнинг координаталари назоратсиз аниқланган. Ўлчанган миқдорларни тенглаштирилган қийматларини олиш ва назорат қилиш қуйидаги тарзда бажарилади. Нормал тенглама системасини ечишдан топилган тузатмалар ξ_i ва η_i тегишли тузатмалар тенгламалари (19.38), (19.9), (19.19), (19.29) қўйилади ва тузатмалар қийматлари δz_0 , $v_{N(ik)}$, $v_{\alpha(ik)}$, $v_{S(ik)}$ топилади. Ўлчанган миқдорларга тузатмалар киритилиб, уларнинг тенглаштирилган қийматлари олинади:

$$N_{ik} = N'_{ik} + v_{N(ik)};$$

$$\alpha_{ik} = \alpha'_{ik} + v_{\alpha(ik)};$$

$$S_{ik} = S'_{ik} + v_{S(ik)}. \quad (19.46)$$

Йўналишлар, дирекцион бурчаклар ва томонлар узунлигининг тенглаштирилган қийматларидан фойдаланиб, учбурчакларни якуний ечиш бажарилади, координаталар орттирмалари ҳисобланади ва иккинчи марта ҳар бир 1,2,3 учбурчакда иккита томонлари бўйича икки маротаба пунктларнинг тенглаштирилган координаталари топилади:

$$x_3 = x_1 + s_{13} \cos \alpha_{13} = x_2 + s_{23} \cos \alpha_{23};$$

$$y_3 = y_1 + s_{13} \sin \alpha_{13} = y_2 + s_{23} \sin \alpha_{23}. \quad (19.47)$$

Полигонометрияда (19.47) яъни формулаларни биридан координаталар икки мартали назоратсиз ҳисобланади. Тенглаштириш ҳисобларининг тўғрилигини якуний назорати, ҳар бир пункт учун (19.45) ва (19.47) формулалар бўйича ҳисобланган координаталарини тенг чиқиши ҳисобланади (аҳлитлаш аниқлиги чегарасида).

Тармоқни тенглаштирилган элементларининг аниқлигини баҳолаш.

Вазн бирлигининг ўрта квадратик хатосини қуйидаги формула билан топилади

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}}, \quad (19.48)$$

Бу ерда v - r вазн билан ўлчанган миқдорларга тенглаштиришдан топилган тузатма; r -тармоқдаги ортиқча ўлчашлар сони, тармоқда барча ўлчашлар сони k билан тенглаштиришдан аниқланувчи номаълум миқдорлар сони k_0 фарқларидан аниқланади, яъни

$$r = k - k_0. \quad (19.49)$$

k сони тенглаштиришдан тузатмалар топиладиган пунктлар ўлчанган барча йўналишлар, ер предметлари азимутлари ва ўлчанган томонлар йиғиндисига тенг.

k_0 сонига триангуляция ва полигонометрия пунктларидаги ориентирлаш бурчакларига тузатмалар δz_0 ҳамда аниқланувчи пунктлар координаталарига топилган δx ва δy тузатмалар киради. Тузатмалар δz_0 сони бурчак ўлчашлар бажарилган пунктлар (бошланғич ва аниқланувчи) сонига тенг; δx ва δy тузатмалар сони аниқланувчи пунктларнинг иккиланган сонига тенг.

Тенглаштирилган элементларнинг ҳоҳлаган F функциясининг дирекцион бурчаги, томон узунлиги, абсцисса ва ординаталар ўрта квадратик хатоси қуйидаги формула билан топилади

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}}. \quad (19.50)$$

Аниқланувчи F функциянинг тескари вазни $1/P_F$ турлича ҳисобланиши мумкин: Гаусс схемаси бўйича нормал тенгламалар системасини ечиш жараёнида ёки нормал тенгламалар коэффициентларининг тескари матрицасига тескари бўлган матрица элементлари бўйича ҳисобланади. Дастлаб бу функция тескари вазнини ҳисоблашнинг биринчи усулини кўриб чиқамиз.

Параметрик усулда тенглаштиришда нормал тенгламалар системасидаги номаълумларнинг охирги ва охиргидан битта олдингиси вазни ҳисобланади. Шунинг учун, қандайдир k пункти координаталарининг P_{x_k} ва P_{y_k} вазини аниқлаш учун, бу пункт координаталарини номаълум тузатмалар ξ_k ва η_k нормал тенгламалар системасида охиргидан битта олдинги ва охирги ўринга жойлаштирилади. Гаусс схемси бўйича нормал тенгламаларни ечишда охирги номаълум η_k вазни P_{y_k} ўзгартирилган охирги нормал тенгламадаги коэффициентига тенг. Охиргидан битта олдинги ξ_k номаълумнинг P_{x_k} вазни қуйдаги формула бўйича топилади

$$P_{x_k} = P_{y_k} \frac{A}{C + \frac{B^2}{A}},$$

бу ерда C ва A —охирги ва охиридан битта олдинги ўзгартирилган нормал тенгламаларнинг квадратик коэффициентлари; B – охиргидан битта олдинги ўзгартирилган тенгламада номаълум η_k олдидаги коэффициенти.

Пунктлар координаталари функцияси ҳисобланувчи, тенглаштирилган тармоқ ҳохлаган элементининг ўрта квадратик хатосини топиш учун, масалан, ҳохлаган пунктлар (ёнма-ён жойлашган ёки ёнма-ён жойлашмаган) орасидаги томон узунлиги ва дирекцион бурчагини, бу элементни шу пунктлар координаталари орқали ифодалаш лозим, сўнгра вазн функцияси тузилади. Узунлиги қуйидагича ифодаланадиган ихтиёрий томон S_{ik} баҳолаш учун вазн функциясини оламин

$$S_{ik} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}.$$

Бу ифодани аниқланувчи пунктларнинг координаталари бўйича дифференциаллаб ва дифференциаллардан якуний миқдорларга ўтиб, ушбу функциянинг орттирмасини топамиз

$$f_s = \Delta s_{ik} = -\frac{x_k - x_i}{S_{ik}} \delta x_i - \frac{y_k - y_i}{S_{ik}} \delta y_i + \frac{x_k - x_i}{S_{ik}} \delta x_k + \frac{y_k - y_i}{S_{ik}} \delta y_k,$$

уни шу томон учун тузатмалар тенгламалари (19.29) кўринишида ёзамиз, лекин ундаги озод хадсиз, яъни вазн функциясини тузамиз

$$f_s = \Delta s_{ik} = -c_{ik}\xi_i - d_{ik}\eta_i + c_{ik}\xi_k + d_{ik}\eta_k, \quad (19.52)$$

бу ерда ξ ва η - координаталарга топилган тузатмалар, дм; c ва d коэффициентлар тақрибий координаталар бўйича (19.26) формуладан фойдаланиб ҳисобланади.

Шу тамон дирекцион бурчаги α учун вазн функцияси f_α (19.19) тузатмалар тенгламалари кўринишга эга бўлади, фақат озод хадларсиз, яъни

$$f_\alpha = \Delta \alpha_{ik} = -a_{ik}\xi_i - b_{ik}\eta_i + a_{ik}\xi_k + b_{ik}\eta_k, \quad (19.53)$$

бу ерда a_{ik} , b_{ik} коэффициентлар, (19.11) формула бўйича ҳисобланилади.

Нормал тенгламаларни умумий системасида L озод хадлар графасидан кейин ξ_i, η_i ва ξ_k, η_k тузатмалар олдидаги, квадратик коэффициентли тенгламаларда f_s ва f_α функциялар коэффициентларини қўшимча графаси киритилади. Тескари вазнлар $1/P_s$ ва $1/P_\alpha$ нормал тенгламаларни ечиш билан бир вақтда ҳисобланади. Уларнинг миқдорлари элиминацион қаторлари устунида ёзилган сонларни ўзгартириб тузилган нормал тенгламаларни худди шу устундаги сонларига кўпайтмалари йиғиндисини сифатида топилади.

Иккинчи ҳолда, нормал тенгламалар системаси, тескари матрицани $Q = N^{-1}$ ҳисоблаш билан ечилганда, тенглаштирилган абсциссалар x ва ординаталар тескари вазни тескари матрицанинг Q диаганал элементларига тенг, яъни

$$\frac{1}{P_{x(i)}} = Q_{ii}; \quad \frac{1}{P_{y(i)}} = Q_{i+1, i+1}. \quad (19.54)$$

(19.54) ифодани (19.50) формулга қўйиб, қуйдагини ҳосил қиламиз.

$$m_{x(i)} = \mu \sqrt{Q_{ii}}; \quad m_{y(i)} = \mu \sqrt{Q_{i+1, i+1}} \quad (19.55)$$

Ёнма-ён жойлашган ёки ёнма-ён жойлашмаган i ва k пунктларини бирлаштирувчи ҳохлаган томоннинг узунлиги S_{ik} ёки дирекцион

бурчагининг α_{ik} тескари вазни қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади

$$\frac{1}{P_F} = f^T Q_{i-k} f, \quad (19.56)$$

бу ерда f^T - қуйидаги кўринишга эга бўлган томон дирекцион бурчаги α_{ik} ва узунлиги S_{ik} вазнли функциялари коэффицентларининг транспортирланган вектор-қаторлари

$$\begin{aligned} f_{a(ik)}^T &= (-a_{ik} - b_{ik} \ a_{ik} \ b_{ik}); \\ f_{s(ik)}^T &= (-c_{ik} - d_{ik} \ c_{ik} \ d_{ik}). \end{aligned} \quad (19.57)$$

a_{ik}, b_{ik} коэффицентлар (19.11) формула билан, c_{ik}, d_{ik} коэффицентлар эса (19.26) формула билан ҳисобланади, иккила ҳолатда ҳам пунктларнинг тақрибий координаталаридан фойдаланилади.

Q_{i-k} матрица, тармоқнинг баҳоланувчи томон (диоганали) S_{ik} бошланғич ва охириги x_i, y_i, x_k, y_k координаталарига мувофиқ келувчи вазнли коэффицентлар матрицаси Q учун умумий бўлган элементлардан шаклланади ва у қуйидаги кўринишга эга

$$Q_{i-k} = \begin{bmatrix} Q_{x_i x_i} & Q_{x_i y_i} & Q_{x_i x_k} & Q_{x_i y_k} \\ Q_{y_i x_i} & Q_{y_i y_i} & Q_{y_i x_k} & Q_{y_i y_k} \\ Q_{x_k x_i} & Q_{x_k y_i} & Q_{x_k x_k} & Q_{x_k y_k} \\ Q_{y_k x_i} & Q_{y_k y_i} & Q_{y_k x_k} & Q_{y_k y_k} \end{bmatrix}. \quad (19.58)$$

(19.56) формула орқали $1/P_F$ тескари вазни ҳисоблаб (19.50) формулага қўйиб баҳоланувчи элементнинг ўрта квадратик хатосини топамиз

$$m_{s,\alpha} = \mu \sqrt{f_{s,\alpha}^T Q_{i-k} f_{s,\alpha}},$$

бу ерда $f_{s,\alpha}$ - тегишлича (19.52) ва (19.53) вазн функцияси коэффицентларининг вектор устуни.

Тенглаштириш ҳисобларини якуний босқичида пунктлар координаталарининг каталоги тузилади, унда томонлар узунлиги ва дирекцион бурчаклар, каталогда ёзилган координаталардан фойдаланиб тескари геодезик масала ечиш йўли билан ҳисобланади.

VI-БЎЛИМ. ГЕОДЕЗИК ТАЯНЧ ТАРМОҚЛАРНИ РИВОЖЛАНТИРИШНИ КОСМИК УСУЛЛАРИ

20 – Боб. Сунъий йўлдош геодезик тармоқларини ривожлантириш усуллари ва технологиялари

20.1. Умумий маълумотлар

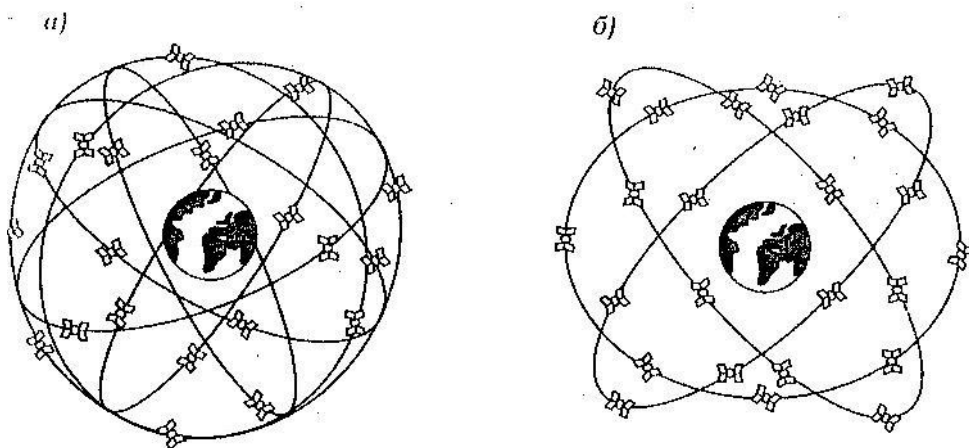
Инсонни қадим замонлардан қизиқтириб келган муаммолардан бири, у ўзини Ер планетасини қайси жойида турганини аниқлашдан иборат бўлган. Киши ўз атрофини ўраб олган объектларга нисбатан турган ўрнини осонгина аниқлаб олиши мумкин. Бордию атрофда бундай объектлар бўлмаса, ҳаммаёқ бўм-бўш чўл ёки бепоён океан сатҳи бўлсачи? Кўп асрлар давомида бу муаммони Қуёш ва юлдузлардан фойдаланиб ечиб келинган. Шу жумладан геодезистлар, геологлар ва бошқалар геодезик таянч пунктлардан фойдаланиб келишган, улардан бошлаб ўлчашлар олиб борилган ёки йўллар аниқланган, лекин бу усуллардан фойдаланиш имкони ҳар доим бўлавермайди. Масалан, Қуёш ва юлдузлар булутли об-ҳавода кўринмайди. Жойда бажариладиган аниқ ўлчашлар кўп вақт ва меҳнат талаб қилади ва ҳар доим мақсадга тўла эришиш имкони бўлмайди. 1970 йиллар бошида GPS янги лойиҳаси тақдим этилди ва унга кўра киши ўз турган ўрнини ер юзасини ҳохлаган нуқтасида, ҳохлаган вақтда, ҳар қандай об-ҳаво шароитида юқори аниқликда аниқлаш имконига эга бўлди.

Аслида GPS системаси ҳарбийларга мўлжалланган бўлиб, кўп ўтмай уни ноҳарбий мақсадларда, айниқса денгиз навигацияси ва геодезияда қўллаш имкони топилди. Ҳозирги вақтда геодезик ўлчашларда сунъий йўлдош навигация системалари кенг қўлланилмоқда. Бу системалар космик ва ер усти механик воситалар комплексида, ер сфероиди сиртидаги объект ўрнини аниқлаш учун дастур таъминоти ва технологиясидан иборат. Сунъий йўлдош навигация системалирини катта ҳудудлар топографик съёмкаларни бажаришда плани-баландлик асоси ривожлантириш учун қўллаш

мақсадга мувофиқ. GPS тўла таркиби қуйидаги учта турли сегментлардан иборат:

- Космик сегмент – маълум орбита бўйича ерни айланиб учадиган сунъий йўлдошлар;
- Бошқариш сегменти – йўлдошлар учинини бошқариш учун зарур экваторга яқин жойлашган станциялар;
- Фойдаланувчилар сегменти – GPS сигналини қабул қилувчи ва фойдаланувчилар.

Космик сегмент 24 та сунъий йўлдошлардан ташкил топиб, улар ўз орбитаси бўйича тақрибан 20200 км баландликда учиб ҳар 12 соатда бир марта Ерни айланиб чиқади, 20.1-шакл.



20.1-шакл. а) – NAVSTAR; б) ГЛОНАСС. Сунъий

Космик сегмент шундай лойиҳаланганки ерни ҳар қандай нуқтасида ҳоҳлаган дақиқада уфқ текислигидан 15° юқорида кузатувчининг ихтиёрида энг камида 4 та сунъий йўлдош бўлади бу эса ҳар қандай амалий вазифаларни бажариш учун зарур бўлган йўлдошларни минимал сонидир. Ҳар бир сунъий йўлдош бир нечта жуда аниқ борт атом соатларига эга. Бу соатлар 10,23 МГц асосий частотада ишлайди. Бу частота йўлдош узатадиган сигналларни генерациялаш учун фойдаланади. Йўлдош доимий элтувчи иккита тўлқинни узатиб боради. Бу элтувчи тўлқинлар L –полосада жойлашиб ерга қараб ёруғлик тезлигида ҳаракат қилади.

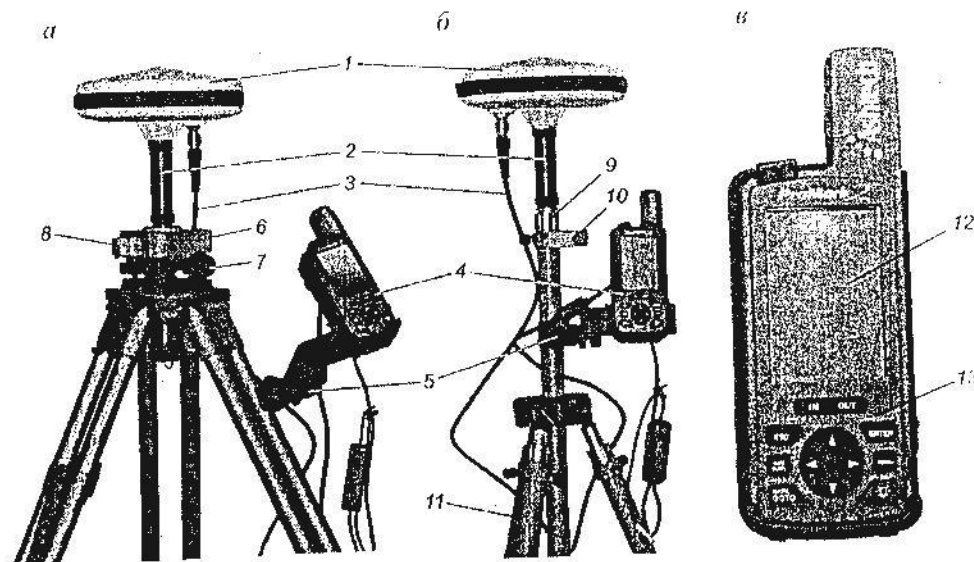
Ҳар бир йўлдош ўзининг шахсий кодига эга бўлиб, у бўйича приёмник йўлдошни аниқлайди. Бундай кодлар сохта масофаларни

ўлчаш учун асос қилиб олиниб, улар орқали координаталар ҳисобланади.

Радиосигнални йўлдошдан токи приёмник антеннасигача етиб келиш вақтини аниқлаш, сигнал тарқалиш тезлигини вақтга кўпайтириб масофани аниқлаш имконини беради. Бунинг учун йўлдошдан сигнал чиқиш дақиқасини билиш талаб қилинади. Шу мақсадда тўлқин узатувчи йўлдошда ва приёмникда сигнал генерациясини синхронлаштириш қабул қилинган, бу эса сигнални приёмникда қабул қилиш вақтида уни йўлдошдан узатилган вақтини аниқлаш имконини беради. Бу масала юборилган кодни қабул қилинган кодга нисбатан сурилишини аниқлаш орқали ечилади. Агарда кодлар кетма-кет генерация қилинса уларни бир-бирига нисбатан сурилиш қийматини аниқлаш мумкин бўлади.

Амалда сигнал сифатида ноллар ва бирлар кетма-кетлиги ҳар бир милли секундда генерацияланади ва уларга сохта тасодифий (псевдослучайные) код номи берилган. Сигнални тарқатиш вақтини белгилаш учун вақтни наносекунд аниқликда ($0,000000001$ с) ўлчаш имконини берадиган юқори аниқ соат йўлдошда ўрнатилади. Бунда йўлдош ва приёмник сигналларини чиқишини синхрон генерациялаш керак бўлади.

Приёмник соатини ишлашидаги хатолик таъсирида қабул қилинган сигналлар орқали станция ўрнини етарли аниқликда белгилаш имкони бўлмаса, приёмникдаги компьютер битта вақт оралиғини (ҳамма ўлчашларга бир хил) ўлчанган сохта узоқлик (псевдодальность) қўшиб (айириб) бошлайди. Шу тарзда ўлчашлар учун вақтни ўзгартириб бориш йўлдошлардан келаётган тўлқин доираларини битта нукта орқали кесиб ўтишини таъминлагунча давом эттирилади (20.2-шакл). Бу эса тўртта номаълумларга эга туртта тенгламалар системасини ечиш орқали амалга оширилади.



20.2-шакл. Pro Mark 2 GPS приёмниги жихозлари комплектининг умумий кўриниши:
 а) Ташқи аппаратларни штативга ўрнатилган ҳолда кўриниши: 1-антенна; 2-вертикал бўйича узайтиргич; 3-улаш кабелли; 4-приёмник; 5-дала краништейни; 6-таглик (трегер); 7-оптик марказлаштиргич; 8-таглик доиравий ауелаги;
 б) Ташқи аппаратурани вежага ўрнатилган ҳолати; 9-вежа; 10-вежага ўрнатилган доиравий ауелак; 11-уч оёқ (штатив); в-приёмник панели; 12-дисплей; 13-бошқарув

Шундай қилиб, ҳисоблашлар учун қабул қилинган ер эллипсоиди сиртига нисбатан нуктанинг учта координаталарини – кенглиги, узоклиги ва баландлигини аниқлашда хатоликларга йўл қўймаслик учун тўртта йўлдошларгача масофаларни ўлчашга тўғри келади. Юқорида кўриб ўтилган принципда ҳар бир йўлдошгача масофани аниқлаш унинг координаталарини маълум бўлишини тақозо этади. Бу мақсадда йўлдошлар ўзини жуда баланд орбитасига аниқ чиқарилади. Орбита параметрлари приемникка туширилади ва бу қизиқтирган вақт учун ҳар бир йўлдош ўрнини аниқлаш имконони беради.

24 соат давомида йўлдошлар кузатиш назорат пунктлари устидан икки маротаба учиб ўтади. Бу эса уларнинг ўрни ва тезлигини аниқ назорат қилиш имконини беради. Кузатиш станцияларида аниқланган орбитанинг ўзгариши орқали “эфмерид” хатосини ҳисоблаш имкони туғилади. Одатда орбиталарни ўзгариб туриши Ой ва Қуёшни гравитация майдонларини таъсири ҳамда Қуёш нуруни йўлдошга кўрсатадиган босими билан боғлиқ. Ҳисобланган хатолар асосида йўлдош орбитасига тузатмалар аниқланади. Тузатмаларни киритиш билан аниқланган орбита параметрлари йўлдошга узатилади.

GPS ўлчашлар аниқлигига нурни ионосфера ва тропосфералардан ўтиш хатосига қўшимча приёмник хатоси, атрофдаги предметлардан нурни қайтарилиши хатоси ва бошқалар таъсир этади. Бундан ташқари, “геометрик омил”, яъни йўлдошларга қараб йўналишлар орасидаги бурчаклар қиймати ҳам таъсир этади. Бу бурчаклар қанчалик каттароқ бўлса кестирмалар шунча яхши, демак ўлчашлар ҳам аниқ бўлади.

Россияда ГЛОНАСС системаси устида ишлар 1976 йилдан бошланган бўлиб, уни 1993 йилда ҳарбий мақсадларда қўллаш учун махсус қарор билан қабул қилинган. Шу вақтда 8 та космик аппаратлар ўз орбитасида ҳаракат қилар эди. 1995 йил охирига келиб эса системада космик аппаратлар сони 24 та етказилди. Россия Ҳукуматининг махсус қарори билан бу системани халқ хўжалигида қўллаш учун ҳам очилди.

ГЛОНАСС да ҳам иккита канал: стандарт (СТ) ва юқори аниқ (ЮА) каналлар мавжуд бўлиб, улар нуқталар координаталарини GPS аниқлигига яқин аниқликда топиш имконини беради. СТ сигнали (GPS C/A кодига ўхшаш) ҳамма фойдаланувчилар учун очик, ЮА сигналлари эса фақат ҳарбий мақсадларда қўланилади.

24 та йўлдошлар учта доиравий орбиталарни ҳар бирида 8 тадан жойлаштирилган, орбиталар баландлиги 19100 км га яқин ва улар экваторга қараб 64,8 градусга оғади. Орбиталар параметрларини бундай танлангани узок муддат давомида йўлдошлар ўзаро жойлашиши ҳолатини ўзгармас бўлишини таъминлайди.

Шундай қилиб, GPS ёрдамида координаталарни аниқлаш геодезиянинг фундаментал мақсадини амалга оширишда ер сиритни ҳоҳлаган жойидаги нуқта мутлоқ ўрнини бир хил аниқликда топишни таъминлайди. Анъанавий геодезик ва топографик усулларни қўллаб эса нуқта ўрнини бошланғич пунктларга нисбатан бу пунктларгача бўлган масофаларга боғлиқ бўлган аниқликда топамиз. Шунинг учун GPS одий усулларга нисбатан катта афзалликка эга. Бошқа томондан геодезия фани – бу GPS учун асос ва аксинча, GPS геодезия учун асосий асбобга айланди. Бу айтилган сўзлар ҳақиқат

бўлиб тасдиқланади, агарда биз геодезиянинг асосий мақсадларини эсга келтирсак:

1. Ернинг сиртида миллий ва глобал фазовий геодезик таянч тармоқларни, улар пунктларини вақт ўтиши билан силжиб ўрни ўзгариб туришини ҳисобга олиб, қуриш ва хизмат кўрсатиш.

2. Геодезик ҳодисаларни (ер қутбларини ҳаракати, ер қобиғини силжиши ва бошқалар) ўлчаш ва тавсифини аниқлаш.

3. Ер гравитация майдонини, уни даврий ўзгариб туриши билан бирга аниқлаш.

GPS дан фойдаланувчиларни кўпчилиги юқоридаги вазифаларни бажариши билан тўқнашмаса ҳам, лекин бу асбоблар билан ишловчилар албатта геодезиядан тушунчага эга бўлишлари шарт.

20.2. GPS ва маҳаллий координаталар системалари

GPS геодезик ва навигация оммавий асбоблари бўлиб бориши сабабли геодезистлар ва навигаторлар GPS координаталарини стандарт геодезик координаталар системалари билан қандай боғланишда эканлигини билишлари зарур.

GPS ўлчашларни бажаришда хатоликларга йўл қўйишни асосий сабаби, бу боғланишларни тўғри тушинмаслик оқибатидир.

Коинотдан Ерга қаралганда унинг сирти бир текис кўринсада амалда бундай эмаслиги аниқ.

GPS ер сиртидаги ҳар қандай нуқта координаталарини аниқлаб беришга хизмат қилгани сабабли, у эллипс сиртига асосланган геодезик координаталар системасидан фойдаланади.

Эллипсоид (сфероид деб ҳам аталади) – бу қутбларидан сиқилган сфероиддир. Эллипсоидни танлашдан мақсад эса у Ер сферасига ўхшашлигидадир. Бундай эллипсоид ҳеч қандай физик сиртга эга бўлмайди, лекин у математик аниқланган сиртдир.

Амалда турли эллипсоидлар ёки математик аниқланадиган сиртлар (Ер сиртига ўхшаш) кўп учрайди.

GPS системасида қўлландиган эллипсоидга WGS84 ёки 1984 Умумжаҳон Геодезик Система деб аталади. Маълумки Ер сиртидаги

нуктанинг ўрни унинг кенглиги, узоклиги ва эллипсоидал баландлиги билан аниқланади.

Нукта ўрнини аниқлашни алтернатив усули – бу Декарт (тўғри бурчакли) координаталар системаси бўлиб, унда координаталарни қабул қилинган бош нуктаси ёки сфероидни марказидан X , Y ва Z ўқлари бўйича ўлчанадиган кесимлар нукта ўрнини ифодалайди.

Бу усул GPS ёрдамида нуктанинг фазовий ўрнини аниқлашда қўлланади.

Ер сунъий йўлдошларининг ҳаракати тўғри бурчакли инерционал геоцентрик координаталар X , Y , Z системасида ифодаланади (ёзилади).

Ҳозирги сунъий йўлдош навигацияси системасида дастлабки координаталар умумер геоцентрик координаталар системасида аниқланади. NAVSTAR GPS навигациясида умумер координаталар системаси сифатида WGS-84, ГЛОНАСС системасида эса ПЗ (Ер параметрлари) – 90 фойдаланади.

GPS координаталар системасига ўхшаш маҳаллий координаталар системалари турли давлатларда улар ҳудудларида геоидни аниқроқ ифодалай оладиган маҳаллий эллипсоид (референц эллипсоид) га асосланган.

Одатда бу системаларда зоналар системасига тегишли бўлган тўғри бурчакли координаталарни олиш учун нукталар текисликка проекцияланади.

Маҳаллий координаталар системасида фойдаланадиган кўпгина референц-эллипсоидлар жаҳон давлатларида кўп йиллар аввал – космик геодезияни вужудга келишидан олдин аниқланган бўлган.

Бу эллипсоидларни танлашдан мақсад қизиқтираётган ҳудудни энг аниқ ташкил этувчи сиртни танлаб олишдан иборат бўлган, шу билан бирга бу эллипсоидларни Ернинг бошқа қисмларида қўллаш имкони бўлмайди. Шундан келиб чиқиб ҳар бир давлат ўзини эллипсоиди ва унга мос фазовий координаталар системасини танлаб олади.

GPS системасида координаталар дастлаб WGS-84 эллипсоидига нисбатан аниқланади. Мавжуд координаталар каталоглари одатда

маҳаллий системадаги координаталардан тузилган бўлади, шу сабабли GPS координаталари маҳаллий системага қайта ҳисоблаб ўтказилиши талаб қилинади.

GPS ёрдамида ўлчанган баландликлар WGS-84 эллипсоиди сиртига тегишли бўлади ва эллипсоидал баландликлар дейилади. Амалдаги каталогларда эса ўртача денгиз сатҳига нисбатан ўлчанган ортометрик баландликлар берилади.

Денгизни ўртача сатҳи геоид деб аталадиган сатҳга тўғри келади. Геоид мураккаб шаклга эга бўлиб, эллипсоидга мос келмайди. Ер массасининг зичлиги геоидга таъсир этиб у зич жойларда баландликлар ва зичлик кам қисмларда пастликларни ҳосил қилади.

Амалда фойдаланадиган карталарнинг кўпчилигида ортометрик баландлик (геоид сиртига нисбатан) берилган. Шунга кўра GPS да аниқланган баландликлардан ортометрик баландликка ўтишга тўғри келади. Бу масала эллипсоидал баландликлардан ортометрик баландликка ўтиш учун ишлаб чиқилган геоид модели орқали амалга оширилади.

20.3. Сунъий йўлдош ўлчашларини математик асоси

Юқорида кўрсатиб ўтилганидек Ер сунъий йўлдошларининг ҳаракати тўғри бурчакли инерционал геоцентрик координаталар X , Y , Z системасида ифодаланади. Бу эса худди шу системада ер сиртида олинган нуқта координаталарини аниқлаш имконини беради.

Бу масалани ечиш асосида сунъий йўлдош ва ер сиртидаги M нуқта орасидаги масофани аниқлашни қуйидаги тенгламаси ётади.

$$D_k^2 = (X_i - X_M)^2 + (Y_i - Y_M)^2 + (Z_i - Z_M)^2, \quad (20.1)$$

бу ерда

D_k – сунъий йўлдош билан ер сиртидаги M нуқта орасидаги масофа;

X_i, Y_i, Z_i – йўлдошни геоцентрик координаталари;

X_M, Y_M, Z_M – ер сиртидаги M нуқтанинг геоцентрик координаталари.

Йўлдош координаталари ва у билан ер сиртидаги нуқта орасидаги масофа аниқ бўлганда (20.1) формуладан аниқланадиган ер нуқтасининг координаталари номаълум ҳисобланади. Ушбу M нуқтасининг координаталари X_M, Y_M, Z_M ни аниқлаш учун нуқтадан учта сунъий йўлдошларгача масофалар $D_k (k=1,2,3)$ ни ўлчаш керак бўлади, бунда ўлчаш дақиқалари учун бу йўлдошлар ўрни координаталари маълум бўлиши керак. Бу масофалар ўрнига амалда сохта узоқлик (псевдодальность) ўлчанади ва унинг қиймати қуйидаги формуладан топилади:

$$D'_k{}^2 = [D_k + (T_M + T_C) \cdot V]^2 = (D_k + \Delta T \cdot V)^2, \quad (20.2)$$

бу ерда

D'_k - сунъий йўлдошдан приёмникгача сохта узоқлик;

$\Delta T = T_M - T_C$ - сунъий йўлдошдан приёмникгача тўлқинни тарқалиш вақти;

T_M, T_C - йўлдошда ва приёмникда тўлқинни тегишлича жўнатилиши ва қабул қилиниши вақтлари;

V - радиотўлқинни тарқалиш тезлиги.

(20.2) тенгламадаги номаълумлар $(X_M, Y_M, Z_M \text{ ва } \Delta T)$ қийматларини аниқлаш учун энг камида тўртта йўлдошларгача узоқликларни ўлчаш керак бўлади.

(20.1) формулани ҳисобга олиб приёмник ўрни координаталарини аниқлаш учун (20.2) формулани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$D'_k = \sqrt{(X_{\ddot{u}} - X'_M)^2 + (Y_{\ddot{u}} - Y'_M)^2 + (Z_{\ddot{u}} + Z'_M)^2 + \Delta T \cdot V}, \quad (20.3)$$

(20.3) тенгламани энг кичик квадратлар усулида ечиб нуқтанинг номаълум координаталари X'_M, Y'_M, Z'_M ва вақт шкалаларининг айирмаси ΔT топилади.

Нуқтанинг топилган координаталари қуйидаги хатолар манбаалари: Ернинг айланиши тўлқин тарқалиши муҳит таъсири, аппаратуралар шовқини таъсиридан хатоликларга эга бўлади.

Объект координаталарини янада аниқроқ топиш учун юқорида кўрсатилган хатолар таъсири учун тегишли тузатмаларни киритиш зарур бўлади.

20.4. Жой объектлари координаталарини аниқлаш усуллари

Ер сиртидаги пунктлар ўрнини (координаталари) GPS системаси ёрдамида автоном ва дифференциал тартиб (режим) да аниқланади. Автоном тартиб навигация ва ҳарбий приёмниклар ўрнини аниқлашни асосий усули ҳисобланади. Бунда объект ўрни навигация йўлдошлари ва битта GPS приёмнигидан фойдаланиш асосида аниқланади.

Дифференциал тартиб (DGPS) объект координаталарини юқори аниқликда топишга қаратилган. У энг камида иккита приёмникдан фойдаланишга асосланган, улардан бири координаталари маълум пунктда ўрнатилади ва асос (база) станцияси ҳисобланади, иккинчиси – ҳаракатдаги станция бўлиб, аниқланадиган нуқталар бўйича ўтади. Координаталари аниқ асос станция тузатмаларни ҳисоблаб йўлдош ўлчашларини тузатиш (коррекциялаш) учун эфирга комбинациялашган хабарларни узатади. Бу хабарлар ҳаракатдаги приёмник (станция) томонидан қабул қилиниб, у орқали асос станциядан узатилган тузатма ҳисобга олинади. Иш бажарувчи жойни навбатдаги нуқтасига ўтиб GPS приёмник тугмачасини босиши билан ушбу нуқтанинг аниқ координаталари бир дақиқада топилади. Юқори аниқликни таъминлаш асосида координаталари маълум пунктлардан фойдаланиш ётади. Бу эса йўлдошдан келаётган дальномер сигналларида келиб чиқадиган хатоликлар йиғиндисини ҳисоблаш имконини беради.

Асос (база) станцияси жойлашган пункт ҳисоблашни янги бош нуқтаси бўлиб, ундан маълум чегараланган ҳудудда жойлашган ҳар қандай GPS приёмникка тузатиш (коррекциялаш) радио сигналларини узатиш мумкин. Бу эса ягона тузатиш сигнали

системадаги хатоликларни, уларни келиб чиқиши манбааларидан қатъий назар, тўғрилайди.

Биринчи вариантда приёмникларга телеметрик каналлар бўйича хатоликлар тўғрисида ҳабар узатилади, бу ҳабарни приёмник ўз ўрни ҳақидаги маълумот билан компютерида ишлаб чиқиб нуқта координаталари аниқлигини оширади. Иккинчи вариантда асос станция “сохта йўлдош” вазифасини бажаради, яъни у сунъий йўлдошга ўхшаш сохта эхтимолий кодлар сигнали ва маълумотлар узатади.

GPS приёмнигини жойлашувига қараб статик ва динамик ўлчашлар усуллари қўлланилади.

Приёмник ўрнини статик усулда аниқлашда у аниқланадиган пунктда ўрнатилиб маълум вақт давомида кузатишлар олиб борилади.

Динамик усулда кузатишларни олиб бораётган приёмник ҳаракатда бўлган транспорт воситасида ўрнатилган бўлади.

Геодезик GPS приёмниклар билан ишлашда қўйилган мақсадга қараб қуйидаги ўлчашлар услубидан бири қўлланади: статика, илдам статика, кинематика ва RTK.

Статика узун чизикларни ўлчашда, геодезик тармоқларни ривожлантиришда, тектоник платформалар ҳаракатини ўрганиш ва бошқаларда қўлланади. Статика энг юқори аниқликда ўлчаш учун қўлланилиб, станцияда кузатишлар вақти бир соатни ташкил қилади. Геодезик тармоқларни ривожлантиришда векторлар энг аниқ топилиши (ўлчаниши) керак бўлади. Бунда тармоқлар қатъий боғланган векторлардан ривожлантирилади ва пунктларнинг аниқ координаталари тармоқни қатъий тенглашдан топилади.

Илдам статика зичлаш тармоқлари ва съёмка тармоқларини ривожлантиришда қўлланади. Бу усул кузатиш натижаларини компютерда ишлаб чиқиб координаталарни сантиметр аниқлик даражасида аниқлашни таъминлайди.

Асос (база) чизигини ҳаммаси бўлиб 8 дақиқада (8 – 30 дақиқа) аниқлаш учун бу усул элтиш фазасини ўлчашдан фойдаланади. Керакли ўлчаш вақти қўлланадиган приёмник типига асос (база)

чизиғининг узунлигига, кўринадиган сунъий йўлдошлар сонига ва улар геометриясига боғлиқ.

Кинематика топографик съёмкаларда ва катта микдордаги нукталар координаталарини қисқа вақт ичида аниқлашда қўлланади. Бунда сунъий йўлдошлардан келаётган сигналлар йўлини дарахтлар, баланд иморатлар ва бошқалар тўсадиган бўлса вақт сарфи ошади, аниқлик эса пасаяди. Асос чизиғининг узунлиги 50 км билан чегараланади ва 1 сантиметр аниқликни таъминлайди.

РТК кинематика усулида реал вақт давомида ўлчаш учун асос станцияси қабул қилган сунъий йўлдош маълумотларини ҳаракатдаги приёмникка узатиш учун радиомодемдан фойдаланади. Бу усул нукталар координаталарини далада реал вақтда билиш имконини беради. Шунинг учун унда топографик съёмкаларни бажариш жуда унумли ҳисобланади. Лекин радиомодемда ишлаш учун асос станция билан ҳаракатдаги станциялар ўзаро кўриниши керак бўлади. Бу усул реал вақтда сантиметрик аниқликни таъминлайдиган ягона услул ҳисобланади.

Ҳар бир сунъий йўлдош иккита уникал кодларни узатади. Биринчи ва нисбатан оддий кодга C/A (қўпол) коди дейилади. Иккинчи код P (аниқ) код дейилади. Бу кодлар иккита элтувчи тўлқинларни $L1$ ва $L2$ модуллаштиради. $L1$ C/A ва P – кодни, $L2$ эса фақат P кодни элтади.

Координаталар трилатерация методида ҳар бир кўринадиган йўлдошгача масофани аниқлашдан кейин топилади. Узоқлик код ёки элтувчи фаза бўйича аниқланади.

Геодезик GPS приёмниклар фазани элтувчи цикл чегарасида ўлчайди. $L1$ ва $L2$ тўлқинлар узунлиги маълум, шунинг учун йўлдошларгача узоқликлар фаза домерини йўлдош билан антенна орасидаги тўлқинлар сонига кўпайтириб масофа аниқланади.

20.5. Нукталар координаталарини трансформациялаш

Ҳозирги замон сунъий йўлдош навигацияси ситемаларида нукталар координаталари дастлаб умумер геоцентрик координаталар системаларида аниқланади. NAVSTAR GPS навигация системасида

умумер координаталар системасига WGS84, ГЛОНАСС да – ПЗ – 90 системалари фойдаланади. Амалий ишларни бажаришда эса, масалан, геодезик инженерлик тадқиқот ишларида ясси тўғри бурчакли координаталар системалари СК – 42 ва СК – 95 фойдаланади. Шу сабабли битта координаталар системасидан иккинчисига ўтиш, трансформация масаласи туғилдади.

Трансформациялашни турли усуллари мавжуд. Ҳар бир усулда трансформация параметрларини аниқлаш учун дала ишлари жараёни бир хил. Биринчидан жойда ҳеч бўлмаганда 3 та умумий пунктларни координаталари ҳар иккала координаталар системаларида (масалан, WGS84 ва маҳаллий системада) маълум бўлиши керак. Бундай умумий пунктларда маҳаллий системада координаталари ва ортометрик баланликлари маълум, (масалан, жойда мавжуд геодезик тармоқлар пунктларида) GPS ўлчашларни бажариб олинади. Шундан кейин трансформациялашни усулларида бирида уни параметрларини ҳисоблаш мумкин.

WGS84 геоцентрик координаталар системаси билан ПЗ–90 системаси ўртасидаги боғланиш Гельмертнинг қуйидаги формулалари орқали амалга оширилади.

$$\left. \begin{aligned} R_{WGS} &= \Delta R + (1 + m) \cdot WR_{ПЗ} \\ R_{WGS} &= (X_{WGS}, Y_{WGS}, Z_{WGS})^T \\ \Delta R &= (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)^T, \quad R_m = (X_{ПЗ}, Y_{ПЗ}, Z_{ПЗ})^T, \end{aligned} \right\} \quad (20.4.)$$

бу ерда

$R_{WGS}, R_{ПЗ}$ – WGS84 ва ПЗ-90 системаларида приёмник ўрнини жойда аниқловчи тегишли векторлар;

ΔR – WGS84 координаталар системасига нисбатан ПЗ-90 координаталар системаси бош нуқтасини вектор қиймати;

m – масштаб коэффициенти;

W – координаталар ўқларини бурилиш бурчаклари $(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ матрицаси.

Демак, ПЗ-90 координаталар системасидан WGS84 координаталар системасига ўтиш учун қуйидаги 7 та ўзгариш параметрлари - ΔX , ΔY , ΔZ , m , ω_x , ω_y , ω_z керак бўлади.

WGS84 дан ПЗ-90, яъни тескари ўтиш учун $W' = W^T$ Гельмерт формуласини қуйидаги кўринишда ёзамиз.

$$R_{ПЗ} = (1 - m) \cdot W^T \cdot (R_{WGS} - \Delta R), \quad (20.5)$$

бу ерда

m – координаталар системалари масштабларининг дифференциал фарқи.

Геоцентрик ва квазигеоцентрик координаталар системалари орасидаги боғланиш ҳам Гельмерт формулаларидан тикланади.

$$\left. \begin{aligned} R &= \Delta R + (1 + m) \cdot W_r; \\ R &= (X_r, Y_r, Z_r)^T, \quad \Delta R = (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)^T, \quad R = (X_w, Y_w, Z_w)^T, \end{aligned} \right\} (20.6)$$

бу ерда r ва R – референц – эллипсоидлар ва умумер эллипсоиди координаталари системаларида нукта ўрнини аниқлайдиган векторлар;

ΔR – референц – эллипсоид координаталар системаси бош нуқтасини умумер эллипсоиди системаси бош нуқтасига нисбатан аниқловчи вектор;

W – координаталар ўқларини бурилиши матрицаси.

Тескари ўтиш, яъни референц – эллипсоид координаталари системасидан умумер эллипсоиди системасига ўтиш қуйидаги тенглама орқали бажарилади:

$$r = (1 - m) \cdot W^T \cdot (R - \Delta R). \quad (20.7)$$

Россияда қабул қилинган Давлат Стандарти ГОСТ Р 51794 – 2001 га асосан кўрилатган координаталар системалари орасидаги боғланишни таъминловчи, координаталарни бир системадан иккинчи системага ўтказиш параметрлари қуйидаги 20.1 жадвалда берилади.

20.1 жадвал

Координаталар системалари	$\Delta X, \text{ м}$	$\Delta Y, \text{ м}$	$\Delta Z, \text{ м}$	ω''_X	ω''_Y	ω''_Z	m
ПЗ-90-СК-95	25,90	- 130,94	-81,76	0	0	0	0
ПЗ-90-СК-42	25,0	- 141,00	-80,00	0	-0,35	-0,66	0

Юқоридаги жадвалда келтирилган параметрлардан фойдаланиб референц-эллипсоид координаталар системасига ўтиш қуйидаги формулалар бўйича бажарилади:

$$\left. \begin{aligned} X_r &= X_w - \Delta X + \omega_Y Z_w - \omega_Z Y_w - m X_w; \\ Y_r &= Y_w - \Delta Y - \omega_Z Z_w + \omega_X X_w - m Y_w; \\ Z_r &= Z_w - \Delta Z + \omega_Z Y_w - \omega_Y X_w - m Z_w, \end{aligned} \right\} \quad (20.8)$$

бу ерда

X_r, Y_r, Z_r – референц-эллипсоид координаталар системасида ер сиртидаги нуқтанинг координаталари;

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – умумер координаталар системаси бош нуқтасига нисбатан референц-эллипсоид координаталар системаси бош нуқтасининг сурилиш қиймати;

X_w, Y_w, Z_w – умумер координаталар системасидаги ер нуқтасининг геоцентрик координаталари.

Баъзи бир масалаларда сунъий йўлдош навигация системаси ёрдамида геодезик координаталар аниқланиши мумкин. Бунда геодезик координаталар системаси орасидаги боғланишни тиклаш масаласи туғилади. Бу мақсадда қуйидаги тенгламалардан фойдаланиш кўзда тутилади.

$$\left. \begin{aligned} B_M &= B_a + \Delta B \\ L_M &= L_a + \Delta L \\ H_M &= H_a + \Delta H, \end{aligned} \right\} \quad (20.9)$$

бу ерда

B_M, L_M, H_M – изланган эллипсоид сиртидаги M нуқтасининг геодезик координаталари;

B_a, L_a, H_a – бошланғич эллипсоид сиртидаги M нуқтасининг геодезик координаталари;

$\Delta B, \Delta L, \Delta H$ – изланган ва бошланғич эллипсоидлардаги геодезик координаталар боғланиши параметрлари. Бу параметрлар анча мураккаб формулалар бўйича ҳисобланади ва олинган қийматлар аниқлиги чизик ўлчамида 0,3 м ни ташкил қилади.

Умуман олганда шуни таъкидлаш керакки координаталарни трансформациялаш натижалари фақатгина умумий пунктлар билан чегараланган зонада ишлатилиши лозим.

Шуни айтиш керакки жуда кўп ҳолатларда маҳаллий системада аввалда аниқланган пунктлар координаталари GPS ўлчашлардан аниқланган янги координаталардан фарқ қилади, бу эса тармоқни деформациясига сабаб бўлади. Бундай камчиликни тузатиш учун ҳамма GPS координаталарни тенг чўзиш ёки сиқиш йўли билан уларни маҳаллий координаталар системасига ёзилади (жойлаштирилади).

Референц-эллипсоиддан геоидни нисбий баландлиги кўпинча номаълум бўлади. Жойда мавжуд реперлар баландликларидан фойдаланиб баландликлар модели тузилиб интерполяция орқали нуқталар баландлиги H_z топилади.

20.6. Сунъий йўлдош GPS приёмниклари

Ҳозирги кундаги космик навигация приёмникларини жуда кўп хиллари мавжуд бўлиб, уларни функционал вазифаларига қараб қуйидаги гуруҳларга бўлиш мумкин:

- навигация приёмниклари;
- ҳарбий мақсадлардаги приёмниклар;
- картография ва геоахборот тизимлари (ГАТ) учун мўлжалланган приёмниклар;
- геодезик приёмниклар.

Ўзини техник кўрсаткичлари бўйича қабул қиладиган кодларига қараб приёмниклар қуйидагиларга бўлинади:

- Селектив кодлар (C/A) ни;
- Селектив код ва $L1$ частотадаги сигнал фазасини;
- Селектив код ва $L1$ ва $L2$ частотадаги сигналлар фазасини;
- Селектив код, P – код ва $L1$, $L2$ частоталардаги сигнал фазасини.

Навигация приёмниклари селектив кодни қабул қилишни таъминлайди. Бунда объект координаталарини аниқлаш хатоси 150 – 200 метрни ташкил қилади.

Ҳарбий приёмниклар P – кодни қабул қилиш имконига эга ва ҳамма диапазонларда ишлашни таъминлай олади. Объект координаталарини аниқлаш хатоси 10-20 метрга тенг.

ГАТ приёмниклари сигнал фазаларини, одатда битта частотали, ўлчашга мўлжалланган ва координаталарни 1-5 метр хатолик билан аниқлашни таъминлайди.

Геодезик приёмниклар сигнал фазасини, одатда битта частотали, ўлчашга мўлжалланган. Бунда улар битта частотали сигнал билан ва бирданига икки частотали сигналлар билан ишлаши мумкин. Бу приёмниклар нуқталар координаталарини 1–2 сантиметр хатолик билан аниқлаш имконини беради.

GPS приёмниклари конструктив хусусиятларига қараб битта каналли, икки ва тўрт каналли приёмникларга бўлинади.

Битта каналли приёмникларни оддий масалаларни ечишда қўлланиши учун бирин – кетин тўртта сунъий йўлдошларни кузатиб уларгача бўлган масофаларни кетма – кет аниқлашга тўғри келади, бунинг учун 2 сониядан 30 сониягача вақт талаб қилинади. Бу приёмникларни камчилиги улар ўрнатилган объект ҳаракатда бўлса йўлдошни кузатиш имкони бўлмайди, чунки бунда ўлчаш аниқлик пасайиб кетади. Бундан ташқари навбатдаги йўлдошдан сигнални қабул қилиш имкони бўлмайди, чунки бу вақтда (30 сония) олдинги йўлдошдан олинган сигнални ишлаб чиқиш билан приёмник банд бўлади.

Юқорида айтилган камчиликлардан қутилиш мақсадида икки каналли приёмник қўлланади. Бунда битта канал қабул қилган сигналларни ишлаб чиқиш билан банд бўлса, иккинчиси навбатдаги

йўлдош билан радиоалоқа боғлаб ўлчашни амалга оширади. Биринчи канал маълумотларни ишлаб чиқишни тугатиб навбатдаги йўлдош билан алоқа боғлаш ва ўлчашга тушади ва шу кетма – кетликда ишлар давом этади.

Икки каналли приёмникларда, уларда ўрнатилган соатлар юриши хатолигини бартараф этувчи ҳисоблаш алгоритмлардан фойдаланади.

Икки каналли приёмникларнинг камчилиги-битта каналли приёмниклардан қиймат ва кўп энергия сарфлайди.

Параллел (тўхтовсиз) кузатувчи приёмниклар бирданига 4 та ва ундан ортиқ сунъий йўлдошларни кузатишга мосланган бўлиб улар бир онда объект координаталари ва тезлигини беради. Бу эса юқори динамикали объектлар ўрнини юқори даража аниқликда топиш имконини беради.

GPS примник тўртта асосий модулларни ўз ичига олади: энергия таъминлаш блоки, бошқариш модули, антенна модули ва қабул қилувчи модул.

Энергия таъминлаш блоки приёмник комплектига кировчи аккумулятор батареялардан ташкил топади.

Бошқариш модули приёмник режимини белгилаш ва бошланғич параметрларни киритиш учун хизмат қилади. У ўз ичига бошқариш пульти (иш режими ва бошланғич маълумотларни киритишни таъминлайди) ва дисплей (қизиқтирадиган маълумотларни кўз билан кузатиш учун) ни олади. Бошқариш модули антенна модули ва қабул қилиш модули билан бевосита боғланган.

Антенна модули антеннани қаратилиш диаграммасини бошқариш мосламаси ва сигналларни кучайтириш мосламасидан ташкил топади. У сунъий йўлдошлар сигналларини қидириб топиш ва қабул қилиш, уларни кучайтириш ва қабул қилиш модулига узатишни таъминлайди. Қабул қилиш модули ишлаши йўлдош генератори ишлаши билан синхронлаштирилган кварц генератори, сигналларни ишлаб чиқиш процессори, микропроцессор ва ёдда тутувчидан иборат. Антеннани кучайтирувчисидан сигналлар уларни ишлаб чиқиш процессорига узатилади, бу ерда сигналлар танилиб уларни параметрлари микропроцессорга узатилади. Микропроцессор “сохта

узоқликлар”, приёмник соатига тузатмалар ва берилган координаталар системасида приёмникни мутлоқ координаталарини ҳисоблашни амалга оширади. Олинган қийматлар қабул қилувчи модул ёдига туширилади, у ердан бошқариш пултидан берилган топшириқ (команда) бўйича дисплей экранида кўринади ёки ташқи ёдловчи мосламасига ёзилади.

GPS приёмниги жиҳозлари комплектининг умумий кўриниши 20.2- шаклда берилган. Приёмникларни асосий тавсифлари ва типлари 20.2 жадвалда келтирилган.

Юқори аниқ геодезик приёмникларда амалда чизиқларни ўлчаш аниқлиги қуйидаги даража $5 \text{ мм} + 1 \times 10^{-6} \cdot D$ ни ташкил қилади, бу ерда D - асос (база) чизиғининг узунлиги (5 – 10 км).

Ҳамма йўлдош приёмниклари амалдаги давлат қонунлари, меъёрий ҳужжатлар ва қоидаларга асосан метрологик аттестация ва сертификатлашдан ўтиши шарт.

20.2 жадвал

Асбоб номи	Фирмани г номи (ишлаб чиқарувч и давлат)	Статик дифференциал режимда ўлчаш ўрта квадратик хатоси			Бошқа тавсифл ар	
		Координа талар орттирма лари τ_d	Масофа лар τ_s	Нисби й баланд - ликла р τ_h	Параллел каналлар сони	Дастур таъминоти
Битта частотали приёмниклар						
SUPER C/A	ASHTЕК (АҚШ)	10 + 1ppm	10 + 1ppm	20 + 1ppm	12	+
GEOTRAS	GEOTRON	5 + 2ppm	5 + 1(2)ppm	20 + 2(3)ppm	12	+

ER SYSTEM 2000	ICS AB (Швеция)					
NR 10	SERSEL (Франция)	5+2ppm	5+1ppm	5–30	10	+
4000 SE LAND SURVEYOR	TRIMBLE (АҚШ)	10+2ppm	10+2ppm	20+2ppm	12	-
RS 12	KARL ZEISS (Германия)	10+2ppm	10+2ppm	20+2ppm	12	+
WILD GPS – SYSTEM 200	LEICA AQ (Швейцария)	10+2ppm	10+2ppm	20	6	+
Икки частотали приёмниклар						
Z–12 Field Surveyor	ASHTEK (АҚШ)	5+1ppm	5	17+2ppm	12	+
GPS TOTAL STATION	TRIMBLE (АҚШ)	5+1ppm	5+1ppm	10+1ppm	9(1 2)	-

Йўлдош приёмникларини ички (киритилган) дастурлари, уларни иш режимларига асосан турли функцияларни, яъни координаталар ва навигация параметрларини ҳисоблаш, координаталарни тўғрилаш, маршрут маълумотларини тайёрлаш, маршрут бўйича юргизиш, компьютер билан икки томонлама алоқа боғлашларни бажаради. Дастурлар йўлдош системаси алманахини приёмник ёдига ёзишни компьютер ёки унинг таблосига орбита группировкаси ҳақидаги маълумотларни чиқаришни таъминлайди.

Ташқи дастурлар приёмник комплектига киритилади ёки алоҳида берилади. Улар “меню” ва “сичқонча” типдаги манипулятор тизимлари билан бошқарилади.

Ташқи амалий дастурлар топографик – геодезик ишларга тегишли қуйидаги вазифаларни амалга оширади:

- Ишларни режалаш;
- Керакли миқдордаги йўлдошлардан маълумотларни ёзиб олиш;
- Дифференциал коррекциялаш (тўғрилаш) дастури учун файллар тузиш;
- Дифференциал коррекциялаш;
- Маълумотларни график тасвирлаш;
- Асос (база) чизиқларни ҳисоблаш;
- Координаталарни ҳисоблаш ва уларни бошқа системаларга ўзгартириш;
- Ўлчашлар аниқлигини баҳолаш;
- Маълумотлар базасини шакллантириш;
- Геодезик тармоқни тенглаш;
- Берилган масштабдаги план ва картани автоматик технологияда тузиш ва чиқариш.

GPS приёмниклари билан ишлаш режаси қуйидагилардан иборат: ишлаш жойида йўлдошларни кўриниши маълумотини тузиш, геометрик омилларни дастлабки омилларини ҳисоблаш, аниқланадиган пунктлар (нуқталар) орасидаги ҳаракат чизмасини тузиш.

Илова.

40-64° кенликларда $x^1 = t_{\text{ботиш}}^1 - t^1$ микдорларининг

Сана	$\varphi=40^\circ$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64
Апрел	6 10 14 22 30	1,09 1,09 1,09 1,09 1,09	1,15 1,14 1,13 1,12 1,12	1,21 1,19 1,18 1,16 1,16	1,28 1,25 1,22 1,19 1,20	1,36 1,31 1,26 1,27 1,31	1,42 1,36 1,30 1,32 1,36	1,39 1,34 1,37 1,42 1,46	1,43 1,39 1,42 1,48 1,53	1,47 1,43 1,47 1,54 1,60	1,52 1,48 1,53 1,60 1,69	1,58 1,54 1,58 1,67 1,77	1,65 1,60 1,65 1,75 1,87
Май	8 16 24	1,10 1,12 1,17	1,14 1,16 1,20	1,18 1,21 1,24	1,22 1,25 1,29	1,31 1,35 1,39	1,40 1,44 1,49	1,51 1,56 1,61	1,58 1,64 1,70	1,67 1,73 1,80	1,77 1,85 1,94	1,88 1,98 2,10	2,02 2,16 2,30
Июн	1 9	1,22 1,27	1,26 1,30	1,29 1,33	1,37 1,42	1,43 1,47	1,53 1,57	1,61 1,65	1,64 1,74	1,73 1,86	1,85 1,94	1,98 2,10	2,16 2,30
Июл	17 25	1,32 1,34	1,34 1,37	1,37 1,39	1,40 1,43	1,50 1,52	1,57 1,59	1,65 1,67	1,74 1,76	1,86 1,88	2,01 2,04	2,18 2,22	2,42 2,46
Август	3 11 19 27	1,35 1,34 1,32 1,30	1,37 1,36 1,32 1,28	1,39 1,38 1,33 1,26	1,43 1,41 1,36 1,30	1,52 1,50 1,46 1,37	1,58 1,55 1,51 1,46	1,66 1,63 1,57 1,52	1,76 1,71 1,65 1,59	1,88 1,83 1,75 1,68	2,03 1,98 1,89 1,79	2,22 2,16 2,05 1,93	2,46 2,40 2,25 2,12
Сентябр	4 12 20 28	1,26 1,23 1,18 1,12	1,28 1,24 1,20 1,15	1,26 1,22 1,17 1,10	1,30 1,28 1,24 1,19	1,37 1,33 1,29 1,25	1,41 1,37 1,32 1,29	1,46 1,41 1,36 1,24	1,52 1,46 1,47 1,39	1,60 1,54 1,49 1,45	1,70 1,63 1,57 1,52	1,82 1,73 1,65 1,60	1,98 1,87 1,78 1,70
Октябр	5 13 21 29	1,04 0,97 0,92 0,89	1,07 1,00 0,95 0,92	1,10 1,04 0,99 0,96	1,13 1,08 1,03 0,99	1,16 1,11 1,07 1,02	1,20 1,16 1,11 1,07	1,24 1,20 1,16 1,12	1,28 1,25 1,21 1,17	1,40 1,36 1,32 1,29	1,46 1,42 1,38 1,35	1,53 1,49 1,45 1,42	1,62 1,57 1,53 1,51
	3 7 11 15	0,88 0,88 0,88	0,91 0,91 0,91	0,94 0,94 0,94	0,98 0,97 0,96	1,01 1,00 0,99	1,05 1,04 1,02	1,10 1,08 1,07	1,21 1,19 1,18	1,27 1,25 1,25	1,33 1,32 1,32	1,41 1,41 1,42	1,50 1,51 1,53
	19 23 27 31	0,90 0,91 0,94 0,98	0,92 0,93 0,96 1,01	0,94 0,95 0,98 1,03	0,96 0,97 0,98 1,01	0,99 0,99 1,00 1,03	1,04 1,02 1,04 1,14	1,08 1,07 1,08 1,20	1,12 1,12 1,13 1,28	1,25 1,25 1,28 1,40	1,35 1,33 1,34 1,43	1,45 1,41 1,41 1,47	1,51 1,50 1,51 1,53

Адабиётлар

1. Аковецкий В.Г., Парамонов А.Г. Топогеодезическое обеспечение месторождений нефти и газа. Книга 1. М., Макс пресс, 2006, 471стр.
2. Асур В.Л., Кутузов М.Н., Муравин М.М. Высшая геодезия.
3. М., “Недра” 1979, 398стр.
4. Баранов В.Н., Бойко Е.Г, Краснорылов И.И., идр. Космическая геодезия. М., “Недра” 1986.
5. Вировец А.М. Высшая геодезия. М., “Недра” 1970.
6. Закатов П.С. Курс высшей геодезии. М., “Недра” 1976.
7. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов М., “Недра” 1974.
8. Инструкция по построению государственной геодезической сети. М., “Недра” 1966.
9. Кочетов Ф.Г. Нивелиры с компенсаторами. М., “Недра” 1985.
10. Машимов М.М. Уравнивание геодезических сетей. М, “Недра” 1989.
11. Мубораков Х., Ахмедов С. Геодезия ва картография. Тошкент, “Ўқитувчи” 2002, 303 бет.
12. Мубораков Х., Маъруфов Ю.Д. Топография-геодезия атамаларининг русча-ўзбекча луғати. Тошкент, “Меҳнат”, 1999, 13.79 бет.
14. Неумывакин Ю.К., Перский М.И. Геодезическое обеспечение землеустроительных и кадастровых работ. М., «Геодезиздат», 1996, 344стр.
15. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. М., “Недра” 1978.
16. Плотников В.С. Геодезические приборы. М., “Недра” 1987.
17. Спридонов А.И. Теодолиты.М., “Недра” 1985.
18. Тошпўлатов С.А., Авчиев Ш.Қ., Ковалев Н.В. Олий геодезия. Ўқув қўлланма. ТАҚИ.2003й.
19. Яковлев Н.В. Высшая геодезия.М, “Недра” 1989 г, 445 стр.
20. Тошпўлатов С.А., Авчиев Ш.Қ., “Сердюидек геодезия” ўқув қўлланма ТАҚИ 2002 й, 173 бет.

21.Яковлев Н.В., Беспалов Н.А. и др. Практикум по высшей
Геодезин М., Ноура 1982,368 стр:

22.Карсунская М.М. геодезичеисие приборы М. ООО”Институт
оценси природных ресурсов”, 2002 г, 185 стр

МУНДАРИЖА

	Сўз боши	3
	Кириш	5
	I-Бўлим. Ернинг шакли ва келтириш сиртлари	11
1-Боб.	Ернинг шакли ва гравитация майдони ҳақида асосий маълумотлар	11
1.1.	Оғирлик кучи ва Ернинг сатҳий юзаси	11
1.2.	Геоид ва квазигеоид	16
1.3.	Умумий ер эллипсоиди	18
1.4.	Нормал Ер ва Ернинг ҳақиқий шакли	21
2-Боб.	Кўчириш сирти. Редукцион масала	29
2.1.	Кўчириш сирти. Красовский референц-эллипсоиди	29
2.2.	Геодезик ва астрономик координаталар ва азимутлар	31
2.3.	Шовун чизиғининг оғиши	33
2.4.	Лаплас азимутлари	36
2.5.	Редукцион масала туғрисида тушинча	36
	II-Бўлим. Таянч геодезик тармоқ	40
3-Боб.	Давлат геодезик тармоғи	40
3.1.	Геодезик тармоқлар. Уларнинг аҳамияти	40
3.2.	Давлат геодезик тармоғини барпо этишнинг асосий принципи	44
3.3.	Давлат геодезик тармоғи пунктларнинг зичлиги	46
3.4.	Давлат геодезик тармоғини барпо этишнинг зарурий аниқлиги	50
3.5.	Давлат геодезик тармоғини барпо этишнинг асосий усуллари	52
3.6.	Таянч геодезик тармоқ барпо этишнинг бошқа усуллари	57
3.7.	Давлат триагнуляциясини барпо этишда Ф.Н. Красовский таклиф этган схема ва дастур	61
3.8.	Давлат геодезик тармоғини асосий қоидаларга биноан куриш	66
3.9.	Асосий геодезик ишларни бажариш кетма-кетлиги	72
3.10.	Давлат геодезик тармоғини такомиллаштиришнинг	73

	истикболли йўллари	
4-Боб.	Геодезик тармоқларни лойиҳалаш ва рекогносцировка қилиш. Геодезик белгилар ва марказлар	75
4.1.	Геодезик тўрларини лойиҳалаш тўғрисида умумий маълумот	75
4.2.	Геодезик пунктларни рекогносцировка қилиш	79
4.3.	Геодезик белгилар баландлигини ҳисоблаш	82
4.4.	Геодезик белгилар	86
4.5.	Геодезик пунктларнинг марказлари	92
5-Боб.	Геодезик тармоқ аниқлигини априор (такрибий) баҳолаш	96
5.1.	Умумий маълумот	96
5.2.	Ўлчанувчи миқдорлар вазинини аниқлаш	99
5.3.	Геодезик тармоқ тенглаштирилган элементларини тескари вазни ва ўрта квадратик хатосини ҳисоблаш	103
5.4.	Ўлчаш натижаларини моделлаштириш билан геодезик тармоқ аниқлигини априор компьютерда (такрибий) баҳолаш	107
5.5.	Такрибий формула бўйича триангуляция аниқлигини баҳолаш	108
5.6.	Азимут ва базис томонларни жойлаштириш частотаси. Учбурчакларнинг энг қулай шакли	114
5.7.	Трилатерация тармоғи ва қаторлари аниқлигини такрибий формулалар билан баҳолаш	116
5.8.	Полигонометрия звеноси аниқлигини баҳолаш	120
5.9.	Геодезик тармоқларда горизонтал йўналишлар, азимутлар ва томонлар узунликларини ўлчаш аниқлигини мувофиқлаштириш	121
	III-Бўлим. Юқори аниқликда бурчак ўлчаш	123
6-Боб	Юқори аниқликдаги теодолитлар. Теодолитларни тадқиқ қилиш	123
6.1.	Юқори аниқликдаги теодолитлар ва улардан	123

	фойдаланиш хусусиятлари	
6.2.	Юқори аниқликдаги теодолитлар ҳақида маълумотлар	125
6.3.	Юқори аниқликдаги оптик теодолит геометрик чизмаси	134
6.4.	Юқори аниқликдаги теодолитларнинг ўқий системалари ва адилаклари	135
6.5.	Юқори аниқликдаги оптик теодолитнинг лимби	139
6.6.	Юқори аниқликдаги теодолитларнинг қараш трубаси	140
6.7.	Оптик теодолитнинг санок олиш қурилмаси	143
6.8.	Бирлаштириб санок олиш принципи. Оптик микрометрлар	145
6.9.	Юқори аниқликдаги теодолитларнинг текшириш ва тадқиқлари	149
6.10.	Оптик микрометр ренини аниқлаш	151
6.11.	Оптик микрометр шкаласининг хатолари	153
6.12.	Алидада ва лимб эксцентриситетини аниқлаш	155
6.13.	Теодолитнинг горизонтал ва вертикал ўқларини перпендикуляр эмаслигини аниқлаш	160
6.14.	Лимб диаметрлари тўла хатоларини аниқлаш	161
7-Боб.	Юқори аниқликда бурчакларини ўлчашда хатолар манбаи ва уларнинг таъсирини камайтириш усуллари	165
7.1.	Юқори аниқликда бурчакларни ўлчашдаги хатоларнинг турлари	165
7.2.	Визирлашнинг систематик хатолари	167
7.3.	Юқори аниқликдаги бурчак ўлчашда асбоб хатолари	178
7.4.	Бурчак ўлчаш натижаларига лимб диаметрлари хатосининг таъсирини камайтириш	169
7.5.	Қараш трубаси коллимация хатосининг таъсири	170
7.6.	Қараш трубаси горизонтал айланиш ўқи қиялигининг таъсири	171
7.7.	Теодолитни вертикал ўқи ва лимб қияликлари таъсири	173
7.8.	Лагерларда қараш трубаси ўқининг азимутал силжиши,	177

	кўтаргич винтларнинг люфти, теодолитни ҳарорат ўзгаришидан деформацияси	
7.9.	Ўлчаш натижаларига ташқи муҳитнинг таъсири	179
7.10.	Келтириш элементларини аниқлаш хатоси	180
7.11.	Келтириш элементларини аниқлашнинг хатоси	181
8-Боб	Бурчак ўлчашда ва азимутал аниқлашда ёруғлик рефракцияси	182
8.1.	Ёруғлик рефракцияси	182
8.2.	Рефракция бурчагининг метрологик элементлар билан боғлиқлиги ва уларнинг градиентлари	186
8.3.	Ҳарорат, рефракция ва ўлчанадиган миқдорлар градиентларининг квази даврий ўзгариши	189
8.4.	Ён томон рефракция таъсири учун тузатмани аниқлаш	193
8.5.	Юқори аниқликда бурчак ўлчаш ва азимут аниқлашда кузатишнинг энг қулай вақти	197
9-Боб.	Юқори аниқликда бурчак ўлчаш назарияси ва усуллари	199
9.1.	Умумий тушунчалар	199
9.2.	Пунктда тенг аниқликдаги йўналишларни олиш шарти	200
9.3.	Доиравий приём усули	204
9.4.	Барча комбинацияларда бўрчак ўлчаш усули	213
9.5.	Комбинацияларда бурчакларни ўлчашнинг ўзгартирилган усули	222
9.6.	Тўла бўлмаган приём усули	223
9.7.	Йўналишларининг симметрик комбинациялар усули	225
9.8.	Ориентир нуқталарини боғлаш	227
9.9.	Келтириш элементларини аниқлаш	228
	IV-бўлим. Юқори аниқликдаги геометрик ва тригонометрик нивелирлаш	232
10-Боб.	Давлат нивелирлаш тармоқлари	232
10.1.	Нивелирлаш тармоқлари ва уларнинг аҳамияти	232
10.2.	Замонавий давлат нивелирлаш тармоғи	234

11-Боб.	Нивелирлаш йўллари лойиҳалаш, рекогносцировка қилиш ва жойда маҳкамлаш	237
11.1.	I ва II класс нивелирлаш йўллари лойиҳалаш	237
11.2.	I ва II класс нивелирлаш йўллари рекогносцировка қилиш	238
11.3.	Нивелирлаш йўллари жойда маҳкамлаш	239
11.4.	Нивелирлаш йўллари гравиметрик таъминлаш	243
12-Боб.	Юқори аниқликдаги нивелирлар ва инвар рейкалар	244
12.1.	Юқори аниқликдаги нивелирлар ва инвар рейкаларга бўлган асосий талаблар	244
12.2.	Юқори аниқликдаги нивелирларнинг геометрик чизмаси ва асосий қисмлари	249
12.3.	Адилакли юқори аниқликдаги нивелирлар	251
12.4.	Юқори аниқликдаги компенсаторли нивелирлар	257
12.5.	Нивелирлаш инвар рейкалари	262
13-Боб.	Юқори аниқликдаги нивелирларни тадқиқ қилиш	266
13.1.	Цилиндрик адилакли нивелирларни тадқиқ қилиш дастури	266
13.2.	Юқори аниқликдаги нивелирлар контактли адилагини тадқиқ қилиш	267
13.3.	Оптик микрометр ишлашини тадқиқ қилиш	272
13.4.	Нивелир элевадия винтининг ишлашини ва труба фокусловчи линзасининг тўғри юришини тадқиқ қилиш	276
13.5.	Компенсаторли нивелирларни тадқиқ қилиш	277
13.6.	Нивелир визир нурини ўзи ўрнатиш хатосини аниқлаш	281
13.7.	Компенсатор ишлашини систематик хатосини аниқлаш	283
13.8.	Нивелир ҳароратини ўзгаришида қараш трубасининг визир ўқи ҳолатининг барқарор эмаслигини аниқлаш	288

14-Боб.	Юқори аниқликда геометрик нивелирлашда хатолар манбаи ва улар таъсирини камайтириш усуллари	289
14.1.	Геометрик нивелирлашда шахсий хатолик	289
14.2.	Геометрик нивелирлашда асбоб хатолиги	291
14.3.	Инвар рейка хатоларининг таъсири	297
14.4.	Ташқи мухит таъсири. Нивелир рефракцияси	300
14.5.	Штатив ва костилларнинг вертикал силжиши	304
14.6.	Ер сиртининг гидротермик ҳаракати	305
14.7.	Юқори аниқликда нивелирлаш натижаларига тектоник ва бошқа ҳодисаларнинг таъсири	307
15-Боб.	Юқори аниқликда нивелирлаш усуллари. Ўлчаш натижаларини ишлаб чиқиш	309
15.1.	I класс нивелирлаш усули ва дастури	309
15.2.	II класс нивелирлаш усули ва дастури	314
15.3.	Тоғли ҳудудларда ва йирик шаҳарларда юқори аниқликда нивелирлашнинг хусусиятлари	319
15.4.	Нивелирлаш баландлик системалари ҳақида тушунча	322
15.5.	Юқори аниқликда нивелирлаш натижаларини ишлаб чиқишда дастлабки ҳисоблашлар	326
15.6.	Юқори аниқликда нивелирлаш натижаларининг аниқлигини баҳолаш	331
15.7.	I ва II класс нивелирлаш тармоқларини нормал баландликлар системасида тенглаш	336
16-Боб.	Тригонометрик нивелирлаш	343
16.1.	Умумий маълумотлар	343
16.2.	Бир томонлама тригонометрик нивелирлашда геодезик баландликлар фарқини ҳисоблаш	346
16.3.	Бир томонлама тригонометрик нивелирлашда нормал баландликлар фарқини ҳисоблаш	349
16.4.	Икки томонлама тригонометрик нивелирлашда геодезик баландликлар фарқини ҳисоблаш	352

16.5.	Икки томонлама тригонометрик нивелирлашда нормал баландликлар фарқини ҳисоблаш	354
16.6.	Ернинг синдириш коэффициентини аниқлаш усуллари	354
16.7.	Нормал рефракция вақти	360
16.8.	Тригонометрик нивелирлаш натижаларини ишлаб чиқиш	363
	V-Бўлим.Текисликда геодезик тармоқларни тенглаш	366
17-Боб.	Геодезик тармоқларда дастлабки ҳисоблашлар	366
17.1.	Дастлабки ҳисоблашлар вазифаси. Ўлчанган миқдорларни пунктлар марказига келтириш	366
17.2.	Ўлчаган қийматларни ер юзасидан референц-эллипсоид юзасига редукциялаш	369
17.3.	Ўлчаган миқдорларни эллипсоиддан текисликка редукциялаш.	373
18-Боб.	Геодезик тармоқларни коррелат усулида тенглаштириш	378
18.1.	Умумий ҳолат	378
18.2.	Триангуляцияда шартли тенгламалар сони	379
18.3.	Триангуляцияда мустақил шартли тенгламалар сони	394
18.4.	Трилатерацияда шартли тенгламалар сони	398
18.5.	Шартли тенгламалар озод ҳадларининг чекли қийматларини аниқлаш	404
18.6.	Тенглаштириш ҳисобларининг кетма-кетлиги. Аниқликни баҳолаш	408
19-Боб	Геодезик тармоқларни параметрик усулда тенглаштириш	412
19.1.	Тенглаштириш ҳисобларининг кетма-кетлиги. Ўлчанган миқдорлар вазнларининг мувофиқлиги	412
19.2.	Ўлчанган миқдорлар тузатмалари тенгламаси	414
19.3.	Триангуляция ва полигонометрия пунктларида	422

	редукцияланган нормал тенгламаларни тузиш	
19.4.	Тармоқнинг тенглаштирилган элементларини ҳисоблаш. Аниқликни баҳолаш	424
	VI- Бўлим. Геодезик таянч тармоқларни ривожлантиришни космик усуллари	431
20-Боб.	Сунъий йўлдош геодезик тармоқларини ривожлантириш усуллари ва технологиялари	431
20.1.	Умумий маълумотлар	431
20.2.	GPS ва маҳаллий координаталар системалари	436
20.3.	Сунъий йўлдош ўлчашларини кинематик асоси	438
20.4.	Жой объекти координаталарини аниқлаш усуллари	440
20.5.	Нукталар координаталарини трансформациялаш	442
20.6.	Сунъий йўлдош GPS приёмниклари	446
	И л о в а	451
	40-64 кенгликларда $x_0^3 = t_{\text{зах}} - t'_0$ миқдорларнинг кўп йиллик қийматлари	451
	Адабиётлар рўйхати	453