

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ**

**Қ.И.СӘТБАЕВ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ
ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

Қ.Б. РЫСБЕКОВ

ЖЕРСЕРІКТІК НАВИГАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

**Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі оқу құралы
ретінде ұсынған**

Алматы 2010

ЖОК 627 (075.8)
ББК 39.471–5 я73

Р 94 Рысбеков Қ.Б. Жерсеріктік навигациялық жүйелері. Оқу құралы. – Алматы: ҚазҰТУ, 2010. 141 б.

Кесте – 7. Сурет – 20. Әдебиеттер тізімі – 5 атау

ISBN 978–601–228–185–9

Оқу құралында пән курсының мазмұнына қатысты жерсеріктік навигациялық жүйелердің негізгі бағыты, міндеті, студенттердің GPS-пен жұмыс жүргізуіне қатысты, Жер серігінің радионавигациялық жүйелері туралы деректер келтірілген. Сонымен қатар, қолданылатын құралдардың негізгі конструкциялық ерекшеліктері және жерсеріктік өлшеу нәтижелерінің дәлдігін бағалау әдістері мен жалпы теориялық негізі қамтылған.

Оқу құралы “Жерсеріктік навигациялық жүйелері ” пәні бойынша «050711 – Геодезия және картография», мамандығына, лабораториялық жұмыстарды орындауға арналған.

ББК 39.471–5 я73

Пікір жазғандар:

Т. Қалыбеков – техн., ғылым., докторы, профессор, ҚБТУ;

Н.Н. Керімбай – геогр., ғылым. канд., доцент, ҚазҰУ;

*Ж.Ж. Байгурын – техн., ғылым., докторы, профессор,
ҚазҰТУ.*

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің
2010 жылғы жоспары бойынша басылды.

ISBN 978–601–228–185–9

© Рысбеков Қ.Б.

© ҚазҰТУ, 2010

КІРІСПЕ

Жерсеріктік радионавигациялық жүйелер (ЖРНЖ) дегеніміз – навигациялық мәселелерді шешу мен жергілікті жердің нүктелерінің координаталарын, жердің арнайы навигациялық жасанды серіктерінен (ЖНЖС) берілетін, тірек нүктелері қызметін атқаратын радиосигналдар бойынша анықтауға (орнын анықтау, позициялау) арналған техникалық құралдар кешені.

ЖРНЖ-ның пайда болуы, геодезияның қолданбалы бағыты – ғарыштық (жерсеріктік) геодезияның ғылыми пәні дамуының нәтижесі болды. ЖРНЖ-ны құру – бұл ғарыштық геодезияның орбиталдық әдісін практикада іске асыру, оның мәні – жер беті нүктелерінің координаталарын ЖНЖС-нің белгілі координаталары бойынша анықтау.

Жүйе атауында «навигациялық» деген сөздің болуы, алғашқы осындай жүйелердің теңізде жүзуді навигациялық қамтамасыз етуге арналғандығымен түсіндіріледі.

Навигация (латынша *navigo* – қайықта жүзіп бара жатырмын) – көлік құралдарын жүргізу жолдары мен әдістерін таңдау жөніндегі ғылым; оның міндеті: қозғалыстың тиімді траекториясын табу; нүкте орнын анықтау, қозғалу жылдамдығының бағыты мен мәнін және объектінің қозғалу параметрлерін анықтау. Навигациялық мәселелер – астрономиялық, радиотехникалық және басқа да әдістер арқылы шешіледі.

Геодезия есептерін шешу үшін ЖРНЖ-ні пайдалану көп функциялы жерсеріктік жүйелер пайда болғанда қажет болды. Онда пункттердің координаталарын мм-ге дейінгі дәлдікпен анықтауға мүмкіндік беретін ЖНЖС-тен, объектіге дейінгі ара қашықтық фазалық өлшеу әдісімен іске асырылды.

ЖРНЖ мүмкіндіктерін ұлғайтуға мүмкіндік беретін негізгі факторлар:

- мәндерді анықтау әдісін жетілдіру, оның негізінде жер бетінің нүкте координаталарын есептеу (ЖНЖС орбиталарының координаталары немесе элементтері, уақыт, т.б.);
- радиотехникалық құралдарды жетілдіру (үлкен көлемді ақпараттарды тасымалдайтын кең өрісті радиосигналдарды тарату мүмкіндігі);
- есептеу техникасын жетілдіру (тұтынушы аппаратураны компьютерлік технология базасы негізінде құру).

Бұл оқу құралын курстық жоба, өзіндік және зертханалық жұмыстарды орындау мақсатында, геодезия, картография, жерге орналастыру, кадастр, маркшейдерия, геология және аэрофотогеодезия бағытындағы оқитын мамандық студенттеріне пайдалануға болады.

1. ЖЕРСЕРІКТІК РАДИОНАВИГАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕ

1.1. Жерсеріктік радионавигациялық жүйенің даму тарихы

Жерсеріктік радионавигациялық жүйенің (ЖРНЖ) даму тарихы, ғарыштық геодезияның даму тарихына байланысты. Ол алғашқы жасанды Жер серігін (ЖЖС) ұшырған кезден басталды.

Алғашқы кезеңі негізінен 1958-1970 жылдарды қамтиды. Бұл кезеңде ЖЖС-ні бақылау әдістері, сондай-ақ олардың орбиталарын есептеу мен талдау әдістері жасалды. ЖЖС-ті бақылаудың негізгі әдісі, арнайы құрастырылған фотокамера арқылы іске асырылатын фотографиялық әдіс болды. Бақылаудың өңделген әдісі негізінде ғарыштық триангуляцияның ғаламдық желілері, Жер моделі жасалып, Жердің гравитациялық өрісі зерттелді. Бұл пункт координаталарын анықтау әдісінің кемшіліктері: екі пунктте бір мезгілде синхронды бақылауды ұйымдастыру қиындығы бір-бірінен едәуір қашықтықта тіркелген екі пункттен, бір уақытта жер серігінің көрінуін қамтамасыз ететін жақсы ауа-райы жағдайларының қажеттілігі.

1970-1980 жылдары ЖЖС дамуының екінші кезеңі болды. Бұл кезеңдерде ЖЖС-ні бақылаудың жаңа әдістері жасалады, яғни оларға – лазерлі және радиотехникалық қашықтық өлшеуіш, жерсеріктік альтиметрия жатады.

ЖЖС-нің фотографиялық бақылау әдісінің кемшіліктері: триангуляция әдісімен ғаламдық геодезиялық желіні құру кезінде кейбір қиыншылықтар туындады. Сондықтан, пункттердің координаталарын анықтау үшін ЖЖС-ге бағыттарды анықтау әдістерінің орнына, оларға дейінгі ара қашықтықты өлшеу әдістері қолданыла басталды. Сонымен, нүкте орнын анықтау мәселелерін жерсеріктік геодезияда шешу үшін трилатерация әдістері қолданыла бастады. Осы кезеңде алғашқы жерсеріктік навигациялық жүйелер: NNSS (Navy Navigation Satellite System) АҚШ-тың әскери-теңіз күштеріне арналып, азаматтық пайдаланушылар үшін ашылғаннан кейін, «Transit» деген атпен белгілі болды. Ал «Цикада» (СССР) 1979

жылы пайдалануға енгізіліп, әскери-теңіз флотының мұқтаждықтарын навигациялық қамтамасыз етуге қажет болды. ЖНЖС-нің алғашқы буынына – апат болғандарды анықтайтын COSPAS – SARSAT халықаралық жүйесі жатады.

Алғашқы шыққан барлық жерсеріктік жүйелердің кемшіліктері болды. Оларға – аймақты шектеулі қамту, координаталарды анықтаудың төменгі дәлдігі және навигациялық мәселелерді ұлғайтуға қажет уақыттың үлкен аралығы жатады. ЖЖС-ке дейінгі ара қашықтықты өлшеу негізіне – Доплер әдісі жатады.

Бұл кемшіліктердің себебі: ЖНЖС (жердің навигациялық жасанды серіктері) орбиталарының төмен биіктігі мен олардың шектеулі саны; олар Жердің барлық беті бойынша ЖНЖС радиосигналдарын қабылдауға мүмкіндік бермейді. Бұл ЖНЖС орбиталарының биіктігі 1000 км-ді құрап, небары 6 ЖНЖС қолданылған. Ара қашықтықты анықтау үшін төменгі жиілікті радиосигналдар қолданылды. Ол тұтынушы қабылдағышының стационарлы күйін талап етеді. Өйткені, оның тіпті аз ғана орын ауыстыруы – едәуір қателіктерге ұшыратады, яғни динамикада навигациялық анықтау мүмкіндігі болмайды.

Үшінші кезең – 1980 жылдан басталады. Бұл кезең көп функциялы NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging, США) ЖРНЖ-ні жасалумен белгілі болды. Ол бізге GPS (Global Position System) және ГЛОНАСС (Ғаламдық навигациялық жерсеріктік жүйе, КСРО, Ресей) аббревиатурамен белгілі.

2005 жылдан бастап, Еуропа ғарыштық агенттігінің ЖРНЖ-сі – Galileo ғарыштық сегменті өрістеді. Навигациялық ЖЖС орбиталарының биіктігі мен олардың сандарын арттыру, сондай-ақ басқа факторлар Жердің кез келген нүктесінде, кез келген уақытта және кез келген ауа райында нүкте орнын анықтау үшін, ЖРНЖ-ні қамту әрекетін ғаламдық етуге ЖНЖС-нің қажетті мөлшерінің радиокөрінушілігін қамтамасыз етті. Осы кезде жаңа жүйелерде нүкте координаталарын анықтау дәлдігін күрт жоғарылатуға, сондай-ақ навигациялық мәселелердің бүкіл кешенін нақты уақыт аралығында шешуге мүмкіндік туады. Бұл ЖРНЖ деректерін тұтынушылар,

санының едәуір өсуіне алып келді. Навигациядан бөлек координаталарды анықтау дәлдігін жоғарылату, жерсеріктік технологияларды геодезияда, геодинамикада, топографияда, Жерді қашықтықтан зондауда, геоақпараттық технологияларда, т.б. пайдалануға мүмкіндік береді.

1.2. Жерсеріктік радионавигациялық жүйелердің геодезиядағы маңызы

Координаталарды анықтаудың жерсеріктік технологияларының геодезиядағы маңызы. Геодезияда ЖРНЖ-ні пайдалану артықшылықтары:

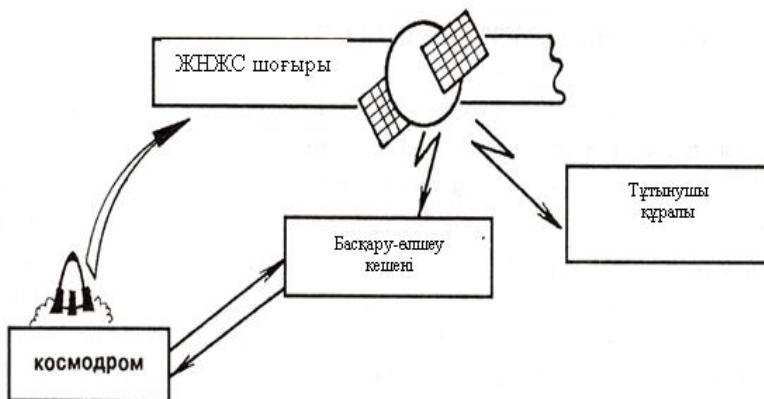
- геодезиялық торап пункттері арасында тура көрінуді қамтамасыз етуге арналған сыртқы сигналдарды құрудың қажеттігі жоқ;
- базистік қабырғалардың ұзындығы мен геодезиялық тірек торап қабырғалары шексіз;
- ауа райы жағдайы мен уақытқа тәуелсіз;
- жерге жақын тұрақсыз атмосфералық қабатты өлшеу дәлдігіне әсердің болмауы;
- ара қашықтықты біржақты өлшеу әдісін пайдалану;
- қозғалыста координаталарды жоғарғы дәлдікпен анықтау мүмкіндігі;
- пландық және биіктік тораптарды құру мүмкіндігі;
- координаталарды анықтау бойынша жұмыстарды автоматтандырудың жоғарғы дәрежесі.

ЖРНЖ-ні геодезияда қолдану – геодезиялық мәселелерді шешудің дәстүрлі әдістерімен салыстырғанда, еңбек өнімділігі мен оның тиімділігін жоғарылатады да, өлшеу дәлдігі артады.

1.3. Жерсеріктік радионавигациялық жүйелерді құру принциптері

ЖРНЖ-нің құрылымдық сызбанұсқасы – космодром, ғарыштық сектор, тұтынушы секторы, бақылау мен басқару секторынан тұрады (1-сурет). Осындай құрылым, жерсерігінен

жердегі пунктке дейінгі ара қашықтықты өлшеудің біржақты әдісін іске асыруға бағытталған. Бұл жағдайда жүйе – жердің навигациялық жасанды серіктерінің навигациялық радиосигнал беруші аппараты мен тұтынушы секторының қабылдағышынан тұрады.



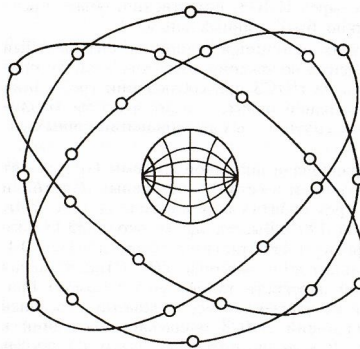
1- сурет. СРНЖ-нің құрылымдық сұлбасы

Космодром – ЖНЖС-нің жеткізгіш зымыран арқылы жүйені құру кезінде берілген орбиталарға шығарылуын қамтамасыз етеді. Қазіргі заманғы ЖНЖС-нің ресурстары шамамен 10 жылды құрайды және ол қозғалтқыш отын қорының мөлшеріне тәуелді. Сол арқылы орбитаның берілген уақытқа дейінгі кезеңдік түзетуін жүргізеді. ЖНЖС есептеу орбитасынан, Жердің гравитациялық өрісі және басқа планеталардың, атмосфераның кедергісінен басқа да қалыпсыз факторларының әсерінен шығады.

Ғарыштық сектор белгілі мөлшердегі ЖНЖС-ден тұрады. ЖНЖС жиынтығын – *шоқ жұлдыз* деп атайды. ЖРНЖ-нің жұмыс істету идеологиясына сәйкес, ЖНЖС координаталары белгілі тірек нүктесі қызметін атқарып, кеңістіктік қиылыстыру бойынша Жер бетіндегі пункттер координаталарын анықтауды жүзеге асырады. ЖНЖС бортына радионавигациялық аппаратура орнатылады. Ол жер серігі мен жердегі бақылау пункттері арасындағы қашықтықты есептеуге

қажет радиосигналдардың Жерге берілуін жүзеге асырады. Сонымен қатар, әрбір ЖНЖС-ден жерсерігі эфемеридалары, борт сағатының уақыт шкаласының түзетулері, альманах – барлық ЖНЖС шоқжұлдыздары жөніндегі ақпараттан құралған навигациялық деректер беріледі. Жер серігінде жұмыс істеуге қажет радионавигациялық аппаратурадан бөлек, кеңістіктік бағытталуды, жер серігін баллистикалық өлшеуді, басқаруды, энергиямен қоректендіруді, т.б. қамтамасыз ететін жабдықтар бар.

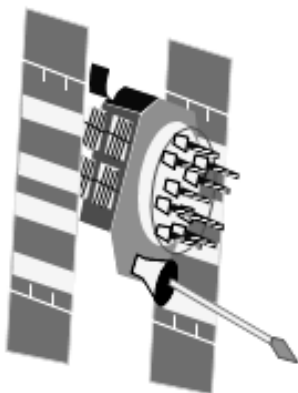
ЖРНЖ-нің көп функциялы міндеті, ғарыш секторын құру ерекшеліктерін анықтайды (2-сурет). ЖНЖС орбитасының биіктігі шамамен 20 000 км болуы тиіс, ол әрбір жер серігінен радиокөрінушіліктің сипатын ғаламдық тұрғыда қамтамасыз етеді. Мұндай биіктіктегі ЖНЖС-нің айналу кезеңі шамамен 12 сағат құрайды. Орбита биіктігі ЖНЖС-нің айналу кезеңі, жұлдызды тәуліктің жартысына тең болатындай етіп іріктеліп алынған. Осының әсерінен, жұлдызды тәулікте бір рет әрбір ЖНЖС жер бетінің бірдей нүктесінен өтеді. Әрбір орбитадағы жер серіктері 1,5 сағат аралығында жүреді және экваторды $22,5^{\circ}$ бойлық бойынша жылжып, қиып өтеді. ЖНЖС-нің мұндай қозғалу құрылымы әрбір жер серігін тәулігіне 1 рет жүйенің бақылау-өлшеу пунктінен, оның жұмысын бақылау мақсатында қадағалауға мүмкіндік береді.



2-сурет. Жердің навигациялық жасанды жер серіктерінің ғарыштық секторы

Белгілі бір жерді анықтаудың қажетті дәлдігіне сигналдарды бір мезгілде кем дегенде 4 ЖНЖС-ден қабылдау кезінде жетеді. Сондықтан, шоқжұлдыздағы жерсерігінің саны кем дегенде 24 болуы қажет. Сонымен қатар, белгілі бір жерді анықтау дәлдігіне ЖНЖС-нің орналасу геометриясы да әсер етеді. Олар барлық аспан сферасы бойынша біртекті орналасуы тиіс. Ол үшін жер серіктерінің жазықтықтары бір-біріне қатысты бірнеше орбиталарда біртекті орналасады.

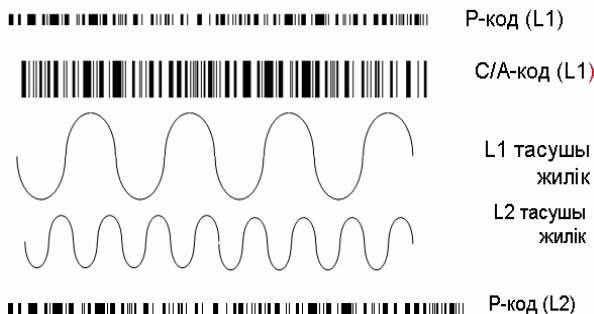
NAVSTAR жер серігінің жүйесі (Navigation Satellite Timing and Ranging, США). Жер серігінің радионавигациялық жүйеде 24 GPS жердің навигациялық жасанды серіктерінің (соның ішінде үшеуі резервте) бір-бірінен 60^0 -пен әрқайсысында 3–4 жер серігі бойынша жылжытылған 6 шеңбер маңындағы орбиталарда орналасады.



3 - сурет. NAVSTAR жер серігі

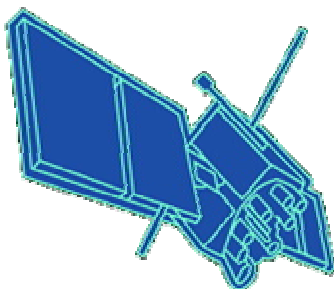
GPS-тің жердің навигациялық жасанды серіктері орбиталарының биіктігі, шамамен 20 200 км-ді құрайды. Айналу мерзімі 11 сағат 57 минут 58,3 сек. Соңғы буын жер серігінің массасы 1044 кг. Қазіргі таңда орбитада екінші және үшінші буынның тең бөлінген 29 жер серігі орналасуда.

GPS жер серігі сигналдарының құралымы



4-сурет. GPS жер серігі сигналдарының құрылымы

ГЛОНАСС жер серігінің жүйесі (ғаламдық навигациялық спутниктік жүйе, Ресей). ГЛОНАСС жүйесінің серіктері үш орбита жазықтарында, әрқайсысы 8 данадан, экватор жазықтығына $64,8^\circ$ -қа көлбеу бұрышпен орналасады. Шеңберлі орбитаның биіктігі 19 100 км. Ал жер айналасындағы серіктердің айналу периоды – 11 сағ 15 мин 44 сек. Жер серігінің массасы 1415 кг. Жұмыс істеу мерзімі 3,5 жыл. Жүйедегі жердің навигациялық жасанды серіктерінің (ЖНЖС) жобалау саны – 24 жер серігі. 1982 жылдан бастап 74 ЖНЖС жіберіліп, қазіргі уақытта 18 жер серігі жұмыс істейді.

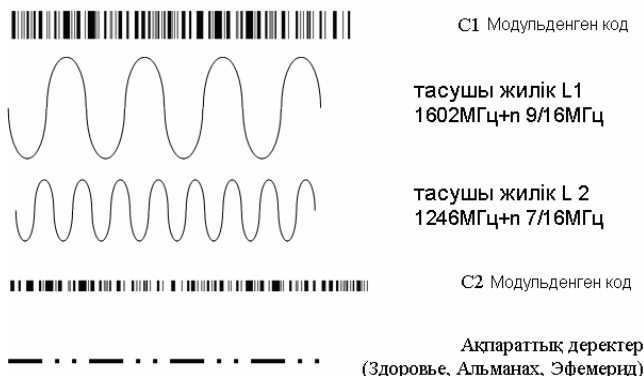


5-сурет. ГЛОНАСС жер серігі

Осылай ГЛОНАСС жер серігінің радионавигациялық жүйесі қазіргі уақытта даму сатысында. Сонымен қатар, берілген жүйе жер серігінің әрекет етуші шокжұлдызы, GPS жүйесінің ЖНЖС-мен бір қолданылады. Ол екі жүйенің де ЖНЖС сигналдарын қабылдауға есептелген пайдаланушы аппаратурасы (GPS қабылдағыштары) арқылы позициялаудың қолайлы жағдайын құруға мүмкіндік береді.

Барлық үш жүйенің ЖНЖС-нің радионавигациялық сигналдарын қабылдауға есептелген тұтынушы аппаратурасын құру, геодезиялық және навигациялық мәселелерді шешу және нәтижелердің дәлдігін жоғарылатуға сенімділік туғызады.

2005 жылдан бастап, Еуропа ғарыш агенттігінің СРНЖ-сі - Galileo ғарыштық сегменті өрістеді. Навигациялық ЖЖС орбиталарының биіктігі мен олардың сандарын арттырады. Сондай-ақ, басқа факторлар Жердің кез келген нүктесінде, ауа-райының кез келген және барлық уақытында нүкте орнын анықтау үшін СРНЖ-нің қамту әрекетін ғаламдық деңгейде ЖНЖС-нің қажетті мөлшерінің радиокөрінушілігін қамтамасыз етті.



6-сурет. ГЛОНАСС жер серігі сигналдарының құрылымы

Осы кезде жаңа жүйелерде нүкте координаталарын анықтау дәлдігін күрт жоғарылатуға, сондай-ақ навигациялық

мәселелердің бүкіл кешенін нақты уақыт аралығында шешуге мүмкіндік туады. Бұл ЖРНЖ деректерін тұтынушылар санының едәуір өсуіне алып келді. Навигациядан бөлек, координаталарды анықтау дәлдігін жоғарылату, жер серігінің технологияларын геодезияда, геодинамикада, топографияда, жерді алыстан зондтауда, геоақпараттық технологияларда, т.б. пайдалануға мүмкіндік береді.

ЖРНЖ-ні басқару, бақылау секторы орталық пен планетаның әр түрлі бөліктерінде орналасқан бірнеше қадағалау станцияларынан тұрады. Бұл станциялардың негізгі міндеті – жүйе жер серіктерінің есептеу параметрлеріне, жер серігі эфемеридтерін жүйелі анықтау. Сонымен бірге, әрбір жер серігіндегі сағат көрсеткіштерін түзету, навигациялық деректердің мазмұнын кезеңді түрде жаңарту және оларды ЖНЖС-ге жүктелетін станциялар арқылы берілуін ұйымдастыру, т.б. олардың жұмыс істеу сәйкестігін бақылау. Қадағалау станциялары жүйенің барлық жер серіктерін тәулік бойы қадағалайды. Олар Жер шары бойынша біртекті орналасқан: Вознесения, Гавай аралы, Кваджалейн мен Диего-Гарсия атоллдары. Бір қадағалау станциясы Колорадо-Спрингста (АҚШ) орналасқан жетекші станциясымен біріккен жерсеріктік қадағалау (ағымды эфемеридтерін анықтау), атомды сағаттармен жабдықталған екі жиіліктік арнайы GPS қабылдағыштарының көмегімен жүргізіледі. Бұл станцияларда көз аясында орналасқан барлық ЖНЖС-ке дейінгі барлық ара қашықтық өлшенеді де, навигациялық деректер қабылданады. Нәтижесінде ионосфера әсерінен болған барлық түзетулер анықталып, жер серігі сағатының жүру дәлдігі тіркеледі. Барлық станциялар жүйенің ЖНЖС радионавигациялық сигналдарының тропосфералық, қиылысуын анықтау үшін, жетекші станцияларға жергілікті метео жағдайлар жөніндегі ақпараттарды жинап береді. Ара қашықтықты өлшеу нәтижелері бойынша жерсеріктік эфемеридтері анықталып, олардың жуық арадағы есептеулері жүзеге асырылады. Өлшеу тек радиосигналдардың тропосфералық кідірісінен бөлек, горизонттан 15⁰С-тан жоғары жер серіктерінде ғана жүргізіледі.

Басқарудың жетекші станциясы, барлық GPS ЖРНЖ-нің жұмысын үйлестіреді. Ол ЖНЖС күйі жөніндегі барлық ақпаратты жинайды, жер серігінің болашақ эфемеридтерін, сағат түзетулерін есептейді, әрбір ЖНЖС үшін ақпараттық деректер мен альманахты қалыптастырады.

Жетекші станциясының атом сағаты GPS-тің барлық жүйесі үшін тірек сағаты болып есептеледі де, АҚШ уақытының ұлттық стандартына байланысты жүйенің уақыт масштабын анықтайды.

ЖНЖС бортына аталған жер серігі координаталарын беруден бөлек, жетекші станция – олардың нақты мәндерінің жинағын жүзеге асырады. Ол мәндерді тұтынушылар, жоғары дәлдікті геодезиялық өлшеу үшін қолдануы мүмкін. Жүктеу станциялары тәулігіне үш рет ЖНЖС-ге орбита параметрлері мен басқа да қажетті деректері бар ақпараттық хабарламаларды береді.

Жүктеу станциялары жетекші станция командалары бойынша жер серігі бортына орналасқан реактивті қозғалтқыштар арқылы, ЖНЖС орбиталарының түзетулерін жүзеге асырады.

GPS жүйесінде қадағалау станцияларынан бөлек, ЖНЖС-нің нақты эфемеридтерін бақылау сәтінде анықтауды жүзеге асыратын станциялар желісі бар. Бұл CIGNET – біріккен халықаралық GPS желісі (20 станция), IGS – геодинамика үшін халықаралық GPS қызметі (шамамен 50 станция).

Бақылау сұрақтары.

1. ЖРНЖ дегеніміз не?
2. ЖРНЖ-нің пайда болуы, оған қандай ғылымның дамуы себеп болды?
3. Навигация дегеніміз не?
4. ЖРНЖ-ні геодезияда қолдану мүмкіндігі?
5. ЖРНЖ мүмкіндіктерін ұлғайтуға қандай фактор себеп болды?
6. ЖРНЖ-ге қандай секторлар кіреді?
7. Қандай сектор ЖНЖС-нің есептеу орбиталарына шығуын қамтамасыз етеді?

8. ЖНЖС бортына қандай аппаратура орнатылады?
9. Альманах дегеніміз не?
10. Координатаны анықтау кезінде ЖНЖС қандай қызмет атқарады?
11. ЖРНЖ-нің уақыт шкаласын қандай сектор анықтайды?
12. ЖНЖС орбитасының қандай параметрлері ЖРНЖ-ні пайдаланудың ғаламдық сипатын қамтамасыз етеді?

2. ТҰТЫНУШЫ СЕКТОРЫ

2.1. Қабылдау-есептеу кешені

Қабылдау-есептеу кешені – тұтынушы секторының негізін құрайды. Бұл сектор пайдаланушыға бақылау пунктiсiнiң орналасқан жерi, дәл уақыт көрсеткiшi және қозғалатын объектілерге қатысты – жылдамдық пен олардың орнын ауыстыру бағыты жөнiндегi ақпаратты алуға мүмкiндiк беретiн, барлық құрамбөлiктердi бiрiктiредi.

Қабылдау-есептеу кешенінің жұмыс істеу ерекшелігі, оларды бөлуге қабылданған пайдаланушы категориясына аса тәуелді. Жеке алғанда, қазіргі уақытта пайдаланылатын GPS және ГЛОНАСС жүйелері өзінше екі мәнді жүйе болып есептеледі. Яғни, оларды әскери де, азаматтық та тұтынушылар пайдалануына бағытталған.

Әскери тұтынушыларға арналған аппаратура жұмысының сипатты ерекшелігі – бұл аппаратура әскери қызметті жүргізу жағдайларында тез, әрі сенімді жұмыс істеуі тиіс. Бұл кезде бақылаудың қозғалмайтын пункттерін ғана емес, сонымен қатар ұшу аппараттары, әртүрлі жүзу құралдары мен жерүсті көліктері сияқты, қозғалатын объектілердің де орналасу орнын анықтау дәлдігін қамтамасыз етуі керек.

Жүйенің азаматтық пайдаланушылары, екі негізгі топшаларға бөлінеді. Олардың біріншісі – осындай жүйедегі навигацияда, ал екіншісі – геодезияда қолдануға бағытталған. ГЛОНАСС жүйесінің қазіргі заманғы күйі, оны кең ауқымда геодезиялық есептерді шешуге мүмкіндік бермейтіндіктен, негізгі геодезиялық қабылдау-есептеу кешендері GPS жүйесінің құрамына кіреді. Қазіргі заманғы кешендердің, барлығының болашағы зор. ЖРНЖ-ді пайдалану мүмкіндігін ескере отырып жобаланады.

2.1.1. Геодезиялық қабылдау-есептеу кешенінің функциялары

Қабылдау-есептеу кешенін пайдаланушы қарамағында орналасқан негізгі функцияларға мыналар жатады:

- бақыланатын жер серіктерінен радиосигналдар қабылдау;
- тіркелетін мәндердің анықталуын ұйымдастыру;
- тікелей пунктте өлшеуден алынған нәтижелерді алдын ала өңдеу;
- пайдаланушыға қажетті деректердің соңғы мәндерін алуға мүмкіндік беретін камералды жағдайларда, «өңдеуден кейінгі өңдеуді» жүргізу.

Жоғарыда келтірілген функциялармен қатар, тұтынушы аппаратурасы оған тиісті программалық қамтамасызданумен бірге, дала жағдайларында және бірқатар мынандай қосалқы мәселелерді шешуі тиіс:

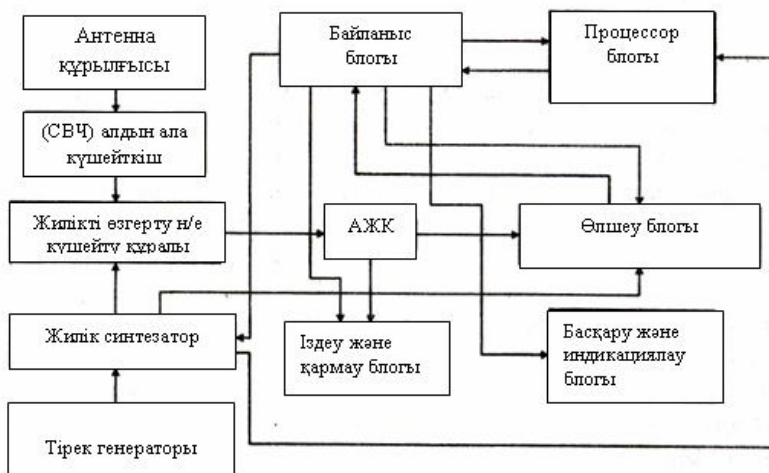
- нақты жер серіктерінен қабылданатын радиосигналдар селекциясы, яғни осы сигналдардың басқа, барлық жер серігі сигналдарынан бөлінуі, аталған сигналды қармау (ұстау) және барлық бақылау сеансының бойында оны тізбекті қадағалау;
- қабылданған сигналдарды, тұтынушыға қажет деректерді өлшеуге даярлау мақсатында, модульсіздеу (демодуляция) және декодтау;
- жер серігінен берілетін навигациялық деректерді шифрлау;
- барлық бақылау және далалық жағдайларда орындалатын өлшеу процестерін ағымды басқару;
- өлшеу нәтижелерін алдын ала өңдеу және оларды жадының сол немесе басқа құрылғыларын пайдаланып, сақталуын ұйымдастыру;
- барлық қабылдау кешенінің жұмыс қабілеттілігі жағдайын бақылау.

Жоғарыда келтірілген барлық функциялар – пайдаланушының қабылдау аппаратурасының сәйкес құрылымдық сызбанұсқасын пайдалану және «өңдеуден кейінгі өңдеуді» орындалу кезінде шешілетін есептерден бөлек іске асырылады.

2.1.2. Геодезиялық жерсеріктік қабылдағыштың жалпы құрылымдық сызбанұсқасы

Әртүрлі фирмалар шығаратын пайдаланушының геодезиялық жерсеріктік аппаратурасы алуан түрлі, бірақ айрықша ерекшеліктері көп жағдайларда принципті емес.

Осыдан GPS-қабылдағыштың жалпы құрылымдық сызбанұсқасын қарастыруға болады (7-сурет). Ол осындай қабылдау кешенінің негізгі құрамбөліктер сызбанұсқасында келтірілген. Бұл, олардың функциялары мен өзара байланысын пайдалану қажеттілігін негіздеуге мүмкіндік береді.



7-сурет. GPS-қабылдағышының жалпы құрылымдық сызбанұсқасы

Келтірілген сызбанұсқадан, GPS-қабылдағышының кіріс бөлігі жер серігінің көріну өрісінде орналасқан радиосигналдарды қабылдауды қамтамасыз ететін, антенналық құрылғы екені байқалады. Антенның таңдап алынған түрі мен жұмыс режимі жер серігінен сигналдарды қабылдау мүмкіндігіне ғана емес, жүргізілетін жерсеріктік өлшеулер дәлдігіне де әсер етеді.

Радиосигнал жер серігінен қабылдағышқа дейін үлкен қашықтықта өткендіктен (шамамен 20000 км), жер серігінде орнатылған таратқыш қуаты жоғары болмағандықтан (шамамен 10 Вт), антенна шығысында сигналдың шамасы өте төмен болады. Сондықтан оны аса жоғары жиілікті (СВЧ) күшейткіш көмегімен алдын ала күшейту қажетілігі туындайды, ол тікелей жақындықта орналасады. Салыстырмалы түрде көбінесе антенналы құрылғы (СВЧ) алдын ала күшейткішпен бірге, қабылдағыштың негізгі блогы және ұзын коаксиалды кабельмен қосылған жеке жоғары блокпен қамтылады.

Жоғары жиілікті тербелісінің көп еселі күшейтуі техникалық қиындықтармен орындалатындықтан, жерсеріктік қабылдағыштарда супергетероидтық принцип қолданылады. Оны іске асырған кезде алдын ала күшеюден кейін қабылданған тербелістер түрленеді де, нәтижесінде пайдалану тербелісінің жиілігі бірнеше МГц-ке дейін едәуір төмендейді. Бұл кезде пайда болған аралық жиілікті, көбінесе *соғу жиілігі* деп атайды.

Жергілікті гетеродин ретінде тұрақтылығы жоғары тірек генераторы қолданылады. Қабылдағыш құрамына кіретін жиілік торы, тірек генераторы сигналдарының алғашқы тербелісі ретінде пайдалану негізіндегі жиілік синтезаторының көмегімен қалыптасады.

Қабылданатын сигналдардың негізгі күшеюі, жиілікті түрлендіргіш шығысына қосылған аралық жиілікті күшейткіш арқылы (АЖК) жүзеге асырылады.

Аралық жиілікті күшейткіш шығысымен іздеу және қармау сонымен қатар өлшеу блоктарына тікелей байланысқан. Іздеу – кодтық-корреляциялық әдістерді пайдалану негізінде жүзеге асырылады, ал іздеу аяқталғаннан кейін, сигналдармен байланыс түзеді. Байланыстағы сигналдарды жер серігі қатысатын бүкіл бақылау сеансы бойы қадағалауға мүмкіндік береді.

Өлшеу блогында қабылданған фазалық модульденген тербелісті кодтық және таза гармониялық сигналдарға бөліну жүргізіледі. Одан – жер серігінен жіберілетін навигациялық деректердің құрамына кіретін сигналдар бөлінеді. Бұл кезде

сигналдың алғашқы екі түрі жер серігіне дейінгі ізделіп отырған ара қашықтықты есептеуге арналған процессорлар блогында қолданылады. Бірақ жалған қашықтықта алынған мәнінен, координаталар дөрекі анықталады.

Фазалық өлшеуге келсек, қабылдау құрылғысында тек қана олардың алдын ала реттелуі мен осындай «шала» деректерді есте сақтау құрылғысына (ЕК) беруді топтау жүзеге асырылады. Фазалы өлшеудің ақырғы өңделуі, камералдық жағдайларда «өңдеуден кейінгі өңдеу» кезінде жүргізіледі. Қабылдағыш құрамына кіретін процессорлар блогы алдын ала есептеулермен бірге, қабылдағыштың жұмысын автоматты режимде оған қойылған программалық қамтамасыздану негізінде басқаруды жүзеге асырады.

Басқару және индикациялау пульті, клавиатура мен оператор қалауы бойынша қабылдағыш көмегімен анықталған мәндер, т.б. көмекші ақпараттар бейнеленетін индикаторлық таблодан құралады. Клавиатура – операторға әріпті-сандық ақпаратты, сондай-ақ әр түрлі командаларды енгізуге мүмкіндік береді.

Жерсеріктік қабылдағыштардың антенналық құрылғылары. Жер серіктік қабылдағыштардың құрамына кіретін антенналық құрылғының негізгі міндеті: электрмагниттік толқындарды, сәйкес электрлік сигналдарға аса жоғары тиімділікте түрлендіру, оларды күшейте және түрлендіре отырып, қабылдағыштың электрлік тізбектері бойынша беру.

Антенналар сапасы – ең кіші энергетикалық шығындармен жүзеге асырылуы тиіс түрлендіру көрсеткіші мен антеннаның бағытталған қасиеттерін сипаттаушы көрсеткіш сияқты, негізгі параметрлермен сипатталады. Соңғысы, бағыттың полюстік диаграммасы түрінде болады. Жерсеріктің қабылдағыштарға – бағыттың фазалық диаграммасының біртектілігі мен фазалық орталықтың тұрақты күйі сияқты көрсеткіштер маңызды болып табылады. Сонымен қатар антенналар, қоршаған объектілерден радиосигналдардың шағылу әсерінен, қорғау дәрежесімен бағаланады (жан-жақтан шағылу).

Жер серігінен келіп түсетін барлық сигналдар үшін бірдей

қабылдау жағдайын құруға арналған антенналық жүйе – жартылай сфера түріндегі бағытталу диаграммасын құру қажет. Мұндай бағытталу диаграммасы, дециметрлік ауқымдағы антенналық жүйелердің әртүрлі конструкциясын пайдалану негізінде құрылуы мүмкін. Қазіргі кезде жерсеріктік қабылдағыштарда микрожолакты антенналар көп тараған.

Жерсеріктік GPS – қабылдағыштарға амплитудалық және фазалық бағытталу диаграммасы деген түсініктер қолданылады. Бұл кезде амплитудалы бағытталу диаграммасы, антенна шығысындағы сигнал деңгейін салыстырмалы бірліктерде – оның келу бағытына байланысты бағалайды. Ал фазалық бағытталу диаграммасы – осы сигналдардың, олардың антенналық құрылғы арқылы өтуі кезіндегі уақытша кідірісін бақылайды. Фазалы бағытталу диаграммасының ең жақсы түрі – амплитудадағыдай жартылай сфера болып табылады. Ол сигнал кідірісінің бірдей шамасын, оның келу бағытына тәуелсіз қамтамасыз етеді. Мұндай түрді қамтамасыз ету кезінде бұл кідіріс өлшеудің әртүрлі әдістерін пайдаланған жағдайда, оны алып тастауға болады.

Практикада фазалы бағытталу диаграммасының нақты түрі, идеалды түрден шамалы ерекшеленеді. Соның нәтижесінде қажет пәндерді анықтау кезінде қателіктер болуы мүмкін. Геодезиялық типтегі жоғары дәлдікті жерсеріктік қабылдағыштарды жасау кезінде фазалы нақты сипаттамасының ауытқуы, $5-10^0$ -тан аспауға ұмтылады. Ол шамамен 3–5 мм деңгейдегі ара қашықтықты анықтаудағы қателіктерге сәйкес келеді.

Егер қабылдағыш екі жиіліктік болып келсе, онда екі жиілік сигналдары үшін бағытталу диаграммаларының түрі, мүмкіндігінше ұқсас болып келеді.

Бағытталу диаграммасымен қатар, қабылдағыштың антенналы құрылғысының маңызды көрсеткішіне – фазалық орталық, оның күйі және осы күйдің уақыт өткен сайын тұрақтылығы жатады. Бұл кезде *фазалық орталық* деп – антенналық жүйедегі геометриялық өлшеуге келмейтін, одан жер серігіне дейінгі ара қашықтық есептелетін, ал оның күйі – бақылау пунктінде салыстырмалы сәйкес нүктесінің күйіне

тіркесетін нүктесін айтады.

Антенна конструкциясын қабылдағышта өзінің тік осіне қатысты симметриялы қолданған кезде, фазалық орталықтың күйі – көлденең жазықтықта, әдетте, аталған симметрия осіне сәйкес келеді. Осы орталықтың тігінен жылжуына келсек, онда мұндай жылжу арнайы зерттеу негізінде анықталады. Геодезиялық жоғарғы дәлдікті қабылдағыштарда, фазалық орталық күйін мм-лік дәлділік деңгейінде анықтауға ұмтылады. Фазалық орталық күйінің уақытқа байланысты өзгермеуіне барлық шаралар қабылданады. Мұндай әдісте фазалық орталықтың күйін сипаттайтын параметрді қабылдағыш паспортына жазып, оларды әрқашан константа ретінде пайдалануға барлық негіз бар.

Жерсеріктік қабылдағыш антенналарының қасиеті – кез келген затпен басқа қоршаған объектілерден шағылысқан сигналдарды қабылдамауы болып табылады. Шағылысқан сигналдардың антеннаға келіп түсуі – өлшенетін ара қашықтық шамасында қателікке алып келеді. Жерсеріктік өлшеулерге қатысты шағылысқан сигналдардың болуы – *көпжолдық* деп аталады.

Көпжолдық әсерімен күресу үшін антеннаның тура сигналдарына максимальды, ал шағылысқан сигнал үшін – минимальды сезімталдығын қамтамасыз ететін бағытталу диаграммасын жасайды. Қосымша шара ретінде антенна астында тікелей арнайы металл табақша қондырғысы орнатылады. Табақшалар, антеннаға басқа заттардан шағылысқан сигналдардың келіп түсуінен қорғауға мүмкіндік береді.

2.2. Жерсеріктік радионавигациялық жүйелердің орнын анықтау принциптері

2.2.1. Кеңістіктегі қиылыстыру

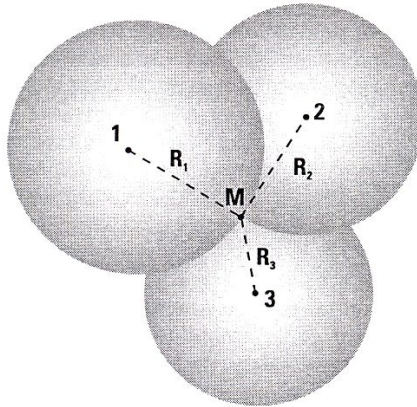
«Нүкте орнын анықтау, позициялау» терминдері пункт координаталарын анықтау бойынша, навигациялық әр геодезиялық есептердің шешімін біріктіруші синоним ретінде қолданылады.

ЖРНЖ-де орнын анықтау принципі негізінде – кеңістіктік қиылыстыру жатыр (8-сурет). Жүйенің ЖНЖС-сі (1, 2, 3) тірек нүктелері рөлін атқарады, оның координаталары жоғары дәлділікпен анықталған. Жер бетіндегі М пунктін координаталарын анықтау үшін, қиылыстырудың кеңістіктік сызығы мен ЖНЖС-ден Жер бетіндегі пунктке дейінгі сызықтық ара қашықтықты талдау көрінісі мынадай: үш ЖНЖС-ге дейінгі сызықтық ара қашықтықты R анықтау қажет.

$$R = \sqrt{(X_c - X_n)^2 + (Y_c - Y_n)^2 + (Z_c - Z_n)^2} ; \quad (1)$$

мұндағы X_c, Y_c, Z_c – жүйе серігінің координаталары, X_n, Y_n, Z_n – жер бетіндегі пункттің анықталатын координаталары.

Үш ЖНЖС-ге дейінгі ара қашықтықты біле отырып, Жер бетіндегі пункттің үш белгісіз (анықталатын) координаталары (1) түріндегі үш теңдеудегі жүйені аламыз. Нүкте орнын анықтау есептерінің шешімі, үш теңдеулер жүйесін шешуге алып келеді. Есептің мұндай шешімі ЖНЖС-ге дейінгі қашықтықтың (ара қашықтығы) дәл белгілі кезінде мүмкін.



8 - сурет. Сызықтық кеңістіктік қиылыстыруы

Іс жүзінде ЖНЖС мен пайдаланушының қабылдау аппаратурасы сағаттарындағы уақыт шкалаларының

айырмашылықтары әсерінен, уақытша түзету (қателік) Δt пайда болады. ЖНЖС-ге дейінгі ара қашықтық, радиосигналдың жүріп өту уақыты t мен оның жылдамдығы v , бойынша өлшенгендігінен, ара қашықтықтағы қателіктер мәні едәуір көбейеді. Сондықтан, бұл қашықтықты – *жалған қашықтықтар* деп атайды. Демек, нақты қашықтық (ρ), уақытша түзетулерді есепке ала отырып, мына формула арқылы есептеледі:

$$\rho = R + v\Delta t. \quad (2)$$

Төртінші белгісіз Δt пайда болады, оны алып тастау үшін (2) түріндегі төрт теңдеу қажет. Яғни, төртінші ЖНЖС-ге дейінгі жалған қашықтықты (R) өлшеу қажет. Нәтижелер дәлдігін жоғарылату үшін (2) түрдегі теңдеулер жүйесі, ең кіші квадраттар әдісі бойынша шешілуі мүмкін. Ол үшін артық өлшеулер қажет.

Пайдаланушының қазіргі заманағы аппаратурасы, нүкте орнын анықтау бойынша есептерді шешу алгоритмі енгізілген компьютер болып табылады. Кеңістіктік қиылыстыру геометриясынан үшінші ЖНЖС-ні бақылау нәтижесінде, жер бетіндегі пункттің орны екі нүктеден таңдап алынады. Сонымен қатар, олардың біреуі нақты орнынан көп қалып қойғандықтан қате, әрі жарамсыз болады. Жоғары дәлдікте шешу қажетсіз, тек нәтижесін жылдам алу қажет болғанда, яғни навигациялық есептерді шешу кезінде орнын анықтау есебін осылай шешеді.

Уақыт шкаласы дәлдігінің ЖНЖС-ге дейінгі қашықтығын өлшеуге әсерін, егер R қашықтығының орнына өлшенген қашықтықтар арасындағы айырмашылықты пайдалансақ, алып тастауға болады, яғни:

$$\Delta\rho_1 = \rho_2 - \rho_1, \quad \Delta\rho_2 = \rho_3 - \rho_1, \quad (3)$$

мұндағы $\Delta\rho_1$ – жердегі пункт пен екінші ЖНЖС арасындағы шынайы қашықтық айырмашылығы; ρ_2, ρ_1 – жер бетіндегі пункт пен бірінші ЖНЖС арасындағы қашықтық; $\Delta\rho_2$ – сәйкесінше жер бетіндегі пункт пен үшінші ρ_3 және бірінші ЖНЖС-тің ρ_1

арасындағы қашықтықтар айырымы.

Өлшеу үш ЖНЖС-ге дейін бір мезгілде жүргізілгендіктен, Δt -нің уақытша түзетуі барлық қашықтықтарда бірдей. Демек, (1) түріндегі теңдеулерде сәйкесінше Δt шамасы алып тасталады, яғни:

$$\Delta \rho_1 = R_2 - R_1; \quad \Delta \rho_2 = R_3 - R_1. \quad (4)$$

Бұл әдісті пайдаланушы аппаратурасында іске асыру қиын болғандықтан, ЖНЖС мен пайдаланушы қабылдағышының уақыт шкаласының синхрондалмау қатесін алып тастап, позициялау жұмыстарын орындауды ұйымдастыру – әдістемелердің біреуі ретінде қолданылады.

Пайдаланушы аппаратурасында координаталарды ең кіші квадраттар әдісімен шешу алгоритмі оңай іске асырылады. Тригонометриялық көзқарас тұрғысынан, жердегі пункттің орнын анықтау үшін төрт жер серігінің қашықтық мәндері болуы қажет. Навигациялық есептерді практикада шешу үшін, үш өлшем нәтижелерін пайдалануға болады. Осылай ЖРНЖ әрекет ету негізіне Жер бетіндегі объектінің орнының координаталарын ЖНЖС-нің тірек нүктесі ретінде пайдаланатын трилатерация әдісімен шешу ұсынылған.

2.3. Жерсеріктік геодезияда қолданылатын қашықтық ұзындығын өлшеу принциптері

Қашықтық ұзындығын жердегі жарық пен радиоқашықтық өлшеуішпен өлшеу кезінде импульстік және фазалық әдістер, сондай-ақ олардың үйлесімі кеңінен таралды. Бұл әдістер – жерсеріктік қашықтық өлшеуіш өлшемдерінің негізін құрайды. Сонымен қатар, жерсеріктік геодезияда ерекше артықшылықтар тән кодталған сигналдарды қолдануға негізделген әдістер де дамыды.

Жерсеріктік позициялау әдістеріндегі қашықтықты, өлшеуіш өлшемдерінің импульстік принциптері, лазерлі қашықтықтық өлшеуіш жүйелері мен жерсеріктік альтиметрде

қолданылады. Қашықтық ұзындығын анықтаудың бұл әдісі – навигациялық есептерді шешу кезінде қажет болатын және өлшенетін ара қашықтықты жылдам, әрі бізмәнді анықтауға мүмкіндік береді.

Әскери - теңіз флоты кемелерін навигациялық жүйемен камтамасыздандыру мақсатында әскери ведомстволар жүргізген, олардың орнын анықтаудың ғаламдық жерсеріктік жүйесін жасау кезінде, координаталық (ұзақтық өлшегіш) анықтаудың арнайы әдістерін пайдалану қажеттілігі пайда болды. Олар тек рұқсат етілген пайдаланушыларға ғана қажет болды. Бұл – кодталған сигналдарды пайдалануға негізделген, қашықтық өлшеу әдісін өндеуге себепші болды. Соның негізінде қашықтық өлшеуіш жүйені құру көзқарасы тұрғысынан, сигналдар өзінше бірлік және нөлдік деңгейдегі жіберу тізбегін береді. Ол тік бұрыш түріндегі сигналды қалыптастыруға алып келеді. Бірлік пен нөлдік жіберу ұзақтығы, кодталуға ұшырайды. Өлшеу - орындалу процесінде өлшенетін сызықтың беруші ұшында – кодталған сигнал, ал сызықтың қабылдау ұшында (пайдаланушы аппаратурасында) – қашықтықты анықтау үшін, тіректі дыбыс беру сигналы құрылуы тиіс. Ол өзінше, сәйкес кодталған сигналды береді. Яғни, тұтынушыға жер серігі мен қабылдағыш арасындағы ара қашықтықты анықтау кезінде қолданылатын сигналдарды кодтау принципіне қол жеткізілуі мүмкін. Практикада қашықтықты өлшеу мақсатында радиосигналдың өту уақыты – тіректі дыбыс сигналына сәйкес кідіріс енгізу есебінен және бұл кезде жер серігінен ұқсас кодталған сигналмен қабылданатын сәйкестікті тіркей отырып анықталады.

Кодталған сигналдарды пайдалануға негізделген қашықтық өлшеуіштің өлшеу принципі, қашықтықты анықтаудың импульстік, фазалық принципіне тән жеке ерекшеліктерді үйлестіреді. Мысалы, оны пайдаланған кезде мәндердің бірдей болмауының реті болмайды. Яғни, берілген көрсеткіш бойынша кодтық әдіс – импульстік әдіске ұқсайды. Сол уақытта тіректік және қабылданатын сигналдың сәйкес келу сәттерін анықтау ерекшеліктерін талдағанда, көбінесе бір кодталған сигналдың,

екіншісіне қатысты жылжуы деген түсінік енгізіледі. Ол қашықтықты өлшеудің, фазалық әдісіне тән.

Өзінің дәлділік көрсеткіштері бойынша кодтық принцип – фазалықтан кейін тұр, сондықтан геодезиялық есептерді шешу кезінде ол тек қана көмекші рөл атқарады (негізінен тұру нүктесінің координаталарын жорамалдап анықтау). Бұрын енгізілген жалған қашықтық ұғымы, көбінесе қашықтықты өлшеудің кодтық әдісімен пайымдалады.

Жер серіктік жүйелерді геодезиялық пайдалану кезінде фазалық әдістер едәуір қызуғышылық туғызады. Ол ақпараттық сигналдар ретінде, гармониялық тербелісті пайдаланушы радиотолқындардың дециметрлі ауқымын пайдалануға негізделген. Жалпы түрде мұндай тербелістер мына түрдегі аналитикалық қатынаспен жазылады:

$$y = A \sin (\omega t + \varphi_0); \quad (5)$$

мұндағы A – тербеліс амплитудасы; ω - бұрыштық жиілік ; t – ағымды уақыт; φ_0 – бастапқы фаза.

Фазалық қашықтықты өлшеу кезінде қолданылатын негізгі параметрі (5) тендеуде тригонометриялық функция таңбасында тұрған, ағымды фаза деп аталған өрнек

$$\theta(t) = \omega t + \varphi_0. \quad (6)$$

Берілген параметрдің сызық ұзындығын (R) анықтайтын шама мен байланысын анықтау үшін: қажетті ара қашықтықты өткеннен кейін, тербелістер тіректі тербеліске қатысты фаза бойынша кешігеді. Екіжақты әдісті қолданған кезде осындай кешігуді тербелістегі фазалар үшін былай жазуға болады:

$$\theta'(t) = \omega(t - \frac{2R}{v} + \varphi_0). \quad (7)$$

Фазометрмен өлшенетін фазалар аралығы (φ) бұл кезде төмендегідей болып шығады:

$$\varphi = \theta(t) - \theta'(t) = \varpi \frac{2R}{\nu} .; \quad (8)$$

$$\text{Осы} \quad R = \frac{\nu}{2\varpi} \varphi . \quad (9)$$

φ шамасы әдетте бұрыштық бірлікпен (градус не радианмен) өлшенеді. Алайда алынатын ақпараттың үлкен массивімен сипатталатын өлшеу, фазалық қашықтық өлшеудің жер серіктік әдісіне байланысты есептеу процестерін жеңілдету үшін, фазаны салыстырмалы бірліктерде өрнектейді (фазалық цикл үлестерінде Φ). Осыны ескере отырып, (8) және (9) формулалары мына түрде болады:

$$\Phi = \frac{\varphi}{2\pi} = f \frac{2R}{\nu} ; \quad (10)$$

және

$$R = \frac{\nu}{2f} \Phi, \quad (11)$$

мұндағы $f = \varpi 2\pi$ - тербелістің герцтегі жиілігі.

Фазалық өлшеудің ерекшелігі – алдыңғы өлшеулер жөніндегі алдын ала қандайда бір ақпараттың болмауы кезінде фазометр, фазалар айырмашылығын тек бір период (яғни, бір фазалық цикл) аралығында ғана анықтауға мүмкіндік береді. Сол кезде (10) және (11) формулаға кіретін Φ шамасы, осы шамадан көп артық. Осыдан, Φ параметрін мына түрде жазады:

$$\Phi = N + \Delta\Phi; \quad (12)$$

мұндағы N – фазаның (цикл) деректер сигналымен ара қашықтықты анықтау уақытындағы өзгеруінің толық кезеңдік саны, $\Delta\Phi$ - фазометрмен өлшенетін фазалар айырмашылығы.

N мәнін (бірнеше өлшеудің шектік мәні) табу үшін жердегі фазалық қашықтық өлшеуіш жүйелерінде бірнеше әртүрлі масштабтық жиілікте өлшеу немесе масштабтық жиілікті толқынды өзгерту әдісі сияқты көмекші әдістер қолданылады.

Ал өлшеуді статикалық шарттарда орындаған кезде әдетте, едәуір қиыншылық тудырмайтын процедура атап өтіледі. Жерсеріктік жүйелерде жер бетінде орнатылған қабылдағыштар мен бақылайтын жер серігінің арасындағы ара қашықтық үздіксіз өзгереді, ал нәтижесінде анықталатын N мәні де өзгереді. Сонымен қатар, фазалық өлшеуде Гц-пен есептелетін аса жоғары жиілікті пайдалануға және өлшенетін ұзындықтың үлкен мәніне байланысты N мәні жүздеген миллионға дейін жетеді. Оны анықтау кезінде тіпті бірлікке қателесуге болмайды. Өйткені, бұл үлкен қателікке алып келеді де, нәтижелер жарамсыз болып қалады.

Фазалық жерсеріктік өлшеудің екінші ерекшелігі – қашықтықты өлшеудің біржақты әдісімен байланысты. Біржақты әдістер кезінде жер серігі мен қабылдағыштағы сағаттардың әртүрлі көрсеткіштеріне байланысты түзетулерді ескеруге тура келеді. Фазалық өлшеулерге қатысты, алдымен әртүрлі генераторлармен әрекет ететін (генератор, қабылдағыштағы генератор) салыстырылатын тербелістердің бастапқы фазаларын есепке алу қажеттілігі туады. Бастапқы фазаны Φ_0 есепке алғанда, бізді қызықтыратын тербелістің ағынды фазасы мына түрде берілуі мүмкін:

$$\Phi(t) = ft = \Phi_0. \quad (13)$$

Жерсеріктік өлшеулерге сәйкес, бастапқы фазаны Φ_0 фазалық өлшеуді орындау үшін қолданылатын сол тербелістер беретін жүрісті, сәйкес электрондық сағаттар көрсеткіштерінің жылжуы ретінде қарастыру қабылданған. Осыны ескере отырып:

$$\Phi_0 = f\delta t, \quad (14)$$

мұндағы δt – сағаттың эталондық (яғни жер серігі мен қабылдағыш үшін синхронды) уақыттан өлшеуді орындау сәтіне кетуі.

Берілген интерпретацияда бастапқы фазалық жылжу, бір

кезеңге сәйкес шамадан асып кетуі мүмкін. Осыдан шығатыны, жерсеріктік өлшеулер кезіндегі айтып өтілген жылжуды, тербеліс жер серігінен қабылдағыш кірісіне келіп түсетін ағынды фазаның жылжуы ретінде тарайтын N мәнімен бірге қарастырады. Осыларды ескере келе, айтылып өткен ағын фаза мынандай аналитикалық түрде жазылуы мүмкін:

$$\Phi'_{nep}(t) = f(t - r) + f\delta t_{nep}, \quad (15)$$

мұндағы $\Phi'_{nep}(t)$ – пайдалану тербелісінің жер серігінен қабылдағыш кірісіне келіп түсетін ағынды фаза; f – пайдаланған жиіліктің номиналды мәні; $\tau = R/c$ – пайдаланған тербеліспен ізделген ара қашықтыққа өту уақыты; δt_{nep} – қабылдағыш жер серігіне орнатылған, оның жұмысының тұрақсыздығымен дәлелденген сағат көрсеткішінің, өлшеуді орындау сәтіне кетуі. Сәйкесінше, ағымдағы фаза үшін қабылдағышта әрекет ететін тірек тербелістері:

$$\Phi_{np}(t) = ft + f\delta t_{np}, \quad (16)$$

Негізінде жер серігіне дейінгі ара қашықтық есептелетін Φ фазалар аралығы былай анықталады:

$$\Phi = \Phi'_{nep}(t) - \Phi_{np}(t) = -f\tau + f(\delta t_{np} - \delta t_{nep}). \quad (17)$$

Теңдеудің оң жағындағы бірінші мән алдындағы минус белгісі – жерсеріктік жүйелерде сандық-фазалық өлшеулер кезінде, бастапқы сигналдар ретінде көбінесе жер серігінен түсетін кешігуге байланысты теріс фазалық жылжитын сигналдар. Ал соңғы сигнал ретінде, жергілікті тіректік генератор қалыптастыратын сигналдың қолданылуына байланысты. Осыған байланысты формула былай болады:

$$\Phi = N - \Delta\Phi. \quad (18)$$

(17) және (18) қатынастарының комбинациясы негізінде мынандай формуланы алуға болады:

$$\Delta\Phi = f\tau + N + f\delta\tau, \quad (19)$$

мұндағы $\Delta\Phi$ – фазалар айырымының өлшенетін мәні; f – масштабты жиіліктің номиналды мәні; N – радиосигналмен жер серігінен қабылдағышқа дейінгі қашықтықта жүріп өту уақытындағы фазаны өлшеу периодтарының бүтін саны; $\Delta\tau = \delta t_{пер} - \delta t_{пр}$ – жер серігі мен қабылдағыштағы сағаттар жүрісінің синхронды еместігінен туған түзету.

$\tau = R/c$ екенін ескере отырып, $\Delta\Phi$ фазалардың өлшенетін айырымның мәні, R анықталатын ара қашықтық шамасымен байланыстыратын теңдеу мына түрде беріледі:

$$\Delta\Phi = \frac{f}{v} R + N + f\delta\tau. \quad (20)$$

Бұл формула қашықтық ұзындығын анықтаудың фазалық әдісі – ол іске асырылатын біржақты жерсеріктік қашықтықты өлшеу жүйелері үшін, негізгі болып табылады.

Жер серігі мен қабылдағыш арасындағы ара қашықтықты өлшеудің кодтық және фазалық принциптерімен қатар, GPS типті қазіргі заманғы жерсеріктік позициялау жүйелерінде *Доплер эффектісіне* негізделген көмекші әдістер де қолданылады. Ара қашықтықты өлшеудің фазалық принципін пайдаланған жағдайда, Доплер әдісін арнайы аппараттық құралдарды қатыстыра отырып іске асырудың қажеті жоқ. Өйткені, бұл әдіс фазалық әдіс түрлерінің бірі болып табылады. Доплер әдісіне тән кейбір ерекшеліктер, алынатын нәтижелерді өңдеу әдістеріне байланысты.

2.4. Жерсеріктік радионавигациялық жүйедегі өлшеу және есептеу әдістері

2.4.1. Нүкте орнын анықтаудың абсолюттік және салыстырмалы әдістері

Жерсеріктік координаталық өлшеуді орындаған кезде жер серігі мен қабылдағыш арасындағы ара қашықтық басты анықталатын параметр болып есептеледі. Бірнеше жер серігіне дейінгі ара қашықтықты бір мезгілде анықтау, кеңістіктік

сызықты қиылыстыру әдісі мен бақылау пунктiнiң координаталарын есептеуге мүмкiндiк бередi. Бұл координаталар, өз кезегiнде бiр мезгiлде жұмыс iстейтiн жерсерiктiк қабылдағыштар орнатылған пункттер арасындағы координаталар айырымын, базистiк сызық ұзындығын, азимуттық бағытты, сондай-ақ бiрқатар басқа да көмекшi параметрлердi анықтау үшiн пайдаланылуы мүмкiн. Мысалы, қабылдағышты жылжымалы объектiге орнату кезiнде, осы объектiнiң қозғалу жылдамдығы мен бағыты анықталуы мүмкiн.

Шешiлетiн есептерге байланысты координаталарды анықтау әдiстерiн – *абсолюттi* және *салыстырмалы (дифференциалды)* деп ажыратады. Бұл кездегi бiрiншi жағдайда қойылған есеп бiр, жеке жұмыс iстейтiн жерсерiктiк қабылдағышты пайдалану негiзiнде шешiлуi мүмкiн. Екiншi жағдайда, дифференциалды өлшеуге тән анықталатын жерлерге белгiленген пункттерде орналастырылған екi немесе одан көп, бiр мезгiлде жұмыс iстейтiн қабылдағыштар пайдаланылуы мүмкiн. Бұл екi әдiстiң басты ерекшелiктерi – дәлдiгi бойынша едәуiр айырмашылығы бар координаттарды алу, абсолюттiк әдiске тән жүйелiк сипаттарының қателiктерiн есепке алу күрделiгiмен түсiндiрiледi. Мұндай тұжырымды дәлелдеу үшiн, соңғы нәтижелердi есептеу кезiнде қолданылатын негiзгi қатынастарды талдайды.

Егер өлшеу сәтiнде белгiлi жер серiгi координаталарын координатаның геоцентрлiк жүйесiнде X_c, Y_c және Z_c арқылы, ал бақылау пунктiнiң белгiсiз координаталарын X_n, Y_n және Z_n арқылы белгiлесек, онда осы екi нүкте арасындағы геометриялық ара қашықтық мынандай аналитикалық геометрия негiзiнде анықталуы мүмкiн:

$$\rho = \sqrt{(X_c - X_n)^2 + (Y_c - Y_n)^2 + (Z_c - Z_n)^2} . \quad (21)$$

Есептелген ара қашықтықтың дәл мәні R сағат жүрісінің синхронды еместігінен $\nu \delta \tau$ туған түзетуді ескере отырып, мына формуламен анықталады:

$$R = \rho + \nu \delta \tau . \quad (22)$$

(21) қатынасын (22) формуласына қойып, электромагнитті толқындардың таралу жылдамдығының ν орташа мәнінің орнына, осы толқындардың атмосфераның $\delta t_{атм}$ әсерінен, сәйкес уақыттың түзетулері бар вакуумдегі жылдамдығын ν енгізе отырып, жер серігі мен қабылдағыш арасындағы өлшенетін ара қашықтық $R_{өліш}$ үшін мына формула алынады:

$$R_{өліш} = \sqrt{(X_c - X_{II})^2 + (Y_c - Y_{II})^2 + (Z_c - Z_{II})^2} + c(\delta t_{np} - \delta t_c) + c\delta t_{атм} , \quad (23)$$

мұндағы δt_{np} мен δt_c – жер серігі мен қабылдағыш сағаттар көрсеткіштерінің эталондық уақытқа қатысты ауытқуы; $\delta t_{атм}$ – атмосфераның әсерінен туған уақыттық кідірістер.

(23) формуладағы δt_c шамасы әрбір нақты жер серігі үшін басқару және бақылау сенсорының құрамына кіретін қадағалау станциясының көмегімен анықталады да, навигациялық деректердің құрамында әрбір тұтынушыға беріледі. Осыны ескере отырып, абсолюттік әдіске тән дөрекі координатты анықтау кезінде қарастырылатын шаманы белгілі деп санауға болады. $\delta t_{атм}$ түзету мәнін радиосигналдың ионосфера мен тропосфера арқылы өту кезінде пайда болған кідірістерді модельдеу негізінде есептейді. Нәтижесінде (23) формула құрамында төрт белгісіз мән болады: қабылдағыш күйі нүктесінің үш координатасы мен қабылдағыш сағатының жүру түзетпесі $\delta t_{мүз}$. Осы белгісіздерді табу үшін кем дегенде төрт жер серігінен бақылау жүргізеді. Олар әртүрлі жер серігіне дейінгі $R_{өліш}$ қашықтықтың әртүрлі мәндеріне сәйкес келетін теңдеулер жүйесін құрып, оны бірге шешеді.

Координаталарды анықтаудың абсолюттік әдісінің потенциалды дәлдігін анықтау мақсатында, осы әдіске тиісті жеке қателік көздерінің әсерін бағалаймыз. Алдымен жер серігі координаталарын, яғни навигациялық деректер құрамындағы радиоарна бойынша берілетін оның эфемеридтері – метрлік дәлділік деңгейіндегі қателіктермен сипатталады.

Қандай да бір жер серігі сағаттарының түзетілуі белгілі бір

нақты қателікпен жүзеге асырылады.

Атмосфера әсерін модельдеу әдістері, координатты анықтау дәлдігіне елеулі әсерін тигізеді. Ионосфера әсері едәуір сенімді модельденеді. Алайда, екі жиіліктік қабылдағыштарды пайдаланған кезде аталған әсерді едәуір азайтуға болады.

GPS-ке сәйкес жалпыға арналған кодтың негізделген абсолюттік әдіске тән жоғарыда келтірілген барлық әсерді сандық бағалау 1-кестеде берілген. Бұл деректер абсолюттік өлшеу әдісі үшін нәтижелі дәлділік, жалпыға арналған (C/A) кодты пайдаланғанда шамамен 8 м деңгейдегі қателікпен бағаланатынын көрсетеді. Бұл кезде C/A-кодты қолдануға тән әдістің ең төменгі сезгіштігі шамамен 3 м қателікке сәйкес келеді. Яғни, жоғарыда келтірілген қателіктердің әсерінен абсолюттік әдісті пайдаланған жағдайда, жалпыға арналған кодтық өлшеудің потенциалдың дәлдігін іске асыру мүмкін емес.

1- кесте

Қателікті мөлшерлік бағалау

№ П/П	Қателік көздері	C/A –код үшін тиісті абсолюттік анықтаудың қателіктер мәні, м
1	Ионосфера	7
2	Тропосфера	0,7
3	Көпжолдық	7,2
4	Қабылдағыштың шуы	1,5
5	Жер серіктік координаталардың уақытты қамтамасыздандыру қателіктері	3,6
6	Сомалық қателік	8,1

Мәні бойынша осындай едәуір көп қателік көздеріне байланысты тербелісті пайдалану фазасын өлшеу негізінде, жер серігіне дейінгі ара қашықтықты анықтауға мүмкіндік болмайды. Өйткені, бірнеше өлшеудің шектік мәнін беру үшін GPS-ке қатысты 0,1 м-ден төмен емес деңгейде потенциалды

дәлдікті қамтамасыз ету қажет.

Координаталарды анықтау дәлдігін жоғарылату мәселесі жерсеріктік өлшеудің дифференциалдық әдістерін қолдану есебінен, едәуір тиімді түрде шешіледі. Оған тән ерекшелік – қабылдағыш көмегімен тіркелетін мәндердің абсолюттік емес мәнін өлшеу нәтижелерінің соңғы сатысында өңдейді.

Мұндай тәсіл дифференциалдық жерсеріктік өлшемдердің кеңінен таралуын қамтамасыз етті. Ол жылжымайтын және жылжитын объектілердің координаталарын анықтауда табысты қолданылады. Ал соңғы нәтижелері тек «өңдеуден кейінгі өңдеу» процесінде ғана емес, нақты уақыт масштабында да алынуы мүмкін. Бұл кезде едәуір өңделген дифференциалдық әдістерге тән дәлділік деңгейін абсолюттік әдіспен салыстырғанда, 100 еседен артық жоғарылатуға болады.

Осы себепті көптеген геодезиялық есептеудің шешімі дифференциалдық әдіспен жүргізіледі. Ал қандай да бір белгісіз шамаларды абсолюттік анықтау – тек көмекші функцияларды ғана орындайды.

2.4.2. Дифференциалдық әдістердің негізгі түрлері

Бірнеше жер серіктіктері мен қабылдағыштар қатысатын жер серігін өлшеуді бір мезгілде орындау кезіндеі әртүрлі есептемелердің мынадай түрлерін ұйымдастыруға болады:

1. Бір ғана жер серігін бір уақытта бақылау кезінде жерсеріктік қабылдағыштың әртүрлі нүктелерден алынған нәтижелерінің айырмашылығы;

2. Бір мезгілде екі немесе оданда көп жерсеріктерін бақылау кезінде бір қабылдағыштың көмегімен алынатын нәтижелер айырмашылығы;

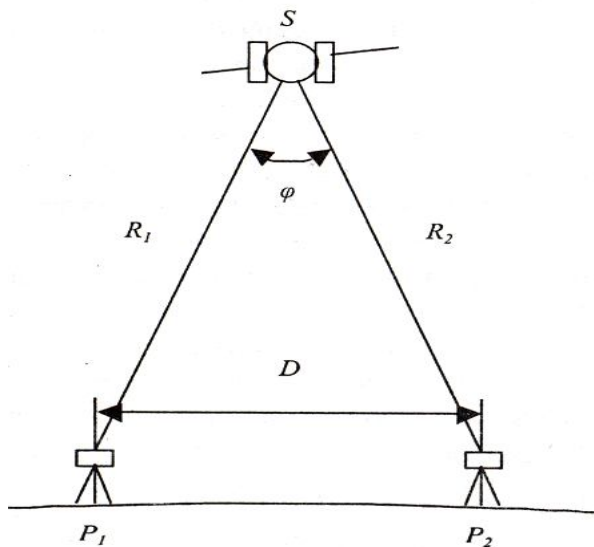
3. Бір қабылдағышпен және уақыттың әртүрлі сәтінде бір жерсерігін бақылау кезінде алынған нәтижелер айырмашылығы;

4. Әртүрлі өлшеу түрлерін (мысалы, кодты әдістер мен тербелісті алып жүретін фазаны анықтау негізінде орындалатын өлшеулер) пайдаланған кезде алынатын нәтижелерді жинақтау.

Сонымен қатар, есептеулер айырымының пайда болуының

басқа да комбинациялары болуы мүмкін (екі әртүрлі пайдалану жиіліктерінде L_1 және L_2 алынатын нәтижелер айырымы).

Енді оларды пайдалану негізінде алынатын әртүрлі айырымдарды ұйымдастыру артықшылықтарын қарастыралық. Бірінші нұсқаны іске асырған кезде, жерсеріктік аппаратура жұмысының жетілмеуіне байланысты тіркелген мәндеріндегі ауытқуларды алып тастауға мүмкіндік туады. Оларға өлшеуді орындау сәтіндегі жерсеріктік сағат көрсеткішінің қателіктері жатуы мүмкін. Сонымен қатар, жер серігі эфемеридтерін білу дәлдігіне қойылатын талаптар да едәуір әлсірейді. Бұл жағдай сызбанұсқа түрінде 9-суретте бейнеленген.



9-сурет. ЖНЖС күйінің дәлсіздігінің әсері

Егер S жер серігінен жер бетіндегі P_1 және P_2 екі нүктесіне дейінгі ара қашықтық шамамен бір-біріне тең ($R_1 \approx R_2 \approx R$), ал D базисі бақыланатын бұрыш – жер серігінің есептеу траекториясынан шамалы ауытқыған кезде тұрақты болып қалса, онда:

$$\varphi \approx \frac{D}{R}, \quad (24)$$

деп алған жөн немесе $\varphi = const$ екенін ескерсек,

$$\left| \frac{\delta D}{D} \right| \approx \left| \frac{\delta R}{R} \right| \quad (25)$$

Радиоарна бойынша берілетін эфемерид мәндерінің қателіктері, бұл кезде өлшенетін ара қашықтық (δR) мәндеріндегі қателіктер бірінші жорамалда шамамен 20 м шамасымен бағаланады. GPS және ГЛОНАСС жүйелері үшін

$R \approx 20\,000$ км болғандықтан, ол $\frac{\delta R}{R} = 10^{-6}$ болады.

Осыны ескере отырып, дифференциалдық әдісті қолданғанда базистік сызықтың ұзындығын, сонымен қатар бір миллиондық деңгейдегі екі пункттер арасындағы координаталар айырымын жер серігі эфемеридтерінің мәнін анықтаудың арнайы шараларына қабылдауға сүйенбей алу мүмкіндігі ұсынылады. Дифференциалдық әдісті пайдалану, аралық нәтижелерге атмосфераның әсерін тез азайтуға мүмкіндік береді. Өйткені, бұл жағдайда радиосигналдардың атмосфера арқылы өткен кездегі кідірісінің абсолюттік мәндерін емес, тек осы кідірістер айырымын ғана ескеру қажет. Олар салыстырмалы аз станция үрдісінде салыстырмалы кіші мәндермен сипатталады.

Қарастырылып жатқан дифференциалдық әдістің басты кемшілігі – пункт арасындағы координаталар айырмашылығын ғана анықтап, оның абсолюттік мәнін анықтамауы. Мұндай тәсілді *референцтік* деп атайды.

Екінші нұсқаның артықшылығы – екі жер серігіне дейінгі айырмашылықты пайдаланғандағы соңғы нәтижелерді есептеуден туады. Осы айырмашылық – қабылдағыш сағаты көрсеткішінің дәл еместігінен туған түзетулерді алып тастауға және қабылдағыш жұмысымен байланысты жеке құрал-жабдық қателіктерін азайтуға мүмкіндік береді.

Дифференциалдық әдістің үшінші нұсқасы – бұл кезде өлшеудің айырмашылықтары анықталады, яғни фазалық өлшеуді орындау кезінде орбитада бір-біріне жақын орналасқан екі жер серігін табу, мәндердің бірдей болмауын шешу проблемасын едәуір жеңілдетеді. Бұл жағдайда бақылау кезінде бастапқы нүктедегі жер серігі мен қабылдағыш арасындағы ара қашықтықтан жиналған толқын ұзындығының бүтін санына сәйкес келетін N мәнін алып тастауға болады.

Әртүрлі өлшеу түрлерінің комбинациясын біріктіруге негізделген дифференциалдық әдіс түрлерінің төртінші нұсқасы, фазалық өлшеуді орындаған кезде бір мәнді нақты нәтижелерді алудың тиімді әдістерін іздеуге, біржиілікті қабылдағыштарымен жұмыс істеу кезіндегі ионосфера әсерін баяулатуға, сонымен қатар динамикалық жағдайда (көлік құралдарын пайдалануын) жұмыс істегенде, жоғары дәлдікті жерсеріктік өлшеу әдістерін өндеуге де бағытталған.

2.5. Жалған қашықтық өлшеу және фазалық өлшеу жүргізу ерекшелігі

Жерсеріктік өлшеуді орындаған кезде, негізінен кодты және фазалы әдістер қолданылады. Бұл кезде жер серіктеріне дейінгі өлшенетін ара қашықтық мәндері бойынша жүйелі қателіктердің болуынан, сызықтың анықталатын ұзындықтары – жалған қашықтық деген атқа ие болады. Ал кодтық әдістердің негізін қалаушы принциптерден алатынымыз: тікелей қабылдағыштың тұрған нүктесінде тіркелетін жалған қашықтықты өлшеу мәндері, тек қана кодтық өлшеу режимінде белгіленуі мүмкін.

Пайдалану тербелістеріне жататын фазалық өлшеуге келетін болсақ, онда жер серігіне дейінгі анықталатын ара қашықтықтың толық мәні, тек қана өлшеу нәтижелеріне іс жүзінде шамасы бойынша барлық маңызды түзетулер енгізілгеннен кейін мүмкін болады. Мұндай процедурада фазалық әдіске негізделген жалған қашықтықтың әртүрлі әсерлеріне ұшыраған мәндер, әдетте белгіленбейді. Геодезиялық жерсеріктік қабылдағыш жұмыс істеген кезде жалған қашықтық

өлшеу де, фазалық әдістер де қолданылады. Олардың артықшылықтарына – анықталатын мәндерді тіркеу әдістері мен оларды әрі қарай өңдеу ерекшеліктері жатады.

Жалған қашықтық (кодтық) өлшеудің ерекше артықшылықтарының бірі – оларды тікелей қабылдағышта орындаған кезде радиосигналдың шағылысу сәтін білу қажет. Ал осы сигналды қабылдау сәтін анықтау негізінде, оның таралу уақытын белгілеуге болады. Жерсеріктік пен қабылдағыш арасындағы геометриялық ара қашықтықтың мәнін алу үшін, жалған қашықтық өлшеудің тіркелген мәніне сәйкес түзетулер енгізеді. Кодтық сигналдар, жер серігінен пайдалану тербелісін модуляциялау арқылы берілгендіктен, оларға топтық таралу жылдамдығы тән. Оны – радиосигналдардың ионосфера арқылы өтуі кезіндегі уақыттың кідірісін анықтау кезінде ескеруге тура келеді.

Фазалық өлшеудің артықшылығы – оларды орындаған кезде, бірімәнді пайдалану тербелісінің фазасымен байланысқан аралық жиіліктің тербеліс фазасы белгіленіп, тікелей қабылдағыштағы санауды алған кездегі аталған тербелісті қабылдау мен шағылысу уақыты есепке қабылданбайды. Нәтижесінде жер серігіне дейінгі тербелісті толқындардың бір ұзындығы шегінде өлшенетін ара қашықтық мәндерінің тек соңғы сандары ғана белгіленеді. Алдыңғы сандарды, мәндердің бірдей болмауын шешу процесінде анықтайды. Олар дифференциалдық әдісті пайдалануға негізделген және өңдеуден кейінгі өңдеу кезеңінде орындалады. Ионосфера әсерін есепке алғанда радиосигналдардың фазалық таралу жылдамдығы қолданылады. Осындай түзетулерді анықтау әдістері көп жағдайда, әртүрлі тербелістерді пайдалануға негізделеді.

Фазалық өлшеуге тән көптеген түзетулерді, сәйкес дифференциалды әдістерді пайдалану есебінен жоюға ұмтылады.

2.6. Жалған қашықтық өлшеуіштің өлшеу принципі

2.6.1. Кодтық әдіс

Жалған қашықтық өлшеуінің негізгі көрсеткіші - кодтық сигналды беру сәті мен (уақытты жер серігінде орнатылған сағатпен санаған кезде) оны қабылдау (уақытты қабылдағыш сағатымен санағанда) сәті арасындағы айырмашылық.

Жалған қашықтық деп – жер серігі мен қабылдағыш арасындағы жалған кездейсоқ кодтық сигналдарды қолдана отырып радиосигналдарды тарату және қабылдау сәтіндегі өлшенетін ара қашықтықтың мәнін айтамыз. Бұл кездегі олардың біріншісі – жерсеріктік сағат бойынша, ал екіншісі – қабылдағыш сағаттың көрсеткіші негізінде құрылады.

Жер серігі мен қабылдағыштағы сағат көрсеткіштері, әртүрлі болады. Ол өлшенетін ара қашықтық шамасында сәйкес кателіктердің пайда болуына алып келеді. Сонымен қатар, сызықтың белгісіз ұзындығының анықталатын және нақты мәндері арасындағы қосымша айырмашылықтары, радиосигналдардың атмосфера (ионосфера мен тропосфера) арқылы өту трассасындағы кідірістерге (бөгеттерге) байланысты.

Жасалған ескертулерді ескере отырып, жалған қашықтықты өлшеуге арналған теңдеу мына түрге келеді:

$$\left[(t_{np} + \delta t_{np}) - (t_c + \delta t_c) \right] c = \rho + \delta R, \quad (26)$$

мұндағы t_{np} және t_c – жалған қашықтықты өлшеу сәтінде тіркелетін жер серігі мен қабылдағыш сағаттарының көрсеткіштері, δt_{np} және δt_c – сағат көрсеткішінің эталондық уақытқа қатысты санауларды алу сәтіне ауытқуы; c - электрмагниттік толқындардың вакуумде таралу жылдамдығы; ρ -жалған қашықтықты өлшеу сәтіндегі жер серігі мен қабылдағыш арасындағы топоцентрлік (геометриялық) ара қашықтық; $\delta R = c\delta_{iатм}$ – атмосфера әсерінен болған, өлшенетін ара қашықтық шамасына түзету.

Тікелей (26) теңдеу негізінде жалған қашықтықты өлшеулер үшін жұмыс формуласы алынуы мүмкін.

$$R = (t_{np} - t_c)c = \rho + c(\delta t_{np} - \delta t_{np}) + \delta R. \quad (27)$$

Өзімізге қажетті геометриялық қашықтықты ρ алу үшін өлшенген R мәні, δt_c және δR түзетулер енгізу есебінен түзетіледі ($\delta t_{мүз}$ түзетуі бұл кезде алдын ала анықталмай, белгісіз параметрлер қатарына кіреді).

Кодтық сигналдарды пайдалану негізінде жер серігі мен қабылдағыш арасындағы қашықтықта радиосигналдың өту уақытын анықтау ерекшеліктерінің бірі – белгіленген сигналдардың қайталану кезеңдігіне байланысты қабылдағыштың тіркеу құрылғысы, жер серігінен қабылданатын және құрылатын кодтық сигналдар арасындағы олардың қайталану периодының шегінде ғана уақыттың жылуын анықтауға мүмкіндік береді. GPS жүйесінде қолданылатын жалпы қол жетерлік код үшін мұндай периодтылық, бір миллисекундқа тең. Бұл радиосигналдың шамамен 300 км қашықтықты жүріп өтуіне сай. Жер серігіне дейінгі ара қашықтық шамамен 20 000 км болса, онда сәйкес шараларды қолданбаса, кодтық сигналға қатысты бірнеше өлшеудің шектік мәнін шешу проблемасы тууы мүмкін.

Бұл проблема GPS уақытының толық мәні мен жер серігінен берілетін навигациялық деректер құрамындағы және жалған қашықтықтан анықталатын сәйкес кодтық сілтемені теңдестіруге мүмкіндік беретін нақты жер серігі сағатының көрсеткіштеріне, түзетулер жөніндегі ақпараттарды пайдалану есебінен шешіледі.

Жалған қашықтық өлшеуіштің өлшеулерін, қабылдағыштың тұру нүктесінің координаталарын абсолюттік әдіспен анықтау мақсатында практика жүзінде пайдаланғанда мынадай теңдеулер жүйесін шешеді:

$$R'_1 = \sqrt{(X_{c1} - X_{np})^2 + (Y_{c1} - Y_{np})^2 + (Z_{c1} - Z_{np})^2} + \Delta R ;$$

$$\begin{aligned} R'_2 &= \sqrt{(X_{c2} - X_{np})^2 + (Y_{c2} - Y_{np})^2 + (Z_{c2} - Z_{np})^2} + \Delta R; \\ R'_3 &= \sqrt{(X_{c3} - X_{np})^2 + (Y_{c3} - Y_{np})^2 + (Z_{c3} - Z_{np})^2} + \Delta R; \\ R'_4 &= \sqrt{(X_{c4} - X_{np})^2 + (Y_{c4} - Y_{np})^2 + (Z_{c4} - Z_{np})^2} + \Delta R, \end{aligned} \quad (28)$$

мұндағы $R'_{1...4} = R'_{1...4} + c\delta t_{\text{с}} - \Delta R$ - сәйкес жер серігіне дейінгі жалған қашықтың түзетілген мәні; $X_{c1...c4}$; $Y_{c1...c4}$; $Z_{c1...c4}$ - бір мезгілде бақыланатын төрт жер серігінің ағымды координаталары; X_{np} , Y_{np} , Z_{np} - тұрақтау нүктесінің анықталатын координаталары; $\Delta R = c\delta t_{\text{мүз}}$ - қабылдағыш сағатының жүру дәлдігі дұрыс еместігінен туған анықталатын түзету.

Мұндай координаталық анықтау дәлдігі бірнеше метр деңгейіндегі қателіктермен бағаланады. Осыны ескеріп, берілген әдіс – навигациялық есептерді шешу кезінде ерекше қолданыста болады.

Дифференциалды әдіс. Геодезияға қатысты координаталарды анықтаудың жалған қашықтықты өлшеу әдісі көп жағдайда көмекші функцияларды орындайды. Негізінен, мұндай әдіс көбінесе тіректі (референцтік-станция) нүктелердің координаталарды абсолюттік мәнін анықтау үшін пайдаланылады. Координаталарды анықтаудағы қажетті дәлдік мәнмен 1 м деңгейінде бағаланатын жағдайларда (мысалы, теңіз геодезиясында жеке жұмыс түрлеріндегі сияқты), дифференциалды жалған қашықтық өлшеуіштің өлшеу әдістерін қолдануға сүйенеді. Екі қабылдағыш арасында тірек қабылдағышын мобильді ақпараттарды беру үшін, радиобайланыс арнасы ұйымдастырылады. Дифференциалдық тәсілде автономиялыққа қарағанда екі қабылдағышпен өлшейді. Қабылдағышта дифференциалдық режиммен жұмыс істейтін мүмкіндік болу қажет. Бір қабылдағыш координатасы белгілі пунктке орнатылып, оны *базалық референцстанция (base or reference station)*, тірек немесе бақылау-түзеткіш деп атайды. Екінші қабылдағышты, *(жылжымалы немесе далалық ровер)* анықталатын нүктеге қояды. Базалық станцияның координаттары белгілі болғандықтан, оларды жаңадан анықталатын нүкте координаттарымен салыстырып, осы негізде

жылжымалы станцияға түзетулерді анықтауға болады. Түзетулердің бірнеше тәсілдері белгілі. Кодтау әдісімен өлшеу кезінде жалған қашықтық пен координаттарға түзетулер енгізіледі. Бірінші кезеңде – базалық станцияда өлшенген жалған қашықтықты, координаталары белгілі жер серігі мен станция бойынша есептелген ара қашықтық пен салыстырып, олардың айырмашылығын анықтайды. Бұл айырмашылықты – *дифференциалдық* (differential corrections) *түзетулер* деп атайды. Бұл айырмашылықтар қосымша радиобайланыс (радио-модем) арқылы жіберіледі. Жылжымалы станса дифференциалдық түзетулерді алған соң, өлшенген жалған қашықтыққа түзетулер енгізіп, өлшенген координаттарды есептейді. Басқа әдісте референц-станция белгілі координаттар және жеке (автономный) режимде анықталған координаттар арасындағы айырмашылықты анықтап, онымен жылжымалы станцияның анықтаған координатасын түзетеді. Мұнда екі қабылдағыш бір мезгілде жұмыс істегені дұрыс. Түзетулер өлшеу жұмыстары аяқталған соң «постобработка режимінде» енгізіледі. Аталған түзетулерді мобильді қабылдағыштарда есепке алу, (27) жұмыс формуласына кіретін түзетулер әсерін азайтуға мүмкіндік береді.

Фазалық қатынастардың жеңілдетілген талдамасы. Пайдалану тербелісін фазалық өлшеуді, жерсеріктік қабылдағыштарда орындаған кезде анықталатын шама – пайдалану тербелісінің жер серігінен қабылданатын фазасы болады. Ол қабылдағышта генерацияланатын сәйкес тербеліс фазасымен салыстырылады. Тасымалдаушы тербелістің жоғары жиілігіне және онымен байланысқан қолданылатын фазасы өлшеу құрылғыларының жоғары сезімталдығына байланысты, бұл әдістердің потенциалды мүмкіндіктері өте жоғары және миллиметрлі дәлдік деңгейіне сәйкес келеді. Осыған байланысты фазалық әдістер, әдетте өлшеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етуді қарастыратын алуан түрлі геодезиялық есептерді қарастыратын жерсеріктік жүйенің көмегімен шешу кезінде ол негізгісі болып есептеледі. Сонымен бірге, фазалық өлшеуді орындау кезінде оларға тән қиындықтарда пайда

болады (негізінен, бірнеше өлшеудің шектік мәнін шешу проблемасы), оларды жою үшін сәйкес әдістер жасауға тура келеді.

Енді GPS жерсеріктік жүйесі үшін қолданылатын фазалық әдістің математикалық негіздемесін қысқаша түрде қарастыралық.

(15) формулаға сәйкес жерсеріктік қабылдағыш кірісіне келіп түсетін тасымалдаушы тербелістің ағымды фазасын келтіреміз:

$$\Phi_c(t) = f_c(t - \tau) + f_c \delta t_c, \quad (29)$$

мұндағы f_c – жерсеріктік аппаратурада әрекет ететін, өлшеуді орындау уақытына жататын тасымалдаушы тербеліс жиілігі; τ – тасымалдаушы тербеліс пен жер серігі қабылдағышы арасындағы белгісіз ара қашықтықтың өту уақыты; δt_c – жер серігіндегі сағат көрсеткішінің жылжуы.

Қабылдағыштағы тірек тербелісін тасушы қалыпсыз ағындағы фазасы үшін мынаны аламыз:

$$\Phi_{np}(t) = f_{np}t + f \delta t_{np}, \quad (30)$$

мұндағы f_{np} – өлшеу кезіндегі қабылдағыштағы тасушы тербелістің қалыпсыз жиілігі; δt_{np} – қабылдағыш сағаты көрсеткішінің жылжуы.

Жоғарыда аталған анықталатын тербелістер арасындағы толық фазалық ығысу, бұл кезде мына қатынаспен жазылады:

$$\Phi = \Phi_c(t) - \Phi_{np}(t) = -f_c \tau + f_c \delta t_c - f_{np} \delta t_{np} + (f_c - f_{np})t. \quad (31)$$

фазалық өлшеуде фазалық ығысуды тек бір период шегінде өлшейтіндіктен, (18) формуласына сәйкес мынаны аламыз:

$$\Phi = N - \Delta \Phi, \quad (32)$$

мұндағы N – өлшенетін ара қашықтықтағы фазалық - циклдік

бүтін сан; $\Delta\Phi$ – қабылдағышта өлшенетін фазалар айырымының мәні.

f_c және $f_{мұз}$ тасымалдаушы жиіліктерінің номиналды мәндерден аз уақыт аралығындағы ауытқуы, Герцтің бөлшектік үлгісімен бағаланады. Осыдан $f_c \approx f_{np} \approx f_{деп}$ қабылдауға болады. Нәтижесінде (31) формуладағы соңғы мүшені ескермей, оны мына түрде жазуға болады:

$$\Delta\Phi = f\tau + N + f(\delta t_{np} - \delta t_c). \quad (33)$$

τ шамасы қабылданатын сигналдың кешігу уақытын көрсетеді. Сондықтан көп жағдайда бұл уақытты шартты түрде – теріс мән деп есептейді. Егер вакуумдағы жарық жылдамдығының мәні c - мен атмосфера әсеріне сәйкес түзетуін $\delta t_{атм}$ енгізсек, онда (33) формуласы мына түрге келеді:

$$\Delta\Phi = -f \frac{P}{c} + N + f(\delta t_{np} - \delta t_c) + f\delta t_{атм}, \quad (34)$$

осыдан:

$$\rho = \lambda(N - \Delta\Phi) + c(\delta t_{np} - \delta t_c) + c\delta t_{атм} \quad (35)$$

мұндағы $\lambda = c/f$ – тасымалдаушы тербеліс толқынының ұзындығы.

$\Delta\Phi$ алдындағы таңба фазаметрдің жұмыс істеу режиміне тәуелді оң немесе теріс болуы мүмкін. (35) формуласының талдамасынан шығатыны – қажетті мәnnің дәлдігін см немесе мм деңгейінде дәл анықтау үшін берілген формулаға кіретін барлық түзетулері жоғары дәлдікпен ғана анықталмайды. Сонымен қатар, жер серігі мен қабылдағыш арасындағы өлшенетін ара қашықтық шеңберінде тасымалдаушы тербелісінің толқын ұзындығының бүтін санына сәйкес келетін белгісіз N мәнін табудың сенімді әдістерін пайдалану қажет.

1-кестеде келтірілген мәліметтерден шығатыны, δt_c түзетуді ақпаратты навигациялық деректер құрамындағы ақпараттарды пайдалану негізінде анықтау дәлдігі, 1м деңгейінде бағаланады.

(28) теңдеулер жүйесімен бірігіп шешу нәтижесінде

есептелген δt_{np} , түзету одан да төмен дәлдікпен сипатталады (шамамен жүз наносекунд деңгейінде немесе бірнеше метр реттік ара қашықтықта).

$\delta t_{атм}$ метеотүзетуге келетін болсақ, екі жиілікті қабылдағыштарды пайдаланған кездегі оның қателігі, сызықты өлшемде бірнеше метрге сәйкес келеді.

Мәндер бойынша едәуір қателіктердің болуына байланысты (35) теңдеуі негізінде N мәнін анықтаудың тиімді әдістерін жасау мүмкін емес. Демек, белгісіз ара қашықтықта фазалық әдістер негізінде анықтау мүмкін емес. Өйткені, қажетті ара қашықтық мәндерінің бірдей болмауын сенімді түрде шешу үшін $0,5\lambda$ -тен аз емес қателікпен анықталуы тиіс. Ол L_1 негізгі тасымалдаушы жиілік үшін шамамен 10 см шамасын құрайды.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, келтірілген түзетулерді анықтау дәлдіктерін қайта-қайта жоғарылату тәсілдерін іздеу әрекеттері алдын ала қабылданады. Нәтижесінде алынатын санақтардың айырымын анықтауға негізделген дифференциалдық теңдеулер, ең тиімдісі болып шықты.

Бақылау сұрақтары

1. ЖРНЖ-де әскери секторына қандай ерекшеліктер тән?
2. Геодезиялық қабылдау-есептеу кешенінде қандай функциялар бар?
3. Далалық жағдайларда аппаратура қандай көмекші есептерді шешеді?
4. GPS қабылдағышының антенналық құрылғысы не үшін қолданылады?
5. Көпжолдық деген не?
6. ЖРНЖ-дегі орнын нүкте анықтау негізіне не жатады?
7. Позициялау сөзі ЖРНЖ-де қандай себеппен қолданылады?
8. ЖРНЖ-де кодтық қашықтық өлшеу өлшемдерінің мәні неде?
9. ЖРНЖ-де фазалық қашықтық өлшеу өлшемдерінің мәні неде?

10. Ара қашықтықты фазалық әдіспен өлшеудің қандай ерекшеліктері бар?
11. Бірнеше өлшеудің шектік мәні дегенді қалай түсінесіз?
12. Сызықты фазалық әдіспен өлшеудің негізгі формулсына қандай параметрлер кіреді?
13. Координаталарды анықтаудың абсолюттік әдісінің мәні неде?
14. Координаталарды анықтаудың дифференциалдық әдісінің мәні?
15. Геодезияда нүктенің орнын анықтаудың қандай әдісі қолданылады?
16. Бірнеше өлшеудің шектігін шешу дегеніміз не?
17. Геодезиялық GPS қабылдағыштарында ара қашықтықты анықтаудың қандай әдістері қолданылады?
18. Ионосфера әсерінің қателіктері қалай жойылады?
19. Фазалық өлшеулер кезіндегі қателіктер қалай жойылады?
20. Жалған қашықтық өлшеуіштің өлшеуі кезіндегі негізгі көрсеткішке не жатады?
21. Қашықтықты фазалы анықтау әдісінде не өлшенеді?
22. Фазалық өлшеу әдісінде N саны нені білдіреді?
23. Бірнеше өлшеудің шектік мәнін шешу бойынша тиімді әдістемелерді өңдеу неге мүмкін емес?

3. ФАЗАЛЫҚ ӨЛШЕУЛЕРДІҢ АЙЫРЫМДАРЫ

Бірінші айырымдар – бір ЖНЖС-ні тармақталған бақылау пункттерінде орнатылған екі қабылдағышты қолдана отырып бір мезгілде бақылау әдісіне негізделген өлшеу түрі.

Бұл әдістің ерекшелігі – бір мезгілде екі тармақталған станцияларда алынған фазалық ығысу айырымы негізінде жүргізілетін өлшеу нәтижелерін өңдеуге байланысты, яғни:

$$\delta\Phi_{AB}^j = \Delta\Phi_B^j - \Delta\Phi_A^j; \quad (36)$$

мұндағы j – ЖНЖС нөмірі; A, B – жердегі бақылау пункттері. (34) теңдеуін (36)-ға қойып, мынаны аламыз:

$$\delta\Phi_{AB}^j = \frac{1}{\lambda}(\rho_A^j - \rho_B^j) + (N_A^j - N_B^j) + f(\delta t_A - \delta t_B) + f(\delta t_{Aатм}^j - \delta t_{Bатм}^j); \quad (37)$$

мұндағы ρ_A^j, ρ_B^j - A және B нүктелерінде орнатылған ЖНЖ мен қабылдағыш арасындағы геометриялық ара қашықтықтар; N_A^j, N_B^j - фазалық циклдердің бүтін сандары; f, λ - тасымалдаушы тербелісінің толқын жиілігі мен ұзындығы; $\delta t_A, \delta t_B$ - A, B пункттеріндегі қабылдағыштардың сағат көрсеткішінің қабілеттері; $\delta t_{Aатм}^j, \delta t_{Bатм}^j$ - радиосигналдардың сәйкес желілердегі атмосфералық кідірістері.

(37) формуладан белгілі болғандай, ЖНЖС-дағы сағат қателіктері жойылатыны көрініп тұр. Бір мезгілде атмосфералық кідіріс әсері де едәуір төмендейді. Өйткені, олардың абсолюттік мәндері емес, айырымы қалады.

Бірінші айырмашылық әдісінің кемшіліктері:

- кем дегенде екі қабылдағыш пайдалану қажеттілігі;
- екі қабылдағыш сағат жүрісінің, синхронды емес қателіктері;

Қабылдағыш сағаттарының қателері, бірінші айырымын құрудың екінші әдісінде алып тасталады. Оның мәні – екі ЖНЖС-ні бір қабылдағышпен бір мезгілде бақылауға

байланысты. Бұл жағдайда фазалар айырымы мынадай қатынаспен жазылады:

$$\delta\Phi_A^{jk} = \Delta\Phi_A^k - \Delta\Phi_A^j = \frac{1}{\lambda}(\rho_A^k - \rho_A^j) + (N_A^k - N_A^j) + f(\delta t_k - \delta t_j) + f(\delta t_{Аатм}^k - \delta t_{Аатм}^j). \quad (38)$$

Бұл әдісте бір ЖНЖС-ден екі қабылдағышқа дейінгі ара қашықтықтың орнына, екі ЖНЖС-дан бір қабылдағышқа дейінгі қашықтық қолданылады.

Екінші айырымдар – кем дегенде екі ЖНЖС-ні бақылау кезінде ең азы, екі қабылдағышпен өлшеу әдісі. Әдіс – бірінші айырым әдісінің екі түрінің комбинациясы болып табылады. Екінші айырым әдісі, жоғары дәлдікті геодезиялық өлшеулер кезінде көп таралған.

Екінші айырымдар мына түрде болады:

$$\delta\Phi_{AB}^{jk} = \delta\Phi_{AB}^j - \delta\Phi_{AB}^k = \frac{1}{\lambda}\delta\rho_{AB}^{jk} + N_{AB}^{jk} + f\delta t_{ABатм}^{jk}, \quad (39)$$

мұндағы

$$\begin{aligned} \delta\rho_{AB}^{jk} &= \rho_A^j - \rho_B^j - \rho_A^k + \rho_B^k; \\ \delta t_{ABатм}^{jk} &= \delta t_{Bатм}^j - \delta t_{Aатм}^j - \delta t_{Bатм}^k + \delta t_{Aатм}^k; \\ N_{AB}^{jk} &= N_B^j - N_A^j - N_B^k + N_A^k. \end{aligned} \quad (40)$$

(39) формуладан шығатыны: ЖНЖС және қабылдағыш сағаттарының жүру қателіктері жойылады. Одан бөлек, қосымша атмосфера қателері азаяды. Сонда *мәндердің бірдей болмау шегін* шешу проблемасы, яғни N санын анықтау қалады.

Үшінші айырмашылық – қабылдағыш пен ЖНЖС-ні бақылау кезінде қатысатын, бірақ әртүрлі сәттегі екінші айырмашылық аралығын құруға негізделген өлшеу әдісі. t_1 және t_2 екі уақыт сәті үшін (39) теңдеуге сәйкес, екінші айырым мына түрге келеді:

$$\begin{aligned} \delta\Phi_{AB}^{jk}(t_1) &= \frac{1}{\lambda}\delta\rho_{AB}^{jk}(t_1) + N_{AB}^{jk}(t_1) + f\delta t_{ABатм}^{jk}(t_1); \\ \delta\Phi_{AB}^{jk}(t_2) &= \frac{1}{\lambda}\delta\rho_{AB}^{jk}(t_2) + N_{AB}^{jk}(t_2) + f\delta t_{ABатм}^{jk}(t_2). \end{aligned} \quad (41)$$

Үшінші айырмашылық – осы қатынастар айырмашылығын береді:

$$\delta\Phi_{AB}^{jk}(t_{2-1}) = \frac{1}{\lambda} \delta\rho_{AB}^{jk}(t_{2-1}) + N_{AB}^{jk}(t_{2-1}) + f\delta t_{AB\text{ амм}}^{jk}(t_{2-1}), \quad (42)$$

$$\begin{aligned} \delta\rho_{AB}^{jk}(t_{2-1}) &= [\rho_A^j(t_2) - \rho_B^j(t_2) - \rho_A^k(t_2) + \rho_B^k(t_2)] \\ &- [\rho_A^j(t_1) - \rho_B^j(t_1) - \rho_A^k(t_1) + \rho_B^k(t_1)]; \\ N_{AB}^{jk}(t_{2-1}) &= [N_B^j(t_2) - N_A^j(t_2) - N_B^k(t_2) + N_A^k(t_2)] \\ &- [N_B^j(t_1) - N_A^j(t_1) - N_B^k(t_1) + N_A^k(t_1)] = \\ &= \Delta N_{Aj}^j(t_{2-1}) - \Delta N_{Bj}^j(t_{2-1}) - \Delta N_A^k(t_{2-1}) + \Delta N_B^k(t_{2-1}); \\ \delta t_{AB\text{ амм}}^{jk}(t_{2-1}) &= \delta t_{AB\text{ амм}}^{jk}(t_2) - \delta t_{AB\text{ амм}}^{jk}(t_1). \end{aligned} \quad (43)$$

(42) формуладан шығатыны – үшінші айырмашылық әдісімен өлшеген кезде ара қашықтықтың абсолюттік мәндері емес, олардың уақыт бойынша $\Delta t = t_2 - t_1$ өсімшесі жазылады. Бұл кезде белгісіз мәндерді беретін N фаза циклдерінің толық мәнінің орнына, өткен уақыт аралығындағы олардың өсімшелері тіркеледі. Бұл өсімшелер ЖНЖС радиосигналдарының үздіксіз бақылау кезіндегі фазалық өлшеу құрылғысының көрсеткіші бойынша анықталады.

Әдістің негізгі кемшілігі – дәлдігі төмен. Қателік айырмашылығы бар мәндерден абсолютті мәндерге өткен кезде, айырмашылыққа сәйкес көбейткішке көбейту қажеттілігі нәтижесінде пайда болады, ол кезде қателік те көбейтіледі. Осы себептен, үшінші айырмашылық әдісі – көмекші ретінде қолданылады.

3.1. Мәндердің бірдей болмау шегін шешу принциптері

Толық циклдер санын анықтау қиыншылығы 10^8 реттік үлкен мөлшерге байланысты. Сонымен қатар, бұл сан ЖНЖС қозғалысының әсерінен үздіксіз өзгереді де, мәндердің бірдей болмауын бірнеше ЖНЖС үшін бір мезгілде анықтау қажет.

Мәндердің бірдей болмауын шешу әдісін жасау кезінде мынандай факторлар ескеріледі:

- мәндердің бірдей болмау шегін шешу процедурасы алдында барлық негізгі жүйелік қателіктер алып тасталады;
- N санын көп ретті анықтау қажеттілігі – оның бастапқы

бақылау нүктесінде анықтаудан кейін жойылады. Содан кейін фаза өлшегіш құрылғы көрсеткіштері бойынша оның өзгерістері зерттеледі;

- ара қашықтықты алдын ала есептеу, тасымалдаушы тербеліс толқыны ұзындығының жартысынан кем емес дәлдікте жүргізілуі тиіс;
- әдістер әмбебап және әртүрлі қабылдағыштарда іске асыруға қолайлы болуы қажет;

Мәндердің бірдей болмауын шешудің ең көп тараған әдістері негізінде – оның бақыланатын ЖНЖС-нің іздеу траекториясында бастапқы нүктесінің жұмыс істеу мүмкіндігінде. Мұндай әдістерге:

- геометриялық әдіс;
- кодтық және фазалық өлшеу әдістерінің үйлесімі;
- N мәнінің ықтимал мәнін іздеу әдісі;
- тривальды емес әдістер.

Геометриялық әдістің мәні – қабылдағышпен радиосигналды ұстап алғаннан кейін, фазалық өлшеу бастамасы – фазаның бүтін сандық өзгерістері, яғни циклдері үздіксіз қадағаланады. Белгісіз бастапқы N мәні бұл кезде ЖНЖС қозғалу траекториясының барлық нүктелерінде өзгермейтін болып саналады. (34) теңдеуі мына түрде қабылданады:

$$\Delta\Phi = -f \frac{P}{c} + N + \Delta N + f(\delta t_{np} - \delta t_c) + f\delta t_{атм}; \quad (44)$$

мұндағы ΔN - ЖНЖС-нің орбитадағы қозғалысының әсерінен, фазалық циклдердің бүтін санды өзгерістері. N мәні белгісіздер санына қосылып, ЖНЖС-нің қозғалу траекториясының әртүрлі нүктелерінде санау кезінде құрылатын теңдеулер жүйесін шешу процесінде анықталады. Бұл әдісте дифференциалды өлшеудің бірінші, екінші айырымдары іске асырылады. Осы әдістегі N -ді анықтау сенімділігі ЖНЖС-ні қадағалау ұзақтығына тәуелді. Бұл кезде ЖНЖС-ні қадағалау үздіксіздігін қамтамасыз ету қажет. Әдістің артықшылығы мен кемшіліктері – бұл кезде қолданылатын фазалық өлшеу айырымдарына байланыстылығы.

Кодтық және фазалық өлшеулерді үйлесімді пайдалану әдісінің мәні – екі жиілікті фазалық өлшеу ерекшеліктеріне негізделген. Екі жиілікті өлшеулерде $L1$ және $L2$ тасымалдаушы жиіліктеріндегі фазалардың ығысу және олардың арасындағы айырымды анықтау мүмкіндігі ұсынылады, яғни:

$$\Delta\Phi_{\Delta L} = \Delta\Phi_{L1} - \Delta\Phi_{L2} . \quad (45)$$

ΔL жиілік айырымына тән, фазалық ығысуда эквивалентті алынатын айырмашылықтың номиналдың мәні мынаған тең:

$$f_{\Delta L} = f_{L1} - f_{L2} = 1575,42 - 1227,6 = 347,82 \text{ МГц}. \quad (46)$$

Мұндай тербелістердің толқын ұзындығы 86,2 см, ол тасымалдаушы тербелістің толқын ұзындығынан 19,0 – 24,4 см-ге едәуір асып өтеді. Осылай, N саны бірден төмендейді. Едәуір төмен жиілікті тербелістерге өту әдісі – *кең жол әдісі* деп аталады. ЖНЖС-ге дейінгі ұзақтықтың белгілі жорамал мәнінде осы әдіспен мәндері бірдей болмауын шешу едәуір жеңілдейді. Қашықтықты жорамал мәні кодтық әдістермен анықталады. Бұл кезде дәлдік $0,5\lambda_{\Delta L} \approx 43$ см-ден кем болмауы тиіс. Ол сигнал шу және Р-кодқа кіру қатынасында жақсы көрсеткіштері бар қабылдағыштармен қамтамасыз етіледі.

Әдістің артықшылығы:

- нәтижелердің ЖНЖС-нің орналасу геометриясына тәуелсіздігі;
- кинематикалық режимде қолдануға болатыны;
- өлшеу мәндерінің бірдей болмау шегін әртүрлі ара қашықтықтағы базистік сызықтар үшін шешу мүмкіндігі.

Циклдің бүтін санының ең ықтимал мәнін іздеу әдісінің мәні мынадай жорамалдарға негізделеді: базисті екі қабылдағышпен өлшеген кезде, бақылау сеансы процесіндегі оның ұзындығы, базис ұзындығына жайласатын циклдер саны сияқты тұрақты болып қалуы тиіс.

Бақылау сеансы процесінде ЖНЖС-ге дейінгі ұзақтықты қайта-қайта анықтау мен базис ұзындығын есептеу мүмкіндігін беретін өлшем сандары жинақталады. Бұл кезде базис

ұзындығының есептелген мәні – N саны дұрыс анықталса, минималь болады. Ал өлшеудің жеке нәтижелерін топтастыру, базис ұзындығына жайласқан циклдердің дұрыс мәндерінің айналасында жүреді. Сәйкесінше, ең жарамды циклдер санын пайдалана отырып, тізбектегі іріктеу әдісімен мәндердің бірдей болмауын шешу мүмкіндігі туады. Олардың негізінде GPS-қабылдағыштар мен орнын анықтаудың «*Жылдам статика*» технологиясы жасалды. Ол ұзындығы шамалы базистік аралықтарды өлшеу кезінде кеңінен тарады.

Әдістің артықшылығы:

- өлшеу мәндерінің бірдей болмау шегін шешу;
- есепті салыстырмалы жылдам шешу;
- бір және екі жиілікті қабылдағыштарды пайдалану мүмкіндігі;

Әдістің кемшіліктері:

- жайылмайтын жүйелі қателіктерге сезімталдығы (радиосигналдардың бейнеленуі);
- бақылау кезіндегі ЖНЖС-нің максималь санын пайдалану;
- мәндердің бірдей болмау шегін шешу сапасын бағалау критерийлерінің жеткіліксіздігі;

Өлшеу мәндерінің бірдей болмау шегін шешудің тривиальды емес әдістерінің мәні – сипатталған әдістердің әр түрлі модификациясын пайдаланудан және процесті қайталауға мүмкіндік беретін әртүрлі әдістерді кешендеуден тұрады. Мұндай әдістерге «реокупация» әдісі жатады. Ол пункттерде 1 – 2 сағат сайын қайта бақылаудан тұрады. Өңдеу кезінде бұл жоғары көлемдегі деректерді береді.

Екі жиілікті өлшемді қолданған кезде L_1 және L_2 жиіліктегі санаудың барлық мүмкін комбинациялары пайдаланылады. Бұл кезде аса төменгі аралық жиіліктерді алу міндеті қойылады. Ұзақ бақылау кезінде (бірнеше тәулікке дейін) мәндердің бірдей болмау шегін шешуге қолайлы, уақыт аралығынан тыс деректер алу мүмкіндігі пайда болады.

Жерсеріктік өлшем деректерін өңдеудің жалпы сызбанұсқасы қабылдағыш функцияларының бірі – кодтық

сигналдардың кешігу уақыты мен тасымалдаушы тербелістердің фазалық ығысуларын қолдануға негізделген.

Қабылдағыштағы кодтық сигналдар негізінде жер серігінен қабылдағышқа дейін өту уақыты мынадай формуламен анықталады:

$$\tau_{изм} = (t_{пр} + \delta t_{пр}) - (t_{пер} + \delta t_{пер}) = \tau_{ист} + \delta \tau, \quad (47)$$

мұндағы $\tau_{изм}$ – сигналдың жер серігі мен қабылдағыш сағаты бойынша тіркелген өту уақыты; $t_{бер}$ және $t_{қаб}$ – сигналды беру мен қабылдаудың эталондық сағат бойынша уақыт сәттері; $\tau_{изм} = t_{қаб} - t_{бер}$ сигналдың жүріп өткен ара қашықтығының нақты уақыты; $\delta \tau = \delta t_{пр} - \delta t_{пер}$ жер серігі мен қабылдағыштағы сағат жүрісінің синхронды еместігіне түзету.

Өлшенген уақыт бойынша R ара қашықтығы есептеледі.

$$R = \nu \tau_{изм} = \nu (\tau_{ист} + \delta \tau) = \rho + \nu \delta \tau; \quad (48)$$

мұндағы ρ – жер серігіне дейінгі шынайы ара қашықтық, $\nu \delta \tau$ – жер серігі мен қабылдағыш сағаттарының көрсеткіштер айырымын түзету мүшесі. Түзету мәні жүз, одан да көп метрге жетуі мүмкін және ол сағат жүрісінің тұрақтылығына тәуелді.

Бұл қашықтықты өлшеудің біржақты принципі, бір жер серігінен қабылдағыштың шексіз санына дейінгі ара қашықтықтарды бір мезгілде анықтауға мүмкіндік береді. Оның кемшілігі – қашықтық өлшеуіш кодтарды генерациялаушы тірек генераторларының, синхронды еместігінен туған түзетуді есепке алу қажеттілігі болып табылады.

Төрт жер серігіне дейінгі ара қашықтықты бір мезгілде өлшеу және қабылдағыштағы барлық жер серігі координаталары жөніндегі ақпараттар, қабылдағыштың есептеу кешеніне кеңістіктік сызықты қиылыстыру негізінде, пункттердің координаталарын анықтауға мүмкіндік береді.

Жерсеріктік позициялау жүйесін геодезияда пайдалану кезінде, бақылауды өңдеудің барлық процесін екі негізгі сатыға бөледі:

- алдын ала, қабылдағышта жүргізілетін өңдеу;
- камералдық жағдайларда ақырғы өңдеу кезеңі «пост - өңдеу»;

Өңдеудің ақырғы сатысы көп нұсқадан тұрады, ол ең алдымен соңғы мақсатқа тәуелді. Негізінен, практикада мынадай есептеу процестер стратегиясы жиі қолданылады:

- жеке базистік сызықтарды анықтау және олардың желідегі тізбектей бірігуі;
- бір мезгілде көптеген станциялар үшін алынған бір сеанстық нәтижелерді есептеу;

3.2. Жерсеріктік өлшеудің жүйелі қателіктерінің көздері

3.2.1. Қателік көздерін жіктеу

Қателік көздерінің әсер ету сипатына байланысты пайда болатын қателіктер, екі негізгі топқа бөлінеді: *жүйелі қателіктер*, олар жерсеріктік өлшеулерге қатысты – *ығысу* деп аталады. Сонымен қатар *кездейсоқ сипаттағы қателіктер*, оларды көбінесе «шу» ұғымымен теңдестіреді.

Бірінші топтың қателіктері үшін оларды ескерудің арнайы әдістері жасалады. Екінші топтың әсерін көп жағдайда, үлкен массивті жеке өлшеулерді пайдалану есебінен азайтуға болады. GPS және ГЛОНАСС жүйелеріне тән өлшеу процестерін талдауға байланысты, барлық негізгі қателік көздерін шартты түрде үш негізгі топқа бөлуге болады:

1) бастапқы деректерді нақты білмеуге байланысты қателіктер; онда анықтаушы рөл мәндерінің – өлшеу кезеңінде белгілі болуы, тиіс жер серігі эфемеридтерін білу қателіктеріне жүктеледі;

2) сыртқы орта әсерінен туған қателіктер; олардың ішінен жерсеріктік өлшеу нәтижелеріне атмосфераның (ионосфера мен тропосфера) әсері сияқты, сондай-ақ қоршаған объектілерден шағылысатын радиосигналдар (көпжолдылық) сияқты *қателік* көздерін бөліп көрсетуге болады;

3) құрал-жабдықтық қателік көздері, оларға қабылдағыш

антеннасының фазалық орталағының күйін дәл білмеу, ақпараттық сигналдардың аппаратура арқылы өткен кезде ескерілмеген уақыттық кідірістері жатады. Сондай-ақ, жерсеріктік қабылдағыштардың тіркеу құрылғыларының жұмысына байланысты қателіктер де жатады.

Жоғарыда айтылған қате топтарымен бірге, қателіктердің пайда болуын дәлелдейтін жеке факторларды да ескеруге тура келеді. Олар жоғарыда айтылған топтардың біреуіне де тиісті емес. Негізінен, мұндай қателіктерге – бақыланатын жерсеріктерінің өзара тиімсіз орналасу салдарынан пайда болатын қателіктер жатуы мүмкін (геометриялық фактор). Одан бөлек, бірқатар қателіктер бір координаталық жүйеден, екіншісіне ауысу процесінде пайда болуы мүмкін. Мысалы, GPS жүйесіне қатысты WGS-84 ғаламдық-координаталық жүйеден жергілікті координаталық жүйесіне ауысу кезінде.

3.2.2. Жер серіктік эфемеридтерін дәл білмеуге байланысты қателік көздері

Жер бетіндегі нүктелердің координаталарын жерсеріктік әдіспен анықтаған кезде, жер серігіне дейінгі ара қашықты өлшеумен бірге, оның өлшеуді орындаған сәттегі орналасқан жерін анықтап беретін эфемеридтерін де (координаталарын) білу қажет. Эфемерид қателіктері – анықталатын нүктелердің координаталарының абсолюттік мәні мен бақылау пункттері арасындағы айырымдарын анықтаудың сәйкес қателіктерін тудырады. Эфемеридтерді дәл білмеу механизмі, ең алдымен практикадағы болжанатын (қалыпты) және нақты (қалыпсыз жағдайлар туғызатын күштер) орбиталар арасындағы бақыланатын айырмашылықтарға байланысты. Қалыпсыз жағдайлар туғызатын күштерге – гравитациялық және гравитациялық емес факторларды жатқызуға болады. Әртүрлі факторлардың GPS және ГЛОНАСС типтегі жерсеріктерінің қозғалысына әсері 2-кестеде келтірілген.

Нақты орбитаның есептеуден ауытқуына, жердің гравитациялық өрісі ең көп әсер етеді. Негізінен, C_{20} екінші

гармоникалық коэффициенттің әсерінен мұндай ауытқуы – орбитаның үш сағаттық доғасы үшін 2 км, ал одан да ұзақ екі тәуліктік доғасы үшін 14 км-ге дейін жетеді. Мұндай едәуір ауытқуларды кез келген түрдегі жерсеріктік өлшеулер үшін есептеуге болмайды.

2- кесте

Түрлі факторлардың ЖНЖС қозғалысына әсері

Қалыпсыздық тудыратын факторлар	Қалыпсыздықтың максималь жылдамдығы, м/с ²	1 сағаттағы максималь қалыпсыздық, М
Жердің орталық гравитациялық өрісі	$5,65 \cdot 10^{-1}$	-
Екінші аймақтық гармоника	$5,3 \cdot 10^{-5}$	300
Ай гравитациясы	$5,5 \cdot 10^{-6}$	40
Күн гравитациясы	$3 \cdot 10^{-6}$	20
Төртінші аймақтық гармоника	10^{-7}	0,6
Күн радиациясы	10^{-7}	0,6
Гравитациялық ауытқу	10^{-8}	0,06
Басқа факторлар	10^{-8}	0,06

Ай мен Күн массасының жалпы гравитациялық әсері елеулі түрде кіші, бірақ болжау кезінде эфемерид мәндерін ескерген жөн. Гравитациялы емес факторлардың әсерлерін бағалауға өткенде, GPS пен ГЛОНАСС жүйелері құрамына кіретін жерсеріктерінің эфемеридтерін дәл анықтауға, күннің радиациялық қысымы елеулі әсер ететінін айта кеткен жөн. Жер серігінің есептеу траекториясынан осы фактордың әсер етуі, ауытқуы 5 - 6 м (3 сағаттық доға үшін) және 100 – 800 м (2 тәуліктік доға үшін) құрайды. Ауытқу тербелісі мынадай себептерден пайда болады:

- күн сәулесінің қарқындылығы, уақыт өткен сайын тұрақсызданады;
- берілген фактор моделінің әсері, жер серігінің көлеңке

аймағы мен жартылай көлеңке аймағына өткен кезде едәуір өзгереді;

- жер серігінің тиімді беті, өзінің күрделі конфигурациясы мен жер серігінің кеңістіктегі күйінің түрленуінен, алдын ала дұрыс есептелмейді;
- жер бетінен шағылысқан күн радиациясы, жер бетінің күннен сәулеленген аймақтарының шағылыстыру қасиеттері мен атмосфералық жағдайларына тәуелді.

Атмосфералық кедергілерді бағалауда, оның шамамен 20 000 км биіктіктегі сиректігін ескере отырып, жер серігі орбиталарын есептеу кезінде оның әсері ескерілмейді.

Жоғарыда келтірілген қозғаушы факторлардың жалпы әсерлері, жер серігінің нақты орбиталарын алғашқы жорамал түрде есептеген кезде ғана қолданылады. Жердегі бақылаушыларға қажетті жер серігі эфемеридтерінің мәнін алсақ, онда практикада координаталары белгілі және жер серігінде автоматты режимде жоғары дәлдікте үздіксіз бақылайтын пункттерде орнатылған тірек станцияларын пайдалануға негізделген.

Радиоканал бойынша берілетін эфемерид мәндерінің дәлдігі шамамен 20 м қателікпен сипатталады. Геодезиялық жерсеріктік дифференциалды өлшеу дәлдігін шамамен $1 \cdot 10^6$ деңгейде қамтамасыз етеді. Ол көптеген геодезиялық жұмыс талаптарын қанағаттандырады. Алайда, жер қыртысының қозғалысын зерттеуге арналған ғаламдық жоғары дәлдіктегі желілердің кең дамуына байланысты, аталған деңгей жеткіліксіз. Мұндай жағдайларда эфемеридтерді – апостериорлы анықтау әдісі пайдаланылады. Оның мәні – өлшеуді ақырғы рет өңдеу, эфемеридтердің нақты мәндері болып есептеледі.

Апостериорлы әдістерде эфемеридтерді тәртіппен анықтауға болады, яғни бұл дәлдікті бірнеше метр бірлікке жеткізуге болады. Мұндай тәсілде эфемеридтерді білу қателігі, кез келген геодезиялық есептерді іс жүзінде шешу кезіндегі жерсеріктік өлшемнің нәтижелі дәлдігіне едәуір әсер етіледі.

3.2.3. Ионосфераның әсері

Атмосфераның иондалған қабатының электрлік қасиеттері, олардан әртүрлі жиілік аумақтағы радиосигналдардың өтуіне үлкен әсер етеді. ЖРНЖ-ге қатысты ионосферадағы бос электрондар, жер серігінен ионосфера арқылы өтетін электрмагниттік толқындардың әсерінен, екінші реттегі толқын көздері болып саналады. Олар бірінші реттегі толқындармен өзара әрекеттескен кезде, біршама реттік айрықша таралу жылдамдықтағы нәтижелі толқындардың пайда болуына алып келеді. Оның мәні – вакуумдағы жарық жылдамдығынан төмен не жоғары болуы мүмкін.

Ионосфералық кідіріс, әдетте жалған қашықтық өлшеуішті түзеткен кезде есептеледі. Олардың мәндері 5-тен 50 м-ге дейінгі аралықтағы шамалармен бағаланады. Ионосфера әсерін есепке алу әдістері онша сенімді емес және ол жоғары өлшеу дәлдігін қамтамасыз етпейді. Осыған байланысты ол, координаталарды анықтаудың абсолюттік әдістеріндегі навигацияда қолданылады.

Жерсеріктік өлшемді геодезияда пайдаланған кезде L_1 мен L_2 тасымалдаушы жиіліктерін қолдануға негізделген ионосфераның әсерін есепке алу әдісі көп тарады. Өлшеуді екі тасымалдаушы жиілікте орындау негізінде, тек қана ионосфера әсерінен іс жүзінде бос өлшенетін ара қашықтықтың шамасын ғана емес, ионосфералық түзету мәнін де анықтауға болады.

Ионосфера әсерін қосымша әлсіретуге, дифференциалды өлшеу әдісін пайдалану есебінен жетуге болады. Оның ерекшеліктерінің бірі: соңғы есептеулер кезінде ионосфералық кідірістердің абсолюттік емес мәндерінің орнына, жер серігін елді мекенде жағалай орналасқан екі станциямен қосатын радиосәуле траекториясына сай келетін, олардың айырымдары қолданылады. Одан бөлек, нақты жұмыстарды – ионосфера әсерін едәуір азайтатын түнгі уақытта орындау ұсынылады.

Ионосфера әсерін әлсіретумен күресудің ең тиімді әдістері – екі жиілікті дифференциалды фазалық өлшеуге негізделген әдістер болып саналады. Олар жергілікті жердегі ұзақтығы әртүрлі аралықтарды сантиметрлі және миллиметрлі дәлдік деңгейде өлшеу мүмкіндігін береді.

3.2.4. Тропосфераның әсері

Тропосфераның ерекшелігі – атмосфераның осы бөлігі бейтарап (иондалмаған) орта болып табылады. Сондықтан 15ГГц-тен аз радиоауқым жиіліктері үшін ол дисперсияға ұшырамаған орта болып қарастырылады. Соның салдарынан, ондағы радиотолқындардың таралу жылдамдығы жиілікке тәуелді емес. Бұл кездегі фазалық және топтық жылдамдықтар бірдей болғандықтан тропосфераның фазалық және кодтық өлшемдерге әсерін жеке-жеке оқудың қажеті жоқ. Мұндай әсерді есепке алу әдістерін жасаған кезде, жоғарыда жазылған екі түрлі тасымалдаушы жиіліктерді де өлшеу принциптерін қолдану мүмкіндігі туады. Соның салдарынан осы күйдің орнын, модельдеу әдісі алады.

Қазіргі кезде тропосфера әсерін ескеру үшін едәуір мөлшердегі әртүрлі модельдер ұсынылған. Олар сигналдардың ғарыштық объектілерден жер бетінде орналасқан пункттерге дейін өту кезіндегі, тропосфералық қабаттың кедергісі шамасын бағалауға мүмкіндік береді. GPS типті жерсеріктік позициялау жүйелеріне қатысты Хопфильд моделі едәуір көп тарады. Мұндай модельді жасау кезінде тропосфераның сынғыш қасиеттерін «құрғақ» және «ылғал» құрамбөліктерге бөлу мақсатына негізделген.

Орындалған есептеулер «құрғақ» құрамбөлік – тропосфералық қабаттың толық кедергісінің шамамен 90%-ын, ал «ылғал» құрамбөлік қоры, оның шамамен 10%-ын құрайтынын көрсетті. Зениттік бағыт үшін жалпы тропосфералық кедергінің сандық бағасы шамамен 2,3 м-ді құрайды. Жер серігінің горизонтқа жақындау шамасы бойынша бұл мән едәуір өсіп, шамамен көкжиектен 10^0 биіктікте 20 м-ге жетеді.

Тропосфералық кедергіні бағалауға қажет ақпараттар тікелей бақылау пунктінде алынатын болса, онда жер серігінен берілетін навигациялық деректер құрамындағы сәйкес түзетулерді, осы мақсатта пайдалану қажеттілігі туындамайды.

Жоғарыда айтып өткендей, тропосфералық кедергі параметрлерін есептеу үшін, атмосфераның қабылдаған

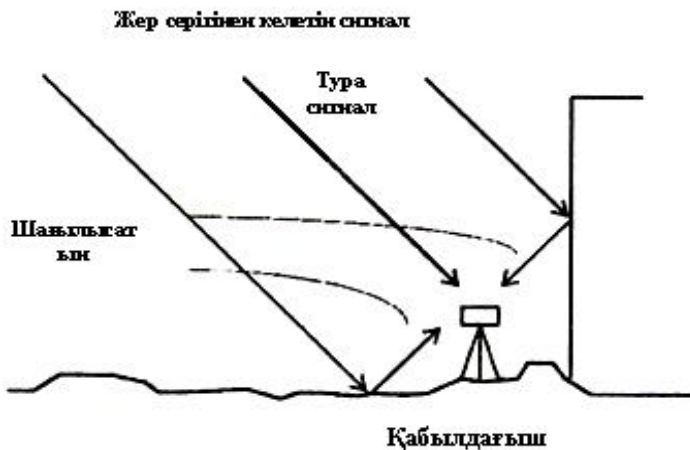
стандартты моделіне тән ауаның температурасы, қысымы және ылғалдылығының мәндері қолданылуы мүмкін. Алайда аса дәл жұмыстарды жүргізу кезінде, осы параметрлерді тікелей бақылау пунктерінде өлшеу ұсынылады.

Тропосфераның жерсеріктік өлшеулерге әсері, дифференциалды бақылау әдістерін пайдалану есебінен едәуір әлсірейді. Онда соңғы нәтижелерге тропосфералық қабаттың кедергісі – абсолюттік емес мәндерінің орнына, олардың айырымдары әсер етеді. Сонымен қатар, қазіргі кездегі жерсеріктік координаталық анықтамалардың жинақталған тәжірибесі, тропосфералық модельдеу әдісін қолданғанда бұл қателік көзі – жоғары дәлдіктегі өлшеуді жүргізгендегі негізгілердің бірі болып шығатынын көрсетті. Бұл кездегі ауа ылғалдылығын модельдеу процесінде едәуір қиыншылықтар туындайды. Оларды кей жағдайда, жерсеріктік өлшеудің жоғары шекті дәлдігін іске асыру қажет болғанда, оны жою үшін су буының радиометрлері қолданылады. Олардың көмегімен ауа ылғалдылығының интегралдық мәнін, радиосигналдардың жер серігінен қабылдағышқа дейін өту жолында анықтауға мүмкіндік туады. Тропосфералық қабаттың кедергісі, жерсеріктік өлшемді өңдеу процесінде осы параметрді теңдеулер жүйесінде бірігіп шешу процесінде белгісіз шама деп қарап, оны есептеуге негізделген екінші әдіс бар. Мұндай әдіс, ауаның жоғары ылғалдылық жағдайларында өлшеу жүргізген кезде өте тиімді болып шықты. Осыған байланысты оны халықаралық ұйымдар жерсеріктік өлшеу нәтижелерін түзету үшін ғана емес, сонымен қатар атмосферадағы су булары құрамының кеңістіктікте таралуы бейнеленетін тропосфералық карталарды жасау мақсатында, метеорологияда да қолдануды ұсынған.

3.2.5 Көпжолдылық

Көпжолдылық – радиосигналдардың жерсеріктік қабылдағыштың антеннасына жер серігін бақылау пунктімен қосатын тура жолмен ғана емес, қабылдағыштарды қоршаған әртүрлі объектілерден шағылысу есебінен түзілген сынық жолдар

бойынша да (жер және су беті, құрылыс пен ғимараттар, т.б) жетуі, 10-суретте жерсеріктік радиосигналдардың қабылдағыш кірісіне түсер алдындағы бейнесінің пайда болу механизмдері көрсетілген.

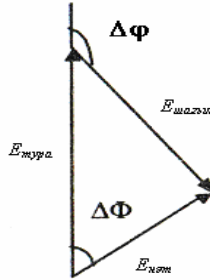


10-сурет. Сигналдардың көпжолдылық әсері

Жоғары ұзақтықтағы жолды жүріп өткен шағылысқан радиосигналдар болған кезде, радиокашықтық өлшеуіштің өлшеу нәтижелеріне, өлшеудің соңғы дәлдігіне әсер ететін қосымша қателік енгізіледі. Көпжолдылық қабылдағыш кірісіне келіп түсетін сигналдардың едәуір әлсіреуіне, ал кей жағдайда қабылдағыштың қалыпты жұмысынан толық бұзылуына себепші болуы мүмкін.

Бейненің тасымалдаушы және модуляциялаушы тербелістерге әсер ету механизмдерінде елеулі айырмашылық анықталды. Жерсеріктік өлшеулерде аталған тербелістердің екі типі де қолданылуына байланысты, бұл әсерді тасымалдаушы тербелісті қолдануға негізделген фазалық өлшеулерге де, модуляцияланған сигналдар қабылдағышына негізделген кодтық өлшеулерге де қатысты бағалаймыз. Көпжолдылықтың тасымалдаушы тербелістерге тікелей әсер ету процесі оңай және

көрнекі сипатталатындықтан, мұндай әсердің механизмін тасымалдаушы тербеліске қатысты фазалық өлшеулерде қарастырамыз (11-сурет).



11 - сурет. Тура және шағылысқан сигналдардың векторлық қосындысы

Қандай да бір объектіден шағылысқан радиосигнал артық $\Delta\rho$ жолды жүріп өтіп, нәтижесінде тура сигналмен салыстырғанда қосымша фазалық $\Delta\Phi$ ығысу алады делік. Ол ығысу, фазалау цикл үлесіне де мына формуламен бағалануы мүмкін:

$$\Delta\Phi = f \frac{\Delta\rho}{\nu}, \quad (49)$$

мұндағы f – тасымалдаушы тербеліс жиілігі; ν – электрмагниттік толқындардың таралу жылдамдығы.

Жерсеріктік қабылдағыштың антенналық құрылғысына шағылысқан кезде, бір мезгілде $E_{тура}$ немесе $E_{шағыл}$ векторларымен сипатталатын радиосигналдар келіп түседі. Оларды қосқан кезде нәтижелесуші сигнал тура сигналдарға қатысты $\Delta\Phi$ шамасына тең болады:

$$\operatorname{tg}(\Delta\Phi) = \frac{k \sin(\Delta\varphi)}{1 + k \cos(\Delta\varphi)}, \quad (50)$$

мұндағы $k = E_{шағыл}/E_{тура}$ – сигналдың шамамен шағылыстыратын беттің шағылысу коэффициентіне тең әлсіреу коэффициенті.

Фазалық өлшеудің максималь қателігі, көпжолдылық

салдарынан шамамен 5см - ге жетуі мүмкін.

Кодтық өлшеуді орындаған кезде қателікті өлшеу механизмі, көпжолдылыққа байланысты едәуір күрделенеді. Кодтық өлшеу нәтижесіндегі қателіктерді есептеген кезде, жоғарыда айтылған тасымалдаушы тербеліске тән фазалық ығысу модуляцияланатын (яғни, кодтық) сигналдарға ие болатын фазалық ығысуға өтеді. Осы кезде тасымалдаушы тербеліске тән бірнеше сантиметрдегі жүріс айырымы, ондаған метрмен бағаланатын модуляциялаушы тербелістер үшін жүріп өткен жүріс айырымына өзгереді. Сонда, жалпыға ортақ код жөнінде ақпараты бар және сигналдардың толқын ұзындығы шамамен 300 м, деңгейдегі фазалық ығысу 90^0 -ды құрап, 75 м шамасында бағаланатын қателікті тудырады.

Алдымен кодтық өлшеу нәтижелеріне көпжолдылықтың әсерін әлсірету шаралары ерекше назар аударады. Бұл қателіктерді бәсеңдету мүмкін емес. Өйткені, көпжолдылықтың пайда болуына септігін тигізуші жағдай, әрбір нақты бақылау пунктіне тән.

Көпжолдылыққа байланысты қателік көздерінің әсерін бәсеңдету бойынша ұсыныстар:

1) бақылау пункттерін орналастыру жерлерін жерсеріктік қабылдағыштың антенналық жүйесіне жақын, шағылыстыру объектілері болмайтындай етіп есептеу жолын тандап алған жөн;

2) жерсеріктік қабылдағыштар үшін антенналы жүйелерді жасаған кезде, шағылысқан радиосигналдардың антенна кірісіне келіп түсуіне кедергі жасайтын, қосымша кері қайтару жабдықтар орнату қажеттігіне көңіл бөлген жөн (антенна астына экран орнату);

3) шағылысу әсеріне ұшырайтын пункттерде бақылау сеансы ұзаққа созылып, сигналдардың шағылысу себебінен қателік өзгерістері циклмен алынады, соңында орташаланып – көпжолдылық әсері төмендейді;

4) беттіктің шағылу (кез-келген зат) әсері аз болғанда, жерсеріктік жағдайына сай келетін бақылау нәтижелерін өңдеу кезінде тек үш өлшенген нәтижелермен шектелуге болады.

Аталған шаралардың жиынтығы әсерді, сол қателік көзі жоғары дәлдіктегі жер серіктіктерінің өлшеулерінің орындалуына кедергі жасамайтындай деңгейге дейін азайтуға мүмкіндік береді.

3.3. Жерсеріктік өлшеудің кездейсоқ қателік көздері

3.3.1 Құрал-жабдық қателік көздері

Құрал-жабдық қателік көздері, жер серігінде орналасқан аппаратура және тұтынушы аппаратурасының құрамына кіретін жұмыс тораптарының жетілмегендігімен байланысты. Құрал-жабдықтық қателіктің негізгі көздері – жер серігі мен қабылдағыштағы сағаттың жүру қателігіне, сигнал беруші және қабылдаушы антенналардың жұмыс істеу ерекшеліктеріне байланысты. Ол сигнал бергіш пен қабылдағыш аппаратурасындағы уақытша кідіріске, радиосигналдардың жер серігінен қабылдағышқа дейін жүріп өтуіне сай, уақыт (немесе фазалық ығысу) анықталатын есептеу құрылғысы жұмысының жетілдірілмегендігіне байланысты.

3.3.2. Жер серігі мен қабылдағыштағы сағат жүрісінің тұрақсыздығынан туған қателік

Сағат жүрісінің тұрақсыздығына байланысты қателіктер, жерсеріктік өлшеулерге тән қателіктердің барлық кешенінде анықталады. Жер серігі мен қабылдағыштағы сағаттың тұрақтылығын, жоғары тірек генераторлары орындайды. Олар GPS уақыты ретінде белгілі шкалаларды іске асыру кезіндегі уақыт пен жиілік үшін базалық негіз болып қызмет етеді. Жер серігіндегі осындай сағат жүрісінің тұрақтылығына қойылатын жоғары талаптарға байланысты, атомдық генераторлар қолданылады. Ал тұтынушы қабылдағыштарында едәуір арзан кварцтық генераторлар пайдаланылады. Олар өздерінің көрсеткіштерінің бойынша ұсынылған талаптарға сай емес. Сондықтан, орындалған өлшеу дәлдіктерінің елеулі түрде

төмендемеуі үшін, сағат көрсеткіштерінің (жер серігінде орналасқан) мезгіл-мезгіл түзетілуін қарастыратын шаралар қолданылады. Сондай-ақ, жер серігі мен қабылдағыштардағы сағат көрсеткіштерінің дәл еместігінен пайда болған қателіктерді есепке алуға немесе жоюға мүмкіндік беретін арнайы әдістемелік тәсілдер де пайдаланылады.

Жерсеріктік қабылдағыштардың сағат көрсеткіштерінің қателіктерін есепке алу үшін төрт жер серігін бақылауға негізделген, жалған қашықтық өлшеуіштің принциптері қолданылады. Жер серігі артық болған кезде қабылдағыш сағатының дәлсіз жүруінен туған түзетуді, (28) теңдеуді бірге шешу негізінде анықтау мүмкіндігі туады. Жер серігі мен қабылдағыш сағаты көрсеткіштерінің ауытқуының есепке алу әдісі, бір станциямен орындалатын бақылау кезінде, яғни қабылдағыш тұрған нүктенің абсолюттік координаталарын анықтау кеңінен тарады.

Жер серігіндегі сағат көрсеткіштерінің өздігінен ауытқуымен қатар, оларға релятивистік әсер үшін де түзету енгізуге тура келеді.

3.3.3.Салыстырмалылық нүктені дәл білмеуден туған қателіктер

Салыстыру нүктесі – ара қашықтық есептелетін нүктелер. ЖРНЖ-ге қатысты мұндай нүктелерге – жер серігімен мен қабылдағыштағы антенналардың фазалық центрлері жатады. Аталған центрлердің күйін жоғары дәлдікте қандай да бір геометриялық өлшеу негізінде анықтау мүмкін емес. Сондықтан, бұл параметрлерді арнайы өлшемдер негізінде зауыт жағдайларында анықтауға болады.

Жер серігі мен қабылдағыштағы фазалық центрлерді анықтау дәлдігіне қойылатын талаптар әртүрлі. Жер серігіндегі центрді анықтау қателігі – метрлік дәлдік деңгейінде анықталуы, эфемеридтерді дәл білмеуден туындайды. Қабылдағыштың антенна центріне пункттер арасындағы координаталар аралығын см-лік не мм-лік дәлдік деңгейінде анықтауға байланысты.

Қазіргі заманғы жерсеріктік қабылдағыштарда антенналық құрылғының айналу өсіне қатысты, симметриялық конструкциялы микро жолақты антенналар ерекше тарағандықтан, фазалық центрдің горизонталь жазықтықтағы орнын, аталған айналу осімен бірлестіреді. Фазалық центрді вертикаль өстің бағытында тіркеу мәнін көп жағдайда қабылдау аппаратурасын шығаратын фирма анықтап қабылдағыш паспортына жазады. Сонымен қатар жасаушы фирма осы аталмыш мәнді бір типтегі барлық қабылдағышқа бірдей етуге тырысады. Геодезиялық жерсеріктік қабылдағыштарды жасаушы фирмалар бұл кезде фазалық центрді табу дәлдігі мен мм бірлігі деңгейіндегі күйінің тұрақтылығына кепілдік береді.

3.3.4. Қабылдағыштың аппаратуралық уақытша кідірісі мен ішкі шу тұрақсыздығының әсерінен туған қателіктер

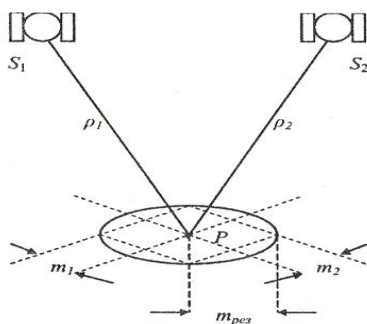
Мұндай түрдегі әсерге көп арналы GPS – қабылдағыштары ұшыраған. Онда сигналдың әр түрлі жерсеріктерден өтуіне жеке арна ұсынылады. Аталған арналардағы уақытша кідіріс, едәуір өзгешеленуі мүмкін. Ол өлшеу нәтижелерінде қосымша қателіктердің болуына алып келеді.

Аталған әсермен күресу үшін даярлаушы фирмалар, тұтынушының қабылдау аппаратурасы жолындағы кідірісті болдырмай, түзетулер бойынша шаралар қабылдайды. Осы мақсатта қабылдағыштың кейбір типтеріне арнайы бақылаушы арна енгізіледі. Ол әр түрлі жұмыс арналарында пайда болатын кідірістің айырмашылықтарын тез бағалауға мүмкіндік береді. Қабылдаған шаралардың барлық кешені осы түрдегі қателік көзінен туған қалдық әсерді, бірнеше мм-мен есептелетін шамаға дейін жоюға мүмкіндік береді. Дифференциалды өлшеу әдістерін пайдаланған кезде осы сияқты әсерді іс жүзінде толығымен жоюға болады. Сигнал қабылдағыштың электр тізбектері бойынша өткенде, оларға қабылдағыштың ішкі шуының әсер етуі де бақыланады. Ішкі шу деңгейі – қолданылатын өлшеу әдістерін шешу қабілетін анықтайды. Негізінен, GPS - өлшеуге тиісті осы фактордың әсерінен, потенциалды дәлділік қолданылатын толқын ұзындығының

шамамен 1%-ына тең мәнімен шектеледі. Осы түрдегі әсерді баяулатудың ең тиімді шарасы – жаңа, шуы аз элементтік негізді пайдалану. Қазіргі кезде шығарылатын жаңа буын қабылдағыштарында шуы аз элементтік негіз қолданылатындықтан, қабылдағыштарда рұқсат етілетін қабілетін, шамалы ретпен жоғарылатуға болады.

3.3.5. Геометриялық фактор

Нүктелердің орнын қиылысудың кеңістіктік сызығын қолдану негізінде анықтау ерекшеліктерінің бірі – координаталық анықтамалардың нәтижелі дәлдігі. Ол тек қана орындалатын қашықтықтан өлшеуіштің өлшеу дәлдігіне ғана емес, сонымен қатар бақыланатын жер серіктерінің орналасу геометриясының тәуелділігіне де байланысты. Жер серіктерінің өзгерістеріне қатысатын орналасу геометриясының дәлдігін төмендету механизімін көрнекі көрсету үшін, 12, 13 - суреттерді қараймыз. Ал қызықтырушы P пунктінң орнын, бір-бірінен әр түрлі қашықтықтағы жер серіктері арқылы екі өлшемде анықтау мысалын қарастырамыз.

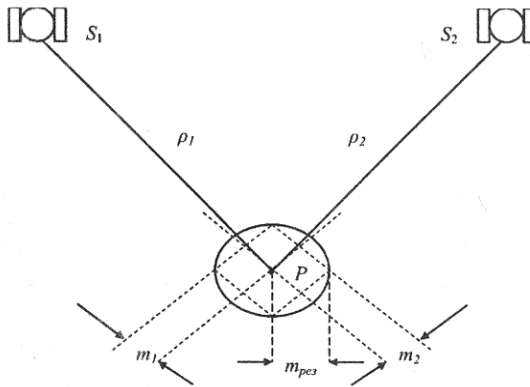


12 - сурет. Кателік эллипсінің геометриялық интерпретациясы

Егер S_1 және S_2 жер серіктеріне дейін өлшенетін ρ_1 мен ρ_2 ара қашықтықтар m_1 және m_2 кателіктерімен өлшенетін болса, онда сызықты қиылыстыру әдісін пайдаланған кездегі P

анықталатын пунктінің орны 12-суретте көрсетілген, қателіктер эллипсі деп аталатын аудан шегінде орналасады.

Бақыланатын жер серіктері өзара перпендикуляр бағытталған жағдайда, аталған эллипс шеңберге деформацияланады (13-сурет). Бұл жағдайда, жер серіктерінің орналасу геометриясының жүргізілетін анықтаулар дәлдігіне әсері азайтылады. Егер бағыттар арасындағы бұрыш 0^0 -ге немесе 180^0 -қа жақындаса, онда бұл эллипс – созылыңқы болады. Сөйтіп, анықталатын пункт координаталарын анықтау қателігі артады.



13 - сурет. Қателік эллипсінің жер серіктерінің өзара (орналасуына байланысты) деформациясы

Жерсеріктік жүйелерге тән үш өлшемді өлшеулерге сәйкес, қателік эллипсі екі ості эллипсоидқа өтеді (ауысады).

Өлшем қателіктерінің өсуін бағалайтын параметр, жер серігі орнының геометриясына байланысты *геометриялық фактор* деп аталды. Оны DOP (Dilution of Precision – дәлдікті төмендету) аббревиатурасымен белгілеу қабылданған. Бұл параметр – нәтижелеуші позициялау дәлдігі мен жер серігіне дейінгі ара қашықтыққа өлшеу дәлдігі арасындағы байланыстырушы буын ретінде қолданылады:

$$m_{рез} = DOP m_0, \quad (51)$$

мұндағы $m_{н\bar{a}т}$ – пункт орнын анықтаудың орташа квадраттық қателігі; m_0 – ұзақ өлшемді өлшеудің орташа квадраттық қателігі.

Берілген есепті шешу кезінде анықтайтын параметрлерге байланысты әр түрлі модифицирленген DOP түсінігі қолданылады. Үш өлшемді позициялау мен уақыт дәлдігін сипаттайтын GDOP параметрі (дәлдікті уақытты анықтау қателігін есепке алғандағы азайтудың геометриялық факторы) әмбебап көрсеткіш болып табылады.

$$GDOP = \frac{\sqrt{m_N^2 + m_E^2 + m_H^2 + m_t^2 c^2}}{m_0}, \quad (52)$$

мұндағы m_N , m_E және m_H – солтүстікке, шығысқа және биіктігі бойынша бағытталу координаталарын анықтаудың орташа квадраттық қателіктері; m_t – уақытты анықтаудың орташа квадраттық қателігі; c – электромагниттік толқын жылдамдығы.

GDOP – пен қатар PDOP (үш өлшемді позициялау дәлдігін, уақытты анықтау қателігін ескермей төмендетуді ескеретін фактор), HDOP (горизонталь жазықтықта екі өлшемді позициялау үшін ұқсас фактор), VDOP (дәлдіктің вертикаль бағытта төмендеуін сипаттайтын фактор) сияқты көрсеткіштер қолданылады.

Геометриялық фактордың мәнін көбінесе төбесі жер серігінің орналасқан орны мен бақылау пункті біріктіретін көпқырлы пішінінің көлемімен байланыстырады. Бұл кезде пішіннің көлемі неғұрлым үлкен болса, жер серіктерінің орналасу геометриясын позициялаудың нәтижелі дәлдігіне әсері, солғұрлым бәсеңдеу байқалады. Жер серіктері өзара жақындаған сайын, бұл көлем азайып, геометриялық фактордың әсері өседі.

GDOP мәні көбінесе GPS-өлшеудің жоғары дәлдігін жер серіктерінің орналасу геометриясына байланысты алу мүмкіндігінің критерийі ретінде қолданылады. Мысалы, Leica

(Швецария) фирмасы GDOP мәні 8-ден көп болған кезде, жоғары дәлдіктегі жерсеріктік геодезиялық өлшеулер жүргізуді ұсынбайды. Геометриялық фактордың GPS позициялау дәлдігіне әсерін бәсеңдетудің ең тиімді әдісі – едәуір қолайлы бақылау кезеңдерін таңдап алу. Ол GPS – өлшеу кестесін жерсеріктік бақылауды жоспарлау кезеңінде құрғанда жүргізіледі.

3.3.6 GPS - өлшеу дәлдігін жасанды төмендету себептері мен әдістері

ЖРНЖ-нің қолданылуы, бастапқыда әскери тұтынушылардың сұраныстарын қанағаттандыруға бағытталған болатын. Бұл кезде басқа бекітілмеген (азаматтық) тұтынушылардың барлық потенциалды жүйе мүмкіндіктерін пайдалануға шектеу болатыны жорамалданды. Осыны ескере отырып, қызмет көрсетудің әр түрлі екі қызметі құрылды: бекітілген тұтынушылар үшін дәл позициялау (PPS) қызметі және GPS жүйесіне ресми рұқсаты жоқ тұтынушыларға қызмет көрсетуге бағытталған стандарттық позициялау (SPS) қызметі. Навигациялық режимдегі қабылдау аппаратурасы (яғни, дара жұмыс істейтін қабылдағышты пайдалану режимінде) жұмыс істеген кезде әр түрлі деңгей дәлдігін іске асыру мүмкіндігіне байланысты бөлінген еді. Екі деңгейдегі дәлділікті жүзеге асыру, екі шектеу тәсілдерін енгізу есебінен жүргізіледі. Олардың біріншісі – талдау рұқсаты (SA), ал екіншісі P – кодты қосымша шифрлау, ол «антимистификация» деп аталады (A-S).

Талдау – рұқсат (SA) жерсеріктік өлшеу нәтижелеріне әсердің екі түрінен тұрады:

- жалған кездейсоқ сигналды жер серігінің сағат көрсеткіштеріне қосу немесе олардың заңға сәйкес бекітілген тұтынушылар үшін белгілі жүйелі тұрақсыздануы;
- жер серігінен берілетін эфемеридтер мәнін дөрекілеу.

«Жасанды шулатудың» келтірілген шаралары, жалған қашықтықтың лездік мәнін анықтау дәлдігіне едәуір әсер етеді. SA – ға әсер ету есебінен, жалған қашықтықты C/A – кодты

пайдалану негізінде анықтау қателігі 40- тан 100-м – ге өседі. Дифференциалды өлшеу әдістеріне келетін болсақ, онда SA-ның алынған нәтижелердің дәлдігіне әсері – бәсеңдеу болып шығады. Бұл жерсеріктік сағат көрсеткіштеріне енгізілген бұрмалаулар, іс жүзінде өңдеу кезінде, екінші айырымды қолдану есебінен толық жойылатындығына байланысты.

P – кодын қосымша шифрлауға негізделген екінші тәсіл – жалған қашықтық өлшеуіш өлшемін P – кодты қолдана отырып орындамауға алып келеді. Ол радиосигналдардың L_2 жиілікте сәйкес жер серіктерінен ұстап алынуына байланысты едәуір қиыншылықтар тудырады. Осының нәтижесінде фазалық өлшеулерге тән шексіз *мәндердің бірдей болмауын шешу* кезінде, ионосфера әсерін ескерсек, онда қосымша қиыншылықтар пайда болады.

GPS – ті (тіркелмеген) бекітілмеген тұтынушылардың пайдалануын шектеу шаралары, GPS – аппаратурасын навигациялау мақсатында, сондай-ақ жеткілікті, әрі дәл кинематикалық әдістерді игеру кезінде қолданатын тұтынушылардың қызығушылығын туғызады. Геодезиялық есептерді шешу кезінде қолданылатын статистикалық әдістерге келетін болсақ, онда GPS - өлшеу дәлдігін жасанды түрде төмендетудің жоғарыда қарастырылған әдістері, дәлдіктегі қателерді аз шығындармен жетілікті түрде, тиімді жояды.

Бақылау сұрақтары.

1. Бірінші айырымдар қалай пайда болады?
2. Бірінші айырым әдісін қолданған кезде қандай қателіктер жойылады?
3. Бірінші айырым әдісінде қандай кемшіліктер бар?
4. Екінші айырым қалай пайда болады?
5. Екінші айырым әдісін қолданған кезде қандай қателіктер пайдаланылады?
6. Екінші айырымның қандай кемшіліктері бар?
7. Үшінші айырым қалай пайда болады?
8. Үшінші айырым әдісімен өлшеу дәлдігі қалай азаяды?
9. Өлшеу мәндерінің бірдей болмау шегін шешу

- күрделілігі қандай факторларға байланысты?
10. ЖНЖС эфемеридтері қателіктерінің пайда болуы неге байланысты?
 11. Жер серігі эфемеридтеріне қателік әсерлерін қалай жоюға болады?
 12. Уақыттық (уақытша) қателіктер ионосферада неге пайда болады?
 13. Ионосфералық қателіктер қалай жойылады?
 14. Қандай құрал-жабдықтың қателік ЖРНЖ-де анықтаушы болып табылады?
 15. Сағаттың жүру қателігінің әсерін қалай жоюға болады?
 16. Салыстыру нүктесі дегеніміз не?
 17. Аппаратуралық уақытша кідіріс қалай ескеріледі?
 18. Аппаратураның ішкі шуының әсері қалай азайтылады?
 19. ЖНЖС-нің өзара қандай жағдайында геометриялық фактордың әсері аз?
 20. Геометриялық фактордың әсері қалай бәсеңдейді?
 21. Жерсеріктік өлшеу дәлдігі қандай жасанды әдістермен төмендейді?

4. ЖЕРСЕРІКТІК ӨЛШЕУЛЕРДІ ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ҰЙЫМДАСТЫРУ

Жерсеріктік геодезиялық қабылдағыштарды әр түрлі геодезиялық есептерді шешу мақсатында оны практикалық қолдану кезінде мынадай мәселелерге ерекше көңіл бөлінеді: пункттер арасында өзара көріну болмаған кезде, координаталарын анықтау дәлдігі мен сенімділігі; сыртқы жағдайлардың әсері (сыртқы белгілер, өсімдіктер, ғимараттар); алынған координаталарды әр түрлі координаталық жүйелерге редуцирлеу; өнімділігі мен экономикалық тиімділігі. Қазіргі заманғы жерсеріктік технологияның тиімділігін, координаталар каталогы мен деректер қорын жоспарлаудан, алғанға дейінгі жерсеріктік өлшеудің барлық кешенін тиімді ұйымдастыруға байланысты.

Жерсеріктік өлшеулерді ұйымдастыру әдістері – оларды жүргізуді жобалау, ұйымдастару, дала жұмыстарын жүргізу кезеңдеріндегі дәстүрлі геодезиялық өлшеуден едәуір ерекшеленеді.

Жобалау процесінде геодезиялық желіні берілген аймақтарда жерсеріктік технологияны қолдану негізінде тұрғызу принциптерін дәлелдеу жүргізіледі. Бұл кезде стандартты емес талаптар, жер серіктерінің қолайлы бақылау жағдайларын қамтамасыз етуі тиіс пункттердің орналасу орнын таңдап алуға қойылады. Пункттер арасындағы өзара көрінушіліктің болуы қажеті емес.

Жерсеріктік өлшеулер пландық, биік координаталарды алуға мүмкіндік беретінін ескере отырып, ерекше талаптар геодезиялық пункттердің құрылымына қойылады. Олар қажетті тұрақтылықты барлық үш координаталық бағыттар бойынша, олардың бекітілуі мен жердегі сырттай суреттелуін қамтамасыз етуі тиіс.

Жерсеріктік бақылауды пункттерде ұйымдастырып жүргізген кезде негізгі талаптардың бірі – бақылаудың бір сеансына қатысатын барлық қабылдағыштардың бір мезгілде жұмыс істеуін қамтамасыз ету. Маңызды факторларға сонымен қатар, бақылау пунктіне кіруге болатыны, аппаратураның

пунктте орналасу қолайлылығы, антенналық блокты центрлеудің қажетті, дәлдігі мен оны бекіту сенімділігін қамтамасыз ету. Сонымен қатар, электрмен қоректенудің үздіксіздігін қамтамасыз ету, өрістік журналды енгізу жатады.

Бақылау жүргізу процесінде жерсеріктік геодезиялық қабылдағыш өлшенетін шамалар мен басқа да көмекші ақпараттардың тіркелуін жүзеге асырып қана қоймай, бірқатар есептеулер кешенін жүргізеді. Мұндай есептеулер автоматтық режимде алдын ала қабылдағышқа енгізілген программа бойынша орындалады. Соның салдарынан, оператор – есептеу жүрісіне активті әрекет ете алмайды.

4.1. Жерсеріктік өлшеуді жобалау мен ұйымдастыру ерекшелігі

Жерсеріктік әдістермен құрылатын геодезиялық тораптап жобалаудың алғашқы моменті, бақылаудың жалпы стратегиясын жасау болып табылады. Стратегияның негізгі жағдайлары, техникалық жобаны жасау алдындағы сәйкес концепцияларда айтылады. Мұндай жағдайларға:

- жерсеріктік өлшеулерге негізделетін тораптарды құрудың жалпы принциптері;
- жерсеріктік бақылау мен әрі қарай есептеу әдістерін таңдауды негіздеу;
- техникалық құралдардың барлық кешені мен бақылау жағдайларын таңдап алуға байланысты алғышарттарды құру ;
- таңдап алынған жерсеріктік технологияның техника-экономикалық негіздемесі.

Жерсеріктік өлшеулер негізінде құрылған геодезиялық тораптарды қамтитын аумақты өлшеу бойынша жіктеу қабылданған. Осыған байланысты – ғаламдық, континенттік, аймақтық және жергілікті тораптар болып бөлінеді. Оған ғаламдық және континенттік тораптар жататын ең ірі торап IGS (Халықаралық геодинамикалық торап, бүкіл жер шарын қамтиды) және EUREF (Еуропалық референттік каркас) мысал бола алады.

Осылардың ішіндегі ең көп тарағаны – оларды құрудың аймақтық әдістері жасалған аймақтық тораптар. Осыны ескере отырып, аймақтық және жергілікті тораптар үшін техникалық жобаларды жасау кезінде қолданылатын негізгі тәсілдерді талдау, қызығушылық туғызды.

Ең алдымен геодезияда кеңінен қолданылатын жерсеріктік координаталық анықтау, дифференциалдық әдістерді қолдануға негізделетінін айта кеткен жөн. Мұндай әдістер координаталардың абсолюттік мәндерін емес, тек бізге қажетті пункттер арасындағы олардың айырымын ғана анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен бірге, құрылатын тораптардың соңғы нәтижелері тек қана өсімшелер емес, негізінен барлық пункттердің координаталарының толық мәндері болуы тиіс. Осыдан шығатыны, желі құрамында үш координаталарының алдын ала белгілі толық мәндері бар, ең болмағанда бір тірек пунктінің болу қажеттілігін талап етеді. Мұндай пунктті – *референцтік* деп атау қабылданған. Ең тиімді нұсқа – торап құрамында үш референцтік пункттердің болуы.

Нүкте орнын анықтауда қазіргі заманағы ЖРНЖ-ні қолданған кезде, референцтік пункттің координаталарын геоцентрлі декарттық координаталар жүйесінде (X, Y, Z) қолданады. Осы координаталардың дәлдігі, барлық құрылатын тораптың жалпы координаталық жүйесіне әсері.

Жерсеріктік өлшеу негізінде есептелетін базистік аралықтың салыстырмалы қателігі, жер серігіне дейінгі ара қашықтықты жорамал қатынаспен анықтау қателігіне байланысты:

$$\frac{\delta \rho}{\rho} \approx \frac{\delta D}{D}, \quad (53)$$

мұндағы ρ және $\delta \rho$ - қабылдағыштан жер серігіне дейінгі ара қашықтық пен оны анықтау қателігі; D және δD – жер бетіндегі екі бақылау пункттері арасындағы базистік аралық ұзындығы мен оның қателігі.

Жер серігіне дейінгі ара қашықтықты жалпыға мүмкін код негізінде анықтау қателігі 100 м-ге жетеді, $\delta \rho / \rho = 2 \cdot 10^{-6}$ қатынасына сәйкес келеді.

Екі немесе одан да көп референстік пункттер болған кезде, мұндай қателік көп жағдайда, құрылатын тораптың масштабына да тиісті болады. Осыны ескере отырып, референстік пункт координаларының абсолюттік мәндерін референстік пунктте орнатылған қабылдағыштың навигациялық жұмыс істеу режимі негізінде емес, ғаламдық немесе континенттік тірек торабына (*IGS, EUREF*) кіретін пункттерге дейін деференциалдық біріккен өлшеулер негізінде алады. Бұл кезде референстік пункт координаталарының абсолюттік мәндерінің дәлдігі, дециметрлік деңгейде қамтамасыз етілуі мүмкін.

Жерсеріктік геодезиялық қабылдағыштардың мынадай жұмыс режимдері бар:

- статикалық режим (*Static*);
- үдетілген статикалық режим (*Rapid Static*);
- қайта оралып өлшеу режимі (*Reoccupation*);
- «тұрмын- келемін» өлшеу режимі (*Stop & go*);
- кинематикалық өлшеу режимі (*Kinematics*);
- ұшудағы кинематикалық өлшеу режимі (*Kinematic*);
- навигациялық режим;

Статикалық режим (Static) деп – дифференциялық жерсеріктік қадағалауды ең болмағанда, екі қозғалмайтын қабылдағыштар арасында орындауды айтады. Программалық қамтамасыздануды пайдалана отырып, жалған қашықтық өлшеуді де, тасымалдаушы тербелістің фазалық өлшеулер нәтижелерін де өңдеуге болады. Статикалық режим төрт және одан да көп жерсеріктерін бақылау кезінде, үлкен қашықтық өлшеудің тиімді түрі болып есептеледі. Бұл режимді іске асыру үшін бір бақылау сағаты қажет.

Бақылаудың белгілі бір жағдайларында статикалық режим көрсеткіштері, едәуір жақсартылуы мүмкін. Қысқа аралықтарды бақылау кезінде ең болмағанда, геометриялық факторлары жақсы 4 не 5 жерсеріктерімен бірнеше минут бойы бақылағанда, см-лік дәлділік деңгейінде нәтижелер алуға болады.

Өлшеу жылдамдығы мен өнімділікті арттыру, жоғарылату– *SKI* программалық қамтамасызданудағы өңдеу алгоритмдерін қолдануға тәуелді. Бұл мүмкіндіктер үдетілген статикалық

режимді қолданған кезде іске асырылады (*Rapid Static*).

Қайта оралып өлшеу (Reoccupation) де – статикалық болып табылады. Бірақ оны іске асырған кезде пункттегі өлшеулердің бір сеанстан көп орындалуын талап етеді. Қайта оралып өлшеу режимі жер серіктерінің аз мөлшері бақыланатын жағдайларда, ұтымды жұмыс істеу режимі, болып саналады. Оператор тұру нүктесінде 5–10 мин. Мысалы, 3 жер серігін бақылап, ал одан кейін сол нүктеге қайта оралып, басқа күні, басқа уақытта 3 жер серігін бақылай алады. Барлық деректер біріктіріліп, осы нүктеде 6 жер серігінен алынған деректер ретінде өңделеді. «Реокупация» режимі – бірінші бақылау сеансы кезінде, пунктте жиналған деректері бар шексіз мәндердің бірдей болмауын шешу мүмкін болмаған жағдайда пайдалы. Оператор пункттегі өлшеулерді қайталап, содан кейін барлық деректерді біріктіруі тиіс.

«Тұрмын–жүремін» және кинематикалық бақылау режимі – нүктелердің көп мөлшерін тез бақылауға мүмкіндік береді. Бірақ, қабылдағыш – жерсеріктерімен нүктелер арасында орын ауыстыру кезеңінің барлық уақытында байланыста болуын талап етеді. Мәндердің бірдей болмауын шешу үшін, бірінші нүктеде жеткілікті мөлшерде өлшеу нәтижелері жиналғанша тұру қажет. Қабылдағыш жұмыс бабына қосылған соң нүктелер арасында жер серіктерімен байланыс үзілгенге дейін жұмыс істеуге болады. Егер жерсеріктерінің қармалуы бұзылса, онда деректер жеткілікті мөлшерде жиналмайынша оператор қайтадан мәндердің бірдей болмауын шешу үшін стационарлы режимде қалады.

«Тұрмын–жүремін» өлшеу режимі бақылау нүктелері жақын орналасатын және радиосигналдардың өтуіне кедергісі жоқ, кішкене аудан үшін қолайлы.

Кинематикалық өлшеу режимі – қозғалатын қабылдағыш траекториясын басқа, қозғалмайтын секторға қатысты анықтау кезінде қолданылады. Нүктелердің орналасқан орны алдын ала орнатылған уақыт аралықтарымен есептеледі. Кинематикалық режим – қозғалатын көлік құралдарын (мысалы, жолдарды кескіндеу кезінде), қозғалатын кемелердің траекторияларын

бақылау кезінде өте тиімді.

Геодезиялық тораптарды жерсеріктік қабылдағыштарды қолданып құру және қайта құру кезінде мынандай өлшеу әдістері ұсынылады:

- сәулелік әдіс, тораптың анықталатын пункттері, тірек пункттерінің біреуінен координаталанады;
- торап әдісі, өлшеу тораптың әрбір сызығында не пунктінде жүргізіледі;

Торапты құрудағы сәулелік әдісте анықталатын координаталар дәлдігін бағалау критерийлерінің айтарлықтай кемшіліктері бар.

Сәулелік әдістегі нақты бақылаушы – анықталатын пункттердегі өлшеуді тәуелсіз бақылау. Мысалы, басқа өлшеу құралдарымен анықталатын пункттер арасындағы басқа бастапқы пункттерден, т.б.

Жобаланатын тораптың дәлділік және сенімділік критерийлері – тораптық өлшеулерді ұйымдастырған жағдайда артады. Ол өлшеуді әрбір сызықты немесе тораптың әрбір пунктінде орындағанда артады. Жобаланатын торап дәлділігі мен сенімділік критерийлері – тораптың немесе қайталап өлшеулерді ұйымдастырған жағдайда, торапта бір емес, бірнеше референттік пункттерді қолданған кезде едәуір артады. Алайда, мұндай референттік пункттер арасындағы координаталар айырмашылығы, өзінің дәлділігі бойынша референттік пункттермен анықталатын негізгі торап құрамына кіретін жәй пункттер арасындағы анықталатын тораптарға қарағанда жоғары. Мұндай талаптардың өзіндік қойылымы заңды болғанымен оны практикада іске асыру өте күрделі.

Бұл қиыншылықтар, екі рангілі торапты құрумен шешіледі. Бірінші сатысында тек бір ғана алғашқы референттік пункт таңдап алынады. Оның айналасында күшейтілген бақылау программасы бойынша бірнеше өзара байланысқан екінші реттік референттік пункттер құрылады (ол қаңқалы торап деп аталады). Осындай торапты құруды екінші және кейінгі сатыларында қалған барлық пункттер анықталады. Сонымен қатар, бақылаудың әрбір сеансында жерсеріктік қабылдағыштар,

тораптың бірнеше қатарлы пункттерінде (қабылдағыштар бақылауындағы санына тәуелді), кем дегенде екі өзара байланысқан референцтік пункттерде орнатылады.

Геодезиялық құрылыстың максималь дәлдігіне, өлшеудің тек тораптық әдісі кезінде ғана жетуге болады. Құратын тораптың қажетті дәлділігіне байланысты өлшеу режимдерінің бірі қолданылады:

- *статикалық режим;*
- *үдетілген статикалық режим;*
- *қайталап өлшеу режимі;*

Торапты құрудың геометриялық параметрлері мен өлшеулерді орындаудың ұсынылған әдістерінен бөлек, жерсеріктік геодезиялық тораптарды құрудың технологиялық ерекшеліктері де бар. Жерсеріктік геодезиялық қабылдағыштар бір мезгілде паспорттық дәлділігі 5–10 мм + 1–5 мм·D, қашықтық өлшеуіш және дәлдігін даярлау фирмалары ұсынбайтын координаталарды анықтау жүйелері болатындықтан, өлшеу технологиясына байланысты тораптың әртүрлі дәлділігі алынуы мүмкін. Практикада екі негізгі технология қолданылады:

- пункттердегі қайталап өлшеулер, бұл кезде тораптың әрбір пунктінде міндетті қайта өлшеу саны беріледі;
- тораптың әрбір сызығын міндетті түрде өлшеу;

Пункттер саны (S) торап (N) үшін бақылау сеансының минимальды саны (M) қайта өлшеу санында, алдыңғы және кейінгі сеанстар бірге қолданылатын қабылдағыштар саны, бірінші технология үшін мындай формуламен анықталады:

$$N = \frac{M \cdot S}{R}, \quad (54)$$

ал екінші технология үшін мынадай формуламен анықталады:

$$N = \frac{S - O}{R - O}. \quad (55)$$

Бірінші технология торап құрудың едәуір дәл, тораптық әдісін толық көлемде іске асыруға мүмкіндік бермейді.

Сондықтан, екінші технологияны толық қарастырамыз.

Жерсеріктік технологияға негізделген тораптарды жобалау, құру бойынша жалпы ұсыныстар:

- жуық мәндерді анықтау мақсатында әрбір анықталатын пунктте жер серіктерін бақылаудың әртүрлі жағдайларында екі рет жүргізген жөн;
- бір мезгілде бақылауды көршілес пункттерде қарастыру қажет. Өйткені, мәндердің бірдей болмауын қысқа ара қашықтықта шешу, едәуір сенімді жүргізіледі;
- орташа мөлшердегі аймақтық және жергілікті тораптар үшін 4-тен 10-ға дейінгі қабылдағыштарды пайдаланған жөн. Ол ұйымдастыруды, жұмысты орындау жылдамдығы мен өлшеу тиімділігін үйлестіруге мүмкіндік береді;
- алынған дәлдікті тексеру үшін бірнеше базистік аралықтарды екі рет өлшеу қажет.

Сонымен қатар, жер серіктерін пункттердің әрқайсысында бақылаудың қолайлы жағдайын қамтамасыз ету талаптарын орындау керек.

Торапты жобалау процестері үшін практикалық ұсыныстармен бірге, техникалық жобаларды өңдеу негізінде жалпы сипаттағы мынадай ережелер жасалды:

- әрбір станцияда жоғары дәлдікті қамтамасыз етуге жеткілікті ұзақ бақылау кезеңі қарастырылуы тиіс. Оның нақты ұзақтығы, пункттер мен өлшеу дәлдігі талаптарының өзара алшақтығына тәуелді;
- үнемділікті жоғарылату мақсатында, қайталау сеанстарының саны мен пункттер арасындағы орын ауысу уақытын азайтқан жөн;
- сенімділікті жоғарылату үшін әрбір пункт әртүрлі өзара байланысқан референттік пункттерге қосымшаларды пайдаланып, екі толық тәуелсіз өлшеулер негізінде анықталуы тиіс.

Сонымен қатар, қайталап өлшеуді қабылдағыш антеннасын қайта орнатқанда және жер серіктерінің орны өзгерген жағдайда жүргізген дұрыс.

4.2. GPS - қабылдағыштарымен өлшеудің өндірістік технологиясы

4.2.1. Аппаратураларды далалақ жерсеріктік өлшеуге даярлау

Жерсеріктік қабылдау аппаратурасын далалық өлшеулерге дайындау кезінде оның жұмыс істеу қабілеттілігі тексеріледі. Инициализациялау процедурасы, яғни жұмыстың бастапқы шарттарының тапсырмалары жүргізіледі.

Көптеген геодезиялық GPS-қабылдағыштарда өзіндік диагностикалық режимі қарастырылады. Оны жүргізу процесінде қабылдағышқа енгізілген программа бойынша жеке тораптардың жұмыс режимдерін бақылау жүзеге асырылады. Қажетсіз ауытқулар байқалған жағдайда, дисплей экранына жөнделмеуі және оны жою жөніндегі ұсыныстардан құралған сәйкес деректер шығады. Сенімділік үшін қабылдағыштарды калибрлеу ұйымдастырылуы мүмкін. Мұндай калибрлеу әдістерінің бірі – екі қабылдағышты антеннадағы СВЧ – күшейткіштегі қоректену көзі бойынша, сәйкес екі шығысы бар ортақ арнайы дайындалған бір антеннаға қосылады. Бақылау сеансын, көрсетілген схеманы пайдаланып жүргізген кезде, барлық компоненттері нөлге тең базистік сызықтардың ұзындығы есептеледі. Ұзындығы нөлге тең аралықты өлшеуге негізделген мұндай процедура, жерсеріктік қабылдағыштарды метеорологиялық тексеру кезінде де қолданылады.

Инициализациялау – сихронды түрде жұмыс істейтін барлық қабылдағыштарда бірдей болуы мүмкін. Ал бір бақылау сеансына қатысу үшін, қарастырылған бастапқы деректерді анықтау қажеттігіне мән береді. Мұндай деректерге, жеке алғанда деректерді жинау жылдамдығын таңдау. Яғни, қабылдағыштың есте сақтау құрылғысына енгізілетін компрессияға ұшыраған өлшеудің, жүйелі нәтижелері арасындағы уақыт аралығы жатады. Қазіргі кезде мұндай аралық көбінесе 15 сек-қа тең етіп алынады.

Әдетте, бақылау жүргізер алдында келісілген параметрге,

өлшеу тек радиосигналдардың тропосфералық кідірісінен бөлек, горизонттан 15° -тан жоғары жер серіктерінде ғана жүргізіледі. Мұндай бұрыш бойынша шектеу, көп жағдайда 15° -қа тең болып алынады (көрсетілген өлшеу мәнінің кіші бұрыштар негізінде жүргізілмейді). Осыдан бастап, өлшеуді орындайды.

Кей жағдайларда мынадай жұмыс істеу режимі қарастырылады: бақылаушы сеансының басы мен аяғы – қабылдағыш құрамына кіретін таймердің көмегімен беріледі. Бұл мәндер бір мезгілде бақылауға қатысатын барлық қабылдағыштарда бірдей болып орнатылуы керек.

Аппаратураны жұмыс істеуге даярлау процесінде қабылдағыш жадысында альманах жөніндегі деректердің болуы тексеріледі. Егер мұндай деректер болмаса, онда қабылдағышқа альманах жөнінде ақпаратты енгізу үшін, уақытты кем дегенде 12,5 мин байқау сеансы ұйымдастырылады. Немесе бұл уақыт бірінші қадағалау сеансын орындаған кезде қарастырылуы тиіс.

Аппаратураларды өлшеуге даярлау кезеңінде орындалатын басқа көмекші процедуралардан қабылдағыштағы есте сақтау құрылғысының бос жадысының жеткілікті көлемін тексергенде аккумуляторлы батареяның зарядталу күйіне де назар аударған жөн. Бұл компоненттер қабылдағыштың ең болмағанда бір (мүмкін болса бірнеше) бақылау сеанс бойы үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз етуі тиіс.

Ара қашықтығы алыс желілерде нақты дәлділік өлшемді орындаған кезде тропосфералық кідірістерді өте қатаң есепке алу үшін, кейде қабылдағыштардың тұру нүктесіндегі ауаның температурасын, қысымын және ылғалдылығын анықтау мақсатында, метеорологиялық аспаптарды қолдану қарастырылады. Мұндай аспаптар қолданар алдында тексеріледі және оған сәйкес аттестациялық куәліктері болуы тиіс.

Қозғалатын объектілерде нақты уақыт масштабында жұмыс істеуге арналған жер серігінің аппаратурасы үшін, дайындық жұмыстарын – қозғалатын және қозғалмайтын станциялар арасындағы барлық тораптарды тексеру қажеттілігіне байланысты едәуір ұлғайтылады.

Жерсеріктік бақылау сеанстарын жүргізу процесінде

аппаратураларды бақылау пунктіне жеткізуге байланысты мәселелер де қарастырылады. Көптеген қазіргі заманғы геодезиялық жерсеріктік қабылдағыштарды іс жүзінде кез келген көлікпен тасымалдауға болады. Көлікке қойылатын негізгі талаптар – аппаратуралық комплекстің бақылау пунктіне жеткізілуін қамтамасыз ету. Егер тасымалдау үшін автомашина қолданылса, онда кейде жерсеріктік қабылдағыштарды автокөлік аккумуляторларынан қоректендіру мүмкіндігі де қарастырылады. Бұл кезде автошина тұрағы радиосигналдардың жер серігінен қабылдауына бөгет жасамайтындай және көпжолдылық тудыруы мүмкін шағылыстырушы беттің біреуі болмайтындай жолы ескеріледі.

Жерсеріктік аппаратураны бақылау пунктіне орналастыру мен оны оларға даярлау кезінде мынадай шаралар орындалады:

- антенна блогын (немесе сенсорды) сәйкес жабдықтарға (штативке, трегерге немесе ауыспалы мачтаға) орнату, оны геодезиялық маркамен дәл центрлеу;
- жеке блоктарды бір-бірімен сәйкес кабельдердің көмегімен қосу және аппаратураны аккумуляторлық батареяға (қосу) бекіту.
- қабылдағыштың жұмыс қабілеттілігін тексеру;
- осы станцияға қатысты ақпараттарды далалық бақылау журналына жазу;
- антеннаны геодезиялық марканың үстінен орнату биіктігін өлшеу және осы ақпараттарды клавиатура арқылы қабылдағыш жадына, дала журналына енгізу;
- қосымша параметрлерді (қажет жағдайда) өлшеу (антеннаны центрден тыс орнату элементтері, метеорологиялық деректер).

Даярлау жұмыстарын аяқтағаннан кейін оператор қабылдағыштың жұмыс режимін іске асыруға кіріседі.

4.2.2. Жұмыс режиміне кіру және өлшеу жүрісін бақылау

Жұмыс режиміне кіру дегеніміз – аппаратураны қосу және дисплей экранында бейнеленген барлық жазылған жұмыс

режимдерін, қабылдағышты өлшеуге даярлауға қажет бастапқы деректерді енгізуді тексеру. Осы кезеңде оператор, қосылған аккумуляторлық батареялардың зарядталу дәрежесі мен қабылдағыштағы есте сақтау құрылғыларындағы бос жад мөлшерін бақылайды. Сонымен қатар, ол клавиатура арқылы жоғарыда аталған бастапқы деректерді (антеннаны орнату биіктігі, пункттің шартты атауы, т.б. ақпарат) енгізуді жүзеге асырады.

Дисплей экранында бейнеленген ақпараттар қабылдағыштың жеке жер серіктерінен радиосигналдардың ұсталуын, олардың мөлшерін, «сигнал/шу» қатынасы түрінде қабылданған сигналдардың орны мен сапасын бақылауға мүмкіндік береді.

Қазіргі заманғы геодезиялық жерсеріктік қабылдағыштарды өлшеудің толық автоматтаттандырылған режимі қолданылатындықтан, оператор – бақылау функцияларын ғана орындайды. Бұл кезде ол жүйелі түрде аккумулятор батареясының заряды мен есте сақтау құрылғысындағы бос жадының болуын бақылайды. Сонымен қатар, қажет жағдайда сыртқы ортаның (қатты найзағай, дауыл, т.б.) аппаратураға әсерінің алдын алу, қорғау шараларын іске асырады.

Бақылау сеансын жүргізу процесінде оператор дисплей экранында қабылдағыштың қандай да бір бұзылуы туралы ескертулерді қадағалауы тиіс (мысалы, аккумулятор батареясының отыруы). Одан бөлек, ол далалық бақылау журналында циклдердің өту жағдайлары мен олардың ұзақтығын, геометриялық факторлардың жол бергісіз факторларын, басқа да радиобөгеттердің болуынан, жұмыстағы үзілістерді, т.б. белгілеуі қажет.

Өлшеу процесінің қосымша бұзылуының пайда болуы, болмау үшін оператор, сеансты жүргізген сәтте антеннаға өте жақын болмауы тиіс. Өйткені ол жер серігінен түскен сигналдардың экрандалуына және шағылуына алып келеді.

Егер жазу құрылғысы толық толтырылған болса, онда бақылаушы автоматты түрде бақылауды тіркеуді тоқтатады. Басқа есте сақтау құрылғысын қосқанда, батареяны

алмастырғанда, т.б. жағдайларда технологиялық үзілістерді алдын ала жоспарлаған жөн.

4.2.3. Бақылау сеансын аяқтау

Пункттегі жер серігін бақылауды аяқтау алдын ала құрылған кестеге сәйкес жүзеге асырылады. Байланыс арнасы болған кезде оператор орталық пунктке өзі пунктінде бақылауды аяқтауға дайын екені жөнінде хабар береді.

Соңғы кезеңде геодезиялық марка үстінен антеннаны орнату биіктігін қайта өлшеуді жүргізіп, бұл мәнді клавиатура арқылы қабылдағыш жадысына енгізу ұсынылады. Жұмыс режимінен шығу да клавиатура арқылы жүргізіледі. Осы кезде қабылдағыштың есте сақтау құрылғысында жинақталған ақпараттардың бекітілуін және аппаратураны бастапқы күйге келтіру. Ал мұнда осы аппаратураға енгізілген программалық қамтамасыздануды қарастыратын жазылған операцияларды жүйелі орындау айтылады. Содан кейін қабылдағыштан электр көзін өшіріп қоюға болады.

4.2.4. Жинақталған ақпараттарды сақтау

Есте сақтау құрылғысының сыйымдылығы толғанда деректер дербес компьютерге көшіріледі. Деректер көшірілісімен, оларды кейінгі өңдеуге, қабылдауға, файлдар ретінде дискіде сақтауға не RINEX форматының ASCII файлдарына түрлендіруге болады.

Ақпаратты сақтау қолайлығы үшін каталог құрамын ұстану ұсынылады. «Объект аты» деген каталогты, қажет болғанда программалық дерек архиваторларын қолданып архивтеуге болады.

Жұмысты аяқтаған соң орындаушылар, жерсеріктік торап пункттеріндегі далалық өлшеулер нәтижелері бар файлдарды, дала журналдарын, марка көшірмелерін береді. Сонымен қатар, абристері бар зерттеу карточкаларын, зерттеу схемаларын, жойылған пункттер мен реперлердің тізімін, зерттелген реперлердің нақты орындары мен пункттерді алмастыру

негіздемесі бар түсіндіру қағазын да береді. Материалдар нормативтік-техникалық құжаттардың талаптарына сай даярланады.

4.2.5. Дала журналын ашу

Қабылдағышпен жұмыс істеуден басқа, оператор тікелей пунктте бақылауды дала журналына енгізілген барлық жазбаларды аяқтайды. Онда мынадай ақпараттар болуы тиіс:

- бақылау пунктiнiң атауы және оның шартты белгiленуi;
- тiркелетiн файлға енгiзiлген;
- оператордың фамилиясы;
- жерсерiктiк аппаратура пунктiне орнатылған негiзгi компоненттердiң сериялы нөмiрi (антеннаның, қабылдағыштың, сенсордың, т.б.);
- антеннаны геодезиялық марка үстiнен орнату биiктiгi;
- сеанстың басталуы мен аяқталу уақыты;
- жерсерiктерiнiң нөмiрлерi мен олардың орналасқан жерi;
- бақылау пунктiнiң жорамал координаталары (қабылдағыш дисплейiнiң экранында бейнеленген ақпараттар бойынша);
- өлшеу нәтижелерiн камеральды өңдеу процесiнде пайдалы бақылауды жүргiзуге қатысты барлық ескертулер.

Жеке, ерекше жауапты жұмыс түрлерiнде пунктте орнатылған аппаратурамен суретке түсiру ұсынылады.

Бақылау сұрақтары.

1. Қабылдағышта қандай параметр жалған қашықтық өлшеу әдiсiнде анықталады?
2. Төрт жер серiгiне дейiнгi ара қашықтықты өлшеу не үшiн қажет?
3. Нәтижелер тендеуiнiң қажеттiлiк және жергiлiктi координаталар жүйесiне өту себептерi?
4. Геодезиялық тораптарды ЖРНЖ арқылы құру ерекшелiгi қандай?
5. Геодезиялық тораптар аумақты қамтуы бойынша қандай

- түрлерге бөлінеді?
6. Геодезиялық қабылдағыштар қандай режимдерде жұмыс істеуі мүмкін?
 7. Геодезиялық тораптарды құру кезінде қандай өлшеу әдістері қолданылады?
 8. Референттік пункт дегеніміз не?
 9. Топографиялық суретке түсіру кезінде қандай өлшеу режимдері қолданылады?
 10. GPS-қабылдағышты инициализациялау процедурасының мәні неде?
 11. GPS геодезиялық қабылдағышының өзіндік диагностика режимі нені қарастырады?
 12. ЖНЖС-нің қай жоғарылау бұрышында GPS-қабылдағышпен өлшеу жүргізу мүмкін?
 13. GPS-қабылдағышпен жер серігінің өлшеу деректері қалай сақталады?
 14. GPS-қабылдағышпен өлшеу кезінде бақылауда дала журналы не үшін жазылады?

5. ЖЕРСЕРІКТІК ӨЛШЕУДІ ӨНДЕУ

Топографиялық-геодезиялық ақпараттарды өңдеудің жалпы процесі мынадай кезеңдерге бөлінеді:

- алғашқы өңдеу;
- алдын ала өңдеу;
- соңғы өңдеу.

Алғашқы өңдеуге – тікелей өлшеу процесінде орындалатын есептеулер жатады. Осы кезеңде алынған есептеулердің дұрыстығы мен бірлік өлшеу дәлдігі бақланады. Жерсеріктік өлшеу жағдайында алғашқы өңдеу – тікелей дала қабылдағыштарында орындалады. Ал координатты навигациялық режимде анықтаудың бақылау ретінде аспанның көрінуі, жер серіктерінің қажетті саны және өлшеу процесінегі геометриялық факторлардың тиімділігі болып табылады.

Келесі кезең алдын ала өңдеу, ол өлшеу сапасын желіде не жеке объектіде жедел бағалау мақсатында орындалады. Алдын ала өңдеу нәтижелері бойынша соңғы өңдеуге – дала материалдарының жарамдығы және даяр өнімді алу немесе ақауды қайта жасау қажеттілігі жөнінде қорытынды жасалуы мүмкін. Бригада жұмыс аймағынан шыққанға дейін алдын ала жедел өңдеуді орындайды, дала материалдарының жарамсыз өлшеу нәтижелерін алып тастайды. Сонымен қатар, алғашқы деректер жарамсыз немесе желі конфигурациясы өзгерген болса, далада өлшеу жұмыстары қайта жасалып, өлшеу нәтижелерінің сапасын жоғарылатуға мүмкіндік туады. Алдын ала өңдеу, әдетте жерсеріктік қабылдағыштар жинағына кіретін программаларды қолдануға байланысты орындалады.

Соңғы өңдеу – дайын өнімді координаталар мен биіктіктер каталогтарын алуға арналып, далалық жұмыстарды аяқтағаннан кейін орындалуы мүмкін. Соңғы өңдеу, жерсеріктік қабылдағыш жинағына кіретін программалар мен арнайы жасалаған программаларды қолданып та орындалуы мүмкін.

5.1. Қабылдағышта жүргізілетін жерсеріктік өлшеуді алғашқы өңдеу

Жерсеріктік бақылауды қабылдау құрылғысында жүргізу процесінде тек өлшенетін мәндердің есептерін тіркеу ғана емес, олардың алғашқы өңдеуі де жүргізіледі. Мұндай қажеттілік, қозғалатын объектінің координаталары нақты уақыт масштабында, яғни тікелей қабылдағышта есептелуі тиіс кинематикалық режимді қолданған кезде ғана қолданылмайды. Сонымен қатар, әрі қарай өңдеуге арналған деректер массивін құрып қана қоймай, қабылдау құрылғысының дисплей экранында бейнеленетін ағымдағы ақпараттарды алу мақсатындағы статистикалық жұмыс режимінде де пайда болады. Ал қабылдау құрылғысының негізінде оператор орындалып жатқан өлшеу процесін қадағалап, қажет жағдайда осы процесті түзете де алады.

Процессорлық блок – жерсеріктік қабылдағыштардың біртұтас бөлігі процессорлық блок болып табылады. Ол тек берілген программа бойынша қабылдағыштың жұмыс режимін басқарып қана қоймай, өлшеу нәтижелерінің алғашқы өңдеуін де орындайды. Бұл кезде өңделуге, навигациялық деректер құрамындағы берілген ақпараттар да, жалған қашықтықты кодтық фазалық сигналдар негізінде есептелетін өлшеу нәтижелері де тербелісті өлшеуге негізделген жер серігі мен қабылдағыш арасындағы ара қашықтықтың дәл мәні де ұшырайды.

Жер серігінен берілетін навигациялық деректерді өңдеу кезінде оны декодтау, яғни жер серігі эфемеридтері – оның сағат көрсеткіштерінің түзетулері, ионосфералық түзетулер, альманах пен басқа да көмекші көрсеткіштер жөніндегі ақпараттарды қалпына келтіру жүргізіледі. Бұл ақпарат әрі қарай камеральды өңдеу кезінде (пост-өңдеу) қолданылатын навигациялық деректер файлын құруға пайдаланылады. Ал қабылдағыш сағаттарының көрсеткішін жедел түзетіп, қабылдағыш дисплейінің экранында бейнеленген бірқатар параметрлерді есептеу үшін де қолданады (тұру нүктесінің жорамал

координаталары, бақыланатын пункттер мен олардың аспанда орналасу нөмірлері, геометриялық факторлар, т.б.).

Қабылдағышта жүргізілетін өңдеу процесінде сонымен қатар, кодтық сигналдар, жер серігі мен қабылдағыш арасындағы ара қашықтықты жүріп өту уақытын анықтау негізінде, жалған қашықтықтың мәні де есептеледі.

Аталған әсерді азайту үшін қабылдағыштың жер серігінен шағылысатын радиосигналдарының бастапқы ұсталу моментінде, жер серігінен берілетін тұрақты тіректік уақыт қолданылады. Ол – *жүйелік уақыт* деп аталады (GPS немесе ГЛОНАСС). Мұндай мәселені шешудегі негізгі проблема – осы тіректік уақытқа жер серігі мен қабылдағыш арасындағы ара қашықтықтан, сигналдың өту аймағында пайда болатын кідірісті енгізу қажеттілігіне байланысты. Осы мақсатта қолданылатын орбиталар үшін аталған уақытша кідіріс 65-тен 85 мс-ке дейінгі ауқымда болатын факт ескеріледі. Ара қашықтықты өлшеуде, жалған қашықтықтың нақты анықталған мәніне тән қателіктер ғана қалады. GPS жүйесі үшін C/A-кодқа сәйкес мұндай қателік 40 м шамасымен бағаланады.

Жалған қашықтықты алғашқы өңдеу кезеңінде есептелетін мәндер, камеральдық өңдеу жүргізілетін кезде (пост-өңдеу) қолданылатын, бақыланатын деректер файлының құрамына енгізіледі. Сонымен қатар, олардың негізінде навигациялық деректерден алынған жер серігі эфемеридтерін қолдана отырып, қабылдағыштың дәлдіктің навигациялық деңгейінде тұру нүктесінің координаталары есептеледі (яғни, ондаған метр қателікпен).

Бір немесе екі жиілікті қабылдағыштармен фазалық өлшеуді орындаған кезде, фазалық циклдің үлестегі есептеулері секундтың ондаған үлесімен есептелетін аралықтағы 1-2 екі жиіліктерде жүргізіледі. Ұзақтығы бірнеше сағатқа (кейде тәулік) жетуі мүмкін бақылау сеанстарын жүргізу нәтижесінде, деректер массиві жинақталады. Оларды сақтау үшін сыйымдылығы өте үлкен жады қажет. Мұндай техникалық қиыншылықтарды жоюға, тікелей қабылдағышта тіркелетін деректерді тығыздау іске асырылады. Осындай процесті

көбінесе компрессия деп атайды. Оны іске асыру процесінде қабылдағышты бақылауға дайындау кезеңінде, оператор беретін аралықта жүргізілетін таңдаманың орташа мәні есептеледі. Бұрын айтып өткеніміздей, мұндай аралықты көбінесе 10-15 с-ке тең етіп таңдап алады.

Қабылдағышта тікелей тығыздаумен қатар, деректерді іріктеу жүзеге асырылады. Соның нәтижесінде үлкен ауытқулары бар жарамайтын есептер алып тасталады. Ал, мұндай процедурада сигналдарды қандайда бір себептерден, жер серігінен жеке уақыт сәтінде қабылдау мүмкін еместігіне байланысты, циклдің жеке өткізулерін жоюға болады.

Деректерді қабылдағышта автоматты режимде өңдеу кезінде мынадай шарттар орындалуы тиіс:

1. Қабылдағыш сағаты көрсеткішінің жүйелі уақыттан ауытқуы, бір микросекундтан аспауы қажет. Мұндай шартты сақтаған кезде қабылдағыштың сағат көрсеткішінің жүрісін, уақыттың жер серігінен қабылданатын қателігі жүздеген наносекунд болатын дәл уақыт негізінде түзетуге болады. Аталған процедура – *уақытты “қалпына” келтіру* деп аталады.

2. Базистік аралықтың дұрыс мәнін әрі қарай келесі өңдеу кезеңінде есептеу үшін өзара әрекеттесетін екі қабылдағыш сағат көрсеткішінің айырмашылығы, бір микросекундтан аспауы керек. Бұл шартты орындау кезінде қабылдағыш сағатының қолданылатын көрсеткіштерінің синхронды еместігінен, қателіктері 2 мм-ден артық емес шамалармен бағаланады. Яғни, шу - әсер ету деңгейінде орналасады.

3. Алғашқы өңдеу кезеңінде қабылдағыштың электронды тораптары жұмысының жетілмегендігіне байланысты туған жарты циклдердің өткізулері айқындалып, жойылуы тиіс.

4. Кодтық сигналдар негізінде тікелей қабылдағышта алынған бір кезеңге, әр түрлі пайдалану жиіліктеріне жататын жалған қашықтықтың мәндері өзара келісілген болуы тиіс.

5. Бір кезеңнен екіншісіне өткен кезде анықталатын жалған қашықтықтың өзгеру заңдылықтары біртекті сипатта болуы тиіс.

Қабылдағышта өңделген ақпараттар бақыланатын деректер

файлын, сондай-ақ навигациялық декетер файлын қалыптастыру үшін қолданылады. Соның негізінде, әрі қарай өңделу жүргізіледі. Мұндай файлдың RINEX форматында жазылуы кезіндегі құрылымы өте көрнекті.

Әрбір файл тақырып пен жазылған деректердің негізгі массивінен тұрады. Бақылау нәтижелері файлының тақырыбы, мынадай негізгі ақпараттардан тұрады:

- формат версиясы мен файлды теңдестіруші көрсеткіштер;
- бақылау сеансының басталу күні, уақыты;
- пункттің шартты атауы;
- бақылаушы мен оның ұйымы жөніндегі ақпараттар;
- қабылдағыш пен антенна типі;
- пунктінің WGS-84 жүйесіндегі жорамал координаталары;
- фазалық центрді жергілікті жерге бекітілген маркаға қатысты алып шығуын сипаттайтын шамалар;
- фазалық өлшеулерді есептеу жүйелері (циклде немесе жартылай циклде);
- файлдағы жер серіктердің нөмірлері;
- бақылау түрлері (кодтық немесе фазалық бақылау, олардың қандай код және қандай пайдалану жиілігіне жататыны);
- бірінші бақылауды жазу уақыты.

Тақырыптан кейін қарастырылатын файлда жазылған деректер массиві.

– бақылау кезеңін сипаттайтын деректер (ай, жыл, күні, сондай-ақ сағаты, минуты, секунды);

– қабылдағыштың сағат көрсеткішінің ауытқуы (секундпен);

– C/A- кодты және P – кодты пайдаланып анықталған, жалған қашықтық мәндері (метрмен);

– фазалық өлшеу нәтижелері (кезең үшін екіншіден бастап, алдыңғы кезеңге қатысты сәйкес белгімен циклдер үлесіндегі фаза өсімшесі келтіріледі).

Навигациялық деректер файлы деп аталған басқа файлда – пішін (формат) версиясы мен файл идентификациясы, бақылаудың басталу күні мен уақыты, ионосфералық модельге қатысты коэффициент мәндері, жер серігіндегі сағат көрсеткіштеріне түзетулер берілген. Сондай-ақ, әрбір кезеңге жататын және жер серігінен берілген деректерді жіберу сәтіне сәйкес дәл жүйелі уақыттан тұратын жазбалар, жер серігінің қоздырылған орбита эфемеридтерін берілген уақыт сәтінде есептеудің бірқатар түзетілген мәндері келтіріледі.

5.2. Өлшеу аяқталғаннан кейін жүргізілетін жерсеріктік өлшеуді алдын ала өңдеу

Деректерді алдын ала өңдеу – жерсеріктік қабылдағыштарды дайындаушының стандартты программалық камтамасыз етуін пайдалана отырып жүзеге асырылады, ол дала базасында орындалады. Бұл кездегі негізгі бақылау критерийлеріне: мәндердің бірдей болмауын; желінің барлық аралықтары бойынша орындау; дәлділікті өңдеу нәтижелерінің ішкі жинақтылығы бойынша бағалау; нәтижелердің желідегі тұйықталған қатары бойынша жинақталуы жатады. Ал бұрын орындалған өлшеулер мен белгілі пункттер арасындағы бақылау – ара қашықтықтары мен жинақтылығы болып табылады.

Жерсеріктік өлшеулерді камералдық өңдеудің қазіргі заманғы көптеген программаларын (пост-өңдеу) өңдеу әдістері бойынша былай бөледі:

- жеке аралықтарды есептеу;
- көпнүктелі шешімдер.

Жеке аралықтарды есептеу әдісі, қазіргі кезде ең көп таралғаны. Оны кез келген жағдайда алдын ала өңдеуді орындағанда, тіпті программалық пакетті көп нүктелі шешімдерді іске асыруға мүмкін болғанда да пайдалануға болады. Жеке аралықтар әдісінің артықшылығы – алдын ала өңдеуді орындағанда, деректердегі жеткілікті мөлшердегі қателерді өңдеуге байланысты, көпнүктелі шешім жағдайында оларды жою қиын.

Жеке аралықтарды өңдеуге есептелген программалық қамтамасыз ету – сапалы аралықтар мен нүктелерді жақсы бақылау мен шектеуді қамтиды. Сапасыз нүктелер осы нүктеге келетін аралық дәлдігін бағалау бойынша шектелуі мүмкін. Әдетте, мұндай аралықтардың дәлдігі, белгілі бір объектідегі орташа дәлдіктен едәуір төмен. Сапасыз аралықтарды шектеуге мүмкіндік беретін басқа бақылау әдісіне: тұйықталған құрылым – үшбұрыштар, векторлық жүріс бойынша бақылау жатады. Егер тұйық векторлық жүріс бойынша координаталардың жалпы өсімшесі аспаптың құжаттағы дәлдігіне сәйкес келсе, онда осы құрылымға кіретін сызықтар сапалы болады.

Соңғы уақытта іс жүзінде жерсеріктік қабылдағышты жасаушылардың барлығы екі өңдеу әдісін іске асырушы программалық қамтамасыз етуді береді. Бірақ бұл программалар шектеулері бар, өңдеу процесін максимальды автоматтандыру үшін есептеулер мен өлшеудің стандартты жағдайлары мен оның орындаушы біліктігіне қойылатын талаптарды азайтуға бағытталған. Мысалы, мұндай программалардың көбісі жеке сызық әдісін іске асыру кезінде, аралық ұзындығына шектеулер қояды. Ал көп нүктелі шешімді жүзеге асырған кезде, оның бір мезгілде өңделетін нүктелер санына және өлшеу кезеңінің ұзақтығына шектеулер қояды.

Бұл шектеулерді жою үшін жалпы ортақ желіге біріктірілген жеке аралықтардың біріккен теңдеулер процедурасы қолданылады. Сонымен бірге жалпы объектіге біріктірілген көпнүктелі шешімнің жеке блоктарының біріккен теңдеулері қолданылады.

Алдын ала өңдеудің маңызды кезеңі – нәтижелерді ақырғы өңдеуге жарамды форматта алу болып есептеледі. Іс жүзінде кез келген программаның деректері ASCII мәтіндік форматта берілуі мүмкін. Оларды ұйымдастыру – жасаушы фирмаға, тіпті нақты қабылдағышқа байланысты едәуір ерекшеленеді. Өлшеу нәтижелерін стандарттау әрекеті қабылдағыштардың әр түрлі типтер арасындағы деректер алмасудың тәуелсіз форматын құруға алып келді. Бұл RINEX (3-кесте) деп аталатын формат – ASCII мәтіндік форматтың үш файлынан тұрады:

- қашықтық өлшем деректерінен тұратын өлшеулер кезінде алынған деректер файлы;
- метеорологиялық деректері бар файлдар;
- навигациялық деректерден құралған файл.

3-кесте

RINEX форматының жалпы құрылымы

Өлшеулер жөніндегі деректер файлы	Метеорологиялық деректер файлы	Навигациялық деректер файлы
Тақырыбы	Тақырыбы	Тақырыбы
Пункт	Пункт	Ескертулер
Орындаушылар	Бақылау типі	
Құрал-жабдық	Ескертулер	
Редукциялар		
Бақылау типтері		
Ескертулер		
Деректер	Деректер	Деректер
Кезеңдер	Кезеңдер	Кезеңдер
Жер серіктері	Өлшеулер	Жер серігінің сағат көрсеткішінің параметрлері
Өлшеулер		Жер серіктердің орбиталық параметрлері
Белгілері		Ионосфералық түзетулер
		Белгілері

Файлдың ұзындығы әр түрлі, максималь мәні – жатық жолдағы 80 таңбаға тең. Әрбір файл тақырыптар секциясы мен деректер секциясынан тұрады. Навигациялық деректер файлы – тәуелсіз орналасып, өлшеу мен метеорологиялық деректер файлдары, пункті бақылау кезіндегі әрбір қолданылатын файл үшін құрылуы тиіс.

Бақылау сұрақтары.

1. Жерсеріктік өлшеулерді алғашқы өңдеу кезеңінде қандай мәселелер шешіледі?
2. Өлшеуді алғашқы өңдеу кезеңінде қандай бақылау жүргізіледі?
3. Жалған қашықтықты анықтау кезіндегі негізгі қателік көзі.
4. Жерсеріктік өлшеуді алдын ала өңдеу кезеңінде қандай мәселелер шешіледі?
5. Жеке сызықты өлшеуді алдын ала өңдеу кезеңіндегі есептеу әдісінің артықшылығы неде?
6. Бақылау сәтінде метеорологиялық деректер файлы не үшін қажет?

6. ЖЕРСЕРІКТІК ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ЖЕЛНІ ТЕҢЕСТРУ

6.1. Жерсеріктік өлшеулердің соңғы өңделуі

Жерсеріктік әдістермен құрылған геодезиялық тораптар дәлдігі мен өлшемдеріне байланысты соңғы өңделу, жоғарыда қарастырылған әдістердің біреуімен орындалуы мүмкін: жеке аралықты есептеу, көп нүктелі шешімдер.

Соңғы өңдеуді орындаған кезде мына жағдайларды ескеру қажет. Егер фазалық өлшеу мен алғашқы айырым деректері өзара әлсіз корреляцияланған (өзара байланыстылық) болса, онда екінші, үшінші айырымдар – корреляцияланған қатынастар болып келеді. Осы тәуелділіктерді есепке алу, соңғы өңдеудің күрделі проблемаларының бірі саналады.

Жерсеріктік анықтауда жалпы корреляцияның екі тобы бар:

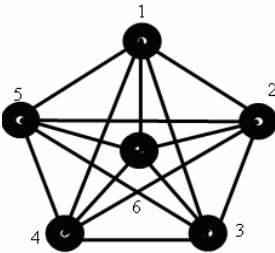
- физикалық корреляция;
- математикалық корреляция.

Бір мезгілде бір жер серігіне екі А және В пункттерінде орнатылған екі қабылдағыштан кірісіне келіп түсетін $\Phi_A^{\vartheta}(t)$ және $\Phi_B^{\vartheta}(t)$ сигналдар фазасы, бір-бірімен физикалық түрде өзара байланысқан. Өйткені, олар бір жер серігімен бірдей атмосфералық жағдайларға жатады. Физикалық корреляцияның мәні - айырымы арқылы енгізілетін математикалыққа қарағанда, бірнеше рет кіші болғандықтан, математикалық корреляцияны жою әдістерін талдау, көп қызығушылық туғызады.

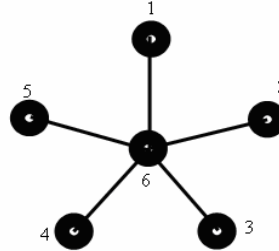
Екінші айырым үшін корреляцияны есепке алу, салыстырмалы түрде жеңіл жүзеге асырылуы мүмкін. Мысалы, екінші айырымдар ортомөлшерлеу (ортонормализация) процедурасын пайдаланған кезде оңай декорреляциялануы мүмкін. Корреляцияны үшінші айырымдарда есепке алу – күрделі процедура болып шықты.

Желілі бақылау әдісі үшін бірінші айырым әдісін пайдалану, әдетте барлық мүмкін болатын комбинациялар үшін базистік аралықты бірінен кейін бірін тізбектей есептеу. Егер желіде өлшеулер n пункттерде орындалса, онда базистік аралықтың санын (N) мына формуламен анықтауға болады:

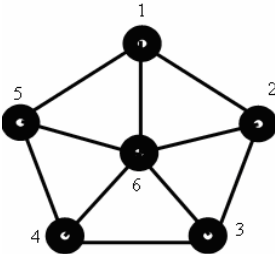
$$N = \frac{n(n-1)}{2}. \quad (56)$$



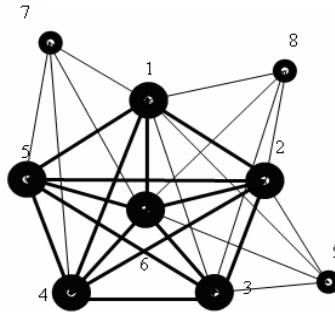
Бірінші вариант –
сызықтардың барлық
комбинациялары;
6 – пункт, 6-қабылдағыш;
1-сеанс; 6-бағыт



Екінші вариант – сызықтардың
тек тәуелсіз комбинациялары;
6 – пункт, 6-қабылдағыш;
1-сеанс; 5-бағыт



Үшінші вариант – тәуелсіз және
тәуелді бағыттардың жиынтығы;
6 – пункт, 6-қабылдағыш;
1-сеанс; 10-бағыт



Төртінші вариант – екі сеанс:
6 – пункт, 6-қабылдағыш;
2-сеанс (I – 1,2,3,6,8,9 – пункттар;
II – 1,3,4,5,6,7 – пункттар); 13-

14 – сурет. Жергілікті торапты соңғы рет өңдеу нұсқалары

Бұл кезде олардың ішінен тек $(n - 1)$ - ғана тәуелсіз болатынын айтқан жөн. Практикада соңғы өңдеудің үш нұсқасы қолданылады:

- жеке сызықтың барлық мүмкін комбинациясын өңдеу;
- тек қана тәуелсіз сызықты өңдеу;
- құрама нұсқа – сызық саны екінші нұсқаға қарағанда көп немесе бір өлшеу сеансына қарағанда көп нәтиже пайдалану.

Жеке аралық әдісі үшін өңдеу программасы едәуір оңай. Бірақ барлық сызықтарды ретті өңдеудің жалпы уақыты – көп нүктелі шешімнің уақытымен, әсіресе ондаған пунттен тұратын жергілікті желі үшін салыстырмалы.

Жеке нүктелер мен сызықтардағы сапасыз өлшеулер жеке сызық әдісінде оңай тоқтатылып, жойылады. Бірақ, көп нүктелі шешім кезінде циклдердің өтуі одан да оңай анықталып жойылады.

Айтылған әдістердің біреуіне де ерекше деуге болмайды. Өйткені, практикада екі әдіс немесе олардың құрамасы қолданылады. Қырлары 20 км-ге дейінгі кішкене тораптар, қабылдағыштарды жасау фирмасының программалары бойынша оңай өңделеді. Жүздеген пункттерден құралған, үлкен уақыт аралығында құрылған тораптарды, программалар мен өңдеу әдістерін құрастыра отырып өндеген дұрыс.

Практикада мынадай технологиялық сызбанұсқалар қолданыла бастады:

- жерсеріктік өлшеулерді, жерсеріктік қабылдағыштарды жасаушы фирма программасы бойынша ақырғы рет өңдеу;
- жерсеріктік өлшеулерді арнайы жасалған программа бойынша ақырғы рет өңдеу.

6.1.1. Жерсеріктік өлшеулерді жерсеріктік қабылдағыштарды жасаушы фирма программасы бойынша соңғы өңдеу

Жерсеріктік қабылдағыштарды жасайтын фирмалардың программаларының бір фирманың жерсеріктік қабылдағышының нақты типіне немесе моделінің ретіне қарай бейімделгені дұрыс. Өндірісте алуан түрлі жерсеріктік қабылдағыштар мен оларға сәйкес программалық қамтамасыздану ескеріледі. Ал қабылдағыштар мен программалардың әр түрлі жинағымен жұмыс істеу тәжірибелері, жерсеріктік өлшеулерді өңдеу мәселелері, жерсеріктік қабылдағыштардың нақты модельдері мен осы типті қамтамасыз ететін программалардың версияларына жүктелмей, жалпы түрде қарастырылған.

Жерсеріктік қабылдағышты өндірушілерге, тәуелсіз ұйымдар жасаған жерсеріктік өлшеулерді өңдеу программалары әмбебап болып есептеледі. Мұндай программалар, бір фирманың жерсеріктік қабылдағыштарының нақты типінің не модельдік қатарының ерекшеліктерімен шектелмеген. Көптеген мұндай программалардың құрылымы, жерсеріктік қабылдағыштарды жасаушы фирма программаларының құрылымына ұқсайды.

Әдетте, мұндай программаларда жоспарлау және алдын ала өңдеу функциялары жоқ. Сонымен қатар, күмәнді нәтиже деректерін талдау мен бақылау функциялары кеңінен тарауда. Одан бөлек, көптеген программаларда өлшеудің сыртқы жағдайларын азайту үшін түрлі түзетулер мен өзгертулер енгізудің көп мүмкіндіктері бар.

Арнайы жасалған программалардың ішіндегі ең танымалысы: Bernese; GIPSY; GAMIT.

Жерсеріктік технология бойынша жасалған геодезиялық тораптарды теңдестіру.

Геодезиялық тораптар оларды құру технологиясынан тәуелсіз артық өлшеулерден тұрады. Артық өлшеулер көмегімен сапасыз нәтижелер бақыланып жойылады. Одан бөлек, артық өлшеулер – орындалған өлшеу дәлдігін бағалау үшін пайдаланылады. Бір жағынан, артық өлшеулер – геодезиялық тораптардың координаталары мен биіктігінің біртекті мәндеріне алып келеді. Теңдестіру процесі бір мәнді нәтиже алу мақсатында олардың дәлдігін арттыру үшін орындалады. Әдетте, бұл есеп $\sum p v^2$ өрнегін минималдаудың ең кіші квадрат әдісі бойынша шешіледі. Мұндағы p – өлшеу немесе координаталар салмағы, ал v – сәйкес түзетулер. Өлшеу салмағын дұрыс таңдап алу – теңдестіру нәтижелерінің дәлдігін жоғарылатуға алып келеді. Ал керісінше, қате берілген салмақтар – геодезиялық торап дәлдігін төмендетуі мүмкін.

Практикада мынадай технологиялық сызбанұсқалар қолданылады:

- жерсеріктік қабылдағышты оны жасаушы фирманың программасы бойынша теңдестіру;

- арнайы жасалған программа бойынша теңдестіру;
- трилатерация торабы сияқты жерсеріктік өлшеуді теңдестіру.
- жерсеріктік қабылдағыштарды жасайтын фирма программасы бойынша теңдестіру.

Теңдестіру процесіне қатысатын программалардың негізгі блоктары:

- қарап шығып, редакциялау;
- теңдестіру;
- координаталарды түрлендіру;
- қызмет көрсету (программалар).

Таңдап алынған объект деректерін «Қарап шығу және редакциялау» блогында графикалық кесте түрінде қарап шығуға, редакциялауға болады. Пункт идентификаторы, атрибуттар, антеннаның орын ауысуы, координаталар, т.б. сияқты пункттерге жататын ақпараттарды кез келген уақытта қарап шығып, редакциялауға болады. Филтрлерді қолдану – экранға нақты өлшемдерді қанағаттандыратын пункттерді ғана шығаруға мүмкіндік береді.

«Теңдестіру» блогы пайдаланушыны базистік сызықтың векторларын, WGS-84 кеңістіктік геодезиялық координаталар жүйесіндегі ең кіші квадраттар әдісі бойынша теңдестіру, орындау құралдарымен қамтамасыз етеді. Деректер кез келген объектіден тікелей импортталуы немесе деректер импорты, ASCP форматы бойынша ұқсас файлдан жүзеге асырылуы мүмкін. Сөйтіп, бос (еркін) немесе еркін емес теңдеулер орындалуы мүмкін. Теңдестіру процесі автоматтық режимде іске асырылады, әдетте, ол оператордың қатысуын қажет етпейді.

Пайдаланушының координаталар жүйесіндегі нәтижелерін алу үшін координаталарды бір жүйеден, екіншісіне түрлендіру қажет. Ол үшін бірнеше мүмкіндіктер ұсынылады:

- эллипсоидтардың жинақтары мен координаталарының, трансформациялау параметрлері мен проекция жинағының кітапханасын құру;
- координаталарды түрлендіру параметрлерінің әр түрлі

- типтерін анықтау;
- әр түрлі түрлендіру түрлерін жүзеге асыру;
- әр түрлі картографиялық проекцияларды қолдану;
- картографиялық проекциялардың есептеу программаларын біріктіру.

6.2. Арнайы жасалған программа бойынша теңдестіру

Жерсеріктік өлшеулерді арнайы жасалған программа бойынша теңдестіру процесі, жерсеріктік қабылдағыштарды жасаушы фирма программасы бойынша теңдестіруден шамалы ерекшеленеді. Арнайы жасалған программаларда координаталар әр түрлі әдістер және аспаптармен алынған деректерді түрлендіру функциялары ұлғайтылуы мүмкін. Одан бөлек, мұндай программаларда ерекше теңдеу алгоритмдері қолданылады.

Көптеген арнайы жасалған теңдестіру программалары, тек жерсеріктік өлшеу нәтижелерін ғана емес, жердегі геодезиялық өлшеулер нәтижелерін – горизонталь және вертикаль бұрыштарды, өлшенген және редуцирленген сызықтарды, өсімшелерді, т.б. пайдалануға мүмкіндік береді. Мұндай мәселелер қалалық геодезиялық тораптарды қайта құру мен дамыту кезінде туындайды. Жоғарыда айтылғандай, біртекті деректерді пайдаланған кезде принципті түрде, теңдестіруге қатысатын барлық мәндердің салмақтарын дұрыс орнату маңызды.

Практикада мынадай технологиялық сызбанұсқалар қолданылады:

- сенімсіз мәндерді тізбектеп түзететін аумақтағы барлық геодезиялық құрылысты жалпы біріктіріп теңдестіру;
- геодезиялық тораптың теңдестірілген бөлігінің дәлдігі бойынша түзеу және әрбір алынған тұрғызу класын бөлек-бөлек теңдестіру.

Артықшылықтар мен кемшіліктер әрбір әдісте болады және оларды пайдаланудағы нақты ұсыныстарды, берілген аумақтағы геодезиялық ақпараттарды мұқият талдағаннан кейін ғана жасауға болады.

Жерсеріктік өлшеулерді трилатерациялау торабы ретінде теңдестіру.

Жерсеріктік өлшеулерді трилатерациялау торабы ретіндегі теңдестіру әдісінің мәні – Жердің физикалық бетіндегі сызықтың ұзындығын жоғарыда келтірілген программалардың біреуі бойынша есептеу. Ал бұл, ұзындықтарды қажетті бетке қысқарту (редукциялау) және трилатерациялау торабын белгілі программалар бойынша теңдестіруден тұрады.

Жұмыс мына ретпен орындалады:

- жеткілікті дәлдікпен өлшенген тораптағы барлық сызықтарды анықтау, мысалы тікелей екі қабылдағышпен өлшенген барлық сызық;
- геодезиялық торабы, конфигурациясының талаптарын қанағаттандыратын сызықтарды іріктеу (сызық ұзындығының, үшбұрыштардағы бұрыштардың, геометриялық фигуралардың ең кіші бұрышы, т.б. өлшемдер бойынша);
- жердің физикалық бетінде іріктеп алынған сызықтардың ұзындығын есептеу (еңкіш сызықтар);
- еңкіш сызықтарды берілген салыстырмалы бетке қысқарту (эллипсоид, үш немесе 6⁰С-тық зонадағы жазықтық, шартты биіктік және шартты осьтік меридианды жергілікті координаталар жүйесінің жазықтығы, т.б);
- алынған трилатерация торабы дәлдігін, геодезиялық тораптарды теңдестірудің белгілі программасының біреуін пайдаланып теңдестіру және бағалау.

Бұл теңдестіру әдісін – бастапқы деректердің дәлдігіне сенімсіз болған жағдайда, оны қалалық геодезиялық тораптарды қайта құру кезінде пайдаланған жөн. Ол өлшеу нәтижелерінің бұрмалануы, минимальды мемлекеттік және жергілікті координаталар жүйелерінің байланысу кілтінің дәл мәнін теңдестіруде және оны анықтауда қолайлы тәсілді жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Бақылау сұрақтары

1. Жерсеріктік өлшеулерді ақырғы өңдеу кезеңінде қандай мәселелер шешіледі?
2. Жерсеріктік өлшеуді ақырғы өңдеудің қандай тәсілінде жеке нүктелер мен сызықтардағы сапасыз өлшеулер оңай таралмай, жойылады?
3. Жерсеріктік өлшеуді ақырғы рет өңдеудің қандай әдістерінде цикл өткізулері оңай айқындалып, жойылады?
4. Ақырғы өңдеу программасында түзетулер енгізу мүмкіндігі қалай ескеріледі?
5. Геодезиялық тірек тораптарын жасаған кезде артық өлшеулер қандай рөл атқарады?
6. Геодезиялық өлшеулерді трилатерация торабы ретінде теңдестірудің мәні неде?

7. АРНАЙЫ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРДІ ШЕШУДЕ ЖЕРСЕРІКТІК ӨЛШЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ

GPS (*Global Position System*) – геодезиялық негіздерді құрудағы ең тиімді аспап болып табылады. GPS көмегімен орындалған геодезиялық өлшеулер дәлдігі, әмбебаптығы, жылдамдығы және үнемділігі, тиімділігімен кеңінен тарады. Бұл жұмыстардың орындау әдісінің классикалық геодезиялық өлшеулерден айырмашылығы бар. GPS өлшеуде кейбір арнайы ережелерді сақтағанда, тиімді нәтижелер алуға болады. GPS қабылдағыштарының ең басты ерекшеліктерінің бірі – ауа райының кез келген жағдайларында өлшеу жұмыстарын жүргізуге болады. Ал, оптикалық аспаптардың кемшіліктері – рейка /белгі /шағылдыру құралына дейінгі тікелей көрініс болмағанда, оның жұмысқа жарамсыздығы – GPS үшін ондай қиыншылықтар тудырмайды. Ал қабылдағыштармен 10-шақты шақырымға дейін өлшеулер жүргізе беруге болады. Қазіргі қабылдағыштар 1-2 батырмалармен басқарылып, жұмыс істей береді. Сондықтан, оператордың арнайы дайындығының қажеті жоқ. Осы орайда экономикалық үнемділік артып, жеке қызметкерлер саны төмендейді (GPS қабылдағыштары 1 оператормен жұмыс орындайды).

GPS қабылдағыштармен бірге болатын программалардың көмегімен өлшеу нәтижелерін өңдеп, алынған геодезиялық жүйелер теңестіріледі. Пункт координаталарын, келесі тахеометриялық түсірістерге есептеуге болады. GPS көмегімен жүргізілген геодезиялық жұмыстың еңбек өнімділігін арыттырады. Нүкте координатасын анықтау кезінде басқа да қолданылатын геодезиялық аспаптарға қарағанда, GPS-пен сантиметрлік дәлдік деңгейін аласыз. GPS-пен геодезиялық жұмысты тәулік бойы істеуге болады. Сонымен қатар, нүктелер арасы көрінбеген жағдайда да, жұмыс істеуге мүмкіндік болады.

GPS және ГЛОНАСС типіндегі жерсеріктік жүйелермен қамтамасыз етілетін геодезиялық өлшеудің жоғарғы дәлдігі, бір-бірінен мыңдаған км-ге алшақтатылған пункттердің өзара орнын

анықтау мүмкіндігі туады. Жерсеріктік өлшеудің бүкіл кешенін жедел жүргізу – навигациялық, сонымен қатар әр түрлі геодезиялық мәселелерді шешу үшін көптеген мүмкіндіктер берді. Мұндай жүйелерді пайдалану негізінде – ғаламдық, континенттік, ұлттық, аймақтық және жергілікті геодезиялық тораптар жасалады. Олар бір-бірінен пункттердің орналасу тығыздығы, координаталарын анықтау дәлдігіне қойылатын талаптары бойынша ажыратылады. Жер қыртысында және жер бетінің жеке аймақтарында жүретін геодинамикалық процестерді ғаламдық және кең ауқымда зерттеу мүмкіндігі ашылды. Жерсеріктік позициялау әдістері инженерлік геодезияның әр түрлі мәселелерін шешу кезінде сәтті қолданылуда.

Жер бетіндегі пункттердің координаталық анықтамаларымен қатар, жерсеріктік әдістер теңіз геодезиясында әр түрлі қозғалу объектілерінің орнын анықтауға қолданылады. Сондай-ақ, ұшу аппараттарын пайдаланып, жердің топографиялық суреттерді орындау кезінде кеңінен пайдаланылады. GPS қабылдағышы бар кез келген тұтынушы, GPS сигналдарын пайдалана алады. Алғашқы кездері GPS қабылдағыштары негізінен, нүктенің орналасу орнын және навигациямен анықтау үшін қолданылды. Қазір GPS қабылдағыштары жер, аспан және теңіздегі әр түрлі тапсырмаларды шеше алады. Әрбір жер серігі екі ерекше кодты жібереді:

- бірінші *C/A* жай кодтары (дөрекі).
- екінші *P* (дәл) коды.

Бұл кодтармен екі L_1 және L_2 толқындары модульденіп *C/A* және *P*- кодтарын тасиды, ал L_2 коды – *P*-кодын тасиды.

GPS қабылдағыштары бір және екі жиілікті болып бөлінеді. Бір жиілікті қабылдағыштары L_1 толқынын, ал екінші жиілікті – L_1 және L_2 толқындарын қабылдайды.

7.1. Геодинамикалық мәселерді шешу

Жерсеріктік әдістерді пайдалану негізінде қол жеткен координаталық анықтамалардың жоғары дәлдік деңгейі, соңғы нәтижелерді алу жеделдігімен бірге, жер қыртысында жүріп

жатқан динамикалық процестерді едәуір толық зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл кезде өзімізді қызықтыратын пункттердің бүкіл жер шары шеңберінде жылжуын зерттеу мүмкіндігі ашылды. Ол “статистикалық” геодезиядан “динамикалыққа” өтуге мүмкіндік берді. Бұл міндет геодинамика үшін 1990 жылдары құрылған GPS Халықаралық қызметінің (IGS) негізгілерінің бірі болды.

Бұл қызмет ғаламдық тіректік геодезиялық торапқа кіретін пункттердегі үздіксіз жерсеріктік бақылауды ұйымдастыруға жауапты болды. Мұндай мониторинг, қарастырылып жатқан пункттерді см-лік және мм-лік дәлділікте жылжуын бақылауға арналған. Бұл құрылыстар мен ашық мұхитта орналасқан жеке аралдардың пайда болуы нәтижесінде әрқашан жаңарып тұратын қозғалыс картасын жасауға мүмкіндік береді.

Мұндай ақпарат – жердегі референцтік нүктенің нақты орнын анықтауда және жер қыртысында жүріп жатқан процестердің тектоникалық белсенділігін зерттеу кезінде үлкен қызығушылық танытады. Мұндай зерттеулерді жүргізу процесінде зерттелетін аймақтағы “тұрақты” тірек нүктелерін теңестіру қажеттілігіне байланысты, маңызды қиындық пайда болды. Онда тірек нүктелерге қатысты айқындалған жылжулар тіркеп жазылады. Бұл проблема – жеке зерттеулер нысаны болды.

Зерттелетін аумақ өлшемін әрі қарай шектеу – ірі инженерлік ғимараттар құрылатын және пайдаланылатын жердегі, оның аймақтарындағы, ірі қалалардың жер бетінің деформациясын зерттеуге алып келді. Қалалардағы топырақтың қауіпті деформациясын бақылау маңыздылығы ең алдымен, адамның геодезиялық құрылымға қарқынды әсер етуіне байланысты әр түрлі бұзылулардың артуынан туындаған. Бұған – жерасты кеңістігін қарқынды игеру, топырақ суының деңгейін өзгерту, көлік ағындарының әсерінен болатын вибрациялар, химиялық кәсіпорын аумағындағы топырақ суындағы белсенді қоспа концентрациясының артуы жатады. Қалалар мен жеке өнеркәсіп объектілеріндегі әр түрлі бұзылулардың алдын алу мақсатында, мамандандырылған

геодинамикалық тораптар құрыла бастады. Олардың пункттерінде максимальды түрде жетілген дәлділік деңгейдегі жүйелі жерсеріктік бақылау ұйымдастырылады.

Мұндай тораптарда өлшеулер жүргізілген кезде тек мүмкіндігі жоғары өлшеу дәлдігін қамтамасыз ету ғана емес, нақты жылжу мәнін жүйелі қателіктердің қалдық әсерінен бөлу қажеттілігі туады. Бұл сұрақтарға жауап беру үшін, арнайы зерттеулер ұйымдастырылуы қажет. Зерттеу нәтижелері бойынша негізгі рөлді көпжолдылық тропосфералық рефракцияның қалдық әсерінен туған қателіктер атқарады.

Аталған әсерді бәсеңдету әдістерінің бірі – ұзақтығы жоғары бақылау сеансын таңдап алуға негізделеді (бір тәулік, одан жоғары). Сонымен қатар, мына әдістерге аса назар аудару қажет:

- көпжолдылық әсерін бақылау пункттерінде, стандартты емес экрандаушы заттарды пайдалану есебінен бәсеңдету;
- тропосфералық рефракция әсерін су буы радиометрлерін пайдалану есебінен қатаң түрде есепке алу;
- өлшеу нәтижелерін өңдеу процесінде тропосфералық кідірісті анықтауға мүмкіндік беретін арнайы есептеу әдістерін ұйымдастыру.

Қалалардағы жер бетінің қозғалысын зерттеу кезінде тектоникалық белсенділігі жоғары аймақтарда орналасқан ірі қалалар аумақтарына ерекше орын бөлінеді.

7.1.1. Жерсеріктік технологияны қолданбалы геодезияда пайдалану

Ұзындығы әр түрлі тораптардағы жерсеріктік координа-ттық анықтаудың жоғары дәлдіктегі өлшеулерін, алуан түрлі физика-географиялық жағдайларда жүргізуге, жерсеріктік әдістерді қолданбалы геодезияның ауқымды мәселелерін шешу кезінде тиімді пайдалануға алғышарттар жасады. Мұндай әдістер туннельдер, көпірлер құрылысында, магистралды құбырлар салуда, зарядталған бөлшектердің желілі күшейткіштері мен басқа да ірі инженерлік ғимараттарды құру, әрі қарай пайдалану

кезінде қолданыла бастады.

Жерсеріктік әдістерді жоғарыда аталған жұмыс түлерінде пайдалану ерекшелігі – тек маркіленген нүкте координаталарын жедел түрде жоғары дәлдікте анықтаумен бірге, белгіленген бағыттарды анықтау әдістерін жасаудан тұрады. Бұл кезде өлшеуді көбінесе, жер серігінен келіп түсетін радиосигналдарды, құрылатын объектілердің әр түрлі конструкциясымен жеке экрандау жағдайларында жүргізуге тура келеді. Аталған ерекшеліктер – өзіне теодолиттер, тахеометрлер, нивелирлер және лазерлі жүйелер сияқты дәстүрлі геодезиялық құрал-жабдықтарын жерсеріктік қабылдау аппаратурасы біріктіріп, геодезиялық өлшеудің жерсеріктік әдістерінің үйлесімділігінің мақсатқа сай екендігін дәлелдейді.

Туннельдерді жерсеріктік әдістерді қолданып салуға қатысты, соңғы әдіс – кіріс порталдары арасындағы барлық алаңды жауып тұратын және сәйкес кластағы тіректік тораптармен байланыс орнатушы, жергілікті жоғары дәлдіктегі геодезиялық тораптарды құру мақсатында пайдаланылады. Туннельді күрделі рельефтік жағдайларда салу кезінде, жерсеріктік әдістердің артықшылығы жақсы байқалады. Осы жұмыстар қазіргі уақытта жинақталған тәжірибе – порталдар арасындағы 10 км-ге дейінгі ара қашықтықта жерсеріктік әдістердің, дәлділікті шамамен 1 см деңгейде қамтамасыз ететінін дәлелдейді. Осының негізінде бағытты анықтаудың арнайы әдістері рұқсат етілген қабілеттілікті пункттер арасындағы қашықтық 400 м-ден аспаған жағдайда, шамамен бір бұрыштық секунд деңгейінде дәлдікпен қамтамасыз етеді.

Әр түрлі бөгеттерді салу кезінде геодезиялық жұмыстарды тек құрылыс процесінде ғана емес, сонымен қатар үлкен сыртқы қысымда орналасқан конструкция элементтерінде пайда болған деформация мен жылжуды идентификациялау және талдау мақсатында оларды пайдалану кезінде, әрі қарай жүргізу қажет. Алынған ақпараттардың жоғары дәлдігі мен дұрыстығына жету үшін, жерсеріктік әдістерді көп жағдайда тахеометр мен жоғары дәлдікті нивелирді пайдалануға негізделген, жердегі әдістермен біріктіреді. Жоғарыда айтылған техникалық құралдар мен

әдістерді бірге қолдану – қауіпті деформация мен жылжуды дер кезінде жеткілікті, әрі сенімді түрде анықтауға мүмкіндік береді.

Бұрыштар мен ара кашықтарды өлшеуге негізделген жердегі әдістерді қолданғанда торап геометриясын жақсарту мақсатында, қосымша пункттерді ұйымдастыру қажеттілігі туындайды. Ол сөзсіз қосымша техника-экономикалық шығындар мен басқа да қиыншылықтарды тудырады. Жердегі әдістерге қарағанда, жерсеріктік әдістер – пункттердің орналасу геометриясын талғамайды және тік сызықты жолдың бойында орналасқан пункттердің координаталарының анықтамаларын қажетті дәлдікпен толық қамтамасыз ету үшін жарамды.

Жерсеріктік технологияны теңіз геодезиясында қолдану ерекшеліктері.

Теңіз геодезиясына жататын және жерсеріктік технологияны пайдалануға негізделген мәселелерді шешуге тән ерекшелік – кеме жүргізуге байланысты арнайы жүзу құралдарының орындары өте жоғары дәлділік деңгейінде анықталады (метр бірлігінде, ал кейде метрдің ондық үлесінде). Бұл кезде барлық өлшеулерді нақты уақыт масштабында орындайды. Ал алынған нәтижелерді, қажетті мәндерді анықтауға қолданылатын басқа техникалық құралдармен үйлестіреді.

Жерсеріктік әдістерді теңіз геодезиясында пайдалану аймақтарын, дәлділік деңгейіне қойылатын талаптарға сай екі шартты топқа бөлу қабылданған.

Дәлділік деңгейіне қойлатын талаптар бірнеше метрмен ғана шектеліп, бірінші топқа мыналар кіруі мүмкін:

- гавань (айлақ) акваторияларындағы, жағаға жақын судағы және ішкі қоймалардағы тереңдік өлшеу жұмыстары;
- экономикалық дамудың аумақтық аймақтары немесе ғылыми мақсатта теңіз (тереңдігін) түбін картаға түсіру;
- пайдалы қазбаларды теңіз қазба жұмыстары кезінде қолданылатын қандай да бір суасты датчиктермен сәйкес техникалық құралдардың орындарын анықтау;
- гидрографиялық жұмыстарды орындау;
- дәл гравиметриялық және сейсмикалық суретке түсіру

жұмыстарын жүргізу.

Осы міндеттерді шешу үшін кодтық сигналдарды қолдануға негізделген жер серігін өлшеудің кодтық сигналдарды қолдануға негізделген дифференциялық әдісі ерекше таралған. Бұл – жұмыс істеу режиміндегі референцтік станция, әдетте координаталары белгілі жағадағы нүктеде, ал мобильдік станцияда қолданылатын жүзу құралының бортына орналастырылады. Дифференциалды өлшеу режимін іске асыру үшін референцтік станцияда анықталатын түзетулер – радиоарналар бойынша жүзу құралының анықталған орнын, жедел түрде есептеу жүргізілетін борттық мобильдік станцияға береді. Аталған түзетулер референцтік станция координаталарына түзетулерді емес, сәйкес жер серіктеріне дейінгі өлшенген ара қашықтықтың түзетулерін береді. Мұндай тәсіл – референцтік және мобильдік станциядан бақыланатын бірдей жерсеріктеріне жататын ақпараттарды тиімді жинақтауға мүмкіндік береді.

Жерсеріктік технологияның өте жоғары дәлдік деңгейін (қажет) талап ететін теңіз геодезиясында пайдалану аймағын қамтитын, екінші топқа жататындар:

- жағадағы инженерлік жабдықтарға қызмет көрсетуге байланысты жұмыстар;
- мұнай, газ және басқа да пайдалы қазбаларына жұмыстар жүргізу кезінде қолданылатын платформалардың теңіз бетінде орналасқан жағдайын бақылау;
- айлақ (гавань) акваторияларын, өзен сағасы мен су қоймалардың басқа түрлерін тазалау жұмыстарын жүргізуші драгаларды басқару;
- теңіз және мұхит акваторияларындағы геодинамикалық процестерді зерттеу.

Осындай жұмыс түрлеріне қажетті жоғары дәлдік деңгейін қамтамасыз ету әдетте, жалған қашықтық өлшеу әдістерімен, тиімді үйлесетін жер серігін өлшеудің фазалық әдістерін пайдалану есебінен жүзеге асады. Осындай құрама (комбинированный) әдістерді жүзеге асырудағы негізгі қиындық мобильді станцияларды қозғалу объектісіне орнату

жағдайларындағы мәндердің бірдей болмауын сенімді, әрі жедел шешуге мүмкіндік береді. Аталған проблемаларды шешу үшін, соңғы жылдары фазалық және кодтық өлшеулерді тиімді түрде бірге қолдануға негізделген қолайлы, әрі жедел әдістер жасалады.

Жоғарыда айтылған проблемалармен қатар, теңіз геодезиясына тән жұмыстарды орындау кезінде мынадай фактіні ескеру қажет: мобильдік станция орнатылатын жүзу құралдары теңіз бетінің әр түрлі айналымдары мен тербелістеріне ұшырауы мүмкін. Ол өз кезегінде есептің маркіленген нүкте кеңістігінде мүмкін емес өзгерістерге алып келеді. Мұндай өзгерістерді есепке алу үшін, жерсеріктік өлшеудің жаңаландырылған әдістері қолданылады. Ол кеменің азимуттық күйін және оның ұзына бойлы немесе көлденең тербелістерін анықтауға беруге мүмкіндік береді. Осындай міндеттерді шешу тәсілдерінің бірі – бірнеше шағын ара қашықтықтарға тұрғызылған антенналық жүйелері бар жерсеріктік қабылдағыштарды қолдану. Антенналар үшбұрыш болып орналасады, оның төбесі кеменің алдыңғы бөлігінде, ал негізі – орта бөлігінде орналасуы мүмкін.

Осы салада жүргізілген зерттеу жұмыстары мен аталған тәсілдер кеменің күйін шамамен $\pm 1^\circ$ дәлдікте, ал ұзына бойлы және көлденең тербелістерін шамамен ± 0.25 млрд деңгейінде анықтауға мүмкіндік беретіні дәлелденді.

Теңіз геодезиясына тән қосымша міндеттердің бірі – кеменің орналасқан орнына, жауапты нүктелердің күйін басқа техникалық құралдар мен өлшеулер жүргізілетін бастапқы нүктелерге қайта есептеу әдістерін жасау қажеттілігінен тұрады (мысалы, бүйір үлгідегі эхолоттар немесе гидролокаторлардың көмегімен орындалатын тереңдікті өлшеулер).

Жерді фотограмметриялық әдістермен картаға түсіру кезінде жерсеріктік позициялау жүйелері тиімді қолданылады. Олардың көмегімен ұшу координаталары мен аэрофототүсіру камерасының бағытын анықтайды. Сонымен бірге, ұшу аппараттарының берілген маршрут бойынша жүруін жүзеге асырады және сол жерде қажетті мөлшердегі белгілеу таңбалары бар торапты жасайды. Ірі масштабты суреттер үшін

дециметрлік дәлділік деңгейін қамтамасыз ету – жерсеріктік өлшеудің дифференциалды әдісінің іске асырылуы үшін мәндердің шексіз көп болуын шешудің арнайы шұғыл тәсілдері жасалған, фазалық әдістерді қолдану арқылы жүзеге асады. Бұл кезде әуе кемесінің бортында орналасқан жерсеріктік қабылдағыш пен суретке түсіру камерасы жұмысының синхрондығы сияқты көмекші проблемаларды да шешуі қажет. Антенаның фазалық орталығы мен камера прокциясының орталығы арасындағы эксцентриситет элементтерін анықтау, сондай-ақ бақылайтын жер серіктері жеткіліксіз болған жағдайда, қосымша шаралар қолданған жөн.

Фазалық әдістермен өлшенетін ара қашықтықтың бірдей мәндерді алуға байланысты қиыншылықтарды болдырмау үшін, ұшудағы мәндердің бірдей болмауын шешудің арнайы тез орындалатын әдістері жасалды (OTF). OTF-ң жұмыс істеу принциптерін толық қарастырмай-ақ, берілген әдіс алынған деректерді жедел өңдеу әдістерімен ілесетін фазалық және өте дәл кодтық өлшеулердің тиімді үйлесімділігіне негізделеді.

Жерсеріктік қабылдағыш қабылдаған ақпараттарды үздіксіз бақылауға және фазалық өлшеуге жататын барлық цикл мөлшерінің өсімшелері жөнінде деректер алуға мүмкіндік береді. Сондықтан, мәндердің бірдей болмауын шешудің жедел әдісі OTF, әдетте, ол ұшақтың ұшу кестесінің басында немесе кем дегенде 4 жер серігі қалған кезде қолданылады.

Соңғы нәтижелер дәлдігіне келетін болсақ, жерсеріктік фазалы өлшеудің потенциалды мүмкіндіктері ешбір қиындықсыз, ірі масштабты аэрофотосуретке түсіру жұмыстары үшін дециметрлі дәлділік деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Онымен бірге, елеулі дәлділік шығыны – спутниктік өлшеуді тіркеудің синхронсыз және түсіру камерасының қақпағы жұмыс істемей қалған жағдайда байқалуы мүмкін. Бұл проблеманы шешу үшін, ұшақ бортында қолданылатын аэрофототүсіру аппаратурасының кешеніне жерсеріктік өлшеулер мен аэрофототүсіру камерасы қақпағының жұмысына жататын синхронды жұмыс режимін қамтамасыз етуші, сыртқы басқару құрылғысы енгізіледі. Жүргізілген зерттеу жұмыстарының

нәтижелері бойынша, аталған синхронизмнің бұзылуы – бірнеше метрге жететін қателіктерге алып келуі мүмкін.

Жерсеріктік қабылдағыш антенасының фазалық центрін, фотокамера проекциясының центрмен кеңістіктік қосудың мүмкін еместігі, аталған центрлер мен үш бағытталу бұрышы арасындағы ара қашықтық кіретін үш өлшемді эксцентриситеттің болуын дәлелдеп береді. Ол статикалық жағдайларда, негізгі техникалық құралдармен анықталуы мүмкін. Платформаның өзіне орнатылған жабдықтарымен бірге динамикалық жағдайларда, оның бағытын анықтау үшін көлбеулігін өлшеу (наклономер) сияқты арнайы құрылғыларды пайдаланады. Ал жеке жағдайларда – кеңістікте тармақталған үш жерсеріктік қабылдағыш антеннасын пайдалануға тура келеді. Осы салада жүргізілетін зерттеу жұмыстарының бағдарлау бұрыштары жөніндегі ақпараттар мәні – камера фокусы центрінң дәл күйін түсіру моментінде білуге қарағанда аз екенін дәлелдейді.

Берілген маршрут бойынша ұшақты ұшыру проблемасы – жер серіктік позициялау жүйелерін навигациялық қолдануға жатады. Оны іске асыру үшін, дифференциалды режимде жұмыс істейтін және нәтижелерді нақты уақыт масштабында беретін жерсеріктік қабылдағыштар қолданылады. Аэрофототүсіру жұмыстарына тән, ұшақ ұшырудың шамамен 10 м деңгейдегі дәлдігіне жету – еш ауырлық тудырмайды.

Жерсеріктік әдістер мен жердегі геодезиялық негіздеме-лерді құруға байланысты, 1-ден 5 м-ге дейінгі деңгейдегі қажетті дәлдікті кодтық өлшеу негізінде және жеңілдетілген жерсеріктік қабылдау апаратурасын пайдалануда іске асыруға болады (мысалы, дифференциалды режимде жұмыс істейтін бір жиіліктік қабылдағыштар).

7.2. Топографиялық түсіруді орындағанда жерсеріктік өлшеу – технологиясын қолдану

GPS негізгі жүйесін 5 негізгі пунктке бөлуге болады:

- жер серігінің трилатерациясы – жүйе негізі;
- жер серігімен қашықтық өлшеу – жер серігіне дейінгі ара

қашықтықты өлшеу;

- дәл уақытпен байланыстыру – қабылдағыш пен жер серігінің сағатын сәйкестендіру;
- жер серігінің орналасуы – ғарыштағы жер серіктерінің дәл орналасуын анықтау;
- қателіктерді түзету – тропосфера мен ионосфера қабаттарынан өтетін сигналдардың енгізілетін қателерін ескеру.

Жоғарыда аталып өткендей, есептеулер тікелей сағат жүрісінің дәлдігіне байланысты. Кодтар жер серігі мен қабылдағыштарда бір уақытта генерациялануы қажет. Жер серігінде атом сағаттары орналастырыған, оның дәлдігі – 1 наносекундты құрайды. Бірақ әрбір GPS қабылдағышына аталмыш сағатты орнату өте қымбатқа түседі. Сондықтан, қабылдағыш сағатының жүріс қателігін жою үшін, өлшеуді 4 – жер серігінен жүргізеді. Бұл өлшеулерді қателіктерді жою үшін қолданады. Ол қателер, жер серігі мен қабылдағыштағы сағаттың синхрондалмағандығынан туындайды.

Егер жер серігіндегі және қабылдағыштағы сағат жүрісінің дәлдігі бірдей болса, онда ара қашықтықты 2 жер серігінің көмегімен дәл анықтауға болады. Егер өлшеулер 3 жер серігінен орындалса, онда барлық сағаттар дәл жүреді деген сөз.

Үшінші бағыттағы өлшемдер қажет болған жағдайда, онда қабылдағыштағы сағат жүрісінің қатесін жою үшін 4 жер серігі қажет. Сонымен, далада жұмыс істеген кезде, объектінің 3 бағыттағы координаталарын анықтау үшін, кемінде 4 жер серігі қажет.

Жергілікті жерде жерсеріктік әдістердің әр түрлі түсіру түрлерін кеңінен қолдануға септігін тигізетін техника-экономикалық алғышарттар: жоғары дәлдік, ауа райы жағдайларына тәуелсіздік, пункттер арасында тіке көрінудің болуы міндетті емес. Негізгі шектеуші факторы – өлшеу сәтінде аспанның бақылаушы жер серіктері орналасқан бөлігінде, еркін шолуды қамтамасыз ету талаптары. Практикада мұндай талапты жер серіктік қабылдағыш орнатылған пунктті қоршайтын әр түрлі экрандаушы объектілердің (ағаштардың қисаюы,

геодезиялық сыртқы белгілер, ғимарат қабырғалары, т.б.) болуынан, әрдайым орындау мүмкін емес. Осыған байланысты жұмысты ұйымдастыру кезінде құрама әдістерге көп мән беріледі. Олар жер серіктік бақылауды электрондық тахеометрлер сияқты геодезиялық құрал-жабдықтармен өлшеуді тиімді үйлестіреді.

Құрама әдістерді қолдануда – жинақталған тәжірибе жерсеріктік технологиялардың көбінесе түсірілетін жер көлемінің суретке түсіру негіздемелерін құруға қолданылатынын дәлелдейді. Ал толық түсіру – тек ашық аумақтарда ғана немесе жердегі техникалық құралдардың көмегімен жүзеге асырылады. Осы құрылған геодезиялық негіздеме көбінесе жергілікті тораптарды салу арқылы іске асырылады. Оларға пункттер арасындағы шамалы алшақтықтар мен координаталық анықтамалар дәлдігіне салыстырмалы түрде талаптар аз қойылады.

***Геодезиялық жерсеріктерінің GPS құрал-жабдықтары
4600LS Trimble***

Бір жиілікті 12 каналды GPS қабылдағышы қысқа және орташа базистік аралықтарда топографиялық түсірістер, геодезиялық жүйелерді жиілету мен дамыту жұмыстарын орындауға арналған. 4600LS аспабы қолдануға өте қолайлы, сенімді, әрі тиімді. GPS қабылдағышы антеннасы бір қорапқа біріктірілген, оның салмағы – 1,7 кг. Кабельдік жалғаулардың жоқтығы, аспаптың жұмыс істеу қабілетін жоғарылатады. Қабылдағыш бір батырмамен басқарылады, ал үш жарық диодты индикатор – статикалық және жылдам статикалық бақылау режимінде түсірісті бақылауға мүмкіндік береді. Сыртқы әсерден, қабы – судан, ылғалдан, кез келген климаттық және ауа райы жағдайларынан қорғалған (жаңбыр, қатты аяз – 40°C т.б.).

4-кесте

4600LS Trimble – техникалық сипаттамалары

Канал саны	12 жиілігіндегі L1 (код, фаза)
Деректерді жазу	ішкі жады 1 Мб
Коммуникациялық порттар	1 тізбектелген
5 және оданда көп жер серіктеріне өлшеу дәлдігі	

4 – кестенің жалғасы

Статика, жылдам ста- тика	Пландағы Пландағы Биіктік бойынша	5 мм + 1 x 10''' D (ұзындығы 10 км-ден кем) 5 мм + 2 x 10'' D (ұзындығы 10 км-ден жоғары) 10 мм + 2 x 106 D
Жұмыс істеу температура, "С		40" - +65°
Электркоректену		- аккумуляторлық батарея 2,3 Ач 12
Антенна		Қабылдағыштың қабына енгізілген

Trimble TS 5700 GPS қабылдағыш.

TTS 5700 – модульді екі жиілікті 24 каналды GPS және WAAS/EGNOS жүйесі, нақты уақыт арлығындағы дәл геодезиялық жұмыстарды орындауға арналған. Ол жоғарғы өлшеу дәлдігі, сенімділігі, қолайлылығы және жеңіл, аз энергия тұтынуымен (2,5Вт) ерекшеленеді. TTS 5700 қабылдағышы екі жиілікті құрал-жабдықтар класындағы ең танымал аспап. Қабылдағыш екі Li-Ion аккумуляторлық батареядан – электр энергиясын тұтынады. Оның жұмыс істеу қабілеті шамамен 10 сағатты құрайды. Сыртқы қабы толығымен герметизацияландырылып, сыртқы орта әсерлерінен сақтандырылған. Сонымен қатар, оны күрделі климаттық жағдайларда да қолдануға болады.



15-сурет. Trimble TS 5700 GPS қабылдағышы

Базалық қабылдағыш – қосымша сыртқы аккумуляторлық 12В батареясымен қамтамасыз етілген. Қабылдағыштың басқару батырмалары мен жарық диодты индикаторлары алдыңғы панельге орнатылған. Ол кейбір жағдайларда кинематикалық түсірістерді контроллерді қолданбай жүргізуге мүмкіндік береді. Қабылдағыш жиынтығында екі GPS антенна: базалық қабылдағышқа жоғарғы дәлдікті *Zephyr Geodetic* антеннасы және жылжымалы қабылдағышқа – *Zephyr* антеннасы қолданылады. Олар фазалық орталықтың тұрақтылығы және әлсіз жерсеріктік сигналдарға сезімталдығымен сипатталады. *Trimble Stealth* технологиясы – өлшеу нәтижелеріне әсер ететін кедергілерді төмендетеді. Осы антенналарды қолдану барысында, анықталатын координаталарды мм-лік дәлдікпен есептеп шығаруға мүмкіндік береді.

ERTK жаңа технологиясының басты ерекшелігі – TTS5700 аспабы соңғы жасалған сымсыз құрал-жабдықтар коммуникациясы саласында негізделіп, ұялы телефондар жүйесі және радиомодемдермен жұмыс істеуге бейімделген. eRTK технологиясы, бірнеше базалық станцияларды бір мезгілде қолдануға мүмкіндік береді. Ал “Virtual; reference Station” функциясы – 3750 км-ден астам алаңдағы жұмысты қажетті дәлдікте қамтамасыз ете алады.

5-кесте

TTS 5700 техникалық сипаттамасы

Каналдар саны	24 жиілігі L1 и L2 (код, фаза), WAAS/EGNOS
Деректерді жазу	128 Мб Compact Flash жады картасы
Коммуникациялық порт	Тізбектелген 2 . 1 USB
5 және одан жоғары жер серігіндегі өлшеу дәлдігі (өңдеуден кейін)	
Статика, пландағы	5 мм + 0,5 x 10 ⁶ D
Биіктік бойынша	5 мм + 2 x 10 ⁵ D
DGPS режимі	
Пландағы	0.25 мм + 1 x 10 ⁵ D
Биіктік бойынша	0.50 мм + 2 x 10 ⁵ D
Жұмыс температурасы, "C	-40° - +65"

«Кинематика алдын ала өңдеу» режимінде немесе RTK жұмыс істеу үшін үш түрлі *Recon (тек қана PP Static & Kinematic)*, *TSC2* немесе *ACU (PP & RTK)* контроллерлермен жұмыс істеуге болады.

Trimble 5700 GPS қабылдағышынан деректерді шығару, енгізу үшін, арнайы *Trimble Geomatics Office*, *Trimble Total Control* немесе *Terramodel* программалары қолданылады.

Стандартты Trimble Total Station 5700 жүйесінің жинағына *TSC2* контроллер (*Survey Controller* программасы орыс тілінде), GPS антеннасы, *Trimble Geomatics Office™* программасы және барлық қажетті кабельдермен құрал-жабдықтар кіреді.

Trimble Total Station 5700 қабылдағышы – барлық кең ауқымды геодезиялық түсірістерге, оның топографиялық, геофизикалық кималарды бөлу, жер бөлу, геодезиялық тораптарды толықтыру, т.с.с. жұмыстарда қолданлады.

GNSS жүйесінің *Trimble R7* – бұл бір қорапты жинақталған көп каналды, көп жилікті GNSS қабылдағышы мен қысқа толқынды (УКВ) радиомодем.

TrimbleR - Track технологиясы – ғаламдық жерсеріктік навигациялық жүйесінің жаңа буыны (GNSS).

Trimble R7 GNSS қабылдағышында жаңартылған RTK процессорлы *Trimble R-Track* технологиясы қолданылады. Ол жаңартылған GPS-тің L2C L5 және ГЛОНАСС жүйесінің сигналдарын қабылдайды.

GNSS жүйесіндегі Trimble R7 – *Integrated Surveying* технологиясын қамтыған. *Trimble Survey Controller* программалары GNSS технологиясының файлдарымен тахеометр деректерін біріктіріп, *Trimble Business Center* программасын өңдеу үшін дайындайды.

Trimble Zephyr Geodetic 2 антенны база ретінде қолдану кезінде сигналдардың жан-жақтан шағылысуын төмендетіп, өлшеу нәтижелерінің дәлдігін арттырады.



16-сурет. Trimble R7 GNSS жүйесінің технологиясы

Trimble Zephyr 2 антеннасымен *Trimble R7* GNSS жылжымалы қабылдағыш ретінде қолданылады. Сонымен қатар, *Trimble R7* GNSS аспабы – *Trimble TSC2* контроллерімен сымсыз қосылуына байланысты, *Bluetooth* модулімен жабдықталған.

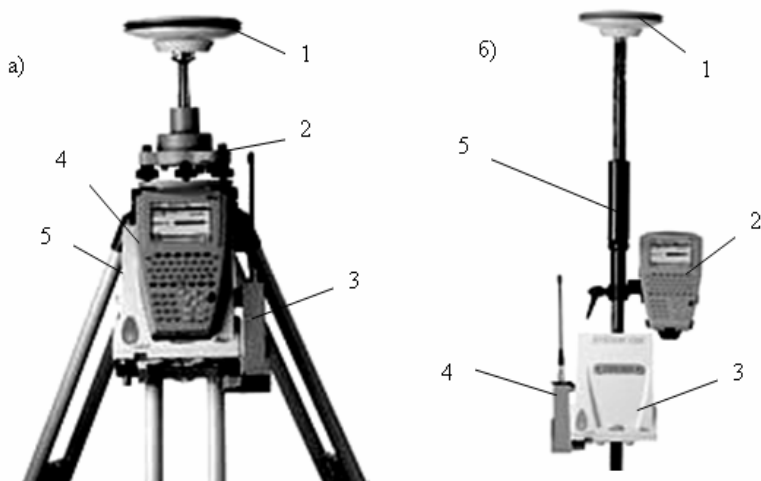
LEICA GPS1200 – жаңа перцизиондық GPS процессорының, RTK режиміндегі мәндердің бірдей болмауын тез шешудің жаңа алгоритмдерінің барлығын қоршаған орта әсерінен сақтаудың, әскери стандарттарына сай болуы – бұл GPS жабдықтарын кез келген жағдайда, әр түрлі геодезиялық жұмыстарды орындауға мүмкіндік туғызады.

Программалық қамтамасыз етілуі: жұмысқа дайындау, мәліметтерді беру, орындаған жұмыстарды график түрінде бейнелеу, түсіріс тораптарын теңдестіру. Сонымен қатар, координаталарды әр түрлі жүйеге көшіру, нәтижелерді түрлі жүйеге, мысалы ГАЖ-ға шығару.

SKI Pro – GPS мәліметтерін өңдеу мен сақтаудың ең жоғарғы дәрежеде автоматтандырылған программа пакеті болып есептеледі.

■ *GPS технология SmartTrack* – GPS1200 қабылдағыштарының SmartTrack технологиялық процессоры 1 сек ішінде көрініп тұрған жер серіктерінен сигнал алуға, жер серіктерінің биіктіктерін ең кіші бұрыштарымен бақылауға болады. Басқа жер серіктер қабылдағыштары жұмыс істей алмайтын жағдайларда, мысалы ағаштың түбінде немесе жарық сәулелері көп жағдайда, өлшеуге мүмкіндік береді. Әлбетте, бұл GPS оларды өлшеулерінің өнімділігіне кепілдік береді.

SmartTrack – технологиялық антенна пішіні кіші болса да, SmartTrack технологиялық жаңа антенна дәлдігі, жоғары сигналдары алуды қамтамасыз етеді (17-сурет).



17-сурет. а) Штативке орнатылған базалық станция: 1-антенна; 2 -трегер; 3 - радиомодем; 4 - контроллер; 5-қабылдағыш (GPS1230); б) Қадаға орнатылған далалық ровер: 1-антенна; 2-контроллер; 3 -қабылдағыш; 4- радиомодем; 5-қада.

Тахеометр ішіндегі мәліметтердің толықтығын, мониторинг жүргізу жүйесі алынған барлық нәтижелерді тексеріп отырады.

GPS1200 қабылдағыштары			
GX1230	GX1220	GX1210	GRX1200 Pro
▪ Әмбебап қабылдағыш, барлық типтерге арналған ▪ 12 L1 + 12 L2 ▪ Деректерді жазу ▪ RTK және DGPS толығымен қамту ▪ Мобильді немесе базалық станция ретінде қолданылады	▪ деректерді жазу ▪ 12 L1 + 12 L2 ▪ Опция: DGPS	▪ деректерді жазу ▪ 12 L1 ▪ Опция: DGPS	▪ CORS қабылдағышы базалық станция ретінде жұмыс істейді ▪ Жазу, RTK & DGPS ▪ Компьютерлік желі арқылы жазу

■ *SmartCheck - 30км RTK режимі*

RTK режимінде өлшеулер (нақты уақыттағы кинематика) бұрынғыға қарағанда ең жылдам, дәл және сенімділігін көрсетті. SmartTrack технологияларымен алынған SmartCheck өлшеулерді 1 см дәлдікпен өңдейді. 30 км-ге дейінгі және одан да жоғары сызықтарды 20 Гц жиілікпен өлшеуге болады. Өлшеулер бірнеше секунд жүргізіледі. Түсірістер қолданылмаған RTK режимінде ағаштар түбінде жүргізіле береді.

GPS1200 тахеометріндегі *SmartTrack* көптеген GPS жүйелері үшін жоғарғы дәлдікті нәтижелер алуға мүмкіндік береді. Антенна ылғалдан қорғалған, жеңіл және сенімді.

Торсон GB-1000 қабылдағышы

Модульді TOPCON технологиясы бойынша орындалған 40 каналды 1–2 жиілікті (L₁, L₂) және (Glonass/Navstar) жиынтығының қабылдағышы.

Сұйық кристалды дисплейі жер серіктер шоғырын, қабылдағыш статусын, RTK режиміне ауыстыру және статика режимінде басқарып бақылауға арналған панелі бар. Compact Flash жады картасына арналған «слот» және USB, serial, Ethernet порттарымен қамтылған. LAN, VAN, internet байланыстырының барлығымен жұмыс істейді.

Мысал ретінде SR 1200 (Leica, Швецария), 4600LS Suveror (Trimble, АҚШ), Geotracer 2100 (Geotronics, Швеция), Pro Mark

II (Thobes, Франция), т.б. қабылдағыштары бола алады. Қабылдағыштың аталған типтері жылдам әрекет етуші статикалық режимге де (" Жылдам статика ") және Stop/Go (тұмын/келемін) *деп аталатын жартылай кинематикалық режимге де бейімделген.* Оларды қолдану оңай, салыстырмалы түрде жеңіл, әрі электр энергиясын аз қажет етеді. Осындай қабылдағыштар мен аталған өлшеу режимдерінің үйлесімінде, өлшеу дәлдігі шамамен 2 см деңгейде биіктігі бойынша 5 см, орташа квадраттық қателіктермен сипатталады. Жерсеріктік технологияға тән әдістер тек сызықты шамамен ғана емес, бағытымен де сипатталатын, кеңістікте бағытталған векторларды алуға мүмкіндік береді. Олардың соңғы қасиеті – қателігі бірнеше бұрыштық секунд азимуты бағытын анықтау үшін, суретке түсіру кезінде қолданылады. Бұл дәлділік ең алдымен, пункттер арасындағы ара қашықтыққа тәуелді және ол қашықтығы артқан сайын өседі.



18-сурет. Штативке орнатылған Торсон GB-1000 қабылдағышы

Жерсеріктік өлшеулерді жүргізген кезде техника-экономикалық көзқарас тұрғысынан, мұндай желілерде жедел

және экономикалық бақылау әдістері мен кейінгі өңдеу әдістерінің үйлесіміндегі геодезиялық типтегі салыстырмалы қымбат емес, бір жиілікті қабылдағыштарды пайдаланылады.

Қазіргі уақытта жасалған жерсеріктік технологиялар, жергілікті жерде түрлі түсірулер жүргізгенде кеңінен қолданылады. Жақсы танымал топографиялық түсірулермен қатар, мынадай қолдану аймақтарында айтып өткен жөн:

- әр түрлі жер құрылысы жұмыстарымен байланысты түсірулер;
- сызықты объектілер трассасын түсіру;
- геологиялық-геофизикалық жұмыстарды геодезиялық қамтамасыз ету;
- орман шаруашылығын жүргізуге байланысты түсірулер.

Әр түрлі түсірулерге тән жерсеріктік координаталық анықтамалардың жеке ерекшеліктеріне тоқтамай-ақ, жерсеріктік әдістерді қолдануға байланысты жалпы ерекшеліктерді көрсетеміз.

Жерсеріктерді бақылаудың қолайлы жағдайларында жерсеріктік өлшеулерді жүргізген кезде, жақсы өңделген тәсілдер қолданылуы мүмкін. Сонымен бірге, жерді түсіру жұмыстарын көп жағдайда жер серіктерінен келіп түсетін радиосигналдар, әр түрлі кедергілермен экрандалатын жағдайларда жүргізуге тура келеді. Мұндай жағдай көбінесе орманның ар жағындағы (орман сырты) аймақтарда түсіру жұмыстарын жүргізген кезде пайда болады.

Жерсеріктік технологияны орман сыртындағы жерде сәтті пайдаланудың түрлі әдістері бар. Кейбір жағдайларда қабылдағыштарды алаңдарда орналастыруға, тіпті қажетті ағаштарды да кесіп алуға тура келеді. Сапалы өлшемдерді қамтамасыз ету мақсатында, қабылдағыштарды радиусі 5-тен 170 м-ге дейінгі алаңдарда (антенна деңгейінен 2,5-тен 30 м-ге дейін көтерілген ағаштардың биіктігіне байланысты) орнату ұсынылады.

Қарастырылып жатқан проблеманы шешудің басқа тәсілі – қабылдағыш антеннасын, сигналдардың ағаш басынан экрандалуын болдырмайтын биіктікке жедел түрде көтеруге

мүмкіндік беретін, жеңілдетілген арнайы дінгектер (мачталар) жасаудан тұрады. Жерсеріктік өлшеудің мұндай жағдайлардағы дәлдігі, ашық жерге қатысты дәлдікке эквивалентті (баламалы).

Әр түрлі түсіру жұмыстарын жерсеріктік әдістермен жүргізген кезде төселген бет пен қоршаған объектілерден түскен көріністерден туған, өлшем қателіктерін азайтуға ерекше көңіл бөлінеді. Бұл проблеманы шешу үшін жер серігінен келіп түсетін түзу сигналдар әсерін бәсеңдетуге мүмкіндік беретін, қосымша жабдықтармен жабдықталатын жерсеріктік қабылдағыштардың антенналық жүйесін жаңарту жүргізіледі. Сонымен қатар, көрініс әсерін азайтуға бағытталған өңдеу әдістері де жетілдіріледі.

Жерді түсіруге байланысты орындалатын жұмыс ерекшеліктерінің бірі – жергілікті координаталар жүйелерін қолданудың мақсатқа сәйкестігі. Тұтынушыларды көбінесе нивелирлеуден алынатын биіктіктер қызықтырады. Сонымен қатар, жерсеріктік әдістер таңдап алынған эллипсоидтің бетіне жататын, нивелирлі биіктіктен едәуір өзгеше, геодезиялық биіктіктерді алуға мүмкіндік береді. Мұндай айырмашылықтар, салыстырмалы түрде тіпті кіші көлемді аймақтардың өзінде 40 см-ге жетіп, одан асуы да мүмкін.

Аталған проблемаларды шешуге арналған торапқа, нивелирлеуден биіктік белгілі таңбалары бар пункттер қосылады. Егерде тораптың қалған барлық пункттері үшін жерде көптеген нивелирлі жүрістер жасамай, ақпараттар алу қажеттілігі пайда болуы мүмкін. Онда мұндай проблема, жер серіктік және гравиметрлік деректерді бірге пайдалану негізінде шешілуі мүмкін.

Нақты уақыттағы кинематикалық өлшеу және өңдеу режимдері

Өлшеу уақыты кезінде нақты уақытта өлшеу мен өңдеудің кинематикалық режимі, бір пунктте 5 с-ке дейін нақты уақыт масштабында өлшеуді бір мезгілде өңдеп орындауға мүмкіндік береді (on line). Нақты уақытта өлшеу мен өңдеудің Real-time Kinematic GPS (RTK - GPS) кинематикалық режимді пайдалану негізі – ашық аумақты пландық және биіктік түсіру. Ал шамалы

қашық объектілерде жергілікті толықтыру торабын құрып, жобадан жерге шығару. Өнімділік бойынша салыстырмалы деректер 7-кестеде келтірілген.

Нақты уақытта кинематикалық өлшеу мен өңдеу режимінің едәуір маңызды артықшылығы – өңдеу процесінде анықталған кемшіліктерді түзету үшін объектіге қайтадан бару қажеттілігінің болмауы. Өйткені, оның сапасын өңдеу мен бақылау, тікелей өлшеу процесінде орындалады.

7 - кесте

Өнімділік жөніндегі салыстырмалы деректер.

Жұмыс түрі	RTK - GPS	Тахеометрия	Нивелирлеу	Өңдеу
Пландық түсіру	220%	100%	-	0,5 ч
Пландық биіктік түсіру	240%	100%	-	0,5 ч
Жоғарыдан түсіру	240%	-	100%	0,3 ч
Толықтыру торабын құру	300%	100%	-	1,5 ч
Жобадан жерге шығару	325%	100%	-	-

Жерсеріктік қабылдағыштарды пайдаланудан алынған өнімділікті жоғарылату (арттыру), әрқашан техникалық құралдар мен программалық қамтамасыз ету – оның сенімділігін ақтай бермейді. Сондықтан, нақты жұмыс түрлерінде жерсеріктік қабылдағыштың қандай да бір моделін қолдануды, координаталарды алудың қажетті дәлдігімен үйлестіру қажет. Сонда 1 : 50000 – 1 : 1 000 000 майда масштабты карталарды жаңартқан кезде, жеке объектілерді координациялау үшін орташа рұқсат етілген жерсеріктік түсірулерді пландық түрде үйлестіру. Оның координаталарын анықтау дәлдігі 5 - 100 м аралығында. Навигациялық өлшеу және өңдеу режимін қолданған кезде 5–40 м аралықтағы дәлдік – нақты уақыт масштабында, ал одан жоғарысы – 1 м-лік дәлдікті камералды өңдеу кезінде алынуы мүмкін. Бұл жағдайда қымбат фазалық геодезиялық қабылдағыштарды пайдаланудың қажеті жоқ.

Өйткені, едәуір арзан қабылдағыштар мен сәйкес программалық қамтамасыз етуді пайдаланса жеткілікті. Көптеген фирмалардың қымбат емес кодтық жерсеріктік қабылдағыштары, соңғы кезде нақты уақыт масштабындағы дифференциалды анықтаманың құрылған функциясына ие болды (DGPS).

7.2.1. GPS қабылдағыштарының жалпы жіктемесі

GPS-тің барлық қабылдағыштарын екі категорияға бөлуге болады: үздіксіз кем дегенде 4 жер серігін бақылай алатын, көпарналы (көпканалды) қабылдағыштармен, жерсеріктермен біреуінен – екіншісіне тізбектей ауысып, қосыла жұмыс істейтін бір арналы қабылдағыштар. Бұл категориялардың әрқайсысының ішінен көптеген топтарды бөлуге болады.

7.2.2. Тізбекті бақылайтын қабылдағыштар

Орынның нақты координаталарын анықтау үшін, барлық GPS қабылдағыштар – ақпаратты кем дегенде 4 жер серігінен алуы тиіс. Тізбекті қабылдағыштарды тек бір арнамен орналастырады. Оның көмегімен олар алдымен ақпаратты бір жер серігінен, содан кейін екіншісінен, үшіншісінен, т.б. алады. Басқа қабылдағыштармен салыстырғанда олардың күрделілігі жоғары емес, демек қымбат емес. Сонымен қатар, олар шамалы энергияны тұтынады. Кемшілігі – жер серіктерін тізбектей қайта қосу, әрдайым позициялау процесінің үздіксіздігін қамтамасыз ете бермейді де, өлшеу дәлдігін шектейді. Бір арналы қабылдағыштар, динамикасы төмен объектілерде қолданылады. Бұл топқа – энергияны аз тұтынатын, арнаны лезде қосып тұратын бір және екі арналы қабылдағыштар кіреді.

7.2.3. Энергияны минималь тұтынатын бір арналы қабылдағыштар

Әдетте, бұл – миниатюрлі қоректену батареикасынан жұмыс істеуге есептелген, портативті қабылдағыштар. Мұндай қабылдағыштардағы энергиямен қоректенуді шектеу үшін

позициялау – өлшеулер арасындағы аралықтардағы қоректенуді автоматты түрде өшіріп отырады да, минутына 1 не 2 рет орындалады.

Бұл қабылдағыштар жаяу саяхаттағанда не ернеулі қоректендіру көздері жоқ кішкене кемелерде серуендегенде оның күйін анықтауға қолданылады. Оны жер шарының кез келген нүктесінде пайдалануға болады.

Мұндай қабылдағыштың басты кемшіліктері – дәлдігі төмен, шектелген жылдамдықты дәл өлшей алмайтындығы. Себебі, қабылдағыш өлшеулер аралығында өшіріліп қояды. Сондықтан, жылдамдықты есептеуге қажетті үздіксіз жұмыс қамтамасыз етілмейді. Сонымен қатар, мұндай қабылдағыштарда энергияны аз пайдаланатын сағаттар пайдаланылады және ол сағаттардың жүру дәлдігі жоғары емес. Бұл қабылдағыштар негізінен навигациялық мақсатта қолданылады.

7.2.4. Бір арналы қабылдағыштар

Мұндай қабылдағыштар, барлық жер серіктерінің ұзақтығын өлшеу үшін бір арнаны пайдаланады. Олардың басты артықшылығы – энергияны тұтыну бойынша шектеудің болмауы. Ал негізгі артықшылығы – бұл қабылдағыштар үздіксіз жұмыс істей алады.

Бұл олардың бағытының едәуір үдеуі немесе күрт өлшеуі болмаған кездегі жылдамдығын өлшеу мүмкіндігі мен жоғары дәлдігін анықтайды (бірақ үздіксіз). Жалғыз арна жер серігінен ақпараттарды жинау мен олардың ұзақтығын есептеу үшін де қолданылатындықтан, осы қабылдағыштардың көмегімен үздіксіз позициялау мүмкін емес. Бұл кластың кейбір қабылдағыштарында бағасын төмендету үшін өте арзан сағаттар қолданылады. Сондықтан, жылдамдықты өлшеу нәтижелері өте дәл болмауы да мүмкін.

7.2.5. Арнаны жылдам қосатын бір арналы қабылдағыштар

Бұл қабылдағыштар бір арналы қабылдағышқа ұқсайды.

Бірақ, арнаны бір жер серігінен, екіншісіне қосу әлдеқайда жылдамырақ. Мұндай шешімнің артықшылығы – олар жер серігіне дейінгі аралықты өлшеп, бір уақытта «ақпараттық мәліметтерді» қабылдай алады. Бұл олардың іс-әрекетінің үздіксіздігін қамтамасыз етеді.

Электрондық схемалардың техникалық күрделілігі түріне байланысты, бұл қабылдағыштардың бағасы едәуір тез, әрі дәл жұмыс істейтін екі арналы қабылдағыш бағасымен теңестіріледі.

7.2.6. Екі арналы ретті (тізбекті) қабылдағыштар

Екінші арнаға байланысты мұндай қабылдағыштардың мүмкіндіктері айтарлықтай ұлғайтылуда. Біріншіден, сигнал / шу қатынасы екі есе өседі. Ол қабылдағышқа сигналды сенімді, әрі қолайлы жағдайда алуға және көкжиекте орналасқан спутниктерді қадағалауға мүмкіндік береді.

Бұл типтегі қабылдағыштар позициялау үшін берілген арналардың біреуімен бір мезгілде үздіксіз қабылдап, ал екіншісі бойынша, келесі жер серігін ұстап алуға және олармен әрі қарай жұмыс істеуге даярлауға мүмкіндік береді. Демек, навигациялық деректерді екі арналы қабылдағыштарда жинау мен өңдеу процесі үздіксіз өтеді. Ал жылдамдықты өлшеу процесі, жоғары дәлдікте орындалады.

Екі арналы қабылдағыштың кемшілігі – құны (бағасы) жоғары, үлкен мөлшердегі энергияны қажет етуі.

7.2.7. Үздіксіз әрекеттегі қабылдағыштар

Мұндай қабылдағыштар бір уақытта 4 және одан да көп GPS жер серіктерін бақылайды. Сондай-ақ, олар дисплейге ағымды координаталар мен жылдамдық мәндерін лезде шығара алады. Олар өте жоғары дәлдікті талап ететін немесе динамикалық жұмыс жағдайларда жүргізілетін жерлерде қолданылады. Сондай-ақ, бұл қабылдағыштар көбінесе геодезиялық және ғылыми өлшеулерді орындаған кезде

қолданылады. Бұл қабылдағыштарда 12 арнаға дейін бар. Объект координаталарын үздіксіз анықтаумен бірге, олар дәлдікті азайтудың геометриялық факторының әсерін минимумға дейін жеткізуге мүмкіндік береді (GDOP).

Кейбір көп арналы қабылдағыштар өздерінің алдындағы барлық жер серіктерін қадағалайды. Ол – дәлдікті азайтатын геометриялық фактор әсерін нөлге дейін келтіруге мүмкіндік береді.

4 арналы қабылдағыштардың сигнал/шу коэффициенті екі арналыға қарағанда 2 есе, ал 1 арналыға қарағанда төрт есе үлкен. Мұнда арналарды бір-бірімен салыстыру – қабылдағышты калибрлеуге мүмкіндік береді. Ол құрал-жабдық қателіктерінің салдарынан, дәлдікті төмендету мүмкіндігін жойды. Көп арналы қабылдағыштың кемшіліктеріне – олардың габаритін, құнын және тұтынатын қуатын жатқызуға болады.

Жаңа жүйелердің қабылдағыштары кездейсоқ жалған кодтарды да, ЖНЖС сигналының пайдалану жиілігін де бір уақытта қадағалап, жоғары дәлдікке жеткізеді. Бұл процесті “пайдаланушы арқылы қадағалау” деп атайды. Мұндай әдісті пайдалану, дәлдігі жоғары қабылдағыштарға кездейсоқ жалған код бағытының азаюын тауып алуға мүмкіндік береді. Бұл уақытша аралықтың, соңында орын координатын өлшеудің өте жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, қабылдағышты бағалаған кезде пайдаланушы интерфейсіне назар аударған жөн. Дисплейге ендігі мен ұзындығының мәнінен басқа, ештеңе бере алмайтын модельдер де кездеседі.

Қазіргі заманғы күрделі қабылдағыштар, базалы GPS ақпараттарын өңдеудің кешендік әдістерін пайдаланып, оған көптеген қосымшалар енгізеді. Олар ақпараттарды, рұқсат ету қабілеті жоғары дисплейге графикалық түрде немесе оларды, компьютерге енгізілген карталарда көрсете алады.

Бақылау сұрақтары.

1. ЖРНЖ-нің қандай артылықшылықтары, оның пайдалану аймақтарын ұлғайтады?
2. ЖРНЖ-дегі қандай қателіктер геодинамикалық

- зерттеулерде негізгі рөл атқарады?
3. ЖРНЖ-ті сызықты, объектілер құрылысы кезінде пайдалану ерекшелігі неде?
 4. Жерсеріктік қабылдағыштарды аэрофототүсіру процесінде қолданғанда қандай мәселелер шешіледі?
 5. Геодезиялық GPS қабылдағыштарды, топографиялық түсіру кезінде кеңінен қолдануға қандай факторлар әсер етеді?
 6. Жер серіктік өлшеулерде топографиялық түсіру мақсатындағы бөгеттерді қандай негізгі фактор құрайды?
 7. Орман аумағын түсіру кезінде жерсеріктік технологияны пайдаланудың қандай ерекшеліктері бар?
 8. Қандай жағдайларда нақты уақытта өлшеу мен өңдеудің кинематикалық режимін қолдануға болады?

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2004.
2. Серапинас Б.Б. Глобальные системы позиционирования. – М.: ИКФ «Каталог», 2002.
3. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М. Радио и связь, 1993.
4. Болдин В.А., Зубинский В.И., Зурабов Ю.Г. и др. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М.: ИПРЖР, 1999.
5. Неумывакин Ю.К., Перский М.И. Геодезическое обеспечение землеустроительных и кадастровых работ. М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1996.

ГЛОССАРИЙ

Жерсеріктік радионавигациялық жүйелер (ЖРНЖ) – жасанды жер серіктерінен жіберілетін радиосигналдар бойынша навигациялық тапсырмалар мен жергілікті жерде тірек нүктелерінің қызметін атқаратын, нүкте координаталарын анықтауға арналған техникалық құралдар кешені.

Навигация – бағыт тәсілдерін таңдайтын және көлік құралдарын жүргізу әдістері туралы ғылым; оның міндетіне: тиімді қозғалыс траекториясын табу, орналасу орнын анықтау, қозғалыс жылдамдығының мәнін, бағытын, сонымен қатар басқа да объектілер қозғалысының параметрлерін анықтау кіреді.

NNSS (Navy Navigation Satellite System – Transit», США), «Цикада» (КСРО) – әскери-теңіз күштеріне арналған алғашқы жерсеріктік навигациялық жүйелер.

NAVSTAR– Navigation Satellite Timing and Ranging, АҚШ-тың көпфункционалы СРНЖ-і .

GPS – Global Position System.

ГЛОНАСС – Ғаламдық навигациялық жер серіктік жүйе (КСРО, Ресей).

Galileo – Еуропа ғарыштық агенттігінің жобаланатын СРНЖ.

Космодром – зымыран тасымалдаушы көмегімен, орбитаға навигациялық жасанды жер серігін ұшыруды (НЖЖС) қамтамасыз ететін ЖРНЖ секторы.

ЖРНЖ ғарыштық секторы – координаталары белгілі тірек нүктелерінің қызметін атқаратын, НЖЖС жиынтығы (шокжұлдыз).

ЖРНЖ-нің секторымен басқару және бақылау – планетаның әр бөліктерінде орналасқан орталық және бірнеше бақылау станцияларынан тұрады. Олардың негізгі міндеті – жер серігі жүйелерінің есептеу параметрлерінің дұрыс жұмыс істеуін бақылау, эфемерид жер серіктерін жүйелік дәл қадағалау. Әр жер серігіне сағат көрсеткіштерін түзету, навигациялық мәліметтерді жиі-жиі жаңарту және олардың таралуын ұйымдастыру.

Эфемеридтер – навигациялық жасанды жер серіктері

орбитасының координаталары немесе элементтері.

Тұтынушы ЖРНЖ секторы – қабылдағыш-есептеу комплексі (GPS қабылдағышы), тұтынушы бақылау бекетінің орналасу орны туралы ақпаратты дәл уақытта алатын, біріктірілген компоненттер.

Гетеродин – тұрақты жиіліктің синусоидты қашықтықтағы тербелісінің генераторы.

Супергетеродинді принцип – тұрақты жиілігі бар, аралық жиілікті алу принципіне негізделген, қабылдағыштағы радиосигналды үдету.

Жерсеріктік қабылдағыштардың антенна құралдары – электр сигналға сәйкес электромагниттік толқынды айналдыруға арналған құрал.

Фазалық орта – антенналық жүйедегі геометриялық өлшеулерге келмейтін нүкте; одан жер серігіне дейінгі ара қашықтық өлшенеді.

Кеңістіктегі қиылыстырулар – анықталатын пункттен берілген пунктке өлшенген бағыттар әдісімен, пункт координаталарын анықтау (кеңістіктегі жағдайын).

Қашықтық өлшеуіштердің кодталған әдістері – кодталған радиосигналдарға негізделген ара қашықтықты өлшеу.

Қашықтық өлшеуіш өлшеулердің фазалық әдісі – дециметрлік диапазондағы радиотолқындарды таситын ақпараттық сигналдар түрінде қолдануға сүйене отырып, ара қашықтықты өлшеу – мұндағы негізгі параметр, ағымдағы фаза.

Абсолютті нүкте орнын анықтау әдісі – координатты анықтау, бұл кезде шешілетін тапсырма, тек бір ғана спутникті қабылдағышпен орындалады.

Нүкте орнын салытырмалы әдіспен анықтау – координаталарды анықтау, бұл кезде шешілетін тапсырма екі және оданда көп пункттерде орналасқан жерсеріктік қабылдағышпен орындалады.

C/A- код – жалпыға мәлім ЖРНЖ GPS радиодальномерлі коды.

Референцті нүкте (станция, тикет) – жерсеріктік анықтауға дейінгі координаталары белгілі пункт.

Бірінші айырмашылық – екі бақылау пункттерінде

орналасқан екі қабылдағышты қолдана отырып, бір мезетте НЖЖС бақылауға негізделген фазалық жерсеріктік өлшеулер түрі.

Екінші айырмашылық – екеуден кем емес НЖЖС бақылау кезіндегі екіден жоғары қабылдағыштармен фазалық өлшеу әдістері.

Үшінші айырмашылық – екінші айырмашылыққа негізделген фазалық өлшеу әдісі.

«Реокупации» әдісі – әрбір 1-2 сағат ішінде пункттерде қайталап бақылау әдісі.

Жерсеріктік өлшеулердегі қателіктер – берілген деректерді дұрыс білмегендіктен, туындайтын қателер. Оның ішіндегі бастысы эфемерид – жер серіктерінің қателіктері; сыртқы ортаның әсерінен болатын қателіктер, (ионосфера және тропосферы); құрал-жабдық қателіктері, оларға – қабылдағыш антенналарының орналасу жағдайы; сонымен қатар, тіркейтін жерсеріктік қабылдағыштардың жұмысы жатады.

Геометриялық фактор – бақыланатын жер серіктерінің өзара дұрыс орналаспауынан болатын қателіктер.

Ионосферлық кідіріс – НЖЖС-нен ионосфера арқылы өтетін электромагниттік толқынның таралу жылдамдығын өзгерту.

Тропосфералық кідіріс – НЖЖС-нен тропосфера арқылы өтетін электромагниттік толқынның таралу жылдамдығын өзгерту.

Құралдардан болатын қателіктер – жер серіктеріндегі орналасқан аппаратурадағы жүйелердің дұрыс жұмыс істемеуіне байланысты қателіктер.

DOP (Delution of Precision – дәлдіктің төмендеуі) – жер серіктерінің орналасу геометриясына байланысты, өлшеу қателіктерінің өсу параметрлерін бағалайтын геометриялық фактор.

GDOP – үш көлемдегі позициялау дәлдігін сипаттайтын уақытты анықтау қателігін ескере отырып, геометриялық фактор дәлдігінің төмендеуі.

PDOP – уақытты анықтау қателігін ескерусіз үш көлемдегі позициялау дәлдігінің төмендеуін ескеретін геометриялық фактор.

HDOP – горизонталь жазықтықтағы екі көлемдік позициялаудағы дәлдіктің төмендеуін ескеретін геометриялық фактор.

VDOP – вертикаль бағыттағы дәлдікті төмендетуді сипаттайтын геометриялық фактор.

IGS (International GPS Service) – барлық жер шарын қамтитын халықаралық геодинамикалық жүйе.

EUREF – Еуропалық референстік қарқас.

Static – екі қозғалмайтын қабылдағыш арасындағы, дифференциалдық жерсеріктік бақылауларды статикалық орындау мерзімі.

Rapid Static - дифференциалдық жерсеріктік бақылауларды үдете отырып статикалық орындау.

Инициализация мерзімі – бір нүктеде бақылау уақыты.

Сәулелік өлшеу әдісі – анықталатын пункттер жүйесі, бір тірек нүктесінен координатталады.

Жүйелік өлшеу әдісі – жерсеріктік нүкте орны әрбір сызықта не жүйенің әр пунктінде анықталады.

Альманах – ЖНЖС туралы деректерді құрайтын радио дабыл.

Жүйелік уақыт – жер серігінен берілетін радиосигналдарды қабылдағышпен алғаш ұстаған кездегі тұрақты уақыт.

WGS-84 – 1984 ж. дүниежүзілік геодезиялық координаталар жүйесі.

ASCII – жерсеріктік деректерді көрсететін мәтіндік формат.

RINEX – әртүрлі типтес қабылдағыштар арасындағы тәуелсіз ауысым форматы.

Редуция – координаталарды бір жүйеден, басқа жүйеге түзетуді енгізе отырып ауыстыру.

IGS (International GPS Service) – геодинамикаға арналған GPS халықаралық қызметі.

OTF (Ambiguity fixing on the fly) – ұшудағы арнайы жылдам істеуші әдіс.

Real-Time Kinematik GPS (RTK GPS) – нақты уақыттағы жерсеріктік өлшеу және өңдеудің кинематикалық кезеңі.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	3
1. ЖЕРСЕРІКТІК РАДИОНАВИГАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕ	
1.1. Жерсеріктік радионавигациялық жүйенің даму тарихы	5
1.2. Жерсеріктік радионавигациялық жүйелердің геодезиядағы маңызы	7
1.3. Жерсеріктік радионавигациялық жүйелерді құру принциптері	7
2. ТҰТЫНУШЫ СЕКТОРЫ	
2.1. Қабылдау-есептеу кешені	16
2.1.1 Геодезиялық қабылдау-есептеу кешенінің функциялары	16
2.1.2. Геодезиялық жерсеріктік қабылдағыштың жалпы құрылымдық сызбанұсқасы	18
2.2. Жерсеріктік радионавигациялық жүйелердің орнын анықтау принциптері	22
2.2.1. Кеңістіктегі қиылыстыру	22
2.3. Жерсеріктік геодезияда қолданылатын қашықтық ұзындығын өлшеу принциптері	25
2.4. Жерсеріктік радионавигациялық жүйедегі өлшеу мен есептеу әдістері	31
2.4.1. Нүкте орнын анықтаудың абсолюттік және салыстырмалы әдістері	31
2.4.2. Дифференциалды әдістердің негізгі түрлері	35
2.5. Жалған қашықтық өлшеу және фазалық өлшеу жүргізу ерекшелігі	38
2.6. Жалған қашықтық өлшеуіштің өлшеу принципі	40
2.6.1. Кодтық әдіс.....	40
3. ФАЗАЛЫҚ ӨЛШЕУЛЕРДІҢ АЙЫРЫМДАРЫ	48
3.1. Мәндердің бірдей болмау шегін шешу принциптері ..	50
3.2. Жерсеріктік өлшеудің жүйелі қателіктерінің көздері	55
3.2.1. Қателік көздерін жіктеу.....	55
3.2.2. Жерсеріктік эфемеридтерін дәл білмеуге байланысты қателік көздері.....	56
3.2.3. Ионосфераның әсері.....	59

3.2.4. Тропосфераның әсері.....	60
3.2.5. Көпжолдылық	61
3.3. Жерсеріктік өлшеудің кездейсоқ қателік көздері	65
3.3.1. Құрал-жабдық қателік көздері.....	65
3.3.2. Жер серігі мен қабылдағыштағы сағат жүрісінің тұрақсыздығынан туған қателік.....	65
3.3.3. Салыстырмалылық нүктені дәл білмеуден туған қателіктер.....	66
3.3.4. Қабылдағыштың аппаратуралық уақытша кідірісі мен ішкі шу тұрақсыздығының әсерінен туған қателіктер.....	67
3.3.5. Геометриялық фактор.....	68
3.3.6. GPS - өлшеу дәлдігін жасанды төмендету себептері мен әдістері.....	71
4. ЖЕРСЕРІКТІК ӨЛШЕУЛЕРДІ ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ҰЙЫМДАСТЫРУ	74
4.1. Жерсеріктік өлшеуді жобалау мен ұйымдастыру ерекшелігі	75
4.2. GPS - қабылдағыштарымен өлшеудің өндірістік технологиясы	82
4.2.1. Аппаратураларды далалақ жерсеріктік өлшеуге даярлау	82
4.2.2. Жұмыс режиміне кіру және өлшеу жүрісін бақылау.....	84
4.2.3. Бақылау сеансын аяқтау.....	86
4.2.4. Жинақталған ақпараттарды сақтау.....	86
4.2.5. Дала журналын ашу.....	87
5. ЖЕРСЕРІКТІК ӨЛШЕУДІ ӨНДЕУ	89
5.1. Қабылдағышта жүргізілетін жерсеріктік өлшеуді алғашқы өндеу.....	90
5.2. Өлшеу аяқталғаннан кейін жүргізілетін жерсеріктік өлшеуді алдын ала өндеу	94
6. ЖЕРСЕРІКТІК ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ЖЕЛПІ ТЕҢЕСТРУ	98
6.1. Жерсеріктік өлшеулердің соңғы өңделуі	98
6.1.1. Жерсеріктік өлшеулерді, жерсеріктік	

<i>қабылдағыштарды жасаушы фирма программасы бойынша соңғы өңдеу.....</i>	100
6.2. Арнайы жасалған программа бойынша	
теңдестіру	103
7. АРНАЙЫ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРДІ ШЕШУДЕ ЖЕРСЕРІКТІК ӨЛШЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ	106
7.1. Геодинамикалық мәселелерді шешу	107
7.1.1. Жерсеріктік технологияны қолданбалы геодезияда пайдалану	109
7.2. Топографиялық түсіруді орындағанда жерсеріктік өлшеу технологиясын қолдану	115
7.2.1. GPS қабылдағыштарының жалпы жіктемесі	128
7.2.2. Тізбекті бақылайтын қабылдағыштар.....	128
7.2.3. Энергияны минималь тұтынатын бір арналы қабылдағыштар	128
7.2.4. Бір арналы қабылдағыштар	129
7.2.5. Арнаны жылдам қосатын бір арналы қабылдағыштар	129
7.2.6. Екі арналы ретті (тізбекті) қабылдағыштар	130
7.2.7. Үздіксіз әрекеттегі қабылдағыштар	130
ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	133
ГЛОССАРИЙ	134

Оқулық басылым

**ЖЕРСЕРІКТІК
НАВИГАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР**

Қанай Бақытұлы Рысбеков

Оқу құралы

РБ бастығы

Редакторы

Компьютерде беттеген

З. А. Ғұбайдулина

К. Мүптекеқызы

Б. А. Крамбаева

Басуға қол қойылды 14. 07. 2010 ж.

Таралымы 500 дана. Пішімі 60x84 1/16. №1 баспаханалық қағаз.
Шартты б. т. 8. 2. Көлемі 8,8 оқу-баспа табақ. Тапсырыс № 818
Бағасы келісімді.

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық
университетінің басылымы
ҚазҰТУ-дың Ғылыми - техникалық баспа орталығы
Алматы, Ладыгин көшесі, 32

ISBN 978-601-228-185-9

